

# *CUADERNOS GEOGRÁFICOS*

Universidad de Granada

Número 61(1) (2022)

e-ISSN 2340-0129

ISSN 0210-5462

D. LEGAL: GR./392/1971



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

**CUADERNOS  
GEOGRÁFICOS**

e-ISSN 2340-0119 ♦ ISSN 0210-5462 ♦ D.LEGAL: GR./392/1971

## Dirección

### *Direction*

Emilio Martínez Ibarra, Universidad de Granada, España

## Secretarios de Revisión

### *Peer Reviewing Secretaries*

Luis Miguel Sánchez Escolano, Universidad de Granada, España

Jonatan Arias García, Universidad de Granada, España

## Editores Adjuntos

### *Associated Editors*

Francisco Antonio Navarro Valverde, Universidad de Granada, España

Dr. Eugenio Cejudo García, Universidad de Granada, España

Joaquín Bosque Sendra, Universidad de Alcalá de Henares, España

José María Gómez Espín, Universidad de Murcia, España

Juan Antonio Márquez Domínguez, Universidad de Huelva, España

Juan Ignacio Plaza Gutiérrez, Universidad de Salamanca, España

María Elena Martín-Vivaldi Caballero, Universidad de Granada, España

María José Martos Fernández, Universidad de Granada, España

Marina Frolova Ignatieva, Universidad de Granada, España

Vicente Rodríguez-Rodríguez, CSIC Madrid, España

Sr. Juan Carlos Maroto Martos, Universidad de Granada, España

## Comité Asesor

### *Advisory Board*

Ana Fani Alessandri Carlos, Universidad de Sao Paulo, Brasil

Georges Bertrand, Universidad de Toulouse le Mirail et Cépage, Francia

Eramis Bueno Sánchez, Universidad Autónoma de Zacatecas, México

Francisco Calvo García-Tornel, Universidad de Murcia, España

Horacio Capel Saez, Universidad de Barcelona, España

Cristina Teresa Carballo, Universidad de Quilmes, Argentina

Sylvie Coupleux, Universidad de Artois, Francia

Sylvie Delmer, Université Lille1, Francia

Myriam X. Galleguillos, Universidad Alberto Hurtado, Chile

Arlinda Garcia Coll, Universidad de Barcelona, España

Andrea Guaran, Universidad de Udine, Italia

Alicia Lindón, Universidad Autónoma Metropolitana, México

Javier Martín-Vide, Universidad de Barcelona, España

Eduardo Martínez de Pisón, Universidad Autónoma de Madrid, España

Jean-Paul Métaillié, Universidad de Toulouse Le Mirail, Francia

Irene Molina, Universidad de Uppsala, Suecia

Antonio Moreno Jiménez, Universidad Autónoma de Madrid, España

Jorge Olcina Cantos, Universidad de Alicante, España

Belén Pedregal Mateos, Universidad de Sevilla, España

Silvana Maria Pintaudi, Universidade Estadual Paulista, Brasil

Pedro Reques Velasco, Universidad de Cantabria, España

Eduardo Salinas Chaves, Universidad de La Habana, Cuba

María T. Sánchez Salazar, Universidad Nac. Autónoma de México, México

Brisa Varela, Universidad Nacional de Luján, Argentina

Florencio Zoido Naranjo, C. de Estudios de Paisaje y Territorio, España

*Cuadernos Geográficos* es una revista científica que se edita desde 1971 con el patrocinio de los Departamentos de Geografía y la Editorial de la Universidad de Granada. Esta publicación tiene por objeto difundir la investigación de calidad relativa a las relaciones entre la sociedad y el territorio que contribuya al desarrollo de la Ciencia Geográfica, en español, inglés y francés, obra principalmente de geógrafos, aunque esta abierta a otros científicos sociales y de las ciencias de la tierra. Se centra esencialmente en el Mundo Mediterráneo de ambas orillas y en Latinoamérica aunque no excluye otras áreas y problemáticas afines.

*Cuadernos Geográficos is a scientific journal which has been in print since 1971 under the commission of the Department of Geography and University Press of Granada (Spain). The objective of this publication is to disseminate quality research having to do with the relationship between society and territory that contributes to the development of Geographical Science, in Spanish, English and French. The articles are mainly written by geographers, though it is open to other social and earth sciences. It focuses mainly on the Mediterranean world from both shores and Latin America, though it does not exclude others areas and their related issues.*

## Contacto de la Redacción

### *Editorial Office Contact Info*

Departamento de Análisis Geográfico  
Regional y Geografía Física  
ó Departamento de Geografía Humana.

Universidad de Granada. Campus de Cartuja,  
18071 Granada (España).

Teléfonos: (00-34) 958243644/958243628.

Fax: (00-34) 9586213/958243930.

e-mail: [cuaedgeo@ugr.es](mailto:cuaedgeo@ugr.es)

## Distribución

### *Distribution*

Editorial Universidad de Granada.

Antiguo Colegio Máximo. Campus de Cartuja.

18071- Granada (España).

Teléfono: (00-34) 958243930

# Sumario // Contents

## Artículos / Articles

---

- 5-23    ÁNGEL RAÚL RUIZ PULPÓN,, HÉCTOR SAMUEL MARTÍNEZ SÁNCHEZ-MATEOS  
Accesibilidad y procesos de despoblación rural: propuesta metodológica en Castilla-La Mancha (España)  
*Accessibility and rural population decline: methodological approach in Castilla-La Mancha (Spain)*
- 24-43   MARCELO SILI  
Factores limitantes de las prácticas de ordenación del territorio. Un análisis desde la perspectiva de los actores municipales en Paraguay  
*Limiting factors of land use planning practices. An analysis from the perspective of municipal stakeholders in Paraguay*
- 44-63   JOSÉ CARMEN GARCÍA FLORES, MARÍA DE JESÚS ORDOÑEZ DÍAZ  
Beneficio del huerto familiar para la salud mental en la pandemia de COVID-19 en Jojutla, Morelos, México  
*Benefit of the family garden for mental health in the COVID-19 pandemic in Jojutla, Morelos, México*
- 64-78   ARGELIA TIBURCIO SÁNCHEZ, MARTIN VILLA IBARRA, EDITH KARINA FRANCO REYES, ANGEL RAYMUNDO MEZA ESQUER  
Evaluación de la percepción ambiental de estudiantes universitarios del municipio de Cajeme para la implementación de un Observatorio Ciudadano Ambiental  
*Evaluation of the environmental perception by university students from Cajeme municipality for the implementation of an Environmental Citizen Observatory*
- 79-106   DAVID ESPÍN SÁNCHEZ  
Estructura vertical y características de las inversiones térmicas nocturnas en el SE de España  
*Characteristics and vertical structure of inversions temperature nocturnal in the SE of Spain*
- 107-128   EMILIO JOSÉ ILLÁN-FERNANDEZ, ALFREDO PÉREZ-MORALES, ASUNCIÓN ROMERO-DÍAZ  
El sellado antropogénico del suelo. Análisis bibliométrico  
*Anthropogenic Soil Sealing. Bibliometric Analysis*
- 129-149   LUIS CARLOS BRAVO PEÑA, MANUEL OCTAVIO GAUTRÍN CÓRDOVA, LUIS CARLOS ALATORRE CEJUDO, MARÍA ELENA TORRES OLAVE, RAMÓN LEOPOLDO MORENO MURRIETA, VÍCTOR MANUEL SALAS AGUILAR, HUGO LUIS ROJAS VILLALOBOS, VÍCTOR MANUEL REYES GÓMEZ, MARIO IVAN UC CAMPOS, MANUEL OCTAVIO GONZÁLEZ LEÓN  
Degradación y deforestación en la cuenca del río Conchos (México): modelado predictivo mediante regresión logística (1985-2016)  
*Degradation and deforestation in the Conchos river basin (Mexico): predictive modeling through logistic regression (1985-2016)*
- 150-167   JESÚS RODRIGO-COMINO, ANDRÉS CABALLERO-CALVO, LUCA SALVATI JOSÉ MARÍA SENCIALES-GONZÁLEZ  
Sostenibilidad de los cultivos subtropicales: claves para el manejo del suelo, el uso agrícola y la Ordenación del Territorio  
*Sustainability of subtropical crops: keys for land management, agricultural use, and spatial planning*

- 168-188 CRISTINA GARCÍA-HERNÁNDEZ, JESÚS RUIZ-FERNÁNDEZ, MARTA HERRÁN-ALONSO, DAVID GALLINAR-CAÑEDO  
Podcast para el aprendizaje y la difusión de los Fundamentos de la Geografía  
*Podcast for learning and disseminating the Fundamentals of Geography*
- 189-205 MARIO CORRAL RIBERA  
Factor bioconcentración en *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. Análisis preliminar  
*Bioconcentration factor in Ailanthus altissima (Mill.) Swingle. Preliminary analysis*
- 206-228 ERIK NÚÑEZ CASTRO, KARINE LEFEBVRE, LILIANA J. VIZCAÍNO MONROY  
De praderas a sembrados: transformación histórica de la explotación del territorio de la Hacienda de San José Puruagua (México)  
*From meadows to crops: historical transformation of the exploitation of the territory of the Hacienda de San José Puruagua (Mexico)*
- 229-250 ESTHER SÁNCHEZ ALMODÓVAR, JORGE OLCINA CANTOS, JAVIER MARTÍ TALAVERA  
Buenas prácticas en el manejo y gestión del agua pluvial. Casos de estudio en la comarca del Bajo Segura  
*Good practices in the handling and management of rainwater. Case studies in the Bajo Segura region*
- 251-268 RIDER HERNÁNDEZ MÁRQUEZ  
Cambios en las dinámicas del sistema de asentamientos en el oriente de Cuba. 2002 – 2018  
*Changes in the dynamics of the settlement system in eastern Cuba. 2002 - 2018*
- 269-310 JESÚS MOLINA BELMONTE,, JOSÉ ANTONIO CAMACHO BALLESTA,, MERCEDES RODRÍGUEZ MOLINA  
Mercados locales de trabajo y especialización productiva: un análisis para Andalucía  
*Labor market areas and sectoral specialization: an analysis for Andalusia*
- 311-328 JOSÉ MARÍA ORELLANA MACÍAS  
Evaluación de la vulnerabilidad del medio humano ante la contaminación de las aguas en la masa de agua subterránea de Gallocanta (Aragón, España)  
*Mapping assessment of social vulnerability to groundwater pollution at the Gallocanta Groundwater Body (Aragón, Spain)*

---

Reseñas bibliográficas / Bibliographical references

---

- 329-331 PAZ BENITO DEL POZO  
María Jesús Perles Roselló Reseña de *Geopolítica de la Unión Europea*  
*A Review of Geopolítica de la Unión Europea*

# Accesibilidad y procesos de despoblación rural: propuesta metodológica en Castilla-La Mancha (España)

Accessibility and rural population decline: methodological approach in Castilla-La Mancha (Spain)

ÁNGEL RAÚL RUIZ PULPÓN<sup>1</sup>  0000-0002-3597-7394

HÉCTOR SAMUEL MARTÍNEZ SÁNCHEZ-MATEOS<sup>1</sup>  0000-0002-3613-9958

<sup>1</sup> Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Castilla-La Mancha.

## Resumen

El estudio de la accesibilidad a determinados servicios y equipamientos básicos resulta de especial interés a la hora del diseño de políticas que intentan frenar los procesos de despoblación rural. Su trascendencia es reconocida también a nivel institucional, como por ejemplo en la recientemente aprobada Ley de despoblación de Castilla-La Mancha (España), que considera la accesibilidad como uno de los criterios básicos a la hora de delimitar distintos niveles de despoblación. En este contexto, el presente artículo presenta una propuesta metodológica de análisis de la accesibilidad con el objeto de que pueda servir como referencia para el diagnóstico de los procesos de despoblación, en general, y contribuir desde una perspectiva técnica a la toma de decisiones establecidas en la citada Ley, en particular. La metodología reside en la medición del grado de accesibilidad a servicios funcionales, educativos y sanitarios, usando el cálculo de la accesibilidad potencial y su nivel de correlación con la despoblación. Las conclusiones del estudio demuestran, en primer lugar, la lógica relación entre despoblación y limitada capacidad de acceso; y en segundo, la importancia del análisis de la accesibilidad a dotaciones de servicios básicos cuando definimos el fenómeno de la despoblación desde una perspectiva territorial.

Palabras clave: Accesibilidad; análisis factorial; despoblación; Castilla-La Mancha; Ley de despoblación.

### Fechas • Dates

Recibido: 2021.10.13  
Aceptado: 2022.02.07  
Publicado: 2022.02.15

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Ángel Raúl Ruiz Pulpón  
Angelraul.ruiz@uclm.es

## Abstract

Accessibility to certain basic services and equipment is of particular interest in the design of policies that seek to curb rural population decline processes. Its relevance is acknowledged also by institutions, as for example in the recent Population Decline Act of Castilla-La Mancha (Spain), that considers accessibility as one of the basic criteria when delimiting different levels of population decline. This article shows a methodological proposal for the analysis of accessibility in the Autonomous Community of Castilla-La Mancha, so that it can serve as a reference for the diagnosis of population decline processes and respond to the technical assumptions established in that law. The methodology consists in measuring the degree of accessibility to functional, health and educational services and their level of correlation between accessibility and population decline. The conclusions demonstrate, on the one hand, the logical relationship between population decline and lower access capacity; and, on the other, the accessibility analysis to provide basic services is essential when defining the population decline phenomenon from a territorial perspective.

Keywords: Accessibility; factorial analysis; population decline; Castilla-La Mancha; Population Decline Act.

## 1. Introducción

La despoblación rural de la España interior sigue suscitando un importante interés político, mediático y social. Se trata de un fenómeno que, agravado en las décadas de los años cincuenta y sesenta del siglo XX, sigue presente en la actualidad a diferentes ritmos y realidades (Collantes y Pinilla, 2019). Entre 1950 y 2018, la población residente en los municipios rurales españoles decreció 3,9 millones de personas, pasando de suponer un 34,6% de la población total en 1950, a tan sólo el 12,5% en 2018 (Gutiérrez *et al.*, 2020, p. 18). Hablando de la evolución demográfica más reciente, el *Informe sobre el reto demográfico y la despoblación en cifras* indicaba que ocho de cada diez municipios menores de 5000 habitantes habían perdido población en la última década en España (Gobierno de España, 2020). Observamos como estas zonas, de fuerte carácter rural, son las que más han sufrido el proceso de despoblación en un contexto de elevado grado de envejecimiento, de desaceleración de las migraciones, y de descenso del crecimiento vegetativo (CES, 2018: 27). A nivel territorial, el proceso ha desembocado en un vaciamiento de la España interior frente a la densificación de la periferia y de las principales áreas urbanas (Molinero, 2019). En consecuencia, un agravamiento de los desequilibrios espaciales que están afectando a los principios básicos de la cohesión territorial propuestos desde la Unión Europea (CER, 2017), cuya preocupación ha quedado plasmada en la profusa literatura que analiza el problema desde diferentes puntos de vista (Pinilla y Sáez, 2017; AGE 2018; CES, 2018; Labianca y Navarro, 2019; Plaza y Molina de la Torre, 2019; Gutiérrez *et al.*, 2020; Camarero, 2020; Bandrés y Azón, 2021).

Los desequilibrios territoriales ocasionados por la despoblación rural se observan, claramente, en la descompensación de los vínculos entre los ámbitos rurales y urbanos. A juicio del Observatorio Europeo ESPON, estas relaciones deben organizarse bajo unos principios de correspondencia territorial, limitando la dependencia o marginación de las zonas en declive rural respecto a las urbanas (ESPON, 2011). La realidad es que las zonas escasamente pobladas cuentan con importantes limitaciones para implantar esta clase de reciprocidades, frente al carácter más dinámico y competitivo de las mismas en territorios que gozan de buena accesibilidad. Por tanto, se perpetúa el “círculo vicioso” de declive rural en áreas de difícil acceso o cuyos flujos con zonas urbanas son débiles (ESPON, 2011; UE, 2019). De esta circunstancia se hacía eco la Agenda Territorial 2020,

que insistía en el papel que pudieran desempeñar las ciudades pequeñas y medias en la mejora de la accesibilidad al servir como articuladoras de las relaciones con el medio rural (UE, 2011). Esta misma consideración se plantea en la reciente Agenda 2030, donde se insiste en el desarrollo de las zonas rurales a partir de la relación con otros lugares y la mejora de la accesibilidad a servicios públicos (UE, 2020, p. 16). La insistencia sobre la falta de equidad territorial se comprende como causa y efecto de los procesos de despoblación rural, ya que se evidencia que las zonas rurales, en especial, las de montaña, son las que cuentan con mayores dificultades de acceso a determinadas infraestructuras y servicios básicos (Collantes y Pinilla, 2019, p.123). A pesar de que no siempre unas buenas infraestructuras han garantizado el mantenimiento de la población en ámbitos rurales y urbanos, (Gutiérrez *et al.*, 2020, p. 35; Moyano, 2020, p. 39), o que en casos particulares, no exista correlación entre despoblación y pérdida de prestaciones de servicios esenciales (Christiaanse, 2020, p. 10), partimos de la hipótesis de que cuanto mayor es el nivel de accesibilidad a determinados servicios básicos, mayor será la capacidad de un territorio de retener a su población. A esta hipótesis, que fundamentaremos teóricamente en el siguiente apartado, se le suma también el papel que juega la accesibilidad a determinados servicios básicos a la hora de obtener diagnósticos más precisos de los procesos de despoblación.

Con estos planteamientos previos, el principal objetivo consiste en efectuar una propuesta metodológica basada en el análisis de la accesibilidad en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, territorio caracterizado por su baja densidad demográfica, que permita establecer un marco de referencia para la toma de decisiones. En este artículo partimos de la recientemente aprobada *Ley 2/2021, de 7 de mayo, de Medidas Económicas, Sociales y Tributarias frente a la Despoblación y para el Desarrollo del Medio Rural en Castilla-La Mancha* [2021/5888], que propone el estudio de la accesibilidad como uno de los criterios básicos a la hora de zonificar la despoblación rural en la Comunidad Autónoma. En este dictamen, la accesibilidad se comprende como el tiempo medio de acceso en automóvil por carretera entre un núcleo de población y otro más próximo de más de 30 000 habitantes pertenecientes a una misma provincia. Estos parámetros se enjuiciarán desde el punto de vista de su eficiencia territorial, es decir, estimando su trascendencia en los procesos de desarrollo territorial y su capacidad para revertir el fenómeno de la despoblación a partir de un correcto diseño, aplicación y seguimiento de las políticas con impacto territorial, como es el caso (Farinós, 2008, p. 13). En consecuencia, este estudio responde a la necesaria optimización de la accesibilidad, sobre todo la relativa a servicios educativos y sanitarios que se prioriza desde instituciones y colectivos como la Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP) en su lista de medidas contra la despoblación (FEMP, 2017, p. 19); el *Manifiesto de la Asociación de Geógrafos Españoles contra la despoblación* (AGE, 2018) para afrontar el reto de la despoblación rural; o el último informe sobre accesibilidad de la Fundación Ramón Areces que insiste en la trascendencia de esta clase de servicios (Goerlich, Maudos y Mollá, 2021). La propuesta que exponemos tiene, al menos, otros dos objetivos complementarios: el primero, que sirva como referente metodológico a la hora de la toma de decisiones en materia de despoblación, siendo su aplicación teórica y práctica extrapolables a otras regiones rurales que presentaran los mismos problemas; y, en segundo lugar, como una propuesta de carácter técnico que facilitaría el diagnóstico de la accesibilidad que se tiene previsto desarrollar en la citada Ley.

### **1.1. Aproximación teórica en torno a la accesibilidad rural**

La accesibilidad se relaciona con la capacidad de acceso de la población a oportunidades, estando ambos separados en el territorio. Esta separación es la distancia, medida de forma habitual de forma física, que es la que mayor impacto genera en términos generales (Kanuganti *et al.*, 2015,

p. 312). En el contexto rural, la accesibilidad es un concepto central desde hace décadas, señalada como una variable clave en la realidad rural por Moseley (1979), cada vez más separada de servicios y oportunidades localizadas en los centros urbanos. La dependencia rural es un proceso que se ha acentuado progresivamente, sobre todo de espacios con mayores dificultades de integración (Dunaway, 1996), enfatizando el protagonismo de la accesibilidad como problema integral (Farrington y Farrington, 2005). Además, se ha comprobado una correlación inversa de factores entre ruralidad y accesibilidad (Morrissey *et al.*, 2008): a mayor accesibilidad, menor ruralidad.

Un problema común en espacios con baja densidad demográfica es la dificultad para lograr umbrales de demanda para la localización de servicios, incluidos los servicios de transporte (Peacock y Pemberton, 2019). Esto provoca una dependencia a dos niveles; a) exterior, para la satisfacción de necesidades (servicios, bienes de consumo, oportunidades laborales y económicas), y b) interna, al desaparecer prácticamente por completo las opciones de transporte colectivo. La lógica del mercado produce una separación física cada vez mayor de los espacios rurales con los centros de servicios y productos, convirtiendo la movilidad en un factor clave para entender el desarrollo de los espacios rurales. Las opciones para satisfacer esta necesidad de movilidad se reducen, ya que el transporte público difícilmente puede encontrar en estos territorios criterios de rentabilidad (Neumeier, 2016), y en Europa la movilidad rural depende de forma casi exclusiva en el vehículo privado (Vitale y Cotella, 2020). La distancia tiende a crecer, bien por la reducción de oportunidades, bien por el alejamiento progresivo de los centros dinámicos, en un proceso que se retroalimenta del incremento de los niveles de movilidad individual (López-i-Gelats *et al.*, 2009), reforzando de este modo el desequilibrio territorial.

Para nuestro propósito resulta interesante la aproximación al concepto de ruralidad a través de su integración territorial, en definitiva, de su participación en el sistema económico y territorial. En la Unión Europea, los espacios con población dispersa y escasa tienden a crecer económicamente por debajo de la media (Gáková y Dijkstra, 2010) y aquellos con mejores resultados son los que participan de los procesos de mercado, bien por contar con una producción adaptada al mismo, o bien por su proximidad a los entornos urbanos. Por este motivo, la gran mayoría de los trabajos de accesibilidad rural centran sus esfuerzos en caracterizar la capacidad de conexión de estos espacios al sistema urbano con muy diferentes enfoques: para usarlo como criterio para diferenciar el perfil de los territorios rurales (Barnett *et al.*, 2001; Caschili *et al.*, 2015; Martínez, 2018), como método para entender la diversidad de sus dinámicas en relación a un factor clave para su desarrollo económico (Vickerman, 1995), implicaciones por el envejecimiento (Ahern y Hine, 2015; Ranković y Jović, 2018) o el género (Adom-Asamoah *et al.*, 2020); bien para analizar el déficit de acceso a servicios comunitarios, especialmente la sanidad (Morrissey *et al.*, 2008; Murawski y Church, 2009; Shah *et al.*, 2017); acceso a otros bienes esenciales (Mu *et al.*, 2020; Yeager y Gatrell, 2014) o las alteraciones en el funcionamiento de mercados como la vivienda (Smith *et al.*, 2012). Estos trabajos plantean un escenario en el que los ámbitos rurales se encuentran en desventaja y las características de acceso a bienes y servicios se convierten en un elemento estructural que forma parte de la propia condición rural.

La utilidad de la aplicación de la accesibilidad a estudios del medio rural queda probada. El servicio estadístico de la Unión Europea (Eurostat) diferencia áreas rurales en su relación conexión con espacios urbanos que realiza siguiendo el criterio de la OEDC (OECD, 1994) que establece la necesidad de completar un indicador demográfico (densidad de población inferior a 150 hab/km<sup>2</sup>) con la proximidad a áreas urbanas para establecer un perfil y, más recientemente, como mencionamos, la Unión Europea ha marcado el umbral de 12,5 hab/km<sup>2</sup> como límite para defi-

nir áreas despobladas. El criterio resultante es el grado de conexión urbano-rural, diferenciando entre espacios rurales integrados en áreas metropolitanas, áreas rurales con buena conexión a centros urbanos de tamaño medio y espacios rurales con muy baja capacidad de conexión al tejido urbano (Brezzi *et al.*, 2011). No es un criterio de accesibilidad en sentido estricto, más bien de cohesión y protagonismo urbano en la escala regional, compuesta por espacios heterogéneos y jerarquizados (Cloke, 2006), que es determinante para el desarrollo de los territorios (Isserman, 2005). Recientes trabajos han comprobado además que el patrón de localización de determinadas actividades no guarda una correlación lineal con los patrones demográficos, ni la distancia en un sentido absoluto, y se producen diferentes modelos de dispersión según hablemos de servicios comerciales (supermercados), sanidad o educación.

En este sentido, la reciente *Ley 2/2021, de 7 de mayo, de Medidas Económicas, Sociales y Tributarias frente a la Despoblación y para el Desarrollo del Medio Rural en Castilla-La Mancha [2021/5888]* sitúa como primer objetivo la mejora de la calidad de vida de la población rural garantizando la igualdad de oportunidades y la accesibilidad, entre otros criterios (p. 18813); señala de forma explícita el acceso educativo, las prestaciones sanitarias y la atención social en materias como dependencia, discapacidad, vivienda, energía o nuevas tecnologías de información y comunicación. En definitiva, superar la brecha de bienes y servicios entre los ámbitos urbanos y los rurales. El artículo 10 establece los criterios para categorizar el medio rural, citando la accesibilidad al medio urbano como un elemento a considerar para entender las diferencias internas y la prioridad de intervención. En el desarrollo del artículo enuncia como variable de accesibilidad el “tiempo medio de acceso por carretera al núcleo urbano más próximo de la provincia de más de 30 000 habitantes” (p. 18813). El resto de los criterios se refieren a aspectos de índole demográfica, económica y de cobertura de usos del suelo, que permitirían la clasificación de los municipios en hasta cuatro categorías: zonas escasamente pobladas, zonas en riesgo de despoblación, zonas rurales intermedias, y zonas rurales periurbanas.

## 2. Metodología y fuentes

La metodología se divide en tres partes diferenciadas. En la primera, se comentan brevemente los aspectos a tener en cuenta en el análisis demográfico; en la segunda, se aborda el análisis de accesibilidad; y en la tercera, se combinan ambos criterios a partir del estudio de su correlación estadística. Por último, se efectúa un breve comentario de las fuentes empleadas.

### 2.1. Análisis demográfico

Se han recopilado indicadores municipales que ayuden a la interpretación de la despoblación a lo largo de un periodo de tiempo definido. Entendida como la pérdida efectiva de habitantes en un periodo de tiempo determinado (Pinilla y Saéz, 2017, p. 2), la despoblación se estudia a partir de las herramientas del cambio demográfico a corto, medio y largo plazo (cinco, veinte y cien años, respectivamente) para una mejor interpretación causal del fenómeno. Para medir el grado de despoblación, y dentro de los distintos métodos para analizar la variación demográfica, optamos por el Crecimiento Real Anual constante (CRA) que aglutina los componentes de la dinámica natural (nacimientos y defunciones) y espacial (emigrantes e inmigrantes) dentro de un intervalo de tiempo definido y cuya fórmula es:

$$CRA = \left( \sqrt[t]{\frac{Pf}{Pi}} - 1 \right) * 100$$

CRA se expresa en porcentaje,  $t$  es el tiempo del intervalo,  $Pf$  es la población final y  $Pi$  es la población de inicio. Se trata de una formulación que ha sido utilizada en recientes estudios (Molina de la Torre, 2019; Gutiérrez *et al*, 2020, p. 26) y que suele recomendarse desde Naciones Unidas para el cálculo de la variación de la población. El análisis diacrónico se completa con un análisis cartográfico del cambio demográfico. Para completar el análisis, se estudia la incidencia de la despoblación en aquellas áreas de mayor despoblamiento, teniendo como referencia el mencionado umbral de los 12,5 hab/Km<sup>2</sup> propuesto por la UE.

## 2.2. La accesibilidad: medida de contorno e indicador sintético

En gran medida, el procedimiento metodológico aplicado proviene de un estudio anterior efectuado en la provincia de Guadalajara y que tiene por objeto demostrar que la cercanía a los servicios no es garantía de accesibilidad efectiva (Martínez y Ruiz, 2021). Ante la reciente Ley 2/2021 del Gobierno de Castilla-La Mancha, que incorpora el concepto de accesibilidad como criterio diagnóstico para el establecimiento de medidas y prioridades, nos parece relevante explorar de forma analítica la aplicación del concepto en los 722 municipios rurales de la región. Esta ley propone una definición restrictiva de la accesibilidad, con un umbral poblacional de 30 000 habitantes y el límite provincial para el acceso a ciudades. Castilla-La Mancha cuenta con sólo 12 municipios por encima de 30 000 habitantes, y su reparto provincial es aún más restringido, lo que reduce bastante las opciones de acceso para los núcleos rurales.

El proceso de análisis tiene dos partes: primero aplicaremos el criterio de la Ley 2/2021 en su redactado literal: distancia de los municipios rurales a la ciudad de más de 30 000 habitantes de su misma provincia. En segundo lugar, y como propuesta metodológica de estudio, calculamos un indicador sintético de accesibilidad que incorpora tres componentes: acceso a espacios urbanos, dotaciones sanitarias y centros educativos. El objetivo será establecer una comparación entre resultados y realizar una propuesta metodológica final en función de las conclusiones que extraeremos de este proceso.

La accesibilidad que propone la Ley 2/2021 es una medida sencilla de contorno o separación espacial, que contempla solo la distancia entre origen y destino como variable (Curtis y Scheurer, 2010), dando como resultado un sencillo de tiempos de acceso a los destinos marcados.

Para nuestra propuesta de indicador sintético hemos implementado el potencial de interacción de forma cualitativa, incorporando una matriz de destinos que definen la atracción espacial dentro de un sistema territorial: espacios urbanos, servicios sanitarios y servicios educativos, recogiendo las recomendaciones de la FEMP. Valoramos la accesibilidad a estos destinos, distribuidos de forma desigual en el territorio, desde los diferentes municipios de la muestra, incorporando el tiempo de viaje ideal como variable cuantitativa (Geurs y van Wee, 2004), usando la siguiente expresión:

$$ATotal_i = Acc_i^{Urb} + Acc_i^{Salud} + Acc_i^{Edu}$$

$$Acc_i^{Urb} = \sum_j^{n=3} O_j * t_{ij}^{-1}; Acc_i^{Salud} = \sum_j^{n=2} O_{j1} * t_{ij}^{-1}; Acc_i^{Edu} = \sum_j^{n=2} O_{j1} * t_{ij}^{-1}$$

La accesibilidad total ( $ATotal_i$ ) de cada municipio  $i$  de la muestra es la suma de las oportunidades de acceso a los centros urbanos, sanitarios y educativos medidas por el coste de realizar el movimiento entre  $i$  y  $j$ , en este caso la fricción de la distancia representada por el tiempo de acceso ( $t_{ij}$ ). Es una función de la distancia, representada en forma logarítmica para expresar la reducción progresiva de la atracción. El tiempo de transporte,  $t_{ij}$ , es el tiempo de viaje por carretera, calculado entre los orígenes  $i$ , que son los núcleos rurales de Castilla-La Mancha, y los destinos,  $j$ , que irán cambiando en función de la medida de accesibilidad que calculemos en cada caso: las tres ciudades más cercanas de más de 10 000 habitantes para la accesibilidad urbana; hospital y centro de salud más cercano para la accesibilidad sanitaria; y campus universitario y centro de educación secundaria para el factor de educación.

Todos los cálculos de accesibilidad, los que proceden del criterio de la Ley 2/2021 y estos últimos de la propuesta de indicador sintético, se transforman en índices-Z con la finalidad de homogeneizar y comparar los resultados. Por tanto, la accesibilidad combinada de cada punto de la muestra es la suma de tres componentes normalizadas: la valoración del acceso a espacios urbanos, el acceso a servicios sanitarios y la disponibilidad de servicios educativos, pudiendo reformular la expresión del siguiente modo:

$$ATotal_i = ZAcc_i^{Urb} + ZAcc_i^{Salud} + ZAcc_i^{Edu}$$

La forma de calcular los índices-Z de cada componente es:

$$Z_x = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$$

El factor de oportunidad  $O_j$  pondera el atractivo de cada destino en cada componente de la accesibilidad. Se usa la población para el acceso urbano, el número de camas para el acceso a la red de hospitales y los grados oficiales de cada campus para el acceso a estudios superiores. Para los servicios básicos (centros de salud e institutos de educación secundaria) sólo empleamos el tiempo de transporte, sin ningún factor de oportunidad.

Para la obtención de estos datos hemos construido una base de datos GIS empleado diferentes fuentes, que se ha completado con el uso de la red de transporte según la Base Cartográfica Nacional de España, actualizada a fecha de 2019, que ha sido trabajada con la extensión Network Analyst del software ArcGIS 10.3, jerarquizando la red por categorías e implementando la velocidad de cada tramo en función de esta circunstancia.

### 2.3. Combinando el análisis demográfico y la accesibilidad

El último proceso analítico que llevamos a cabo se enfoca a comprobar la relación entre los resultados demográficos y la accesibilidad, de las tres componentes separadas y el indicador sintético combinado a través de un análisis de correlación bivariada. Los resultados obtenidos en ambas esferas ofrecen una distribución no normal, con valores extremos que aconsejan el uso de una técnica de correlación no paramétrica y adaptada a esta distribución, como es el coeficiente de correlación de Pearson (Rogerson, 2006: p. 154-157):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_x * Z_y)}{n - 1}$$

La correlación  $r$  es el resultado de comparar ambas variables  $x$  e  $y$  en su forma normalizada,  $Z_x$  y  $Z_y$  respectivamente, a lo largo de la muestra de  $n$  valores de cada caso  $i$ . La correlación de Pearson tiene la propiedad de que su valor varía entre +1 y -1, siendo el primer caso una correlación máxima positiva (valores altos en la variable  $x$  se corresponden con valores altos de la variable  $y$ ) y el segundo una correlación máxima, pero inversa (valores altos en una variable se corresponden con valores bajos en la otra). Los valores próximos a 0 indican que no se produce correlación estadística entre las variables  $x$  e  $y$ .

Este tipo de cálculos se acompaña de un test de significación que debe comprobar que el resultado de cada variable es independiente y que una observación registrada en uno de ellos no afecta estadísticamente a los resultados de otras variables. Tanto el cálculo del coeficiente como el testeo de la significación se han realizado empleando el software estadístico IBM SPSS Statistics 24.0.

#### 2.4. Fuentes

Las fuentes empleadas son de tipo demográfico y temático. Entre las de tipo demográfico, se ha empleado la información disponible en la página web del Instituto Nacional de Estadística y del Instituto de Estadística de Castilla-La Mancha que ofrecen indicadores de forma abierta. Entre ellos, la principal fuente ha sido los padrones de población de los años 2000 y 2020 con el objeto de concretar tendencias demográficas a medio plazo. Este indicador resulta básico para el cálculo de otras variables, como la densidad de población, que define generalmente el despoblamiento. Cuando nos referimos a indicadores de tipo temático, hablamos de los servicios educativos, sanitarios y centros urbanos. En este caso, se parte de la información obtenida en los registros oficiales de centros educativos de Castilla-La Mancha y de las áreas de salud con sus instalaciones del SESCAM (Servicio de Salud de Castilla-La Mancha). Se incorporan también las variables de la cartografía digital del CNIG que cuenta, entre sus contenidos, con los centros urbanos que permiten calcular los tiempos de conexión.

### 3. Resultados

Castilla-La Mancha cuenta con 2 047 792 habitantes en el último Padrón de Población de 2021. Este indicador supone 2571 personas más respecto al Padrón de 2020 (un 0,13% más), siendo, junto a la Comunidad de Murcia y Cantabria, las únicas regiones que han ganado población entre 2020 y 2021. Esta leve ganancia no oculta la situación real de la región en términos de despoblamiento, es decir, de la influencia de la despoblación sobre el sistema de asentamientos, pues hablamos de uno de los territorios con menor densidad de población en España (25,7 hab./Km<sup>2</sup> en 2021), con evidentes rasgos de ruralidad basados en un modelo de asentamiento disperso, una red urbana poco consolidada y excesivamente dependiente del área metropolitana de Madrid, y una acefalia que impide que algún núcleo urbano actúe como vector de organización territorial (Pillet *et al.*, 2014).

#### 3.1. Procesos de despoblación en Castilla-La Mancha

La despoblación ha afectado de igual manera tanto a ámbitos urbanos como rurales, si bien, cuando influye en éstos últimos agrava considerablemente los desequilibrios territoriales. La Tabla 1 representa la pérdida generalizada de población en las áreas más débilmente pobladas en los últimos veinte años. A nivel nacional, casi la mitad del territorio se sitúa por debajo del umbral

de los 12,5 hab/Km<sup>2</sup>, perdiendo más de 350 000 personas entre 2000 y 2020 (un 21,5% menos); mientras que, a nivel regional, los indicadores oscilan entre un 29% de disminución de la provincia de Cuenca y un 15,3% de la de Toledo. A nivel intraprovincial, insistimos en la significación de la cercanía a la Comunidad de Madrid, especialmente en la provincia de Guadalajara, donde la concentración de la población en su parte occidental condiciona la ganancia de población provincial, en contraste con las áreas poco pobladas que siguen disminuyendo en efectivos (un 20% menos). El hecho de que este comportamiento tenga lugar en el 87% del territorio evidencia unos serios desequilibrios marcados por la capacidad acceso, ya que las mayores densidades de población se localizan en el área de influencia inmediata de la autovía A-2 que une Madrid con el noreste peninsular (Martínez y Ruiz, 2021). En consecuencia, los datos globales de Guadalajara nos permiten afirmar que no existe despoblación en sí, ya que entre 2011 y 2021 muestra un crecimiento del +0,4%, pero sí del resto de municipios que no se encuentran dentro del área de influencia del corredor del Henares.

Por su parte, la provincia de Cuenca, caracterizada por la ausencia de cabeceras o núcleos urbanos de envergadura, manifiesta una despoblación más acusada de sus zonas escasamente despobladas, afectando al 84% de sus municipios. El hecho de que el conjunto provincial se sitúe en el -1,2% en los últimos diez años evidencia que tanto la provincia de Cuenca, como gran parte de la provincia de Guadalajara, se establezcan, al menos a priori, como los lugares más afectados por los procesos de despoblación.

Tabla 1: Despoblación en áreas escasamente pobladas (>12,5 hab/Km<sup>2</sup>) en Castilla-La Mancha y España (2000-2020)

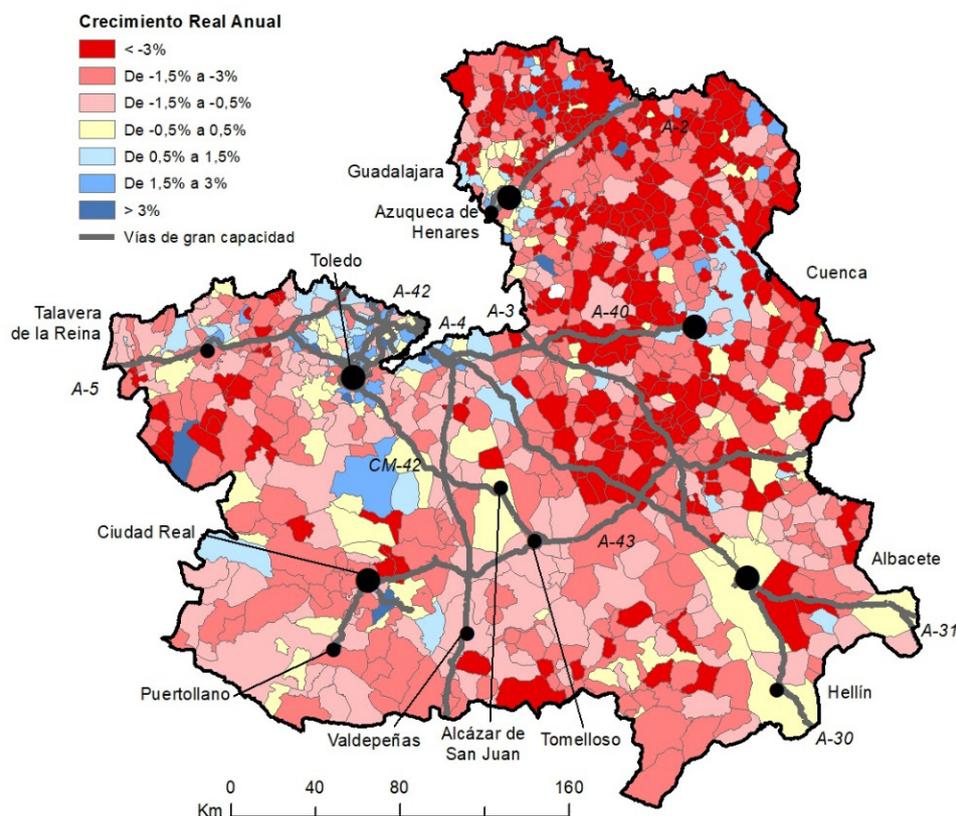
TERRITORIO	% ZONAS AFECTADAS			POBLACIÓN PADRÓN		CAMBIO 2000-2020	
	EXTENSIÓN	POBLACIÓN	MUNICIPIOS	2020	2000	ABSOLUTO	%
ESPAÑA	48,90%	2,73%	48,71%	1296727	1652292	-355565	-21,52%
Castilla-La Mancha	62,21%	10,58%	67,46%	216338	278479	-62141	-22,31%
Albacete	54,56%	11,21%	63,22%	43517	55314	-11797	-21,33%
Ciudad Real	58,80%	10,29%	52,94%	50963	66035	-15072	-22,82%
Cuenca	76,15%	24,04%	84,45%	47152	66311	-19159	-28,89%
Guadalajara	87,44%	12,63%	87,15%	33087	41679	-8592	-20,61%
Toledo	38,44%	5,91%	28,92%	41619	49140	-7521	-15,31%

Fuente: INE (Elaboración propia)

Sin embargo, el análisis municipal del CRA nos ofrece también otras claves (Fig. 1). Observamos como existe una abrumadora mayoría de municipios que ha perdido población entre 2011 y 2021, siendo una constante en todas las provincias, aunque en Cuenca y Guadalajara se hace más evidente. Se trata de un fenómeno que ha afectado tanto a ámbitos urbanos como rurales. Respecto a las ciudades, encontramos ejemplos de fuertes descensos poblacionales debido a los efectos de la crisis económica, y en concreto, al declive del sector de la construcción, como el caso de Talavera de la Reina (83 663 habitantes en 2020), que pierde más de 5000 efectivos en esta última década. Otro ejemplo de despoblación urbana, ligado en este caso, a la crisis industrial, lo encontramos en Puertollano (46 607 habitantes en 2020), que experimenta un importante descenso de su crecimiento real (-1,3%) relacionado con el cierre de significativas empresas dedicadas al sector energético, como Silicio Solar en 2012, Solaria en 2014 o Elcogás, el mismo año. Respecto al medio rural, diferenciamos dos patrones de comportamiento: el primero, vinculado con ámbitos

que pierden población desde la segunda mitad del siglo XX y que se corresponden con lugares de escasa diversificación económica, mala accesibilidad, y donde el peso de los condicionantes orográficos y edáficos resulta determinante; y el segundo patrón, propio de municipios de tamaño pequeño o intermedio (entre 5000 y 10 000 habitantes), que decrecen por los efectos de la crisis, cuando diez años antes (2001-2011), mantuvieron e incluso incrementaron su población.

Figura 1: Evolución del Crecimiento Real Anual (%) en Castilla-La Mancha (2011-2021)



Fuente: INE, CNIG. Elaboración propia

Las ganancias de población se concentran en las capitales provinciales, algunas localidades aisladas, y sobre todo, en la parte nororiental de la provincia de Toledo (comarca de La Sagra) y oeste de Guadalajara (Corredor del Henares), donde la Comunidad de Madrid irradia su influencia a partir de carreteras con fuerte capacidad de acceso, como las Autovías A-2, A-4 y A-5. En el caso de Guadalajara, contamos con ejemplos de fuerte crecimiento de sus municipios rurales, como Yebes, que pasa de 168 habitantes en 2001, a 4189 en 2020, es decir, multiplica por veinticinco su población en tan sólo diecinueve años. El crecimiento real obtenido es del 9,7%, indicador difícilmente comparable a los contabilizados en cualquier otro municipio español para el mismo periodo. El hecho de que los municipios colindantes decrezcan en población evidencia la importancia de la accesibilidad como fórmula de retención y de crecimiento de la población, como veremos a continuación.

### 3.2. Análisis de accesibilidad: la Ley 2/2021.

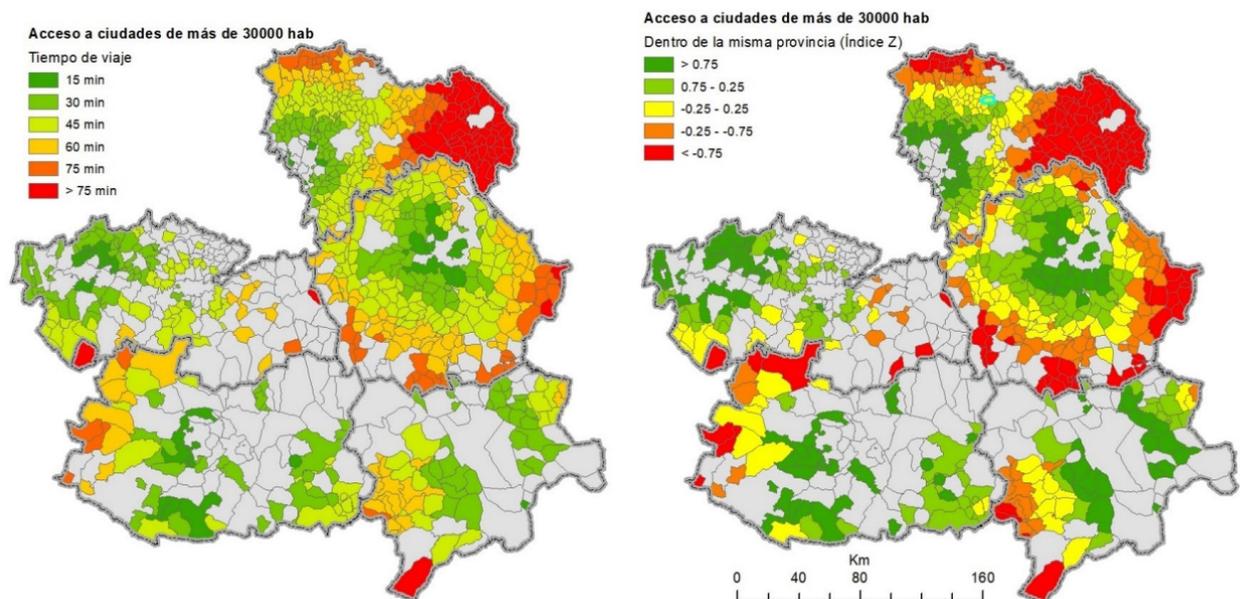
La aplicación de la definición de la accesibilidad acorde con la redacción de la Ley 2/2021 nos deja como resultado el que puede apreciarse en la Figura 2. La propia distribución de municipios

rurales en la región ya supone una primera aproximación, puesto que las provincias de Guadalajara y Cuenca aportan la mayor cantidad de ellos y la práctica totalidad de sus superficies son rurales. Como cabría esperar, en estas provincias la accesibilidad se distribuye en bandas concéntricas desde los núcleos urbanos provinciales. Cuenca es el único centro posible en su provincia, y en Guadalajara tenemos la capital y Azuqueca de Henares (en el mismo corredor y a escasos 16 km. de distancia). El resultado son orlas consecutivas de accesibilidad que reflejan las bandas de tiempo y cercanía, que en Guadalajara configuran un gradiente de más accesibilidad desde el suroeste hacia el noreste, que está peor comunicado. Cuenca, con una posición más centrada, genera una orla circular que alcanza el mínimo en el sur y sureste, dada la posición de la capital en el centro-norte.

La provincia de Toledo, con Talavera de la Reina al oeste y Toledo al este, proporciona resultados óptimos en el conjunto general, exceptuando algún municipio en el este de la provincia. Ocurre algo similar con Albacete, con la propia capital y Hellín, al sureste, como opciones de conexión para la red rural. La posición central de la capital y la estructura de la provincia, con pequeñas ciudades y núcleos intermedios, facilita que los resultados de la provincia sean mejores que en los casos anteriores.

Ciudad Real es la única provincia que presenta un sistema de ciudades, situado en la zona de La Mancha (mitad este) que, unidas a la capital y Puertollano, proporciona valores óptimos en el eje central y hacia la mitad oriental de la provincia, por su parte, la mitad oeste de la provincia ofrece peores resultados al aumentar la distancia hasta la ciudad más próxima de 30 000 habitantes y peor red de infraestructuras.

Figura 2. Accesibilidad rural a ciudades de más de 30.000 habitantes según el criterio fijado en la Ley 2/2021.



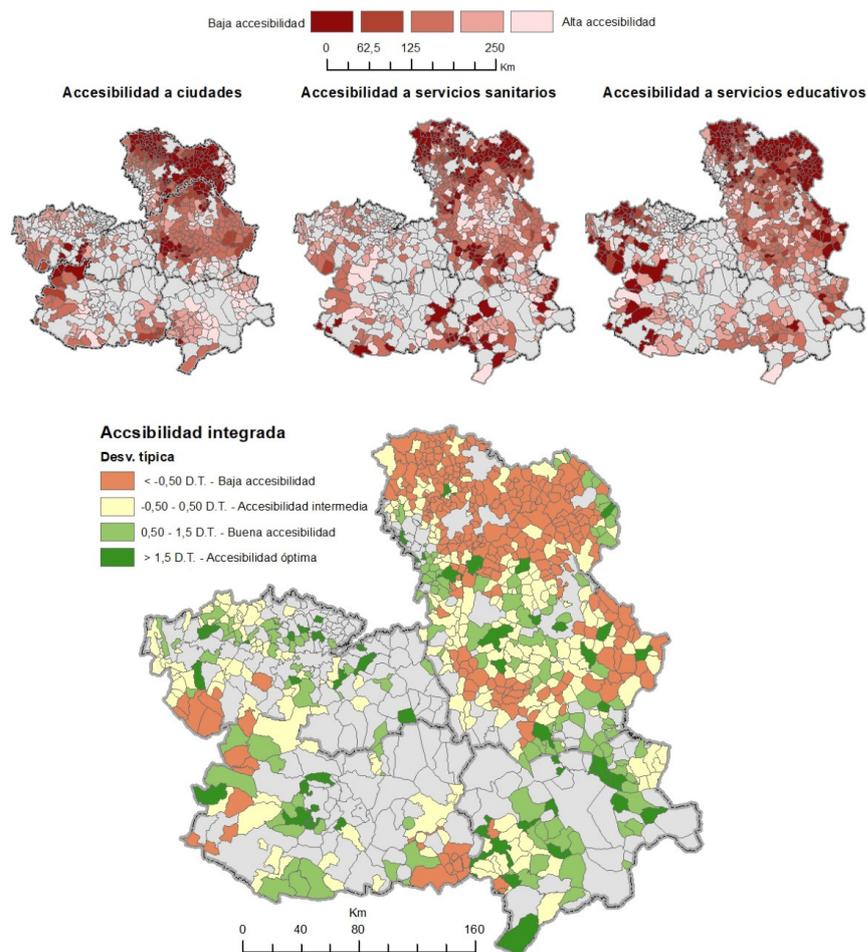
Fuente: CNIG. Elaboración propia.

### 3.3. Análisis de accesibilidad: indicador sintético.

Como expusimos en el apartado metodológico, proponemos un indicador sintético compuesto por tres medidas de accesibilidad: acceso a entornos urbanos (desde 10 000 habitantes), acceso a servicios sanitarios y acceso a servicios educativos. La finalidad es comparar los resultados con el apartado anterior y combinarlos con la evolución demográfica.

Las diferentes componentes de la accesibilidad muestran un patrón similar a lo visto anteriormente. Esto es previsible, puesto que la jerarquía urbana también estructura las dotaciones y servicios especializados. Apreciamos importantes matices derivados de la ponderación del tiempo de acceso con las oportunidades en función del volumen poblacional. El acceso a entornos urbanos enfatiza las diferencias entre las áreas rurales de Guadalajara y Cuenca respecto al resto de provincias, con una red urbana más completa y con mayor peso poblacional. En el caso de Guadalajara, se evidencia que no siempre la proximidad geográfica a una vía de importante carga como la A-2 condiciona la accesibilidad de sus núcleos circundantes, pues una gran parte de ellos cuenta con accesibilidad baja (Martínez y Ruiz, 2021). Además, los resultados son bastante asimilables al acceso a servicios sanitarios y educativos, pero en este caso, la distribución de centros de salud y centros educativos mitiga el impacto negativo en las provincias señaladas y, en los resultados muestrales, espacios rurales de las periferias de Toledo (al oeste), Ciudad Real (sur y sureste) y Albacete (suroeste) muestran bajas accesibilidades.

Figura 3. Indicadores sintéticos de accesibilidad rural en Castilla-La Mancha: propuesta metodológica.



Fuente: CNIG, JCCM, SESCAM, Consejería de Educación. Elaboración propia.

Los servicios sanitarios muestran mayor diferencia, probablemente por el hecho de que la dotación de centros de atención primaria se encuentra más distribuida por el territorio y reduce la fricción de la distancia al disminuir los tiempos de traslado. Se mitigan los resultados negativos en algunas áreas que mantienen cierta constante negativa en Guadalajara y Cuenca, al tiempo que espacios de accesibilidad intermedia en el resto de las provincias mejoran el resultado en este ámbito.

La integración de estas componentes se expresa por intervalos de desviación típica en los resultados combinados. Refleja situaciones de contraste en los diferentes espacios rurales, apreciando diferencias importantes en núcleos próximos entre sí. El reparto de accesibilidad, en una aproximación macro, es la que expresaba ya la Figura 2, aplicando el criterio de la Ley 2/2021. No obstante, hay importantes matices debido a la discriminación que aportan las diferentes componentes del indicador combinado. Por ejemplo, en la comarca de Campo de Montiel, al sur entre las provincias de Ciudad Real y Albacete, encontramos perfiles en todo el rango de accesibilidad, mostrando diferentes necesidades y situaciones en relación con los resultados y localización de las distintas dotaciones. Esto demuestra el potencial de este tipo de indicadores, que partiendo de una base de datos sencilla permite obtener diagnósticos más precisos.

### 3.4. Perfiles rurales basados en la accesibilidad y la dinámica demográfica.

Aplicamos una correlación bivariada sobre los resultados de las componentes de accesibilidad y su combinado a la evolución demográfica, obteniendo los datos de la Tabla 2.

Tabla 2: Correlación bivariada, indicadores de accesibilidad y CRA

	CRA 11-20	ZAcc <sub>i</sub> <sup>Urb</sup>	ZAcc <sub>i</sub> <sup>Salud</sup>	ZAcc <sub>i</sub> <sup>Edu</sup>	ZATot <sub>i</sub>
CRA 11-20	-	.249**	.248**	.147**	.263**
ZAcc <sub>i</sub> <sup>Urb</sup>		-	.473**	.344**	.748**
ZAcc <sub>i</sub> <sup>Salud</sup>			-	.349**	.778**
ZAcc <sub>i</sub> <sup>Edu</sup>				-	.666**
ZATot <sub>i</sub>					-

\*\* Correlación significativa al nivel 0,01

Fuente: INE, CNIG. Elaboración propia.

Las correlaciones son todas significativas estadísticamente y de signo positivo: un incremento de la accesibilidad reporta un mejor resultado del CRA y viceversa. En términos cuantitativos la relación es modesta y los incrementos medidos por esta relación son de apenas un 25%. Evidentemente, la relación entre las componentes de accesibilidad es significativamente mayor, apreciando cierta independencia entre las componentes de salud y educación (la localización de dotaciones no coincide en todas las poblaciones).

## 4. Discusión

El primer elemento de discusión reside en las limitaciones del modelo de análisis que determinan el alcance de los resultados obtenidos. La definición de accesibilidad a partir del estudio de los servicios básicos son los que condicionan los resultados, su interpretación, y la relación posterior con los procesos de despoblación. Este tipo de interrelaciones ya han sido consideradas en diversos trabajos que ponen el énfasis en determinados servicios, como los de salud (Escalona y Díez,

2005; Olivet *et al.*, 2008); los de educación, salud y abastecimiento alimentario (Christiaanse, 2020); a los que se añaden también los de tipo bancario (Goerlich, Maudos y Mollá, 2021). En todos ellos se constata las dificultades de acceso de los núcleos de población de menor tamaño, se comprueba la importancia de la escala comarcal en la toma de decisiones, y se subraya cómo la distribución de las especialidades sanitarias afecta a la calidad del acceso a los servicios. Estas cuestiones han quedado refrendadas, en parte, en nuestro trabajo, ya que la realidad descrita para Teruel (Escalona y Díez, 2005) se reproduce en las provincias de Cuenca y Guadalajara, donde existen numerosos municipios a más de 40 minutos de distancia de servicios esenciales. Se trata de territorios que responden al perfil de reducida accesibilidad que el último informe de la Fundación Ramón Areces fija a nivel nacional, considerándolos como lugares de elevado envejecimiento y pertenecientes a zonas de montaña; de hecho, el informe destaca las mencionadas provincias de Cuenca y de Guadalajara (Goerlich, Maudos y Mollá, 2021, p. 149).

La pérdida continua de población sitúa a estos territorios en una situación poco propicia, ya sea a la hora de canalizar nuevas inversiones, ya sea por las dificultades de acceso que acabamos de describir, lo que obliga a las administraciones a proponer marcos de actuación definidos. En este sentido, la Ley 2/2021 de despoblación en Castilla-La Mancha supondrá un marco de referencia al proponer un amplio conjunto de actuaciones para tratar de revertir el problema. Ya hemos mencionado que la Ley intenta realizar una zonificación rural que permita diferenciar las regiones más vulnerables ante los procesos de despoblación, partiendo de la integración de una serie de criterios, entre los que figura la accesibilidad. Obviamente, de la capacidad de interrelación entre esos criterios dependerá el éxito de la zonificación propuesta. En ese sentido, el Gobierno Regional cuenta con diversos trabajos previos que pueden servir referencia porque incorporan parte de las dimensiones fijadas por la Ley (Vard, Willems, y Peters, 2005; Reig, Goerlich y Cantarino, 2016).

En el caso de la accesibilidad, la Ley la entiende como el tiempo de acceso a una ciudad de más de 30.000 habitantes en la misma provincia. Hemos insistido, a lo largo del artículo, de las deficiencias en el establecimiento de umbrales o de límites fronterizos a la capacidad de la movilidad de la población. Al no tomar como referencia los servicios que proponemos, la Ley excluye, en principio, a amplias zonas en las provincias de Guadalajara y de Cuenca afectadas por la despoblación, así como otras comarcas como la del Campo de Montiel, de muy baja densidad demográfica. Además, nuestro planteamiento incorpora el acceso a la red urbana, sin marcar un umbral superior, e incorporando el análisis del acceso a dotaciones sanitarias y educativas con dos niveles de servicio: básicos y especializados. Si bien desde el Consejo Social de España se insiste en la importancia de la atención primaria entendida como un servicio de proximidad para las personas mayores que, en general, cuentan con reducida movilidad (CES, 2021, p. 109), consideramos que la prestación sanitaria se debería enjuiciar a partir del nivel de coordinación entre atención primaria y especializada, que es lo que nuestra propuesta permite al realizar un diagnóstico combinado y sectorial. Este estudio, en consecuencia, nos lleva a una interpretación conjunta de los diferentes perfiles rurales de accesibilidad, puesto que los resultados admitirían una interpretación intrasectorial y de servicios especializados o generales.

Entendemos que la toma de decisiones debe partir, necesariamente, de la interrelación entre despoblación y accesibilidad, contando con políticas que aboguen por intervenciones integrales a nivel espacial. En ese sentido, la despoblación debería plantearse como un eje transversal en las políticas que actúan sobre el territorio, sobre todo las de tipo sectorial. La planificación de infraestructuras educativas, sanitarias o de transporte se realizan sin considerar las dinámicas de

despoblación que están afectando a los territorios, por lo que se requiere del diseño de estrategias de cooperación y de coordinación entre las administraciones competentes y las políticas que forman parte del reto demográfico. Un ejemplo reciente lo encontramos en la planificación del trazado de las vías de alta capacidad en Castilla-La Mancha, donde el Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana ha obviado el futuro paso de la autovía A-43, que une Valencia con Portugal, por la parte suroeste de la provincia de Ciudad Real, más comúnmente conocida como opción sur. En esta zona, encontramos municipios como Almadén, que lleva perdiendo población desde hace prácticamente 100 años y cuyo modelo de desarrollo ha quedado seriamente comprometido desde el cierre de sus minas de mercurio, verdadero motor económico de la comarca durante siglos.

Volviendo al tema de la coordinación interadministrativa, debemos poner en relieve el sistema competencial español, en la que el sistema de salud y el educativo están transferidos a las Comunidades Autónomas. En consecuencia, las zonas de influencia de centros de salud y centros de educación secundaria se ven afectados por las fronteras administrativas de las regiones y esto altera el gradiente de la distancia de forma artificial, introduciendo barreras a la accesibilidad. Esto, en sí mismo, puede ser objeto de un análisis más detallado para aquellos municipios que puedan encontrarse en una situación de desventaja por encontrar servicios cercanos de competencia externa que enfatizan situaciones de aislamiento. Estas situaciones, precisamente, deberían formar parte de una política territorial proactiva, ya que constituyen retos evidentes para la cohesión territorial desde un punto de vista estructural. También la toma en consideración de los centros sanitarios y educativos nos ha demostrado que generan centralidad en los municipios que albergan estas dotaciones, pero no difusión a su alrededor, teniendo áreas de influencia limitadas con la distancia. Hay correlación entre estas localizaciones y sus dinámicas poblacionales, pero actúan concentrando el potencial en el propio lugar, pero no cohesionan sus entornos cercanos.

Por último, la relación entre despoblación y accesibilidad resulta evidente. El incremento poblacional implica la multiplicación de servicios básicos en el territorio, destacando los dedicados a la educación y a la sanidad. Consideramos que la toma en consideración de estos servicios se hace indispensable en cualquier estudio sobre accesibilidad rural por varios motivos: el primero, porque son dos pilares básicos del estado del bienestar; segundo, porque su presencia está reflejando la realidad de la estructura por edades, es decir, a más centros educativos, más juventud, y a más centros sanitarios, mayor atención al paciente anciano, por lo que su consideración tiene una naturaleza integral; y en tercer lugar, estos servicios determinan una importante parte de los flujos de población en zonas rurales, aparte de los meramente laborales que quedan muy diluidos cuanto más rural sea el municipio. En consecuencia, el análisis de accesibilidad a centros urbanos, e infraestructuras sanitarias y educativas se puede considerar como un planteamiento idóneo a la hora de medir los flujos poblacionales, y la introducción de otra referencia para medir la accesibilidad no hubiera modificado sustancialmente el modelo obtenido.

## 5. Conclusiones

Los procesos de despoblación necesitan definirse desde diagnósticos territoriales que permitan revelar las consecuencias ambientales, sociales y económicas de este fenómeno. Para ello, es precisa la selección de indicadores que puedan enjuiciar el problema tanto desde un punto de vista demográfico, haciéndose esencial el curso de la variación de la población, los saldos migratorios, la densidad demográfica y el envejecimiento; como por el análisis de otras variables so-

ciales, económicas y funcionales que permitan concretar diferentes grados de despoblación. En ese sentido, la toma en consideración de la accesibilidad por parte de la Ley de despoblación en Castilla-La Mancha supone una buena noticia. La aproximación a la accesibilidad regional que plantea esta Ley en términos de tiempo y distancia a núcleos principales de población debería completarse con otros estudios de carácter local y/o comarcal que, partiendo de diagnósticos demográficos y del nivel de servicios esenciales existentes, propongan marcos de referencia territorial que contribuya a la toma de decisiones por parte de las administraciones competentes. De esa forma, se conseguiría una visión más territorializada del proceso de despoblación, identificando aquellas zonas más despobladas y con menos prestaciones; territorios, en definitiva, que deberían priorizarse a la hora del diseño de las distintas políticas sectoriales que actúan sobre el territorio y decretadas desde cualquier escala de decisión. Sólo desde la interconexión entre la política territorial general y las especificidades de accesibilidad locales y comarcales, se podrán definir escenarios más acordes con la cohesión territorial. En este sentido, y respondiendo a los objetivos concretos del presente trabajo, efectuamos una propuesta que supone un punto de partida cohesionado y práctico para abordar, de forma integral, los procesos de despoblación y su relación con la accesibilidad, ya que estimamos el tiempo de acceso a servicios que consideramos esenciales.

Este estudio deja abiertas las opciones para examinar esta línea de investigación en mayor profundidad. En primer lugar, ampliando la metodología y probando las variables utilizadas e introduciendo otras nuevas que completarían la base explicativa, sobre todo de tipo social, económico o funcional. Un ejemplo podría ser el envejecimiento, que afecta estructuralmente a las poblaciones y es característico de los espacios despoblados. Del mismo modo, la accesibilidad podría analizarse desde una perspectiva funcional, no sólo sintética, lo que permite lograr una caracterización más eficaz de la división territorial en los espacios rurales, a pesar de estar cerca de espacios económicamente dinámicos. Tampoco habría que olvidar el papel de otros factores técnicos, como la velocidad real de los tramos de vía, o la posible comparación de los resultados de accesibilidad considerando otros límites administrativos o territoriales definidos.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a D. Francisco Ruiz González, del Departamento de Tecnologías y Sistemas de Información de la Universidad de Castilla-La Mancha, la facilitación de algunos de los datos demográficos presentados en el estudio.

## Contribución de autorías

Introducción: Ángel Raúl Ruiz Pulpón.

Metodología: Héctor Samuel Martínez Sánchez-Mateos.

Resultados: Ángel Raúl Ruiz Pulpón y Héctor Samuel Martínez Sánchez-Mateos.

Discusión: Ángel Raúl Ruiz Pulpón y Héctor Samuel Martínez Sánchez-Mateos.

Conclusiones: Ángel Raúl Ruiz Pulpón y Héctor Samuel Martínez Sánchez-Mateos.

## Financiación

El presente artículo no ha recibido financiación.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Adom-Asamoah, G., Amoako, C., and Adarkwa, K. K. (2020). Gender disparities in rural accessibility and mobility in Ghana. *Case Studies on Transport Policy*, 8(1), 49–58. doi: 10.1016/j.cstp.2019.12.006
- Ahern, A., and Hine, J. (2015). Accessibility of Health Services for Aged People in Rural Ireland. *International Journal of Sustainable Transportation*, 9(5), 389–395. doi: 10.1080/15568318.2013.800926
- Bandrés, E. y Azón, V. (2021). *La despoblación de la España interior*. Madrid, España: Patronato FUNCAS.
- Barnett, S., Roderick, P., Martin, D., and Diamond, I. (2001). A multilevel analysis of the effects of rurality and social deprivation on premature limiting long term illness. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 55(1), 44–51.
- Brezzi, M., Dijkstra, L., and Ruiz, V. (2011). OECD extended regional typology: the economic performance of remote rural regions (OECD Regional Development Working Papers). *OECD Publishing*. doi: 10.1787/5kg6z83t-w7f4-en
- Camarero, L. (2020). Despoblamiento, baja densidad y brecha rural: un recorrido por una España desigual. *Panorama Social*, 31, 47-73.
- Caschili, S., De Montis, A. and Trogu, D. (2015). Accessibility and rurality indicators for regional development. *Computers, Environment and Urban Systems*, 49, 98–114. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2014.05.005
- Christiaanse, S. (2020). Rural facility decline: A longitudinal accessibility analysis questioning the focus of Dutch depopulation-policy. *Applied Geography*, 121, 102251. doi: 10.1016/j.apgeog.2020.102251
- Cloke, P. (2006). Conceptualizing rurality. En P. Cloke, T. Mardsen, and P. Mooney (Eds.), *Handbook of rural studies* (Vol. 18). London: SAGE Publications Ltd.
- Collantes, F. y Pinilla, V. (2019). *¿Lugares que no importan? La despoblación de la España rural desde 1900 hasta el presente*. Zaragoza, España: Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Comité Europeo de las Regiones (CER, 2017). Opinion of the European Committee of the regions: The EU response to the demographic challenge. *Official Journal of the European Union*, 60, 40-45.
- Consejo Económico y Social (CES, 2018). *Informe CES 1/2018*. Madrid, España: Consejo Económico y Social de España. Recuperado de <http://www.ces.es/informes>
- Consejo Económico y Social (CES, 2021). *Informe CES 02/2021. Un medio rural vivo y sostenible*. Madrid, España: Consejo Económico y Social de España. Recuperado de <http://www.ces.es/documents/10180/5250220/Inf0221.pdf>
- Curtis, C., and Scheurer, J. (2010). Planning for sustainable accessibility: Developing tools to aid discussion and decision-making. *Progress in Planning*, 74(2), 53–106. doi: 10.1016/j.progress.2010.05.001
- Dunaway, W. A. (1996). The incorporation of mountain ecosystems into the capitalist world-system. *Review (Fernand Braudel Center)*, 355–381.
- Escalona, A. I.; Díez, C. (2005). Retos y problemas de la accesibilidad a servicios en zonas despobladas: un caso en la provincia de Teruel (España). *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, [en línea], 2005, Vol. 9, 2.
- ESPON (2011): *European development opportunities for rural areas (EDORA)*. *Applied Research 2013/1/2*. Final Report, Luxembourg: ESPON.
- Farinós, J. (2008): Gobernanza territorial para el desarrollo sostenible: estado de la cuestión y agenda. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 46, 11-32
- Farrington, J., and Farrington, C. (2005). Rural accessibility, social inclusion and social justice: towards conceptualisation. *Journal of Transport Geography*, 13(1), 1–12. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2004.10.002
- FEMP (Federación Española de Municipios y Provincias) (2017). *Listado de medidas para luchar contra la despoblación en España. Documento de Acción*. Comisión de despoblación de la FEMP. Recuperado de [http://www.femp.es/sites/default/files/multimedia/documento\\_de\\_accion\\_comision\\_de\\_despoblacion\\_9-05-17.pdf](http://www.femp.es/sites/default/files/multimedia/documento_de_accion_comision_de_despoblacion_9-05-17.pdf) (21/04/2020).
- Gáková, Z., and Dijkstra, L. (2010). Does population decline lead to economic decline in EU rural regions? *European Union Regional Policy: Regional Focus*, 1.
- Geurs, K. T., and van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005
- Gobierno de Castilla-La Mancha (2021). *Ley de medidas económicas, sociales y tributarias frente a la despoblación y para el desarrollo rural de Castilla-La Mancha*. Recuperado de <https://www.castillalamancha.es/gobierno/>

- vicepresidencia/estructura/comretdem/actuaciones/ley-de-medidas-econ%C3%B3micas-sociales-y-tributarias-frente-la-despoblaci%C3%B3n-y-para-el-desarrollo-del (21/05/2021)
- Gobierno de España (2020). *El reto demográfico y la despoblación en cifras*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de <https://www.lamoncloa.gob.es/presidente/actividades/Documents/2020/280220-despoblacion-en-cifras.pdf> (01/06/2021)
  - Goerlich, F.J., Maudos, J., Mollá, S. (2021): *Distribución de la población y accesibilidad a los servicios en España*. Madrid, España: Fundación Ramón Areces.
  - Gutiérrez, E.; Moral-Benito, E.; Ramos, R. (2020). *Tendencias recientes de la población en las áreas rurales y urbanas de España*. Madrid: Banco de España, Documentos Ocasionales nº 2027.
  - Isserman, A. M. (2005). In the national interest: Defining rural and urban correctly in research and public policy. *International Regional Science Review*, 28(4), 465–499.
  - Kanuganti, S., Sarkar, A. K., Singh, A. P., and Arkatkar, S. S. (2015). Quantification of accessibility to health facilities in rural areas. *Case Studies on Transport Policy*, 3(3), 311–320. doi: 10.1016/j.cstp.2014.08.004
  - Labianca, M.; Navarro, F. (2019). Depopulation and aging in rural areas in the European Union: practices starting from the LEADER approach. *Perspectives on rural development* (3), 223-252. doi: 10.1285/i26113775n3p223
  - López-i-Gelats, F., Tàbara, J. D., and Bartolomé, J. (2009). The rural in dispute: Discourses of rurality in the Pyrenees. *Geoforum*, 40(4), 602–612.
  - Martínez Sánchez-Mateos, H. (2018). Defining rural: a functional and accessibility approach applied in Castilla-La Mancha (Spain). *Redes*, 23(3), 248–266. doi: 10.17058/redes.v23i3.12245.
  - Martínez Sánchez-Mateos, H.S.; Ruiz, A.R. (2021): Closeness is not accessibility: isolation and depopulated rural areas in the proximity of metropolitan urban areas, a case-study in inland Spain. *European Countryside* Vol 13 (2), 410-435. doi.org/10.2478/euco-2021-0025
  - Molina de la Torre, I. (2019). *La despoblación en España: Un análisis de la situación. Informe Comunidades Autónomas 2018*. Observatorio de derecho público IDP, Barcelona, 65-85.
  - Molina de la Torre, I.; Martínez, L.C. (2014). La normativa de ordenación del territorio en áreas rurales de baja densidad demográfica: una revisión desde la geografía. *Polígonos*, (26), 277-320. doi: 10.18002/pol.v0i26.1707
  - Molinero, F. (2019): El espacio rural de España: evolución, delimitación y clasificación. *Cuadernos Geográficos* 58 (3), 19-56. doi: 10.30827/cuadgeo.v58i3.8643
  - Morrissey, K., Clarke, G., Ballas, D., Hynes, S., and O'Donoghue, C. (2008). Examining access to GP services in rural Ireland using microsimulation analysis. *Area*, 40(3), 354–364. doi: 10.1111/j.1475-4762.2008.00844.x
  - Moseley, M. J. (1979). *Accessibility: the rural challenge*. London: Methuen.
  - Moyano, E. (2020). Discursos, certezas y algunos mitos sobre la despoblación rural en España. *Panorama Social*, 31, 33-45.
  - Mu, L., Chen, Y., and Zhen, C. (2020). SNAP office accessibility and its association with rurality. *Applied Geography*, 120. doi: 10.1016/j.apgeog.2020.102209
  - Murawski, L., and Church, R. L. (2009). Improving accessibility to rural health services: The maximal covering network improvement problem. *Socio-Economic Planning Sciences*, 43(2), 102–110. doi: 10.1016/j.seps.2008.02.012
  - Neumeier, S. (2016). Accessibility to Services in Rural Areas: The Example of Petrol Service Provision in Germany. *DISP*, 52(3), 32–49. doi: 10.1080/02513625.2016.1235877
  - OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). (1994). *Creating rural indicators for shaping territorial policy*. París: OECD.
  - Olivet, M.; Aloy, J.; Prat, E. y Pons, X. (2008): Oferta de servicios de salud y accesibilidad geográfica. *Medicina Clínica*, 131 (Supl 4), pp. 16-22.
  - Peacock, A., and Pemberton, S. (2019). The paradox of mobility for older people in the rural-urban fringe. *Journal of Rural Studies*, 70, 9–18. doi: 10.1016/j.jrurstud.2019.08.002
  - Pillet, F.; Cañizares, M.C.; Ruiz, A.R.; Martínez, H.; Plaza, J. y Santos, J.F. (2014): Applying the European Spatial Development Perspective in Low-density Regions: A methodology based on Mobility and Labour Market Structure. *Urban Studies*, 51(3), 577-595.
  - Pinilla, V. y Sáez, L.A. (2017). *La despoblación rural en España: génesis de un problema y políticas innovadoras*. In: informes CEDDAR. Recuperado de <http://sspa-network.eu/wp-content/uploads/Informe-CEDDAR-def-logo.pdf>

- Ranković Plazinić, B., and Jović, J. (2018). Mobility and transport potential of elderly in differently accessible rural areas. *Journal of Transport Geography*, 68, 169–180. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2018.03.016
- Reig, E.; Goerlich, F.J., Cantarino, I. (2016): *Delimitación de áreas rurales y urbanas a nivel local. Demografía, coberturas del suelo y accesibilidad*. Informes 2016. Bilbao: Fundación BBVA. Recuperado de: <https://www.bbva.es/publicaciones/delimitacion-de-areas-rurales-y-urbanas-a-nivel-local-demografia-coberturas-del-suelo-y-accesibilidad/>
- Reynaud, C., Miccoli, S. (2018): Depopulation and the Aging Population: The Relationship in Italian Municipalities. *Sustainability*, 10, 1004. doi:10.3390/su10041004.
- Rogerson, P. (2006). *Statistical methods for Geography*. SAGE Publications Ltd.
- Saéz, L.A.; Ayuda, M.I.; Pinilla, L. (2016). Pasividad autonómica y activismo local frente a la despoblación en España: el caso de Aragón analizado desde la Economía Política. *Ager Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural*, 21, 11-41. doi: 10.4422/ager.2016.04
- Shah, T. I., Milosavljevic, S., and Bath, B. (2017). Measuring geographical accessibility to rural and remote health care services: Challenges and considerations. *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*, 21, 87–96. doi: 10.1016/j.sste.2017.04.002
- Smith, N., Hirsch, D., and Davis, A. (2012). Accessibility and capability: The minimum transport needs and costs of rural households. *Journal of Transport Geography*, 21, 93–101. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2012.01.004
- Unión Europea (2011). Territorial Agenda of the European Union 2020. Towards an Inclusive, Smart and Sustainable Europe of Diverse Regions. Recuperado de [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/information/publications/communications/2011/territorial-agenda-of-the-european-union-2020](https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/communications/2011/territorial-agenda-of-the-european-union-2020) (30/10/2020).
- Unión Europea (2016): *Sparsely populated and underpopulated areas*. EPRS. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/586632/EPRS\\_BRI\(2016\)586632\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/586632/EPRS_BRI(2016)586632_EN.pdf).
- Unión Europea (2019): *Demographic trends in EU regions*. European Parliamentary Research Service. <https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/eprs-briefing-633160-demographic-trends-eu-regions-final.pdf>
- Unión Europea (2020): *Territorial Agenda 2030. A future for all places*. Informal meeting of Ministers responsible for Spatial Planning and Territorial Development and/or Territorial Cohesion. Germany. Recuperado de [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/information/publications/brochures/2021/territorial-agenda-2030-a-future-for-all-places](https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/brochures/2021/territorial-agenda-2030-a-future-for-all-places)
- Vard, T., Willems, E., Peters, R. (2005): Use of the CORINE land cover to identify the rural character of communes and regions at UE level. *Trends of some agri-environmental indicators of the European Union*. EUR 21669 EN. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Vickerman, R. (1995). Location, accessibility and regional development: the appraisal of trans-European networks. *Transport Policy*, 2(4), 225–234. doi: 10.1016/S0967-070X(95)00013-G
- Vitale Brovarone, E., and Cotella, G. (2020). Improving rural accessibility: A multilayer approach. *Sustainability*, 12(7). doi: 10.3390/su12072876
- Yeager, C. D., and Gatrell, J. D. (2014). Rural food accessibility: An analysis of travel impedance and the risk of potential grocery closures. *Applied Geography*, 53, 1–10. doi: 10.1016/j.apgeog.2014.05.018

# Factores limitantes de las prácticas de ordenación del territorio. Un análisis desde la perspectiva de los actores municipales en Paraguay

Limiting factors of land use planning practices. An analysis from the perspective of municipal stakeholders in Paraguay

MARCELO SILI<sup>1</sup>  0000-0002-8666-0661

<sup>1</sup> CONICET - ADETER Universidad Nacional del Sur, Argentina.

## Resumen

Los municipios del Paraguay han puesto en marcha en la última década diversas iniciativas de OT con el objetivo de resolver los crecientes problemas territoriales y ambientales, debido a cambios en los usos del suelo, al avance de nuevas actividades y al crecimiento urbano descontrolado. Esta investigación, que se sustentó en una exhaustiva encuesta a funcionarios y técnicos municipales en más de 100 municipios, permitió observar los tipos de prácticas de OT, y los factores que inhiben o limitan su eficacia. Los principales factores esgrimidos son la falta de presupuesto municipal, la carencia de políticas nacionales y departamentales de OT que brinden la cobertura y el apoyo a las iniciativas locales, la falta de instrumentos e información de calidad para los procesos técnicos, una importante carencia de personal técnico calificado en materia de planificación, y muchas dificultades para construir consensos a nivel local, es decir problemas de gobernanza del proceso planificador.

Palabras clave: ordenación del territorio, factores limitantes, Paraguay, municipalidad, políticas

### Fechas • Dates

Recibido: 2021.06.16  
Aceptado: 2021.01.28  
Publicado: 2022.02.15

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Marcelo Sili  
[sili.marcelo@gmail.com](mailto:sili.marcelo@gmail.com)

## Abstract

Over the last decade, Paraguay's municipalities have implemented various land-use planning initiatives aimed at resolving the growing territorial and environmental problems caused by changes in land use, the advance of new activities and uncontrolled urban growth. This research, which was based on an exhaustive survey of municipal officials and technicians in more than 100 municipalities, made it possible to observe the types of land-use planning practices and the factors that inhibit or limit their effectiveness. The main factors cited were the lack of municipal budgets, the lack of national and departmental land-use planning policies to provide coverage and support for local initiatives, the lack of quality tools and information for technical processes, a significant shortage of qualified technical personnel in land-use planning, and many difficulties in building consensus at the local level, i.e. problems of governance of the planning process.

---

Keywords: land planning, limiting factors, Paraguay, municipality, politics

---

## Resume

Au cours de la dernière décennie, les municipalités du Paraguay ont mis en œuvre diverses initiatives d'aménagement du territoire visant à résoudre les problèmes territoriaux et environnementaux causés par les changements d'utilisation du sol, l'avancée de nouvelles activités et la croissance urbaine incontrôlée. Cette recherche, basée sur une enquête exhaustive auprès des fonctionnaires et techniciens municipaux de plus de 100 municipalités, a permis d'observer les types de pratiques d'aménagement du territoire et les facteurs qui inhibent ou limitent leur efficacité. Les principaux facteurs cités sont le manque de budgets municipaux, le manque de politiques nationales et départementales d'aménagement du territoire pour soutenir les initiatives locales, le manque d'outils et d'informations de qualité pour les processus techniques, un manque important de personnel technique qualifié en matière d'aménagement du territoire, et de nombreuses difficultés à obtenir un consensus au niveau local, c'est-à-dire des problèmes de gouvernance du processus de planification.

---

Mots clés: aménagement du territoire, facteurs limitants, Paraguay, municipalite, politiques

---

## 1. Introducción

El objetivo de este trabajo radica en analizar y comprender cómo las municipalidades construyen sus prácticas de ordenación territorial (en adelante OT), e identificar los factores y las causas que limitan o inhiben estas prácticas.

Esta investigación se centra en la experiencia del Paraguay, un país donde se combinan en las últimas dos décadas, un fuerte crecimiento económico debido a las exportaciones agropecuarias, el corrimiento de las fronteras agropecuarias, y un importante proceso migratorio del campo a la ciudad, dinámicas que han acrecentado los problemas ambientales, los conflictos por el uso del suelo, la congestión y el caos urbano (Almandoz, 2006; Sili, 2018). Para revertir estas problemáticas, tanto el gobierno central como los municipios, han intentado poner en marcha procesos de OT para resolver todas estas problemáticas. Sin embargo, las evidencias muestran que más allá de los discursos y la buena voluntad, las prácticas de OT son poco eficaces y no logran los resultados esperados (Llungo Ortiz, 2018).

Frente a esta situación surgen dos grandes interrogantes: ¿Qué tipo de acciones llevan adelante los municipios para resolver los crecientes problemas territoriales y ambientales?, y ¿por qué

razón estas acciones de OT no logran los objetivos y los resultados esperados?. Para resolver estos interrogantes se llevó a cabo una investigación sustentada en un intenso trabajo de campo, con entrevistas a informantes calificados (expertos, académicos), una encuesta nacional realizada en más de 100 municipios del país, a intendentes, secretarios municipales, concejales, técnicos municipales y expertos, y finalmente una serie de talleres de análisis y discusión con expertos y funcionarios gubernamentales. La hipótesis que sustenta esta investigación es que, si bien los Municipios han evidenciado una fuerte preocupación e interés por las prácticas de OT, en la práctica estas iniciativas se inician con un fuerte impulso e interés, pero a medida que se avanza en el ciclo de proyecto, las mismas se van debilitando y abandonando o van perdiendo eficacia. La falta de recursos económicos, la ausencia de marcos legales, la ausencia de políticas de OT de nivel nacional, las bajas capacidades técnicas, y la insuficiencia de información explicarían en primera instancia este bajo nivel de efectividad o los magros resultados de las iniciativas.

Para poder validar esta hipótesis de trabajo, esta investigación se sustenta y estructura en torno al concepto de “acción territorial” (Sili, 2018; Sili, M., Ávila, C., & Sotelo, N., 2019; Zakhour, & Metzger, 2018; Soubeyran, 2007). Se entiende a la acción territorial como el conjunto de iniciativas que ponen en marcha los diferentes actores involucrados en un territorio, para organizarlo y calificarlo de acuerdo a su propio sentido del presente y del futuro, y en función del ideario de desarrollo que poseen los actores comprometidos con el mismo. En otras palabras, la acción territorial es el proceso a partir del cual, una sociedad construye su proyecto de futuro asociado a su propio ideario de desarrollo y del poder que los propios actores involucrados posean y movilicen. Específicamente, esta investigación, apela a este marco conceptual para poder analizar las acciones que los municipios llevan a cabo en torno a la OT, entendiendo a la misma como un tipo de acción territorial específica, orientada a organizar a los territorios en función de un proyecto de futuro que la sociedad define. Es a partir de este análisis que se van a identificar los factores que limitan dichas acciones, para poder así formular propuestas de fortalecimiento de las políticas y las prácticas de OT.

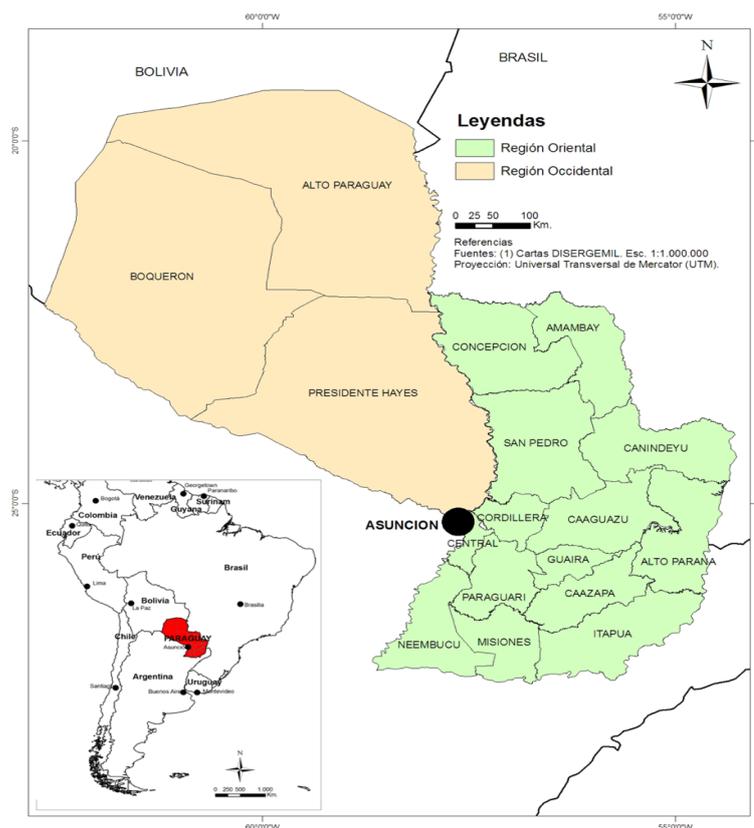
Esta investigación de carácter analítico-descriptiva no tiene antecedentes del mismo tenor en América Latina, salvo los documentos de trabajo de CEPAL que indagan sobre las debilidades de los sistemas nacionales o subnacionales de planificación en general, pero no así de políticas y prácticas de OT, temática que en el contexto de América Latina se ha desarrollado como política integral recientemente en las últimas dos décadas (Riffo, 2013).

Se presenta en primer lugar una serie de antecedentes sobre la problemática de la OT en Paraguay, en segundo lugar se explica la metodología utilizada, en tercer lugar se presentan los resultados de la investigación, para luego presentar una serie de discusiones en torno a las prácticas de OT en el país.

## 2. Antecedentes

Paraguay es un país de medianas dimensiones, con una superficie de 400.000 kms<sup>2</sup>, aproximadamente la mitad de la superficie de Bolivia y el 5% de la superficie de Brasil. Localizado en un área de transición y con una posición estratégica en el contexto de América del Sur, el país limita con Argentina y Brasil, sus grandes vecinos del sur y este, y con Bolivia hacia el este y el norte.

Figura 1: Organización político administrativa del Paraguay



Fuente: Elaboración personal

El río Paraguay divide al país en dos regiones naturales muy diferentes, con lluvias que disminuyen de este a oeste. La región Oriental hacia el este, con buenas tierras localizadas en las cuencas de los ríos Paraguay y Paraná y clima tropical/subtropical húmedo, la misma representa el 39% del territorio, pero alberga el 97% de la población y gran parte de la actividad económica, agropecuaria y administrativa del país. La región Occidental, más conocida como el Chaco alberga solo el 3% de la población, tiene suelos de menor calidad y las lluvias sólo llegan a 400-700 mm en las zonas más al oeste y noroeste por lo cual su principal actividad productiva es la ganadería y ciertas actividades agrícolas. Desde el punto de vista administrativo el territorio de Paraguay está dividido políticamente en 17 Departamentos, los cuales a su vez están divididos en 254 Municipios o municipios (ver figura 1). Los tamaños y la complejidad de los Departamentos y Municipios son muy desiguales, lo cual torna más compleja la administración territorial del país. Desde Municipios que tienen menos de 50 km<sup>2</sup>, hasta Municipios que tienen más de 20.000 kms<sup>2</sup> en el oeste, si bien esto muestra la falta de una política y lineamientos claros en materia de administración territorial, también refleja las condiciones geográficas y de poblamiento de cada uno de ellos (Sili, 2017; García Álvarez, 2003).

La planificación se instaló en el Estado paraguayo por impulso de la “Alianza para el Progreso”, iniciativa que en la década de 1960 tuvo un importante empuje en América Latina. Inspirado en Keynes, su enfoque apuntaba a la instalación de un sistema de economía mixta, con empresas estatales productoras y abastecedoras de servicios, a la espera de que el sector empresarial privado nacional, de muy incipiente desarrollo, madurara lo suficiente para asumir tales competencias. Recién en 1962 se creó la Secretaría Técnica de Planificación (STP). Varios planes fueron finan-

ciados, especialmente, por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Banco Mundial (BM), además numerosos técnicos nacionales fueron formados en cursos ofrecidos por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y por el Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social (ILPES), quienes constituyeron una élite técnica que actuó como contrapartida de los bancos multilaterales (Riffo, 2013).

Durante estas décadas, la planificación fue un proceso especialmente centrado en el desarrollo económico y social, la cuestión territorial y ambiental no fueron un objeto central de dichas iniciativas. No obstante, se debe reconocer dos grandes acciones de planificación con impacto territorial, la construcción de las dos grandes represas (Itaipú y Yacyretá) y el llamado “Plan Triángulo” de integración vial entre Asunción, Ciudad del Este y Encarnación (Vázquez, 2006). También en la década de 1970, se diseñó –aunque no se aplicó– una propuesta de regionalización, basada en la capacidad productiva y en el uso potencial de los suelos, que consistió en aplicar al territorio una malla cuadrangular, basada en un enfoque productivo, con fuerte sesgo en el desarrollo económico. Uno de los objetivos de la iniciativa fue aplicar un impuesto progresivo a la tierra para obligar a los propietarios a explotarlas y reducir así el stock de tierras ociosas; sin embargo, la fuerte presión de los terratenientes impidió la aplicación de la política. En este largo período no existieron otras iniciativas políticas estructurales de planificación territorial y ambiental que permitieran organizar el territorio.

Actualmente los problemas territoriales en Paraguay persisten o se agravan. Así, la demanda de nuevas tierras para la producción de bienes primarios, la creación de nuevos ejes de comunicación y nuevas ciudades en zonas de bordes y fronteras, la dinámica de los cultivos ilícitos que afecta el norte del país, en zonas fronterizas con Brasil, el creciente comercio internacional con Brasil y Argentina y los crecientes desequilibrios y la congestión de Asunción, han generado nuevos interrogantes y nuevas preocupaciones de orden territorial.

En este contexto, la OT aparece en Paraguay como una estrategia geopolítica, necesaria para resolver los crecientes problemas de orden social, ambiental y económico (Subra, P., 2008; Rodríguez Martínez, F., & Sánchez Escolano, L., 2010). Así, en líneas generales, a partir de fines del siglo XX, y muy especialmente a partir del año 2010 en adelante, se pueden observar en el país las siguientes situaciones, según los diferentes niveles políticos administrativos.

A nivel nacional. Se crearon diferentes planes con enfoques sectoriales: salud, educación, reducción de la pobreza, de apoyo al pequeño productor rural, de protección del medio ambiente, de turismo, construcción de caminos rurales, entre varios más. En todas estas iniciativas la dimensión territorial aparecía como una consecuencia de los demás procesos de planificación, sin existir una política específica de OT, hasta que, en el año 2012, se diseñó el Plan Marco de Desarrollo y Ordenación del territorio (PMDyOT), primera iniciativa específica de planificación territorial, llevada a cabo por la Secretaría Técnica de Planificación (STP). No obstante, la misma no se tradujo en un marco legal ni en instrumentos específicos que permitieran su ejecución. En este nivel nacional se cuenta actualmente con tres organismos involucrados en las políticas de OT:

- STP (Secretaría Técnica de Planificación). Esta tiene como función elaborar las metas generales del desarrollo, por sectores y regiones; coordinar los proyectos y programas del sector Público y el Plan General del Desarrollo y los Planes por Sectores y Regiones, incluyendo los planes de OT de nivel nacional. En años recientes, la STP ha trabajado en la definición de lineamientos estratégicos de nivel nacional (Plan Nacional de Desarrollo), ha apoyado a los municipios para que cada uno de ellos pueda poner en marcha sus planes de desarrollo

municipal y, recientemente, ha secundado a los mismos también en la puesta en marcha de proyectos de OT.

- MUVH (Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat). Su función es la generación de viviendas para la población de bajos recursos y la promoción de la mejora del hábitat. Este organismo ha participado activamente en los últimos años, apoyando procesos de planificación urbana.
- MADES (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable). Tiene como función formular, coordinar y ejecutar las políticas ambientales, incluyendo entre ellos los planes de OT.

No obstante, a pesar de la existencia del PMDyOT y de estos organismos, no existe en Paraguay una Ley Nacional de Ordenación del territorio que guíe y reglamente la puesta en marcha de planes de OT, tanto para el nivel nacional, departamental y municipal. De esta manera, los municipios en Paraguay no cuentan con un marco normativo y procedimental de nivel nacional que permita guiar y orientar sus propios planes de OT.

El nivel departamental. La reforma constitucional del año 1992 significa un hito muy importante en términos de administración política, pues la nueva constitución estableció la descentralización político-administrativa del Estado, a partir de la cual los gobernadores fueron electos por la población. Así, las gobernaciones se encuentran en una posición intermedia entre el Gobierno Nacional y los Municipios, con quienes deben consensuar sus políticas e iniciativas. Las gobernaciones tienen como objeto elaborar, aprobar y ejecutar políticas, planes, programas y proyectos para el desarrollo político, económico, social, turístico y cultural del Departamento. Las gobernaciones han puesto en marcha iniciativas circunscriptas a la promoción del desarrollo económico y productivo, pero no la OT y ambiental, dado que ésta es de incumbencia más directa de los municipios. Del total de diecisiete departamentos, cinco departamentos han puesto en marcha planes de OT con diferentes niveles de evolución y complejidad.

El nivel municipal. A partir de la sanción de la Ley Orgánica Municipal del año 2010 se dota a los Municipios de autonomía política, administrativa y normativa. Los Municipios tienen por lo tanto responsabilidades sobre la ordenación de sus propios territorios. En la práctica, históricamente los Municipios más grandes y con mayores capacidades técnicas han tenido diversas iniciativas de OT (Planes maestros, planes estratégicos, directrices de carácter metropolitano, planes de transporte, entre muchas otras iniciativas). Otros más pequeños también plantearon numerosas iniciativas, tales como planes de desarrollo municipal, planes de ordenamiento ambiental, planes de fomento de las organizaciones vecinales, o de OT con un claro enfoque hacia un mejor uso del suelo (Sili, 2019). A partir del 2015 todos los municipios del Paraguay, y por mandato del gobierno central, debieron diseñar Planes de Desarrollo como condición previa para la obtención de recursos. También a partir de este período el gobierno central a través de la STP promovió, a través de incentivos fiscales, la realización de Planes de OT, orientados a definir los usos del suelo, a regular el crecimiento de los pueblos y ciudades, y a evitar procesos de degradación ambiental. No obstante, como se planteó en la hipótesis de trabajo, estas iniciativas de OT no tuvieron los resultados esperados, los problemas de índole territorial persisten, o aún más, se agravan.

### 3. Datos y metodología

Para el análisis y validación de la hipótesis de trabajo se llevó adelante una investigación en tres etapas, siguiendo la experiencia internacional de evaluación planteada por diversos autores (Ga-

rrido Clavero, 2020; Cumming, 2015; Shipley, Feick, Hall & Earley, 2004) y por la metodología planteada por Villagómez, Cuesta, Sili y Vieyra (2020).

En un primer momento y bajo un enfoque cualitativo se realizaron más de 15 entrevistas a actores claves vinculados a políticas y prácticas de OT. Estas entrevistas permitieron consolidar la hipótesis de trabajo, discriminando además las grandes variables de análisis.

En un segundo momento, ya definida la hipótesis de trabajo y las variables de análisis, se realizaron 106 encuestas en todo el país de manera de recabar información sobre:

- Los principales problemas en materia de infraestructuras y equipamientos en los Municipios de Paraguay, que permiten caracterizar su situación.
- Los principales problemas en materia de organización territorial por categorías de Municipios, lo cual permite realizar una caracterización general de dichos problemas
- La percepción de los funcionarios públicos sobre la importancia de la OT
- Las acciones realizadas en materia de OT por parte de los Municipios
- Los factores claves que limitan la implementación efectiva de políticas y prácticas de planificación y OT.

El formulario de encuesta se presenta en el anexo 1.

Todas las encuestas fueron realizadas en noviembre y diciembre del año 2020, el 30% de ellas se realizó utilizando la plataforma web survey monkey, especialmente en los municipios más lejanos de Asunción, el 70% restante se realizó en forma presencial, con un recorrido por los municipios distribuidos en todo el país. Las encuestas fueron realizadas en los siguientes Departamentos:

Tabla 1: Distribución de encuestas por Departamentos

Departamento	Cantidad de encuestas	% sobre total
Alto Paraguay	1	0.94
Alto Paraná	2	1.89
Amambay	1	0.94
Boquerón	2	1.89
Caaguazú	7	6.60
Caazapá	5	4.72
Canindeyú	3	2.83
Central	24	22.64
Concepción	6	5.66
Cordillera	7	6.60
Guairá	9	8.49
Itapúa	9	8.49
Misiones	6	5.66
Ñeembucú	6	5.66
Paraguarí	10	9.43
Presidente Hayes	4	3.77
San Pedro	4	3.77
TOTAL	106	100 %

Fuente: Elaboración personal en base a datos de encuesta de campo

Los encuestados fueron elegidos teniendo en cuenta su relación con las iniciativas de OT, es decir, que se priorizó siempre encuestar a personas vinculadas con este tipo de iniciativas. El universo de los encuestados presenta las siguientes características:

- Desde el punto de vista poblacional, del total de Municipios encuestados, el 31% tiene menos de 10.000 habitantes, son esencialmente Municipios rurales; el 20% tiene entre 10.000 y 20.000 habitantes, el 22% tiene entre 20.000 y 50.000 habitantes, es decir, que el 73% de los Municipios encuestados tiene menos de 50.000 habitantes. 13% de los Municipios tiene entre 50.000 y 100.000 habitantes y el resto, 19% tiene más de 100.000 habitantes.
- Según género, el 30% son mujeres y el 70% restante son varones.
- Según edad, el 48% de los encuestados tenía entre 31 y 45 años, el 34% tenía entre 46 y 60 años. Un 16% de los encuestados tenía menos de 30 años.
- Según perfil de actividades, el 30% de los encuestados es secretario general de la municipalidad, el 27% concejal, el 13% técnico, el 12% administrativo y el 11% intendente.
- Según nivel de estudios, el 71% tiene nivel universitario completo, el 20% un terciario completo y sólo el 8% tiene secundario completo. Los administrativos y los secretarios son los que mayor nivel de formación universitaria completa tienen. Los intendentes son por otro lado los que tienen menor nivel de formación formal entre todos los otros encuestados.

Una vez incorporadas todas las encuestas en una base de datos, las mismas fueron procesadas utilizando para ello el software SPSS. Se realizó un análisis estadístico descriptivo, a partir del cual se pudieron definir porcentajes de ocurrencia. En algunos casos que se detallan posteriormente, el análisis incluyó la obtención del promedio ponderado de cada variable.

En un tercer momento, y desde enero a mayo del año 2021, se realizaron cinco talleres de trabajo con expertos, académicos y funcionarios públicos vinculados a las políticas de OT en el país. A partir de estos cinco talleres se analizaron y discutieron los resultados obtenidos y los factores que limitan los procesos de OT, lo cual permitió enriquecer la discusión de los resultados obtenidos en las encuestas y en el análisis cuantitativo.

## 4. Resultados

### 4.1. Problemáticas territoriales y prácticas del OT en los Municipios de Paraguay

Las encuestas realizadas permitieron revelar información clave sobre cuales son los principales problemas de carácter territorial, dado que estos son los que movilizan directamente la realización de planes de OT. La situación de estos problemas territoriales se demuestra muy compleja y variada según la cantidad de habitantes de los Municipios. La tabla 5 presenta los principales tres problemas definidos por los encuestados.

Tabla 2: Principales tres problemas de orden territorial en los Municipios de Paraguay (sobre una variable multirespuesta)

Problemas de orden territorial	Porcentaje (por municipio)
Falta de ordenamiento y titulación de tierras productivas	47%
Degradación del ambiente por presencia de basureros y vertederos a cielo abierto	46%

Problemas de orden territorial	Porcentaje (por municipio)
Crecimiento descontrolado de la planta urbana y de loteos formales e informales	45%
Degradación ambiental por la falta de planificación del uso del suelo agrícola y la regulación de la deforestación	43%
Contaminación por efluentes cloacales	35%
Pérdida de la calidad del patrimonio histórico y del paisaje urbano y rural	27%
Fuerte congestión de las zonas de rutas, accesos y principales calles comerciales	25%
Conflictos de uso del suelo por la presencia de actividades que no son compatibles entre sí (por ejemplo industrias contaminantes al lado de viviendas, etc.)	21%

Nota metodológica. La frecuencia indica la cantidad de Municipios que respondieron a la categoría en cuestión.

Fuente: Elaboración personal en base a datos de encuesta de campo

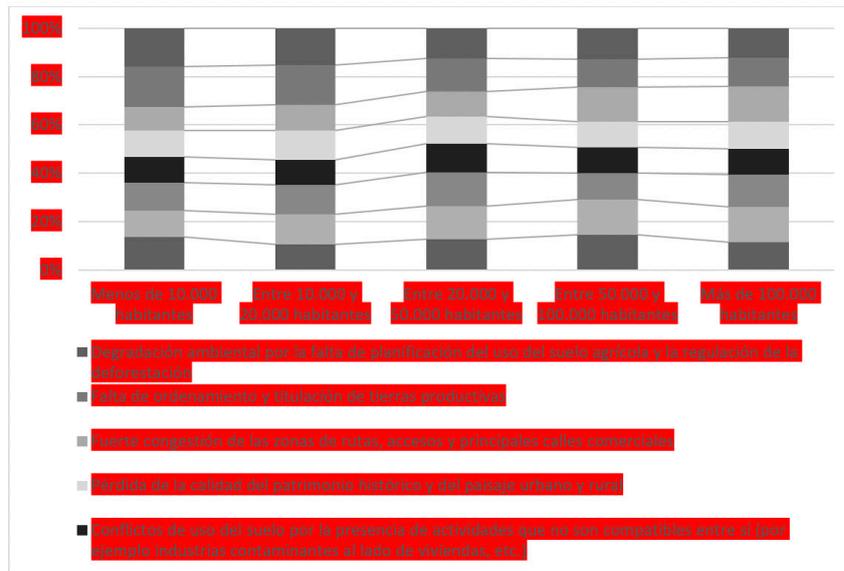
Los datos permitieron también observar todo el universo de problemas (más allá de los tres principales analizados anteriormente), y cruzar estos datos según el tamaño del Distrito, esto permite observar lo siguiente (figura 2).

- En los Municipios de hasta 20.000 habitantes el principal problema definido es la falta de ordenamiento y titulación de tierras productivas. Esto es coherente con las características geográficas del Distrito, pues se trata de los más pequeños y más rurales, dependiente casi exclusivamente de la actividad agropecuaria.
- En los Municipios que cuentan entre 20.000 y 50.000 habitantes, los problemas se diversifican, pero ahora aparecen problemas típicos de zonas urbanas en crecimiento, como el crecimiento descontrolado de la planta urbana y la aparición de loteos formales e informales sin control. También aparecen problemas de contaminación por efluentes cloacales y la degradación del ambiente por presencia de basureros y vertederos a cielo abierto. Estamos frente a Municipios en crecimiento, que no tienen capacidad para planificar y administrar dicho crecimiento.
- Los Municipios más grandes, aquellos que tienen más de 50.000 habitantes tienen claramente problemas más “urbanos” como son la degradación ambiental por basureros y vertederos a cielo abierto, la contaminación por efluentes cloacales, la fuerte congestión de zonas de rutas, accesos y principales calles comerciales y claramente el crecimiento descontrolado de la planta urbana y de loteos formales e informales.

En síntesis, en los Municipios de menor población son importantes los problemas que aquejan las tierras agrícolas, en tanto a medida que los Municipios tienen más población, empiezan a emerger problemas netamente urbanos vinculado a la calidad del ambiente y el uso del suelo, ambas problemáticas que no siempre pueden ser resueltas.

Estos problemas y las posibles soluciones no pasan inadvertidas para los actores locales responsables de los municipios. Así, el 85% de los encuestados aseguró que, tener y ejecutar adecuadamente un plan de OT es imprescindible para resolver problemas territoriales que pueden afectar el funcionamiento del Distrito en el futuro, es decir la gran mayoría no duda en considerar a las políticas y prácticas de OT como el instrumento más adecuado para resolver los problemas territoriales y garantizar el desarrollo futuro. Sólo el 15% restante opina que los problemas de carácter territorial pueden resolverse sin un adecuado proceso de OT.

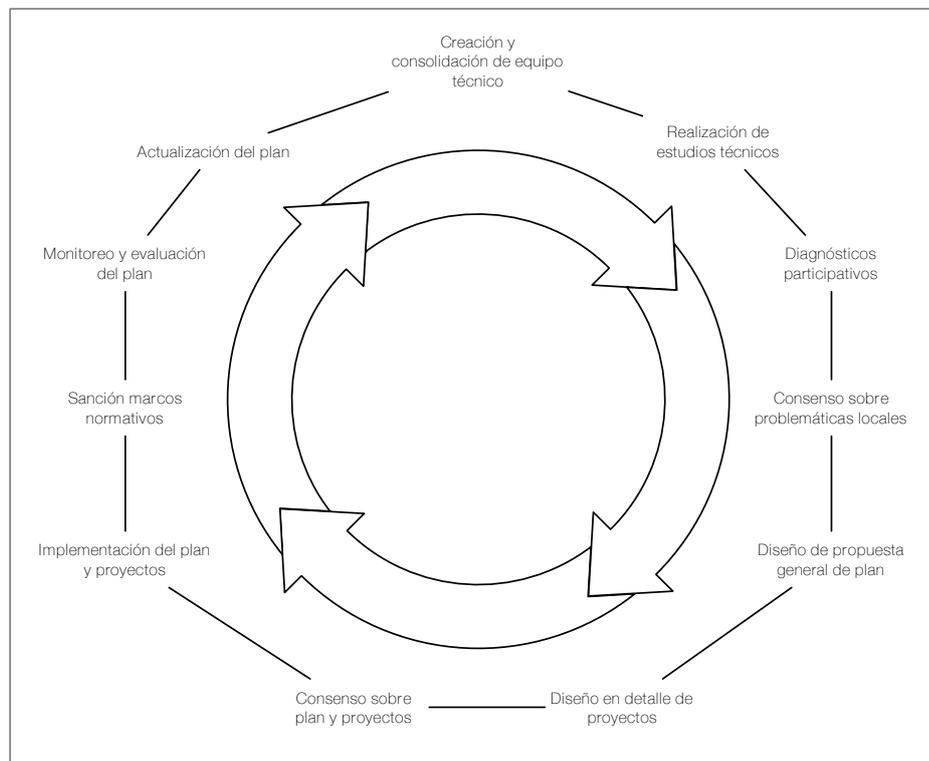
Figura 2: Problemas territoriales por categoría de Municipios



Fuente: Elaboración personal en base a datos de encuesta de campo

No obstante, esta preocupación por parte de los actores locales no se traduce claramente en iniciativas sostenibles de OT, al contrario, las iniciativas que ponen en marcha los Municipios son muy limitadas y generalmente no se ejecutan completamente. Así, las encuestas arrojaron información sobre el nivel de cumplimiento y realización de actividades dentro de una secuencia o ciclo de proyectos de OT de 11 etapas o actividades, tal como lo muestra la figura 3.

Figura 3: Actividades en el ciclo de proyectos de OT



Fuente: Elaboración personal

De acuerdo a los datos de la tabla 3, son muy pocos los municipios que completan esta secuencia de actividades o ciclo de proyectos de 11 actividades. En general el 31% de los Municipios no han realizado ningún tipo de actividades de planificación y OT. Podemos considerar que este es un valor muy alto en relación a los problemas que tienen los Municipios. Un 26% ha realizado solo una actividad, generalmente el bosquejo de planificación y algún diagnóstico muy básico, y esto es muy evidente en los Municipios más pequeños de menos de 10.000 habitantes. Por otro lado, sólo un poco más del 3% de los Municipios encuestados han realizado más de 9 actividades de planificación y OT. Claramente estos datos ponen en evidencia la muy baja realización de prácticas de planificación y OT en Paraguay, con una clara tendencia al debilitamiento del proceso de OT, es decir, todos los Municipios comienzan con la creación de un equipo técnico, van realizando estudios e incorporando la opinión de los actores locales, pero a medida que se evoluciona en el proceso de planificación, los Municipios van abandonando dichas actividades y los planes van quedando rezagados u olvidados.

Tabla 3: Cantidad de actividades realizadas dentro de los procesos de OT por categoría de Municipios

Cantidad de actividades	Menos de 10.000 habitantes	Entre 10.000 y 20.000 habitantes	Entre 20.000 y 50.000 habitantes	Entre 50.000 y 100.000 habitantes	Más de 100.000	Total	% sobre total Municipios
Ninguna	12	7	7	4	3	33	31,43
1	9	5	5	5	4	28	26,67
2	3	2	1	0	0	6	5,71
3	2	3	2	1	5	13	12,38
4	0	1	3	1	2	7	6,67
5	1	2	1	1	0	5	4,76
6	1	0	0	0	3	4	3,81
7	1	0	1	1	0	3	2,86
8	1	0	1	0	0	2	1,90
9	1	0	0	0	0	1	0,95
10	0	0	1	0	0	1	0,95
11	0	0	0	0	2	2	1,90
Promedio	1,81	1,60	2,50	1,85	3,53	2,23	

Nota metodológica. Los valores indican la cantidad de Municipios que realizaron cada una de dichas actividades.

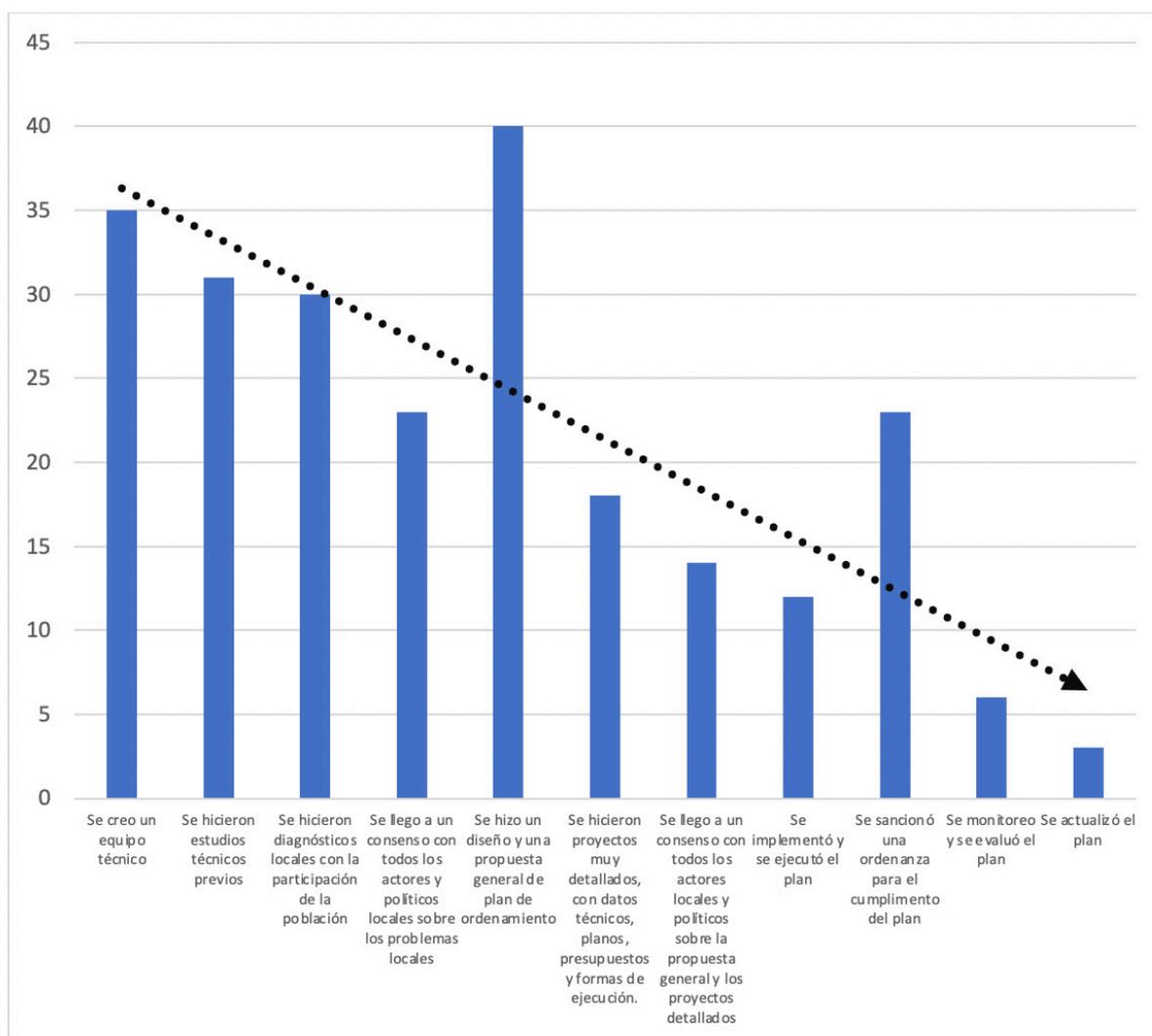
Fuente: Elaboración personal en base a datos de encuesta de campo

Esto puede corroborarse también con la información presentada en la figura 4, la cual muestra la cantidad de municipios que elaboraron cada una de las actividades previstas en el ciclo de proyectos de OT. Como se observa, el ciclo de proyectos se va debilitando, desde la creación de los equipos técnicos hasta el monitoreo y la actualización del plan que es una actividad que muy pocos municipios realizan. Sin embargo, a pesar de esta tendencia general, hay dos elementos que sobresalen. En primer lugar aparecen muchos municipios que realizan un diseño o propuesta general de plan de ordenamiento, es decir, se bosquejaron lineamientos generales de cómo podría organizarse y funcionar el territorio. Esto no quiere decir que este diseño se haya traducido en un marco legal, o que haya sido acompañado de un fundamento técnico claro, se trata muchas veces de iniciativas de líderes políticos locales que plantean una propuesta de carácter político, acompañada generalmente con un bosquejo elaborado por una oficina técnica o un estudio o consultora. En segundo lugar, la sanción de una ordenanza para el cumplimiento del plan aparece en muchos

municipios, pero esto no quiere decir que los municipios hayan puesto en marcha planes integrales de OT, sino que ya existen ordenanzas previas para regular el uso del suelo, o en otros casos se trata de crear algún tipo de ordenanza para resolver problemas de conflictos, y que generalmente tienen muy poco valor o coherencia programática con una estrategia de OT.

Todo esto evidencia nuevamente la necesidad de fortalecer las políticas estructurales del país en materia de OT para que esta se transforme en una práctica obligatoria y estandarizada en todos los Municipios

Figura 4: Cantidad de actividades realizadas en cada etapa del ciclo de proyectos de OT



Fuente: Elaboración personal en base a datos de encuesta de campo

Los factores claves que limitan las prácticas de OT en los Municipios de Paraguay

Frente a esta debilidad en la puesta en marcha de procesos de OT, se indagó sobre los factores que limitan la puesta en marcha de procesos de planificación. La tabla 4 presenta el conjunto de variables o factores limitantes con su respectivo promedio ponderado.

Tabla 4: Factores claves que afectan la puesta en marcha de planes de OT

Factores claves	Promedio ponderado
Falta de recursos económicos para llevar adelante proyectos de planificación	3,21
Falta de apoyo de la Gobernación y el Gobierno Central, y más coordinación de las acciones	3,11
Falta de personal bien calificado en estos temas	3,08
Carencia de políticas de planificación territorial por parte del Gobierno Central y las gobernaciones	2,95
Ausencia de leyes de planificación y OT	2,87
Carencia de oficinas de planificación territorial	2,79
Dificultad para generar consenso político entre el Municipio, el Consejo, la población, los empresarios y las organizaciones sociales sobre el futuro del Distrito	2,76
Carencia de información detallada sobre el uso del suelo, actividades y población	2,75

Nota metodológica. El promedio ponderado indica la importancia de las alternativas para solucionar los problemas de OT. Es el resumen de ocho alternativas identificadas y el recorrido de la variable va de 1 (nada necesaria) a 4 (muy necesaria).

Fuente: Elaboración personal en base a datos de encuesta de campo

Estos factores hay que considerarlos en función del tamaño de los Municipios (tabla 5). Excepcionalmente las necesidades económicas, que fueron planteadas en primer lugar por todos los Municipios, aparecen elementos muy diferentes según el tamaño de los mismos.

- Para los Municipios de menos de 10.000 habitantes, el elemento más importante es la falta de apoyo de los gobiernos central y departamentales; en segundo lugar la ausencia de leyes de planificación que den un marco legal a las acciones de planificación, y en tercer lugar la dificultad que existe a nivel local para generar un mayor consenso sobre los problemas territoriales y de planificación en general.
- Para los municipios que tienen entre 10.000 y 20.000 habitantes, el principal factor que limita los procesos de OT es la falta de apoyo por parte del gobierno central y departamental, y también la carencia de políticas nacionales que den un paraguas institucional a estas problemáticas. Le sigue además la ausencia de marcos legales y normativos vinculados a la planificación. En definitiva, se trata de problemas de orden institucional y de gobernanza.
- En los Municipios que tienen entre 20.000 y 50.000 habitantes se observa la misma situación, con pequeñas variaciones, aunque se observa un aumento de importancia de la dificultad de construir mayor consenso entre los actores locales y de contar con marcos normativos sólidos a nivel nacional.
- Los Municipios que tienen entre 50.000 y 100.000 habitantes mantienen el mismo patrón que los anteriores, pero crece la importancia asignada a la ausencia de apoyo de la gobernación y el gobierno central para llevar adelante procesos de OT.
- Por último, en los Municipios de más de 100.000 habitantes, la problemática o limitante más importante es la ausencia de políticas de planificación territorial de nivel nacional que le den sustento y marco de referencia a las acciones locales. Esta limitante se plantea más importante aún que la necesidad de contar con recursos económicos.

En síntesis, los Municipios de menor población plantan como mayores limitantes la falta de recursos económicos para poder llevar adelante planes de OT. En tanto los Municipios más grandes (que normalmente tienen más recursos), plantean como mayor limitante la ausencia de políticas más claras por parte del gobierno central, y de mejores instrumentos y herramientas para implementar sus planes de OT.

Tabla 5: Factores claves del OT según tipo de Municipios

Factor	Menos de 10.000 habitantes	Entre 10.000 y 20.000 habitantes	Entre 20.000 y 50.000 habitantes	Entre 50.000 y 100.000 habitantes	Más de 100.000 habitantes	Total
Falta de recursos económicos para llevar adelante proyectos de planificación	3,13	2,9	3,55	3,38	3,21	3,22
Falta de apoyo de la Gobernación y el Gobierno Central, y más coordinación de las acciones	2,87	2,9	3,38	3,31	3,32	3,12
Falta de personal bien calificado en estos temas	2,94	2,85	3,41	3,23	3,16	3,1
Carencia de políticas de planificación territorial por parte del Gobierno Central y las gobernaciones	2,65	2,65	3,23	3,38	3,21	2,96
Ausencia de leyes de planificación y OT	2,74	2,75	3,09	2,69	3,05	2,87
Carencia de oficinas de planificación territorial	2,68	2,7	3,14	3	2,58	2,8
Dificultad para generar consenso político entre el Municipio, el Consejo, la población, los empresarios y las organizaciones sociales sobre el futuro del Distrito	2,71	2,6	3,09	2,62	2,74	2,76
Carencia de información detallada sobre el uso del suelo, actividades y población	2,71	2,55	3,33	2,62	2,53	2,76

Nota metodológica. El promedio ponderado indica la importancia de las alternativas para solucionar los problemas de OT. Es el resumen de ocho alternativas identificadas y el recorrido de la variable va de 1 (nada necesaria) a 4 (muy necesaria).

Fuente: Elaboración personal en base a datos de encuesta de campo

## 5. Discusión

El análisis de la información relevada permite observar los diferentes tipos de problemáticas que tienen los Municipios del Paraguay en materia de organización territorial. Estos problemas han sido observados por múltiples organismos nacionales e internacionales vinculados a la cooperación para el desarrollo, y han sido difundidos en diversos documentos, en especial en el “Plan Marco Nacional de Desarrollo y Ordenación del territorio” (Investigación para el Desarrollo, 2011), en los trabajos de diagnóstico realizados por la OECD (2018a y 2018b), y el diagnóstico territorial realizado por la Secretaría Técnica de Planificación del gobierno de Paraguay (2017).

Frente a todos estos problemas territoriales, existe un discurso y una opinión compartida sobre la necesidad de poner en marcha procesos de OT de manera de resolver los mismos. Es decir, se piensa a la OT como una estrategia racional para resolver los problemas identificados (Sili, 2019, González Mejía, 2020). Esta narrativa y este discurso a favor de la OT se traduce en cierta forma en la emergencia de numerosas iniciativas de OT, especialmente a nivel municipal.

No obstante, estas iniciativas tienen grandes limitaciones para poder ejecutarse con eficacia y resolver los problemas territoriales: falta de presupuesto municipal; carencia de políticas nacionales y departamentales de OT que brinden la cobertura y el apoyo a las iniciativas locales; falta de instrumentos e información de calidad para los procesos técnicos; falta de recursos humanos capacitados en materia de OT; muchas dificultades para construir consensos a nivel local. Todas estas problemáticas no son exclusivas del Paraguay, diversos autores y más especialmente la CEPAL han identificado problemáticas similares en el resto de los países de América Latina, continente

donde las iniciativas de OT recién están comenzando a cobrar importancia en las últimas décadas (Peres & Chiquito, 2012; Carrión, Vieyra, Arenas & Alvarado, 2020).

Más allá de estos factores analizados y evidenciados a través de esta investigación cuantitativa, los talleres realizados en una tercera etapa, permitieron complementar el análisis y la discusión sobre otros elementos que están en la raíz de estas limitantes a los procesos de OT en Paraguay. Es decir, se indagó en las causas que subyacen a las limitantes y problemas evidenciados y cuantificados, las cuales pueden considerarse a su vez en nuevas hipótesis de trabajo hacia el futuro.

Un primer elemento, es la preeminencia, en Paraguay, pero también en gran parte de los países de América Latina (Rocco, 2019), de una visión muy limitada o reduccionista del rol de la OT, especialmente a nivel nacional y departamental. Los actores políticos, visualizan a la OT como un proceso de muy largo plazo, y por lo tanto incapaz de resolver los acuciantes problemas en el corto plazo (pobreza, falta de infraestructuras, deterioro ambiental), que deben ser resueltos para asegurar la gobernabilidad (Aroca & Atienza, 2016). La consecuencia es que la OT no es priorizada como una política estratégica a nivel nacional o departamental, lo cual se traduce, en la falta de presupuestos y recursos para estas iniciativas, o bien en la inexistencia de planes y programas estructurales, o bien en su debilidad y bajo impacto. Esto explicaría en gran parte las problemáticas o grandes limitantes que existen para el OT en los Municipios del Paraguay.

El segundo elemento es de orden normativo. Al no existir un marco legal de nivel nacional sobre la OT, y al no quedar lo suficientemente claro cuales son las incumbencias en materia de OT de los Ministerios de nivel nacional, ni de las Gobernaciones, estas iniciativas se trasladan siempre al nivel municipal. Los municipios son los únicos que tienen una normativa explícita y detallada en torno a la OT (Ley Orgánica Municipal), es decir cuentan con la legitimidad para poner en marcha procesos de OT, aunque no cuenten para ello con los suficientes recursos, apoyos institucionales, e instrumentos necesarios.

Un tercer elemento que subyace a la problemática de análisis, es que todavía existe una concepción tecnocrática y por ende una baja participación en los procesos de OT. Existe en general en los Municipios (y a nivel nacional y departamental), una necesidad de avanzar rápidamente con los procesos de planificación, para generar así una imagen de racionalidad y ordenamiento en la gestión pública (Korah, Cobbinah & Nunbogu, 2017). Esta urgencia en planificar, ha llevado a que muchas iniciativas de OT se realicen directamente a través de una consultora o una universidad, sin la participación de la sociedad civil, evitando al máximo los conflictos locales, o en algunos casos con una participación controlada que tiene como objetivo validar lo que el gobierno o una consultora ha diseñado (Primmer, 2017). Esto transforma al plan en un documento técnico con poca validación y contenido social (Miguel, 2010), que no llegan a pasar a la fase de implementación. Esta situación ha sido puesta en evidencia en esta investigación a través del debilitamiento del proceso de planificación a través del tiempo.

Un cuarto elemento, que atenta contra la mejora de los procesos de OT es la baja capacidad de aprendizaje institucional. No existe una sistematización de experiencias sobre como llevar adelante procesos más efectivos de planificación (Groves, 2019), por lo tanto, no hay oportunidades de aprendizaje en torno a las experiencias en marcha. Esta situación no sólo involucra a los diferentes niveles de gobierno (Nación, Departamentos y Municipios), sino también a la cooperación internacional. Las diversas Agencias de cooperación que participan de procesos de OT en Paraguay (cooperación alemana, cooperación japonesa, cooperación española, etc.) aportan sus metodologías, enfoques e instrumentos, pero no se coordinan suficientemente con los planes o

estrategias nacionales, por lo cual no permiten construir un aprendizaje compartido, ni acumular conocimientos que sirvan para sostener y madurar nuevas prácticas. Esta situación ha sido puesta en evidencia en esta investigación, pues se observa que hay muy pocos casos de evaluación y monitoreo de los procesos de planificación (Lavalle, 2012).

## 6. Conclusiones

La planificación en Paraguay estuvo históricamente mucho más orientada al desarrollo económico o a políticas de reducción de la pobreza. Sólo se han verificado en las décadas de los 70 y 80 algunos intentos puntuales de planificación territorial a través de la creación de grandes iniciativas de infraestructuras, y de la consolidación de ciudades medianas, como factor de equilibrio territorial. La OT como propuesta política y técnica más estructurada e institucionalizada aparece en forma tardía en las últimas dos décadas, con poca fuerza y sostenibilidad, a pesar de los grandes esfuerzos que han realizado numerosos organismos de cooperación internacional y el mismo Gobierno.

Este trabajo ha puesto en evidencia como la debilidad político institucional afecta la puesta en marcha de estas iniciativas. Esta debilidad se traduce en la falta de recursos económicos, de marcos normativos, de recursos humanos capacitados y de instrumentos adecuados, y principalmente de una falta de estrategia y política nacional coherente e integrada de OT.

Teniendo en cuenta estos hallazgos, y desde una perspectiva de la acción territorial, esta investigación nos plantea un nuevo interrogante o desafío en torno a la OT en Municipios de Paraguay, y también para otros países de América Latina que comparten las mismas problemáticas. Este desafío consiste en identificar y analizar cuáles son los elementos o los factores que aseguran una mayor eficacia en los procesos de OT en los Municipios de Paraguay. Entender estos factores permitirá definir mejores políticas y prácticas de OT a nivel municipal, contribuyendo a resolver los históricos problemas territoriales del país, y también de otros Municipios de América Latina que atraviesan situaciones similares.

## Agradecimientos

Se desea agradecer al personal técnico y administrativo del centro Investigación para el Desarrollo de Paraguay por la realización de tareas de campo y la gestión administrativa del proyecto.

## Contribución de autorías

El autor es responsable de los aportes realizados en esta publicación.

## Financiación

Esta publicación ha sido realizada en el marco del Proyecto PINV18-1593 “Problemáticas, evidencias y propuestas para un nuevo modelo de ordenamiento territorial ambientalmente sustentable (OTAS) en Paraguay”, cofinanciado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología – CONACYT con recursos del FEEL.

## Conflicto de intereses

El autor de este trabajo declara que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Almandoz, A. (2006). Urban planning and historiography in Latin America. *Progress in Planning*, 65(2), 81–123. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2006.02.002>
- Aroca, P., & Atienza, M. (2016). Spatial concentration in Latin America and the role of institutions. *Investigaciones Regionales*, 2016 (36 Special issue), 233–253.
- Carrión, A., Vieyra, A., Arenas, F., & Alvarado, V. (2020). Políticas y prácticas de ordenación del territorio en América Latina. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2020 (77), 5–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022020000300005>
- Cumming, A. (2015). Capacidades de planificación del desarrollo territorial: un marco teórico–conceptual. *ECA*, v. 70 No.743 (Uca Editores), 441–445.
- García Álvarez, J. (2003). El estudio geohistórico de las divisiones territoriales subestatales en Europa y América Latina. Actualidad y renovación. *Investigaciones Geográficas*, 31(31), 67. <https://doi.org/10.14198/ingeo2003.31.03>
- Garrido Clavero, J. (2020). Preliminary questions for the concretion of a methodological proposal in the monitoring and evaluation of territorial plans in Spain. *Investigaciones Geográficas*, 2020(73), 75–94. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.GC>
- González Mejía, H. (2020). *Ordenación del territorio en América Latina Situación actual y perspectivas*. Madrid: Programa EUROsociAL - Unión Europea.
- Groves, C. (2019). Sustainability and the future: reflections on the ethical and political significance of sustainability. *Sustainability Science*, 14(4), 915–924. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00700-0>
- Korah, P. I., Cobbinah, P. B., & Nunbogu, A. M. (2017). Spatial planning in Ghana: Exploring the contradictions. *Planning Practice and Research*, 32(4), 361–384. <https://doi.org/10.1080/02697459.2017.1378977>
- Lavalle, J. L. (2012). *Pensamiento y práctica de la planificación en América Latina*. Santiago de Chile: CEPAL-ILPES.
- Llungo Ortiz, J. (2018). Desigualdades y políticas regionales en América Latina: una visión actual. *Investigaciones Regionales*, 41(41), 11–51.
- Miguel, F. M. (2010). La participación ciudadana en la ordenación del territorio: Posibilidades y limitaciones. *Cuadernos Geográficos*, 5462(47), 47–71. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v47i0.601>
- OECD (2018a), *Public Governance Reviews: Paraguay: Pursuing National Development through Integrated Public Governance*. OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264301856-en>
- OECD, (2018b). Estudio multidimensional de Paraguay. <https://doi.org/10.1787/9789264301924-es>
- Peres, R. B., & Chiquito, E. D. A. (2012). Ordenamento territorial, meio ambiente e desenvolvimento regional: novas questões, possíveis articulações. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, 14 (2), 71. <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2012v14n2p71>
- Primmer, E. (2017). Institutional constraints on conservation auction: Organizational mandate, competencies and practices. *Land Use Policy*, 63, 621–631. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.011>
- Riffo, L. (2013). *50 años del ILPES: evolución de los marcos conceptuales sobre desarrollo territorial*. CEPAL, Santiago de Chile.
- Rocco, R. (2019). Introduction to Special Theme Practice Forum: Latin American Spatial Planning beyond Clichés. *Planning Practice and Research*, 34(4), 365–367. <https://doi.org/10.1080/02697459.2019.1631086>
- Rodríguez Martínez, F., & Sánchez Escolano, L. M. (2010). La planificación territorial y el sistema urbano de Andalucía. Notas para una reflexión desde la geografía. *Cuadernos Geográficos*, 47(2), 223–245.
- Secretaría Técnica de Planificación, (2017). *Diagnóstico para el ordenamiento del territorio de Paraguay*. Documento de trabajo, Secretaría Técnica de Planificación, Asunción, 105 p.
- Investigación para el Desarrollo, (2011). *Plan Marco Nacional de Desarrollo y Ordenación del territorio*, Asunción, 158 p.
- Shiple, R., Feick, R., Hall, B., & Earley, R. (2004). Evaluating municipal visioning. *Planning Practice and Research*, 19(2), 195–210. <https://doi.org/10.1080/0269745042000284412>
- Sili, M. (2017). La acción territorial. Una propuesta conceptual y metodológica para su análisis. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, 20(1), 11. <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2018v20n1p11>

- Sili, M., & Avila, C. (2018). *El lento proceso de construcción de la planificación territorial en Paraguay*. En M. Sili (Ed.), *Gobernanza territorial. Problemáticas y desafíos de la planificación y la gestión territorial en el contexto de la globalización* (pp. 131–154). Lecce: Universidad del Salento.
- Sili, M. (2019). Styles and logics of territorial action. The recent experience of the municipalities of Paraguay. *Revista de Administracao Publica*, 53(5), 917–941. <https://doi.org/10.1590/0034-761220180260x>
- Sili, M., Ávila, C., & Sotelo, N. (2019). Modelos de acción y desarrollo territorial, un ensayo de clasificación en el Paraguay. *Cuadernos Geográficos*, 58(1), 205–228. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i1.6546>
- Soubeyran Olivier, (2007) Pensée aménagiste et tautologies. En Lolive, J., *L'émergence des cosmopolitiques*. Paris, La Découverte, p. 125-153. DOI : 10.3917/dec.loliv.2007.01.0125. URL : <https://www.cairn.info/l-emergence-des-cosmopolitiques--9782707152008-page-125.htm>
- Subra, P. (2008). L' aménagement , une question géopolitique ! *Hérodote*, 3(130), 222–250.
- Villagómez, M.; Cuesta, R.; Sili, M.; Vieyra, A. (2020): Metodología para el análisis de las prácticas y políticas de ordenamiento territorial en América Latina. El caso de Argentina, Ecuador, México y Paraguay. *Revista Geográfica. Instituto Panamericano de Geografía e Historia*. <http://hdl.handle.net/11336/128775>
- Zakhour, S., & Metzger, J. (2018). Placing the Action in Context: Contrasting Public-centered and Institutional Understandings of Democratic Planning Politics. *Planning Theory and Practice*, 19(3), 345–362. <https://doi.org/10.1080/14649357.2018.1479441>

## **Anexo 1: Formulario de Encuesta para identificación de factores claves que viabilizan las prácticas de ordenamiento territorial en Municipios del Paraguay**

1. Sexo: Fem – Masc

2. Edad:

- 18-30
- 30-45
- 45-60
- más de 60

3. Mayor nivel educativo alcanzado

- Primario completo
- Secundario completo
- Terciario completo
- Universitario completo
- Posgrado

4. Cargo en el cual se desempeña (marque con una cruz)

- Intendente
- Concejal
- Técnico
- Administrativo
- Otros:

5. Nombre del Municipio:

6. Población del Municipio:

- Distritos de hasta 10.000 habitantes
- Distritos entre 10.001 y 20.000 habitantes
- Distritos entre 20.001 y 50.000 habitantes
- Distritos entre 50.001 y 100.000 habitantes
- Distritos entre 100.001 y 300.000 habitantes

- Distritos de más de 300.001 habitantes

7. Ahora le vamos a mencionar diferentes problemas de infraestructuras o equipamiento ¿Podría mencionar la importancia o la gravedad que tienen estos problemas en su Municipio?

Variables	1 Nada importante	2 importante	3 Grave	4 Muy grave
Falta o deterioro de escuelas y centros educativos en el pueblo o ciudad				
Falta o deterioro de escuelas y centros educativos en las compañías				
Falta o discontinuidad en el servicio de energía eléctrica en el pueblo o ciudad				
Falta o discontinuidad en el servicio de energía eléctrica en las compañías				
Caminos rurales deteriorados o intransitables				
Falta de rutas y accesibilidad a centros urbanos más importantes				
Falta de salas o centros médicos				
Falta de espacio para cementerios				
Falta de rellenos sanitarios				

8. Ahora le vamos a mencionar diferentes problemas territoriales. ¿Podría mencionar la importancia o la gravedad que tienen estos problemas en su Municipio?

Variables	1 Nada importante	2 importante	3 Grave	4 Muy grave
Degradación del ambiente por presencia de basureros y vertederos a cielo abierto				
Contaminación por efluentes cloacales				
Crecimiento descontrolado de la planta urbana y de loteos formales e informales				
Conflictos en el uso del suelo por la presencia de actividades que no son compatibles entre sí (por ejemplo industrias contaminantes al lado de viviendas)				
Pérdida de la calidad del patrimonio y el paisaje urbano y rural				
Fuerte concentración y congestión de las zonas de rutas, accesos y principales calles comerciales				
Falta de ordenamiento y titulación de tierras productivas				
Degradación ambiental por la falta de planificación del uso del suelo agrícola y la regulación de la deforestación				

9. Ahora le vamos a mencionar algunos elementos que podrían ser necesarios en su Municipio para resolver estos problemas territoriales. ¿Podría marcar en cada uno de ellos el nivel de necesidad?

Variable	No es necesario	Se necesita	Se necesita mucho	Es fundamental
Leyes de planificación y ordenamiento territorial				
Políticas de planificación territorial claras y continuas por parte del Gobierno Nacional y Departamental				
Mejor coordinación y apoyo de la gobernación y el gobierno central				
Más consenso entre el Municipio, el consejo, la población, los empresarios y las organizaciones sociales sobre el futuro y el desarrollo del Distrito (menos conflictos e intereses contradictorios)				
Recursos económicos para llevar adelante estos proyectos				

Variable	No es necesario	Se necesita	Se necesita mucho	Es fundamental
Disponibilidad de personal bien calificado en estos temas				
Contar con una oficina de planificación territorial				
Información detallada sobre el uso del suelo, actividades y población				

10. ¿Qué importancia tiene para Ud. contar con una planificación territorial que organice y regule el uso del suelo y defina las zonas de crecimiento y loteos en su Municipio?

- Hasta ahora nos hemos arreglado bien sin tener un Plan
- Es importante pero primero hay que solucionar otros problemas locales graves
- Es imprescindible, sin un plan de ordenamiento territorial el Municipio va a tener graves problemas hacia el futuro

11. Si tiene o tuvo un plan de ordenamiento territorial, ¿podría marcar todas las actividades que se llevaron a cabo efectivamente?

Actividades realizadas	Cumplidas
Se creó un equipo técnico	
Se hicieron estudios técnicos previos	
Se hicieron diagnósticos locales con la participación de la población	
Se llegó a un consenso con todos los actores y políticos locales sobre los problemas locales	
Se hizo un diseño y una propuesta general de plan de ordenamiento	
Se hicieron proyectos muy detallados, con datos técnicos, planos, presupuestos y formas de ejecución.	
Se llegó a un consenso con todos los actores locales y políticos sobre la propuesta general y los proyectos detallados	
Se implementó y se ejecutó el plan	
Se sancionó una ordenanza para el cumplimiento del plan	
Se monitoreó y se evaluó el plan	
Se actualizó el plan	

# Beneficio del huerto familiar para la salud mental en la pandemia de COVID-19 en Jojutla, Morelos, México

## Benefit of the family garden for mental health in the COVID-19 pandemic in Jojutla, Morelos, México

JOSÉ CARMEN GARCÍA FLORES<sup>1</sup>  0000-0002-1177-084X

MARÍA DE JESÚS ORDOÑEZ DÍAZ<sup>1</sup>  0000-0001-9397-8523

<sup>1</sup>Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM, México

### Resumen

El contexto ocasionado por el coronavirus afectó la salud mental de las personas. En este sentido, las familias en Jojutla, Morelos, México experimentaron estrés, ansiedad y depresión debido al confinamiento por la emergencia sanitaria, la suspensión de actividades presenciales, la falta de convivencia social, así como el miedo por la severidad del virus SARS-CoV-2. El objetivo del presente artículo fue analizar el beneficio del huerto familiar para la salud mental en la pandemia de COVID-19. Mediante un enfoque mixto y de investigación participativa se aplicaron cuestionarios, entrevistas, recorridos sistemáticos y observación participante a 30 familias con huerto familiar y 30 sin huerto familiar. Los resultados revelan que el acceso a dicho sistema socioecológico favoreció la relajación, la tranquilidad, la espiritualidad y la felicidad de las familias, por los colores, aromas, formas y sonidos de las plantas y los animales presentes en este espacio. En contraste, las familias sin huerto familiar mantuvieron los problemas que les afectaban. Se concluye que el huerto familiar benefició a la salud mental de las personas por el contacto con las especies, ya que propició un entorno idóneo que contribuyó a minimizar los trastornos mentales asociados con la pandemia.

Palabras clave: confinamiento; coronavirus; enfoque mixto; sistema socioecológico; trastornos mentales.

### Fechas • Dates

Recibido: 2021.06.17  
Aceptado: 2022.01.28  
Publicado: 2022.02.15

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

José Carmen  
García Flores  
[josec.gf@crim.unam.mx](mailto:josec.gf@crim.unam.mx)

## Abstract

The context caused by the coronavirus affected people's mental health. In this sense, the families in Jojutla, Morelos, Mexico experienced stress, anxiety, and depression due to confinement by the health emergency, the suspension of face-to-face activities, the lack of social coexistence, as well as fear by the severity of the SARS-CoV-2 virus. The aim of this article was to analyze the benefit of the family garden for mental health in the COVID-19 pandemic. Using a mixed and participatory research approach, questionnaires, interviews, systematic tours, and participant observation were applied to 30 families with a family garden and 30 without a family garden. The results reveal that access to this socioecological system favored relaxation, tranquility, spirituality, and happiness of the families, due to the colors, aromas, shapes and sounds of the plants and animals present in this space. In contrast, families without a family garden maintained the problems that affected them. It is concluded that the family garden benefited the mental health of people through contact with the species, since it provided an ideal environment that contributed to minimize the mental disorders associated with the pandemic.

---

Keywords: confinement; coronavirus; mixed approach; socioecological system; mental disorders.

---

## 1. Introducción

El objetivo del presente artículo fue analizar al Huerto Familiar (HF) en Jojutla, Morelos, México, como sistema socioecológico que benefició a la salud mental de las familias en el contexto causado por el coronavirus. En marzo de 2020, se declaró oficialmente la pandemia de COVID-19, evento que provocó la transformación de la dinámica social, económica y política a nivel mundial (OMS, 2020). Las medidas sanitarias recomendadas por los gobiernos para detener los contagios fueron: el uso de mascarilla, el lavado de manos, el distanciamiento físico, el confinamiento y la restricción de la movilidad nacional e internacional (Cénat *et al.*, 2021). Las cifras globales de infectados, al 30 de octubre de 2021, reportaron un acumulado de 246 320 004 casos y 4 993 955 muertes (JHU, 2021). Los decesos son la causa más evidente de la pandemia, no obstante, la incertidumbre por esta enfermedad ha provocado el aumento de angustia, insomnio y otros trastornos, los cuales afectan a la salud mental de los individuos (Cénat *et al.*, 2021). Aunado a lo anterior, el confinamiento incrementó problemas de ansiedad, depresión, estrés, soledad, manejo del duelo, pérdida de trabajo y discusiones familiares (Low *et al.*, 2020). La hipótesis planteada por los investigadores es que la pandemia restringió el acceso a sistemas de apoyo médico para la atención de los trastornos mentales (Cénat *et al.*, 2020; Low *et al.*, 2020).

La salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social, no solo la ausencia de enfermedades; el aspecto mental es un componente esencial, su atención médica es un derecho fundamental de todo ser humano (OMS, 2013). La salud mental permite a un individuo materializar sus capacidades, ser apto para enfrentar el estrés normal de la vida; además, está relacionada con la satisfacción de trabajar de forma productiva y de aportar al desarrollo de la comunidad (OMS, 2015). Para Martínez *et al.* (2016) es un concepto multidimensional que involucra el equilibrio emocional y mental, la felicidad subjetiva, la percepción de la propia eficacia, la habilidad de encarar adecuadamente la autonomía, la autorrealización intelectual y la convivencia armoniosa con los semejantes.

Los determinantes de la salud mental incluyen características individuales relacionadas con la capacidad para gestionar los pensamientos, emociones, comportamientos e interacciones con los demás. También factores sociales, culturales, económicos, políticos y ambientales (OMS, 2015).

Las sociedades vulnerables son diferentes en los distintos países; sin embargo, dependiendo del contexto local, los grupos con un riesgo latente son las familias pobres, las personas con comorbilidades, la población marginada, los sujetos con edad avanzada, así como aquellos expuestos a conflictos, desastres naturales u otras emergencias (OMS, 2013). Los cuales afrontan obstáculos parecidos en cuanto a su situación socioeconómica, los medios de apoyo y las condiciones de vida.

El Atlas de Salud Mental enfatizó la escasez de recursos de los países en salud mental, puesto que el gasto mundial anual es inferior a USD 2 por persona; también señaló su distribución inicua y su uso ineficiente, debido a que 67 % del dinero es asignado a hospitales psiquiátricos, pese a que se asocian a malos resultados sanitarios y violaciones de los derechos humanos (OMS, 2015). En México, se destina en promedio un 2 % del presupuesto de salud para la salud mental, esto equivale a menos de USD 1 (DGIS, 2020). Aunado a la falta de presupuesto, el número de profesionales en salud mental es insuficiente en los países en desarrollo y no cuentan con tratamientos no farmacológicos. Dichos factores son una limitante para la atención adecuada de los trastornos mentales que padecen las personas, razón por la cual es necesaria la orientación técnica y capacitación en el cuidado de la salud mental, especialmente en entornos con pobreza (OMS, 2015).

En la literatura científica existe una vasta contribución de obras que resaltan el vínculo de la naturaleza, los ecosistemas y la biodiversidad con el mejoramiento de la salud humana (Sandifer *et al.*, 2015; Van den Berg *et al.* 2015). Asimismo, se ha identificado que la falta de cobertura vegetal en zonas urbanas provoca problemas sociales y estresores en los ciudadanos (Wood *et al.*, 2017). Para Martínez *et al.* (2014), cualquier espacio en una ciudad donde predomina vegetación, espontánea o introducida artificialmente, se denomina área verde. La Organización Mundial de la Salud sugiere que en las ciudades existan 16 m<sup>2</sup> de área verde por habitante para garantizar el bienestar de las personas; sin embargo, en promedio las zonas urbanas tienen 5 m<sup>2</sup>, cifra que está por debajo de lo recomendado (Ayala *et al.*, 2019). Idealmente, las urbes deben tener 15 % de su territorio con vegetación (Wood *et al.*, 2017).

Los investigadores han demostrado que el acceso a espacios con vegetación es benéfico para los individuos, ya que reduce el estrés, la depresión, además, fomenta la convivencia social y motiva el ejercicio (Richardson *et al.*, 2013). También mejora el estado de ánimo, puesto que genera efectos positivos como activación, afecto, relajación, felicidad, placer y libertad (Sandifer *et al.*, 2015). Asimismo, las áreas verdes influyen favorablemente en la presión sanguínea, en el nivel de colesterol y en la actitud ante la vida (Klemm *et al.*, 2015). Dicho ambiente propicia individualmente el bienestar físico y mental, quienes poseen un jardín o un lugar con plantas presentan menor prevalencia de trastornos mentales, contrario a lo que sucede con aquellos que no lo tienen (Van den Berg *et al.*, 2015). Las relaciones entre las personas y su entorno promueven las capacidades humanas, fuerzas activas que facilitan la interacción colectiva, el crecimiento personal y la salud mental.

La naturaleza brinda alimentos, energía, medicamentos, recursos genéticos y toda una variedad de materiales fundamentales para el bienestar humano y la conservación de la cultura (Sandifer *et al.*, 2015). El concepto de contribuciones de la naturaleza a las personas, denominado también como servicios ecosistémicos, engloba una amplia variedad de descripciones de las interacciones entre los seres humanos y la naturaleza desde las más funcionales hasta las más relacionales, mismas que son esenciales para la existencia humana y su calidad de vida (IPBES, 2019). Las contribuciones a las personas fluyen de activos naturales que proporcionan bienes de consumo

directo o indirecto obtenidos de los ecosistemas (De Groot *et al.*, 2002); de acuerdo con Wood *et al.* (2017) a medida que aumenta la biodiversidad, ésta proporciona mayores beneficios. La Clasificación Común Internacional de Servicios Ecosistémicos propone tres categorías de servicios: 1. de provisión, son recursos finitos que se contabilizan y consumen; 2. de regulación, propician funciones naturales de los ecosistemas y regulan las condiciones del ambiente; y 3. culturales, son producto de percepciones individuales o colectivas que dependen del contexto sociocultural (Potschin *et al.*, 2016).

El huerto familiar es un complejo sistema de producción agrícola que requiere poca inversión económica, ya que es manejado por la familia (Chablé *et al.*, 2015; Bautista *et al.*, 2016; Cano *et al.*, 2016). Posee un conjunto de componentes, entre ellos, la vivienda, el área de huerto, el corredor, el cerco, la hortaliza, la zona de compostaje y el corral para cría de animales (Barrera, 1981; Guadarrama *et al.*, 2020); la cercanía a la casa asegura su protección y al mismo tiempo aligera el trabajo (García *et al.*, 2016a). Una de sus características es la riqueza de especies, puesto que suministra recursos materiales e ingresos a la familia; García *et al.* (2016b) menciona que es una estrategia de vida familiar sustentada en el cultivo de árboles, arbustos y herbáceas (Figura 1). La agrobiodiversidad provee alimentos, condimentos y plantas medicinales para el autoconsumo familiar (Cano, 2015; García-Navarro *et al.*, 2020). Los investigadores han registrado más de 25 usos diferentes de los productos como frutas, hojas, tallos, hortalizas, carne, huevo y leche (Benítez *et al.*, 2020). La multifuncionalidad del HF propicia seguridad alimentaria y aporta a la subsistencia campesina (Bautista *et al.*, 2016; Calvet-Mir *et al.*, 2016).

Figura 1. Ejemplo de un huerto familiar en Jojutla, Morelos



Fuente: García, 2020

La distribución de los componentes no es homogénea, como tampoco la superficie y la composición florística (Lope-Alzina *et al.*, 2018). Para Ordóñez *et al.* (2018) es un ejercicio de micro ordenamiento territorial a escala de parcela, ya que el dueño decide el uso del espacio. El arreglo espacial depende del tamaño del terreno, la disponibilidad de agua, el crecimiento de la familia y la salud del responsable de su cuidado (García *et al.*, 2019a). En México, de acuerdo con la región recibe nombres como ecuaro, huerto, traspatio o solar (Ordóñez *et al.*, 2018). Diversos autores lo

conceptualizan como un agroecosistema (Lope-Alzina *et al.*, 2018; Castañeda *et al.*, 2020), por lo que es un sistema intermedio, entre uno natural y otro con intervención humana (Gutiérrez *et al.*, 2015). En los últimos años, ha aumentado su estudio como sistema socioecológico que provee beneficios sociales, culturales, ambientales y económicos (Cano *et al.*, 2016; Benítez *et al.*, 2020; Avilez *et al.*, 2020). Por ejemplo, propicia la cohesión social, la conservación del patrimonio biocultural y la provisión de servicios ecosistémicos (Calvet-Mir *et al.*, 2016).

La pregunta de investigación planteada para responder al objetivo del artículo es ¿en el confinamiento por el virus del SARS-CoV-2, el HF fue un espacio terapéutico para la salud mental de las familias? Los objetivos específicos propuestos son: a) Análisis de las condiciones del territorio; b) Caracterización de los informantes, los problemas en el confinamiento y los trastornos mentales asociados a la pandemia; y c) Descripción del beneficio del HF, como área verde que generó efectos positivos a la salud mental.

## 2. Metodología

Las disciplinas de Etnoecología, Psicología Ambiental y Agroecología sustentaron el estudio, además, contribuyeron al análisis del huerto familiar desde una perspectiva socioecológica. El área estudiada se seleccionó por las características ambientales de localización, clima, suelo y vegetación; sociales relacionadas con población, marginación y rezago social; económicas de actividad productiva, pobreza y derechohabiencia; asimismo, el panorama de contagios por COVID-19. El acercamiento con las familias fue a través de un alumno de uno de los autores de este artículo y que es miembro de la comunidad; el trabajo de campo se realizó en el marco del código de ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual se aplicó para brindar integridad y honestidad académica, respeto a la diversidad cultural, étnica y personal, así como privacidad y protección de los datos. Mediante investigación participativa se recopiló información sobre sexo, edad, ocupación, nivel escolar y tamaño de la familia (Lope-Alzina *et al.*, 2018). También se indagó la experiencia de las personas en la emergencia sanitaria, su percepción acerca del entorno que habitan y las actividades que llevaron a cabo en el confinamiento (Figura 2).

Figura 2. Recopilación de información en un HF de Jojutla, Morelos



Fuente: García, 2020

El estudio se dividió en tres etapas:

**Caracterización del territorio.** Se investigaron las condiciones ambientales, sociales, económicas y la situación de la pandemia en Jojutla, Morelos, México. La contextualización del área de estudio aportó a la comprensión de la relación sociedad-ambiente.

**Descripción de los informantes.** Se indagaron características sociodemográficas de las personas, también los trastornos mentales que presentaron con la pandemia de COVID-19. La información contribuyó a entender la situación experimentada por las familias.

**Exploración de la contribución del huerto familiar en la salud mental.** Consistió en estudiar al HF, como área verde que brindó acceso a la naturaleza en el confinamiento, a partir del contacto con las especies se analizó su repercusión en la salud mental de las personas.

### ***2.1. Recopilación de la información mediante técnicas etnográficas***

El enfoque mixto de la investigación permitió integrar sistemáticamente datos cualitativos y cuantitativos. El trabajo de campo se realizó de noviembre de 2020 a enero de 2021, el muestreo fue “bola de nieve”; inicialmente, se eligió a un sujeto, luego él identificó a otros sujetos (Mendietta, 2015). Con la finalidad de comparar los resultados se evaluaron dos grupos de 30 personas, uno con HF y otro sin HF. La exploración de ambos grupos propició contrastar el papel del huerto familiar en la salud mental de los informantes en el contexto de la pandemia de COVID-19. Las técnicas etnográficas implementadas se describen a continuación:

**Observación participante.** Por medio de esta actividad se logró el acercamiento de una manera natural con las personas en su propio escenario social, en este sentido, se recogieron datos de forma metódica y no intrusiva. Además, permitió la identificación de cinco informantes clave que se involucraron en la adecuación del contenido del cuestionario, ayudaron en la integración de los grupos investigados; asimismo, fueron entrevistados para profundizar en la interpretación del contexto sociocultural.

**Cuestionario.** El instrumento se estructuró en dos partes, la primera mediante escala Likert se abordaron los trastornos mentales vinculados con la pandemia que presentaron las personas; en la segunda parte con preguntas cerradas politómicas y dicotómicas se exploró la contribución del HF en la disminución de esa situación personal. La validación de las preguntas se hizo con ayuda de tres expertos en ciencias ambientales, psicología y sociología; en el pilotaje del cuestionario participaron los informantes clave. La confiabilidad de la medición con este instrumento se estimó con el coeficiente alfa de Cronbach, el valor obtenido fue de 0,8, lo que significó que las respuestas son aceptables. Los cuestionarios se aplicaron en aproximadamente 40 minutos con cada uno de los informantes de ambos grupos.

**Entrevistas en profundidad.** Se trató de una conversación entre iguales, más que de un intercambio formal de preguntas y respuestas; lo cual favoreció el diálogo con los cinco informantes para la comprensión de los resultados del cuestionario y profundizar en el uso de las especies como medio terapéutico que mejoró la salud mental de las personas en el confinamiento por el coronavirus.

**Recorridos sistemáticos.** Durante un mes se visitaron a cuatro familias, elegidas por tener un huerto familiar con una superficie mayor a 500 m<sup>2</sup>, una alta riqueza de especies y que utilizaban dicho espacio para distintas actividades. El propósito fue identificar las ventajas y desventajas de

este sistema socioecológico, así como los beneficios socioambientales que brindó el HF a la familia en la emergencia sanitaria por COVID-19.

## ***2.2. Análisis estadístico de los datos recolectados de los dos grupos informantes***

El análisis de la información incluyó estadística descriptiva para calcular medidas de tendencia central y distribución de frecuencias. También se estimaron las pruebas no paramétricas para datos cualitativos de coeficiente alfa de Cronbach y la correlación de Spearman para medir el grado de asociación entre dos variables, el valor de P se interpreta de la siguiente manera, valores cercanos a 1 significa una relación positiva fuerte. El nivel de significancia estadística se tomó en cuenta, ya que coeficientes de 0.5 son significativos en muestras pequeñas como la analizada en esta investigación. El análisis estadístico de los datos se realizó en el software SPSS, versión 22.

## **3. Resultados**

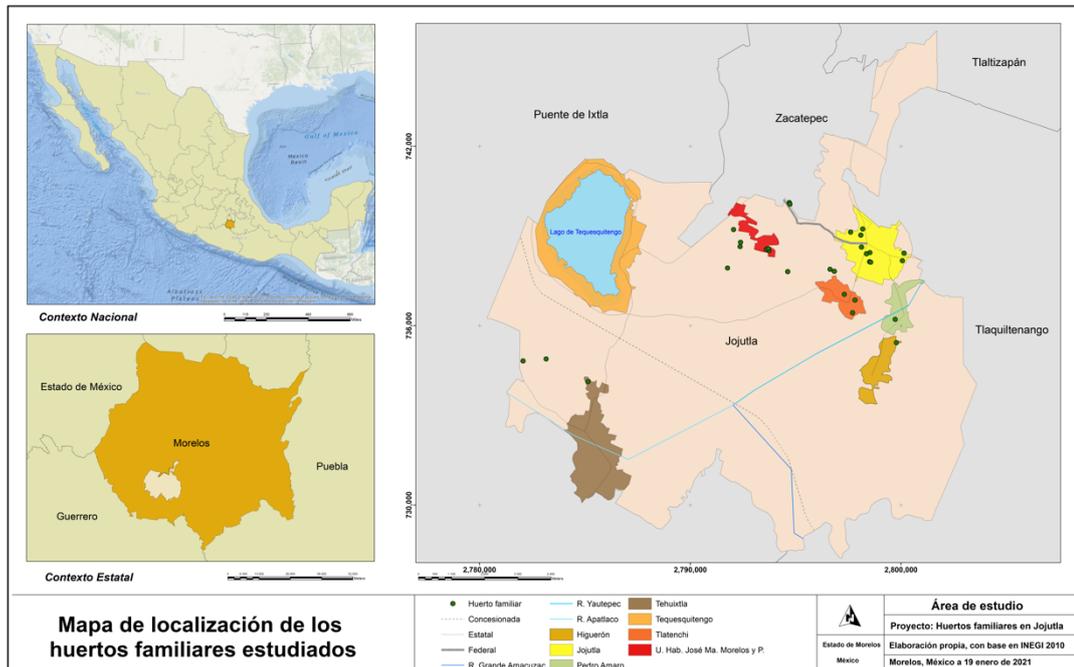
Los resultados se presentan de acuerdo con las etapas de este estudio, el primer punto contextualiza la situación del municipio de Jojutla Morelos, México; el segundo revela las características sociodemográficas de los grupos informantes; y en el tercero se describe la valoración del HF como medio terapéutico para las familias en la pandemia.

### ***3.1. Caracterización socioambiental de Jojutla, Morelos***

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Jojutla se sitúa al suroeste del Estado de Morelos, entre las coordenadas 18° 38' 58" y 18° 31' 13" de latitud Norte y a 99° 08' 52" y 99° 18' 07" de longitud Oeste. Posee una extensión territorial de 142 633 km<sup>2</sup>, que representan 3,2 % de la superficie estatal (INEGI, 2021). Las colindancias son: al Norte con los municipios de Puente de Ixtla, Zacatepec de Hidalgo y Tlaltizapan; al Este con Tlaltizapan y Tlaquiltenango; al Sur con Tlaquiltenango y Puente de Ixtla; al Oeste con Puente de Ixtla (INEGI, 2009). Jojutla posee una altitud entre 700 a 1600 msnm, su clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura promedio es de 30 °C; de abril a junio se registran días calurosos y en los meses de noviembre a enero se presenta la menor temperatura (INEGI, 2021). La baja altitud aunada con el clima propicia que sea el municipio más caluroso de los 33 que integran a Morelos. La figura 3, muestra la localización en el contexto nacional y estatal; al mismo tiempo, a nivel municipal las localidades involucradas en la investigación, así como la ubicación de los HF estudiados.

El municipio fisiográficamente se localiza en la provincia Sierra Madre del Sur, pertenece a la subprovincia Sierras y Valles Guerrerenses (INEGI, 2009), las topoformas existentes son: meseta de aluvión antiguo con cañadas (72 % del territorio), llanura aluvial con lomerío (19 %), sierra de laderas escarpadas (6 %), sierra alta compleja (2,5 %) y lomerío con cañadas (0,5 %). El norte de Jojutla es una zona plana (65% de la superficie), el centro es un área semiplana (27 %) y el sur del territorio es accidentado (8 %). La mayoría del territorio es un valle con vegetación dominante de selva baja caducifolia. El origen de las rocas es ígneo extrusivo y sedimentario (INEGI, 2021), los principales tipos de roca son arenisca-conglomerado (38 %), aluvial (28 %), lutita-arenisca (18 %), caliza (10 %) y basalto (6 %).

Figura 3. Localización del municipio de Jojutla, Morelos

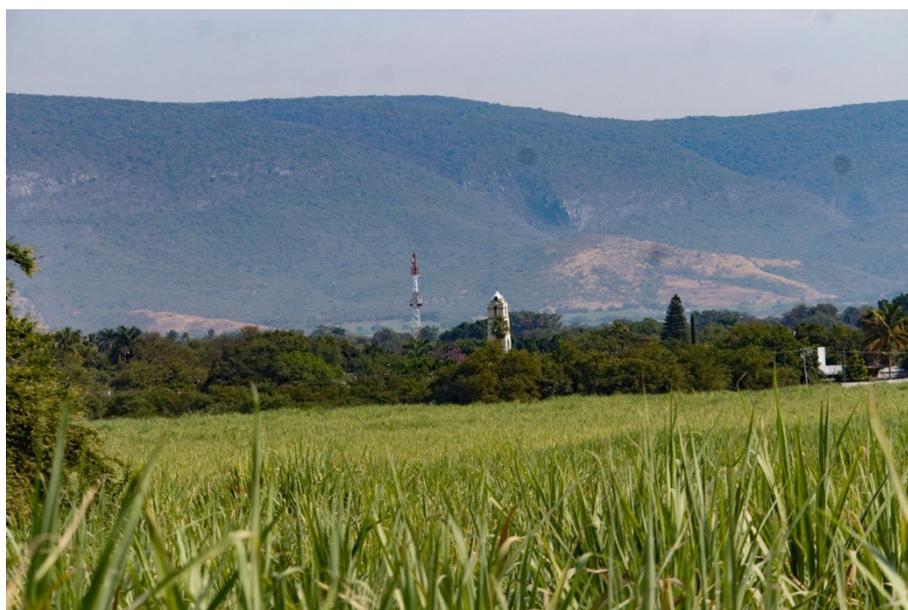


Fuente: Elaboración propia, con base en el Marco Geoestadístico del INEGI, 2020.

El clima, las rocas, el relieve y la vegetación formaron los siguientes suelos: Vertisol (58 %), Kastañozem (20 %), Leptosol (10 %), Regosol (6 %) y Phaeozem (4 %). Las condiciones geográficas y ambientales contribuyen para que la cobertura del suelo sea agricultura (63 %), selva baja caducifolia (19 %), zona urbana (15 %) y pastizal (3 %) (INEGI, 2009). De la extensión total municipal, 6975 hectáreas se utilizan con fines agrícolas, 3856 ha son destinadas a uso pecuario y 4,5 ha para uso industrial (INEGI, 2021). El municipio está en proceso de rururbanización (Figura 4), que es la transformación del entorno rural hacia uno urbano, los cambios están vinculados con las actividades económicas y la dinámica social, la consecuencia de este fenómeno es la urbanización del campo (Jiménez y Campesino, 2018).

De acuerdo con el INEGI (2020), la población total municipal son 57 682 habitantes, la distribución por sexo equivale a 29 862 mujeres y 27 820 hombres. La cabecera municipal, Jojutla de Juárez, agrupa al 31% de la población. Aproximadamente, 50 % de la población se concentra en el grupo etario de 15 a 29 años (INEGI, 2020). El 48 % de los habitantes se encuentran en situación de pobreza y 8 % sufre de pobreza extrema. Los datos de los servicios de salud revelan que 25 % no es derechohabiente y 75 % cuenta con seguro social (INEGI, 2020). La Comisión Estatal de Evaluación (COEVAL) reportó que, en 2017, cerca del 34 % de la población padecía las siguientes carencias sociales: seguridad social (57 %), acceso a la alimentación (25 %), rezago educativo (16 %), servicio de salud (14 %), servicios básicos en la vivienda (13 %) y calidad en la vivienda (12 %).

Figura 4. Paisaje del proceso de rururbanización en Jojutla, Morelos

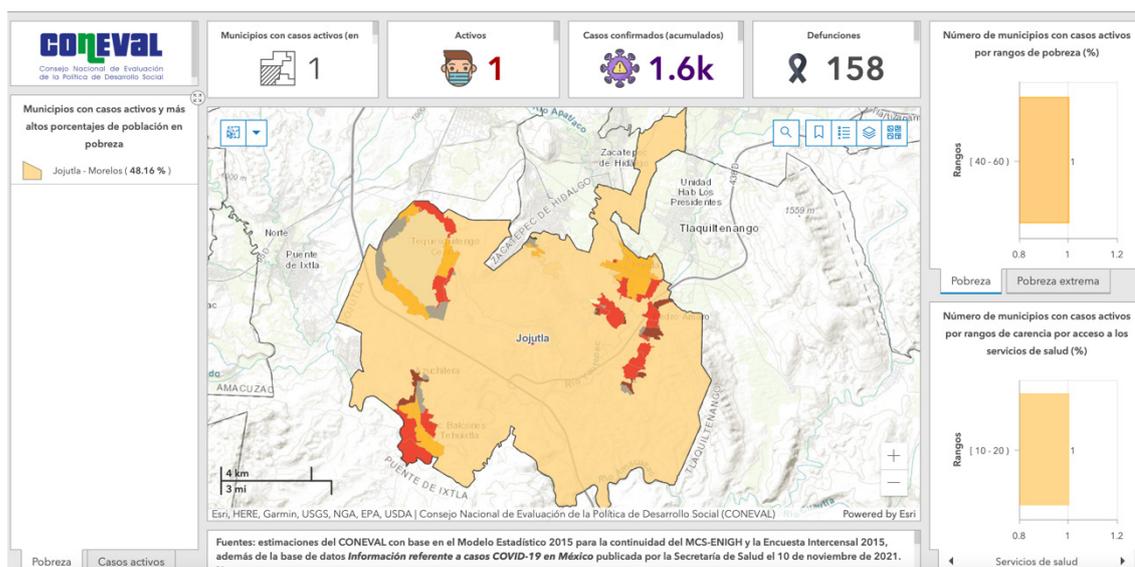


Fuente: García, 2020.

El Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), a través del índice de marginación mide la exclusión social y el carácter multidimensional de la pobreza. En Jojutla, el valor del índice a nivel municipal es bajo (-1,2091); sin embargo, a escala de localidad la situación empeora para Río Seco (-0,7736), Chisco (-0,6270), Hornos Cuates (-0,5218), El Platanar (-0,3487) y Unidad Habitacional Independencia (-0,0133), ya que cuentan con un índice de marginación alto (CONEVAL, 2017). La distribución territorial de la población revela que, 47,6 % vive en zonas con grado de marginación Medio; 30,2 % habita en lugares con grado Alto; 7,8 % en grado Muy bajo; 7,4 % con grado de marginación Bajo; y 6,4 % se ubica en zonas con grado Muy Alto (COEVAL, 2017). La línea de bienestar es el valor total de la canasta alimentaria y no alimentaria por persona al mes; y la línea de bienestar mínimo es el valor de la canasta alimentaria por persona al mes. Las cifras reportan que el ingreso del 48 % de la población es inferior a la línea de bienestar y 11 % tiene un ingreso menor a la línea de bienestar mínimo (CONEVAL, 2021). El rezago social posiciona a Jojutla en riesgo alto frente a la pandemia del coronavirus.

El escenario de propagación del virus, desde el inicio de la pandemia hasta el 30 de octubre de 2021, muestra que se han registrado 1600 casos y 158 defunciones (Figura 5), el municipio ocupó la posición 14 en cuanto a contagios a nivel estatal (CONEVAL, 2021). La emergencia sanitaria asociada con la pobreza sugiere que la vulnerabilidad aumenta para los habitantes de las localidades de Tlatenchi, Higuierón, Pedro Amaro y Tehuixtla. Las estadísticas del CONEVAL (2021), señalan que los fallecidos tenían entre 40 y 79 años (72 %), los adultos han sido las principales víctimas del coronavirus, los cuales presentaban comorbilidades de hipertensión, diabetes y obesidad. La evolución de la pandemia de la COVID-19 a escala local, nacional e internacional ha causado que las familias de Jojutla experimenten estrés, ansiedad, irritabilidad y otros trastornos mentales, en este sentido fue posible investigar los efectos positivos del HF en la salud mental de las personas.

Figura 5. Casos de COVID-19 en Jojutla, Morelos, al 30 de octubre de 2021



Fuente: CONEVAL, 2021

### 3.2. Características sociales y de salud de los informantes

La tabla 1, muestra la composición del grupo con HF (N=30) y el grupo sin HF (N=30). Ambos grupos presentaron características sociodemográficas similares, la mitad de los informantes fueron mujeres, con edad entre 30 y 83 años, la mayoría eran adultas con un nivel escolar alto, equivalente a la Licenciatura. La diferencia se registró en la ocupación, donde 60 % de quienes tienen HF son amas de casa y 25 % empleadas; mientras que 50 % del grupo sin HF son empleadas y 15 % amas de casa. Las actividades económicas que desarrollan es la agricultura (52 %), el comercio (38 %) y los servicios (10 %). El modelo de familia es nuclear, integrado por los padres y uno o dos hijos. Los datos revelan condiciones socioculturales asociadas a un contexto semiurbano, en el que prevalecen las actividades primarias, lo cual incide en la presencia de este sistema socioecológico que propicia la interacción de las personas con las especies.

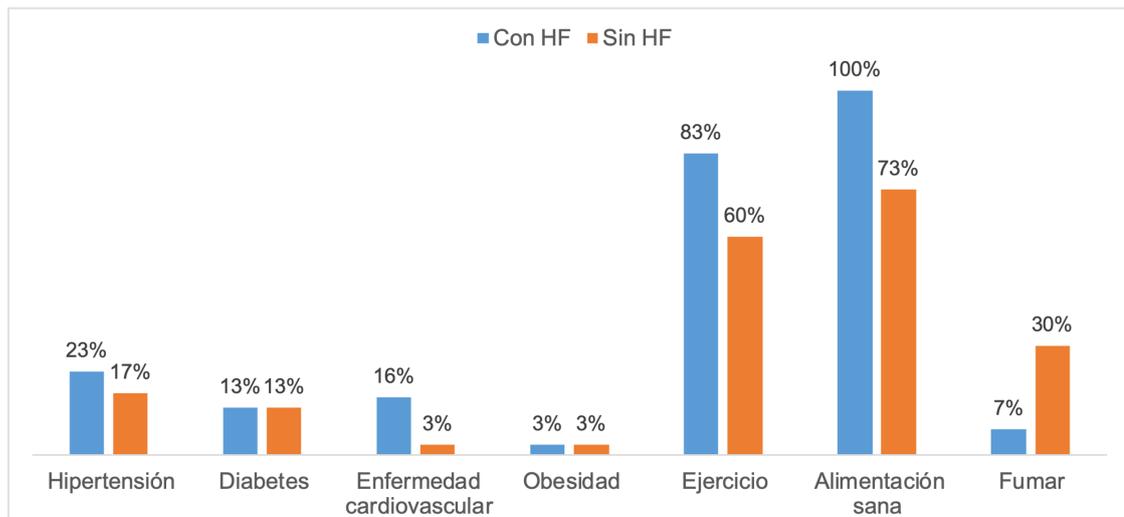
Tabla 1. Características sociodemográficas de los grupos estudiados

GRUPO	MUJER (%)	HOMBRE (%)	EDAD PROMEDIO	OCUPANTES POR VIVIENDA	ADULTOS (%)	NIÑOS (%)
Con HF	63,3	36,7	52	3,5	79	21
Sin HF	53,3	46,7	50	3,8	81	19

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2021.

El 86 % de los informantes mencionaron que no estaban enfermos, aunque presentaban comorbilidades por ejemplo hipertensión, diabetes, enfermedad cardiovascular y obesidad. Alrededor del 60 % contaban con acceso a servicio de salud y 40 % no eran derechohabientes. Aun cuando reciben atención médica, el 95 % utiliza a las plantas medicinales para aliviar padecimientos leves de tos, dolor de estómago y gripe. En cuanto a hábitos saludables, más de la mitad realiza ejercicio de manera habitual, en promedio dos veces a la semana. Además, la mayoría consideró que consume alimentos nutritivos como frutas, verduras, carne, leche y huevo; y una minoría no fuma (Figura 6). Con base en la información de los grupos, es posible inferir que son personas que cuidan su salud.

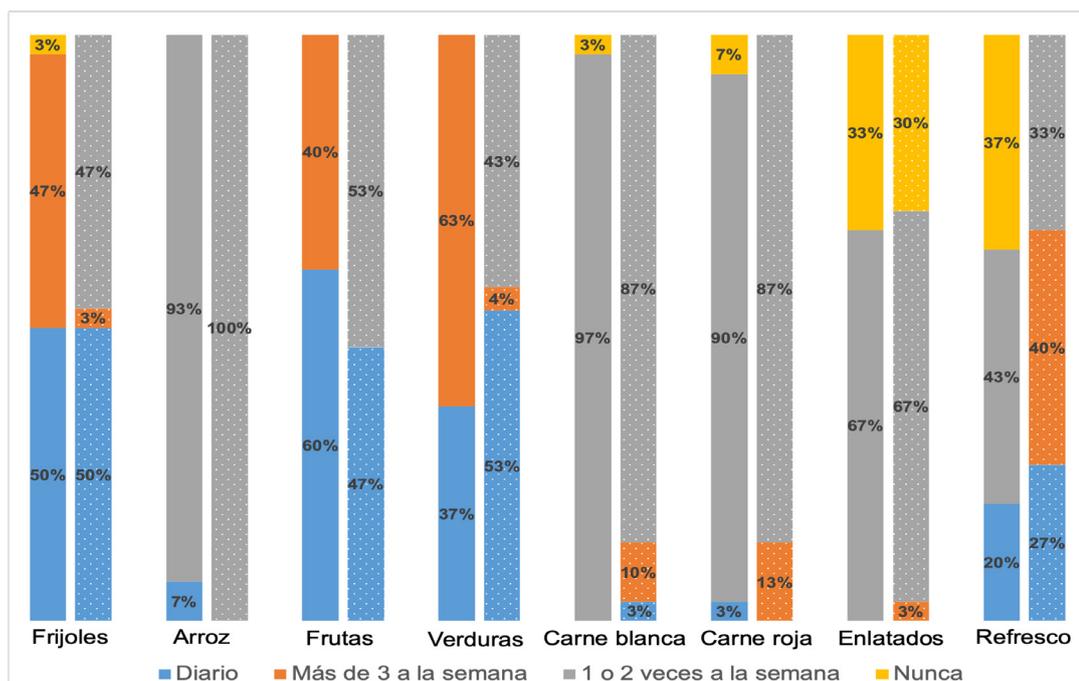
Figura 6. Enfermedades y hábitos de los informantes



Fuente: Elaboración propia, con base en trabajo de campo.

La dieta semanal de ambos grupos es variada, en la figura 7 se observa en color sólido los alimentos consumidos por el grupo con HF y en achurado el grupo sin HF; los frijoles (*Phaseolus vulgaris* L.) y el arroz (*Oryza sativa* L.) forman parte esencial de la dieta familiar; el consumo de frutas, así como de verduras es más frecuente en el grupo con HF; la mayoría de las familias come carne roja o blanca una o dos veces por semana, los informantes mencionaron que es debido al elevado costo que tiene la proteína de origen animal. Los productos enlatados y el refresco son más consumidos por el grupo sin HF, la mitad de los informantes de ambos grupos respondió que al preparar los alimentos usan moderadamente la sal, el azúcar y la grasa.

Figura 7. Dieta semanal de los grupos informantes



Fuente: Elaboración propia, con base en trabajo de campo.

El 92% de los informantes cree que la alimentación es fundamental para mantener una buena salud; en el caso del grupo con HF opinaron que cultivar lo que comen contribuyó a sobrellevar el confinamiento, puesto que su mente se mantuvo ocupada, su energía se canalizó en el trabajo y su tiempo se destinó en el cuidado de las plantas. En este sentido, además de proveerles alimentos, las personas comentaron que dicho espacio les produjo alegría, paz, gratitud, esperanza, serenidad y orgullo (Figura 8); asimismo las actividades de mantenimiento les permitieron distraerse y olvidar la pandemia.

Figura 8. Cosecha de papaya en un HF de Jojutla, Morelos



Fuente: García, 2020.

### 3.3. Valoración de los efectos positivos del huerto familiar en la salud mental

La heterogeneidad espacial y la composición florística estuvieron presentes en los 30 HF analizados en Jojutla, Morelos; en el caso de la superficie, el promedio fue de 990 m<sup>2</sup>, el HF con menor área tenía 350 m<sup>2</sup> y el de mayor 2400 m<sup>2</sup>. Respecto a la riqueza vegetal, en total se registraron 411 especies diferentes, el promedio fue de 57, el HF con menos especies poseía 15 y el máximo 137. En este sentido, dicho espacio proporcionó acceso a la naturaleza y fungió como un área verde que contribuyó a la interacción con las especies.

Los grupos con y sin HF experimentaron preocupación por contraer el virus, la falta de dinero y de alimentos; además, presentaron trastornos de sueño, irritabilidad, nerviosismo y cansancio mental. La percepción de los informantes al estar confinados fue de miedo, angustia y fatiga (Tabla 2), debido a la situación por el número de contagios y muertes por coronavirus a nivel local, nacional e internacional. Las acciones que el grupo con HF realizó para cuidar su salud fueron: estar en contacto con la naturaleza y hacer ejercicio. Las personas mencionaron que utilizaron este espacio para olvidar sus problemas, puesto que platicaban con las plantas, también por llevar a cabo actividades como la siembra, el riego, la cosecha o el deshierbe; de esta manera obtuvieron tranquilidad que transmitieron a la familia, al mismo tiempo contribuyó a una mayor certidumbre sobre las decisiones que tomaron. En contraste, una tercera parte del grupo sin HF respondió que no hizo nada para cuidar su salud; el resto recurrió al contacto con la naturaleza y al ejercicio,

algunos mencionaron que tomaron medicamento. Estos informantes opinaron que al prolongarse el tiempo de confinamiento aumentaron los pensamientos negativos y al no tener un espacio que minimizara la problemática, su salud mental resultó afectada.

Tabla 2. Situación que experimentaron los informantes por la pandemia

CIRCUNSTANCIA	CAUSA DE LA SITUACIÓN	CON HF (N=30)	SIN HF (N=30)
		% de personas	% de personas
Preocupación de los informantes por la pandemia	Temor de contraer el virus	63	37
	No tener dinero	17	30
	No tener alimentos	17	17
	Perder el empleo	3	17
Problemas de los informantes en el confinamiento	Trastornos del sueño	30	30
	Irritabilidad	27	23
	Nerviosismo	27	23
	Cansancio mental	17	23
Percepción de los informantes por el confinamiento	Miedo por los contagios	50	20
	Angustia por la pandemia	30	27
	Falta de trabajo	17	40
	Fatiga por estar confinado	3	13
Acción de los informantes para cuidar su salud	Contacto con la naturaleza	80	30
	Ejercicio	20	30
	Nada	0	33
	Tomar medicamento	0	7

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2021.

Las personas señalaron que se preocuparon por enfermarse de coronavirus, se angustiaron al estar confinados, temieron de padecer otra enfermedad, experimentaron miedo de asistir a un hospital por el riesgo de contagiarse, así como incertidumbre de no recibir atención médica. Cabe señalar que el grupo con HF mostró una mayor conciencia sobre la severidad de la pandemia, sin embargo, su actitud y estado anímico presentó mejores condiciones que el grupo sin HF. Los informantes no estaban preparados para afrontar la emergencia sanitaria, ellos expresaron que la desinformación acerca del virus incidió en que sufrieran trastornos mentales. Las familias con HF identificaron que pasar tiempo en este espacio ayudaba para que se sintieran con mejor ánimo, también reconocieron que el contacto con las especies provocaba que estuvieran relajadas, lo cual brindó la posibilidad de enfrentar los problemas de manera asertiva (Figura 9).

La situación que vivieron los informantes al permanecer en casa fue distinta, por ejemplo, el grupo con HF experimentó cansancio por el quehacer doméstico (63 %) e irritabilidad por el encierro (33 %); mientras que el grupo sin HF padeció de irritabilidad por estar encerrado (57 %) y cansancio por el quehacer doméstico (36 %). Las personas percibieron negativamente el confinamiento, ya que perdieron su libertad, como resultado afectó sus pensamientos y emociones. La correlación fuerte positiva entre la actitud y la naturaleza (Tabla 3), confirma que el HF es un lugar idóneo donde las familias se sienten bien, en este sentido las condiciones del espacio habitado repercutieron favorablemente en su salud mental, debido al contacto con la naturaleza (97 %) y al acceso a un área verde (97 %).

Figura 9. El contacto con las especies del HF beneficia la salud mental



Fuente: García, 2020.

Tabla 3. Correlación de Spearman de la actitud con otras variables

VARIABLES	CON HF		SIN HF	
	VALOR DE P	SIGNIFICANCIA	VALOR DE P	SIGNIFICANCIA
Actitud-Naturaleza	0,831	0,000	0.551	0.002
Actitud-Confinamiento	0,602	0,000	0.387	0.034
Actitud-Entorno	0,517	0,003	0.626	0.000
Actitud-Salud mental	0,428	0,018	0.622	0.000

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2021.

La presencia de la vegetación alrededor de la vivienda generó un ambiente confortable (90 %), favoreció la relajación de la familia (6 %) y brindó serenidad a las personas (4 %). Los informantes percibieron que la interacción con las diferentes especies provocó sentimientos de alegría (50 %), paz (33 %), confianza (13 %) y seguridad (4 %). Además, señalaron que, a través de estímulos sensoriales, las especies desencadenaron en ellos un efecto positivo, por ejemplo, el aroma de las plantas les causó alegría (67 %) y paz (33 %); el trino de las aves les provocó alegría (90 %) y paz (10 %); y la observación de la flora y la fauna que coexiste en este espacio les originó alegría (77 %) y tranquilidad (23 %). Por esta razón el beneficio del HF fue asociado con el estado de ánimo (40 %), la liberación del estrés (33 %) y la sensación de tranquilidad (27 %). Los problemas que ayudó a disminuir el HF fueron la angustia (43 %), la ansiedad (20 %), el enojo (20 %) y la irritabilidad (17 %).

El confinamiento afectó al grupo con HF, sin embargo, las especies repercutieron en la actitud de los informantes, la correlación de Spearman confirma que existe una relación positiva fuerte entre estas dos variables. En este sentido, los resultados de la tabla 4 sustentan que la riqueza vegetal del HF incidió en la salud mental de las familias durante la emergencia sanitaria.

Tabla 4. Correlación de Spearman de las especies

VARIABLES	VALOR DE P	SIGNIFICANCIA
Especies-Actitud	0,973	0,000
Especies-Estado de ánimo	0,794	0,000
Especies-Confinamiento	0,601	0,000
Especies-Entorno	0,515	0,004

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2021.

Los informantes reportaron trastornos mentales en el confinamiento por el coronavirus, el grupo sin HF al no tener acceso a un lugar que permitiera olvidar la situación, mantuvo la problemática. El grupo con HF redujo el estrés, la ansiedad, la irritabilidad y el miedo, ellos mencionaron que la exposición a la naturaleza por medio de este espacio propició tranquilidad, felicidad, alegría, espiritualidad y reflexión, puesto que los sonidos, colores, aromas y formas de las especies repercutieron en su salud mental. El beneficio está intrínsecamente relacionado con los servicios ecosistémicos culturales, como satisfactores de la calidad de vida en el confinamiento por la COVID-19. La tabla 5 resume las ventajas y desventajas, identificadas en conjunto con los informantes clave, las cuales contribuyeron en el bienestar emocional de las personas, debido a que experimentaron sensaciones que calmaron sus preocupaciones, pensamientos y sentimientos.

Tabla 5. Comparación de los ambientes en las viviendas de los informantes

CONDICIONES QUE BRINDA EL HF		CONDICIONES EN VIVIENDAS SIN HF	
VENTAJAS	DESVENTAJAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Obtención de alimentos frescos	Eligen alimentos enlatados	Menor quehacer doméstico	Sedentarismo
Relación con las plantas como confidente	Los insectos pueden ser molestos	Baja ocurrencia de picaduras de animales	Espacio reducido en su mayoría
Actividad física beneficia la salud	Más quehacer doméstico	Vivienda pequeña es acogedora	Probabilidad de obesidad
Espacio terapéutico	Requiere atención	Acceso a alimentos variados	Consumo de producto procesado
Estímulos sensoriales mejoran la salud mental	Irritación por tocar, oler o comer una planta	Zonas comunes para la interacción entre residentes	Mayor densidad de residentes
Sensación de respirar aire limpio	Alergia al polen	Control en la limpieza	Sistema inmune con poca actividad
Reflexión, relajación, espiritualidad	Ideas erróneas sobre la meditación	Espacios con afluencia continua	Violencia intrafamiliar
Biofilia	Introducción de especies exóticas	Uso de tecnología como distractor	Biofobia

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2021.

## 4. Discusión

Las condiciones socioambientales y socioculturales de Jojutla inciden en la presencia del HF, y en la pandemia de la COVID-19 fungió como un espacio terapéutico para las familias. En otros municipios de Morelos, Monroy *et al.* (2016) y García *et al.* (2020) reportan la existencia del HF, dichos autores afirman que brinda seguridad alimentaria. Esta investigación sugiere una nueva cualidad, la cual está relacionada con la salud mental de las personas en un contexto de emergencia sanitaria. El escenario socioeconómico del municipio revela que la mitad de la población se

encuentra en un estado de pobreza; en situaciones como el de Jojutla, Castañeda *et al.* (2020) y García *et al.* (2019b) reportan que el HF es un elemento importante para la subsistencia familiar. A diferencia de otras investigaciones, esta investigación identificó que la riqueza de especies del sistema socioecológico incide en la calidad de vida y el bienestar emocional.

El rezago social a escala municipal, junto con el escenario de contagios por COVID-19, dieron como resultado una grave afectación en el bienestar humano de la población, no obstante, el HF es una estrategia multifuncional que puede ser reproducible por diferentes sectores sociales, sin importar nivel socioeconómico, escolaridad, ocupación y edad. De acuerdo con Avilez *et al.* (2020) la riqueza de especies está relacionada con las dimensiones económicas y ecológicas, en este caso de estudio se encontró una correlación positiva con la actitud, a mayor número de plantas mejora el estado de ánimo. Los hallazgos de las condiciones favorables que propició el HF a la salud mental de las personas aportan a la comprensión de los múltiples beneficios del sistema sociológico; la multifuncionalidad del HF ha sido descrita por Calvet-Mir *et al.* (2016), Bautista *et al.* (2016) y García-Navarro *et al.* (2020).

La OMS (2015) reportó que algunas personas tienen mayor riesgo de sufrir depresión, ansiedad y estrés, sobre todo en entornos de pobreza; los resultados obtenidos en este estudio corroboraron que la situación durante la emergencia sanitaria incidió en que los informantes presentaran trastornos mentales. De acuerdo con Cénat *et al.* (2021), a nivel global, el estrés aumentó 15,9 % y la ansiedad 15,1 %, por su parte Low *et al.* (2020) afirman que a medida que avanzaba la ola de contagios por COVID-19, en las redes sociales incrementó la búsqueda de temas relacionados con muerte, aislamiento y abuso de sustancias. Ursua y Ursua (2019) concluyeron que el contacto con la naturaleza es una necesidad humana, el cual propicia la adopción de un estilo de vida saludable. Por ello, la OMS (2015) ha sugerido que en las ciudades existan 16 m<sup>2</sup> de área verde para que las personas accedan a un espacio con naturaleza, aunque no especifica las condiciones que debe tener. Como señalan Richardson *et al.* (2013), Klemm *et al.* (2015) y Sandifer *et al.* (2015) la vegetación tiene un impacto benéfico en quien interactúa cotidianamente con ella; dicha afirmación fue comprobada por esta investigación, ya que el grupo con HF presentó condiciones positivas en su salud mental.

Las áreas verdes en las ciudades son lugares para el ejercicio, el esparcimiento e interacción social, como lo demostraron los estudios de Van den Berg *et al.* (2015) y Ayala *et al.* (2019). Dichos aspectos también fueron vinculados con el HF, se observó que la relación de los dueños con las plantas propició que olvidaran preocupaciones, liberaran estrés y modificaran sus emociones. Autores como Castañeda *et al.* (2020) y Avilez (2020) han señalado que el HF mantiene el conocimiento ecológico local y el patrimonio biocultural. Para Calvet-Mir *et al.* (2016) otra función valiosa es la provisión de servicios ecosistémicos, la gama de beneficios es amplia, incluye aspectos socioambientales y socioculturales, la evidencia en este estudio sugiere que en áreas rurales cumple un papel terapéutico en la vida de las personas. La falta de asistencia médica en el confinamiento, tal como fue planteado por Low *et al.* (2020) incidió en el aumento de trastornos mentales, dicha situación presentó el grupo sin HF, puesto que no recibió atención, en cambio, el grupo con HF recurrió a dicho espacio para mitigar los efectos adversos del confinamiento.

La naturaleza proporciona distintos beneficios a la salud, por ejemplo, Ursua y Ursua (2019) han reportado que potencia la actividad celular, fortalece el sistema inmune y mejora el sistema cognitivo, por su parte Sandifer *et al.* (2015) reportaron que reduce los niveles de azúcar, colesterol y presión arterial. Los estudios de Cano (2015) y Benítez *et al.* (2020) señalan que el HF aporta a

la dieta de las familias campesinas; esta investigación encontró que el grupo con HF consume de manera recurrente frutas, verduras y un bajo consumo de productos industrializados. Lo anterior hizo evidente que la alimentación esta asociada con la salud, de acuerdo con Guadarrama *et al.* (2020) este agroecosistema fomenta una cultura alimentaria consciente y saludable, para García-Navarro *et al.* (2020) brinda alimentos inocuos que están disponibles para su ingesta en cualquier momento.

El cuidado del HF implica la realización de actividades físicas, al mismo tiempo el mantenimiento es una tarea que causa distracción y mantiene ocupada la mente; para los informantes fungió como terapia ocupacional en la mitigación del estrés, ansiedad, irritabilidad y depresión. Dichos trastornos fueron recurrentes y estuvieron asociados con la pandemia (Cénat, *et al.* 2021). Los estímulos visuales, auditivos y olfativos generados por las especies presentes en el HF son responsables de generar alegría, espiritualidad, felicidad, calma y satisfacción. La evidencia estadística relacionó que la riqueza vegetal está ligada con la actitud y estado de ánimo, quiere decir que las plantas proporcionan un entorno placentero para las personas.

## 5. Conclusiones

El objetivo del artículo se cumplió mediante la metodología que se planteó, el enfoque mixto y de investigación participativa facilitó describir, en el contexto de la emergencia sanitaria, el beneficio del HF a la salud mental de las familias en Jojutla, Morelos, México. El HF es una alternativa que permitió el uso creativo del tiempo en el confinamiento, además repercutió en la alimentación, la actividad física y la disminución de trastornos mentales. Este sistema socioecológico influyó positivamente en bienestar emocional; la evidencia empírica respalda la conclusión que es un lugar donde las personas se relajan, se sienten felices, experimentan alegría, generan sensaciones agradables, gozan de tranquilidad y disfrutan la convivencia con la naturaleza. Dicho espacio brindó condiciones que minimizaron problemas de estrés, ansiedad, irritabilidad y angustia, efectos secundarios asociados con la pandemia del coronavirus. El HF fortalece la interacción sociedad-ambiente, debido a la multifuncionalidad de las especies, la producción de alimentos, la provisión de servicios ecosistémicos y el mantenimiento del patrimonio biocultural. Asimismo, favorece las relaciones intrafamiliares y comunitarias de solidaridad, empatía y apoyo entre la población.

## Agradecimientos

Los autores agradecemos el tiempo e información de las personas que participaron en el estudio. A la Ing. Estefanía Jiménez y al Ing. Andrés Martínez por facilitar el trabajo de campo. También a los evaluadores del manuscrito por sus valiosos comentarios, así como al editor por su desinteresado apoyo.

## Contribución de autorías

Ambos autores trabajaron conjuntamente en la investigación y la redacción del manuscrito

## Financiación

La investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología mediante la beca PosDoctoral (I1200/94/2020) para el primer autor

## Conflicto de intereses

Los autores declaramos que no existen conflictos de intereses para la publicación y divulgación de la información contenida en este artículo científico

## Bibliografía

- Avilez, T., van der Wal, H., Aldasoro, E. & Rodríguez, U. (2020). Home gardens' agrobiodiversity and owners' knowledge of their ecological, economic and socio-cultural multifunctionality: a case study in the lowlands of Tabasco, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 16 (42). doi: <https://doi.org/10.1186/s13002-020-00392-2>
- Ayala, C., Díaz, D. & Zambrano, L. (2019). Characteristics of urban parks and their relation to user well-being. *Landscape and Urban Planning*, 189, 27-35. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.04.005>
- Barrera, A. (1981). Sobre la unidad de habitación tradicional campesina y el manejo de recursos bióticos en el área Maya Yucatanense. *Biotica*, 5 (3), 115-129.
- Bautista, G., Sol, Á., Velázquez, A. & Llanderal, T. (2016). Composición florística e importancia socioeconómica de los huertos familiares del Ejido La Encrucijada, Cárdenas, Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14, 2725-2740. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i14.441>
- Benítez, M., Soto, L., Estrada, E. & Pat, L. (2020). Huertos familiares y alimentación de grupos domésticos cafetaleros en la Sierra Madre de Chiapas, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 17 (1), 27-56. doi: <https://doi.org/10.22231/asyd.v17i1.1321>
- Calvet-Mir, L., Riu, C., González, M., Ruiz, I., Reyes, V. & Molina, J.L. (2016). The transmission of home garden knowledge: safeguarding biocultural diversity and enhancing social-ecological resilience. *Society and Natural Resources*, 29 (5), 556-571. doi: <https://doi.org/10.1080/08941920.2015.1094711>
- Cano, E. (2015). Huertos familiares: Un camino hacia la soberanía alimentaria. *Revista Pueblos y Fronteras*, 10 (20), 70-91. doi: <https://doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2015.20.33>
- Cano, M., de la Tejera, B., Casas, A., Salazar, L. & García, R. (2016). Conocimientos tradicionales y prácticas de manejo del huerto familiar en dos comunidades Tlahuicas del Estado de México, México. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 25, 81-94. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/Revibec/article/view/310592>
- Castañeda, I., Aliphath, M., Caso, L., Lira, R. & Martínez, D. (2020). Conocimiento tradicional y composición de los huertos familiares totonacas de Caxhuacan, Puebla, México. *Polibotánica*, 49, 185-217. doi: <https://10.18387/polibotanica.49.13>
- Cénat, J., Blais, C., Kokou, C., Noorishad, P., Mukunzi, J., McIntee, S., Dalexis, R., Goulet, M. & Labelle, P. (2021). Prevalence of symptoms of depression, anxiety, insomnia, posttraumatic stress disorder, and psychological distress among populations affected by the COVID-19 pandemic: A systematic review and meta-analysis. *Psychiatry Research*, 295, 113599. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.113599>
- Chablé, R., Palma, D., Vázquez, C., Ruiz, O., Mariaca, R. & Ascensio, J. (2015). Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2 (4), 23-39.
- COEVAL (2017). *Medición de la pobreza en los municipios, Morelos 2010-2015*. Recuperado de [http://coeval.morelos.gob.mx/InfoPobreza/Pobreza\\_Municipal](http://coeval.morelos.gob.mx/InfoPobreza/Pobreza_Municipal)
- CONEVAL (2017). *Medición de la pobreza*. Recuperado de <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/PobrezaInicio.aspx>
- CONEVAL (2021). *Visor geoespacial de la pobreza y la COVID-19 en los municipios de México*. Recuperado de <https://coneval.maps.arcgis.com/apps/dashboards/db5c233bb31f4c4189ded7d0edcacf92>
- De Groot, R., Wilson, M. & Boumans, R. (2002). A typology for the classification, descriptions and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41 (3), 393-408. doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- DGIS (2020). Gasto en Salud. En *Sistema de información de la Secretaría de Salud*. Recuperado de <http://sinaiscap.salud.gob.mx:8080/DGIS/>
- García, A., Ayala, M., Cabrera, J., Velázquez, D., Martínez, C. & Pino, J. (2020). Plantas útiles de los patios de Santo Domingo, Ocotitlán, Tepoztlán, Morelos, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23 (50). Recuperado de <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3031/1428>

- García-Navarro, M., Ramírez, B., Cesín, A., Juárez J.P. & Martínez, D. (2020). Funciones agroalimentarias y socio-culturales del traspaso en una comunidad Totonaca de Huehuetla, Puebla, México. *Acta Universitaria*, 30, e2456. doi: <http://dx.doi.org/10.15174/au.2020.2456>
- García, J.C., Gutiérrez, J.G., Balderas, M.Á. & Araújo, M. (2016a). Estrategia de vida en el medio rural del Altiplano Central Mexicano: El huerto familiar. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13 (4), 141-161. doi: <https://doi.org/10.22231/asyd.v13i4.498>
- García, J.C., Gutiérrez, J.G., Balderas, M.Á. & Araújo, M. (2016b). Sociocultural and environmental benefits from family orchards in the Central Highlands of México. *Bois et Forêts des Tropiques*, 329 (3), 29-42. doi: <https://doi.org/10.19182/bft2016.329.a31310>
- García, J.C., Gutiérrez, J.G., Balderas, M.Á. & Juan, J.I. (2019a). Análisis del conocimiento ecológico tradicional y factores socioculturales sobre huertos familiares en el Altiplano Central Mexicano. *Cuadernos Geográficos*, 58 (3), 260-281. doi: <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i3.7867>
- García, J.C., Gutiérrez, J.G. & Araújo, M. (2019b) Factores socioculturales de la riqueza de especies en huertos familiares en el Altiplano Central Mexicano. *Sociedad y Ambiente*, 19, 241-264. doi: <https://doi.org/10.31840/sya.v0i19.1931>
- Guadarrama, N., Chávez, M.C., Rubí, M. & White, L. (2020). La diversidad biocultural de frutales en huertos familiares de San Andrés Nicolás Bravo, Malinalco, México. *Sociedad y Ambiente*, 22, 237-264. doi: <https://doi.org/10.31840/sya.vi22.2107>
- Gutiérrez, J.G., White, L., Juan, J.I. & Chávez, M.C. (2015). Agroecosistemas de huertos familiares en el Sub trópico del Altiplano Mexicano. Una visión sistémica. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18 (3), 237-250. Recuperado de <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1844>
- INEGI (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Jojutla, Morelos*. México: INEGI.
- INEGI (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>
- INEGI (2021). *Cuéntame de México*. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx>
- IPBES (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany.
- JHU (2021). *COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE)*. Recuperado de <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>
- Jiménez, V. & Campesino, A. (2018). Deslocalización de lo urbano e impacto en el mundo rural: rururbanización en «pueblos dormitorio» de Cáceres capital. *Cuadernos Geográficos*, 57 (3), 243-266. doi: <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i3.6239>
- Klemm, W., Heusinkveld, B., Lenzholder, S., Jacobs, M. & van Hove, B. (2015). Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in The Netherlands. *Building and Environment*, 83, 120-128. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.013>
- Lope-Alzina, D., Vásquez, M., Gutiérrez, J.G., Juan, J.I., Pedraza, R. & Ordoñez, M.J. (2018). Una propuesta conceptual para abordar la complejidad del huerto familiar. En M.J. Ordoñez (Coord.), *Atlas biocultural de huertos familiares en México: Chiapas, Hidalgo, Veracruz y península de Yucatán* (99-119). México: CRIM-UNAM.
- Low, D., Rumker, L., Talkar, T., Torous, J., Cecchi, G. & Ghosh, S. (2020). Natural language processing reveals vulnerable mental health support groups and heightened health anxiety on reddit during COVID-19: observational study. *J Med Internet Res*, 22, e22635. doi: <https://doi.org/10.2196/22635>
- Martínez, J., Montero, M. & Córdova, A. (2014). Restauración psicológica y naturaleza urbana: algunas implicaciones para la salud mental. *Salud Mental*, 37 (3), 217-224. doi: <https://doi.org/10.17711/SM.0185-3325.2014.025>
- Martínez, J., Montero, M. & de la Roca, J.M. (2016). Efectos psicoambientales de las áreas verdes en la salud mental. *Interamerican Journal of Psychology*, 50 (2), 204-214. doi: <https://doi.org/10.30849/rip/ijp.v50i2.93>
- Mendieta, G. (2015). Informantes y muestreo en investigación cualitativa. *Investigaciones Andina*, 17 (30), 1148-1150.
- Monroy, R., Ponce, A., Colín, H., Monroy, C. & García, A. (2016). Los huertos familiares tradicionales soporte de seguridad alimentaria en comunidades campesinas del Estado de Morelos, México. *Ambiente y Sostenibilidad*, 6, 33-43. Recuperado de <https://1library.co/document/y966wwly-familiares-tradicionales-seguridad-alimentaria-comunidades-campesinas-morelos-mexico.html>

- Ordoñez, M.J. (Coord.). (2018). *Atlas biocultural de huertos familiares en México: Hidalgo, Oaxaca, Veracruz y península de Yucatán*. México: CRIM-UNAM.
- OMS (2013). *Plan de acción sobre salud mental 2013-2020*. Ginebra: OMS.
- OMS (2015). *Mental health atlas 2014*. Ginebra: OMS.
- OMS (2020). *Alocución de apertura del director general de la OMS en la rueda de prensa sobre la COVID-19, celebrada el 11 de marzo de 2020*. Recuperado de <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>
- Potschin, M., Haines, R., Fish, R. & Turner, R. (Eds.). (2016). *Routledge Handbook of Ecosystem Services* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315775302>
- Richardson, E., Pearce, J., Mitchell, R. & Kingham, S. (2013). Role of physical activity in the relationship between urban green space and health. *Public Health*, 127, 318-324. doi: <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2013.01.004>
- Sandifer, P., Sutton, A. & Ward, B. (2015). Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem Services*, 12, 1-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.12.007>
- Ursua, A. & Ursua, M.I. (2019). El contacto con la naturaleza como medida preventiva de enfermedades y recurso terapéutico. *Medicina naturista*, 13 (1), 28-32.
- Van den Berg, M., Wendel, W., van Poppel, M., Kemper, H., van Mechelen, W. & Maas, J. (2015). Health Benefits of Green Spaces in the Living Environment: A Systematic Review of Epidemiological Studies. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14, 806-816. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.07.008>
- Wood, L., Hooper, P., Foster, S. & Bull, F. (2017). Public green spaces and positive mental health - investigating the relationship between access, quantity and types of parks and mental wellbeing. *Health & Place*, 48, 63-71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2017.09.002>

# Evaluación de la percepción ambiental de estudiantes universitarios del municipio de Cajeme para la implementación de un Observatorio Ciudadano Ambiental

Evaluation of the environmental perception by university students from Cajeme municipality for the implementation of an Environmental Citizen Observatory

ARGELIA TIBURCIO SÁNCHEZ <sup>1</sup>  0000-0001-5674-2597

MARTIN VILLA IBARRA <sup>2</sup>  0000-0003-0089-5871

EDITH KARINA FRANCO REYES <sup>2</sup>  0000-0002-2427-8635

ANGEL RAYMUNDO MEZA ESQUER <sup>2</sup>  0000-0002-4048-8958

<sup>1</sup> Cátedras Conacyt-Instituto Tecnológico Superior de Cajeme

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico Superior de Cajeme

## Resumen

Este artículo analiza la percepción y actitudes que tienen los estudiantes universitarios del Instituto Tecnológico Superior de Cajeme (ITESCA) sobre los problemas ambientales en su localidad. La finalidad de conocer estos datos es incorporar la opinión de los jóvenes a un observatorio ciudadano ambiental. Para ello, se realizaron encuestas y talleres participativos entre la población estudiada. Los datos recopilados fueron categorizados en un sistema de información geográfica y se utilizaron para elaborar seis mapas de percepción de las causas de contaminación y estado ambiental en la zona central del municipio. Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que los estudiantes perciben el estado del medio ambiente de regular a malo con tendencia al estancamiento, y que poseen una conciencia ambiental bien definida sobre las problemáticas del entorno. La presencia de basura en las calles y la contaminación del aire fueron identificados como los principales problemas ambientales que aquejan a la comunidad; aunque los estudiantes demostraron una actitud responsable hacia el medio ambiente, en algunas ocasiones se sienten imposibilitados para mejorar su calidad de vida. Los datos recopilados

### Fechas • Dates

Recibido: 2021.06.12  
Aceptado: 2021.07.01  
Publicado: 2022.02.22

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Argelia Tiburcio Sánchez  
[atiburcio@itesca.edu.mx](mailto:atiburcio@itesca.edu.mx)

demonstraron ser útiles en la primera etapa de implementación del observatorio ciudadano ambiental.

---

Palabras clave: percepción ambiental, observatorio ciudadano, mapeo participativo, Cajeme.

---

## Abstract

This article analyzes the perception and attitudes by university students at the Instituto Tecnológico Superior de Cajeme (ITESCA) about environmental problems in their locality. The purpose of this data is to incorporate the opinion of young people into an environmental citizen observatory. To this purpose, surveys and participatory workshops were carried out among the population studied. The data collected were categorized in a Geographic Information System and used to draw up six maps of perception of pollution and environmental status in the central area of the municipality. The results obtained in this research show that students perceive the state of the environment to be fair to bad with a tendency towards the stagnation, and that they have a well-defined environmental awareness about environmental issues. Litter in the streets and air pollution were identified as the main environmental problems affecting the community; although the students demonstrated a responsible attitude towards the environment, they sometimes feel unable to improve their life quality. The data collected proved to be useful in this first stage of the environmental citizen observatory.

---

Keywords: environmental perception, citizen observatory, community mapping, Cajeme.

---

## 1. Introducción

La situación ambiental actual evidencia la necesidad de contar con datos consistentes sobre las condiciones socioambientales que, tras ser obtenidos por un monitoreo de acuerdo con las Naciones Unidas (UN Environment, 2019), sirvan para implementar y evaluar políticas públicas en materia ambiental; sin embargo, para muchos gobiernos locales, la creación de un sistema de monitoreo ambiental no es viable debido a la falta de recursos técnicos, humanos y financieros. Para evaluar los diversos problemas de la situación ambiental a través del tiempo, así como sus causas, efectos y procesos, es necesario contar con sistemas de monitoreo que proporcionen información suficiente y, sobre todo, confiable por sustentarse en datos duros. No siempre es posible mantener tales sistemas de control, sobre todo a escalas locales como la municipal.

En épocas recientes, la ciencia ciudadana ha promovido la interacción entre la academia y la ciudadanía, ayudando a subsanar estos vacíos de información en tareas de monitoreo y control ambiental (Dickinson et al., 2012). Se observa el surgimiento de los observatorios ciudadanos, como una herramienta o mecanismo de control social constituido por ciudadanos, organizaciones ciudadanas, académicos y expertos interesados en elaborar diagnósticos para impulsar, evaluar, monitorear o vigilar el cumplimiento de una política pública como es la gestión ambiental (Conrad y Hilchey, 2011). En este tipo de observatorios, los ciudadanos dejan de ser receptores de información (Wynne, 1992) y asumen un papel más activo en la cadena de gestión ambiental, participando en tareas como la recolección, producción e interpretación de datos, y la toma de decisiones en problemas ambientales (Kamar, Hacker y Horvitz, 2012; Liu, Kobernus, Broday y Bartonova, 2014)

Este tipo de iniciativas resultan especialmente útiles en regiones donde se dan eventos de contaminación difusa o a pequeña escala (Redondo y Platonov, 2009), pero con un impacto importan-

te en el ambiente, por ejemplo, las regiones agrícolas, reconocidas por la Food and Agricultural Organization (FAO, 2002) como la fuente principal de contaminación de agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas, así como una de las mayores fuentes antropogénicas de gases de efecto invernadero, contribuyendo con un 25% de emisiones (Bustamante et al., 2014).

Tal es el caso del municipio de Cajeme, ubicado en el Valle del Yaqui, región emblemática por ser la cuna de la revolución verde. Las condiciones geográficas de esta zona permitieron la configuración de una de las regiones agroindustriales más extensas del país (Matson, Luers, Seto y Naylor, 2005), en donde las ciudades funcionan como los núcleos de una extensa red que enlaza a unidades productivas, parcelas agrícolas, campos pesqueros y ranchos y centros ganaderos, unidos por todo tipo de infraestructura, incluyendo canales de riego, vías de comunicación y energía. Recientemente, esta región ha presentado desafíos ambientales particulares. El crecimiento demográfico y las actividades productivas (agricultura, ganadería, acuicultura, industria maquiladora) han generado diversos problemas que amenazan la sostenibilidad socio-ambiental de la región (Matson y Falcon, 2012). Numerosos autores han documentado la problemática ambiental del Valle del Yaqui (Meza, Koppling, Burgess y Gandolfi, 2004; Meza et al., 2013; Pilling, 2011; Cantú et al, 2011), en la que se evidencia la necesidad de realizar diagnósticos adecuados que permitan diseñar, implementar y evaluar políticas públicas que aporten soluciones a la problemática ambiental actual.

Ante la necesidad de un sistema de monitoreo ambiental y tomando como marco las ideas anteriormente expuestas sobre la ciencia ciudadana, se ha planteado la conformación de un Observatorio Ciudadano Ambiental en el municipio sonorense de Cajeme. Se trata de una iniciativa académica que tiene entre sus objetivos registrar y fundamentar la problemática ambiental del municipio. Dicho proyecto se basa en la idea de que los ciudadanos pueden y deben involucrarse en el monitoreo ambiental, la producción e interpretación de datos, y la toma de decisiones referentes a problemas de materia ambiental, con la finalidad de que sean capaces de informar a su comunidad.

La implementación del observatorio está diseñada en etapas; la primera de ellas consistió en el acercamiento a la ciudadanía para conocer su percepción ambiental (Frick y Fagalde, 2014). Para ello, se consideró a los estudiantes universitarios como primer grupo social de trabajo por dos motivos: primero, porque se trata de alumnos con los que se tiene un acercamiento cotidiano, ya que los investigadores forman parte de una institución educativa de nivel superior y, en segundo lugar, porque se considera que en este nivel académico los estudiantes tienen una opinión más definida de los problemas ambientales (Pavez-Soto, León-Valdebenito y Triadú-Figueras, 2016).

La presente investigación tiene como objetivo analizar la percepción de los estudiantes universitarios sobre la situación general del ambiente y de su entorno inmediato en el municipio de Cajeme, al igual que sus actitudes ante dicha problemática. El interés de conocer esta información es incorporar los datos recabados dentro del programa de Observatorio Ambiental Ciudadano antes mencionado, pero al mismo tiempo, proveerán información útil para los encargados de formular políticas públicas y la población en general, lo que podría derivar en la generación de una agenda ambiental.

Este trabajo fue elaborado a partir de la geografía de la percepción ambiental. Aunque la información sobre esta metodología no es abundante (Ramírez, 2014), se ha demostrado su efectividad como instrumento de monitoreo, evaluación y gestión territorial en materia ambiental cuando se carece de instrumentos de medición complejos (Frick y Fagalde, 2014; Sletto, Bryan, Torrado,

Hale y Barry, 2013), ya que ofrece posibilidades de análisis del espacio subjetivo que permiten aprehender el conocimiento que tiene la población sobre el territorio que habita (Padilla y Luna, 2003; Tipula, 2008). De esta manera, se podrá tener una mejor comprensión de la relación de los seres humanos y el ambiente (Benez, Kauffer, Soares y Álvarez, 2010) que posibilite la incorporación de sus puntos de vista en los procesos de toma de decisiones y como soporte en la planificación y gestión de los recursos naturales (Barraza y Ceja, 2003; Ramos, 2007; Guevara, Mc Cune, Rodríguez y Newell, 2011).

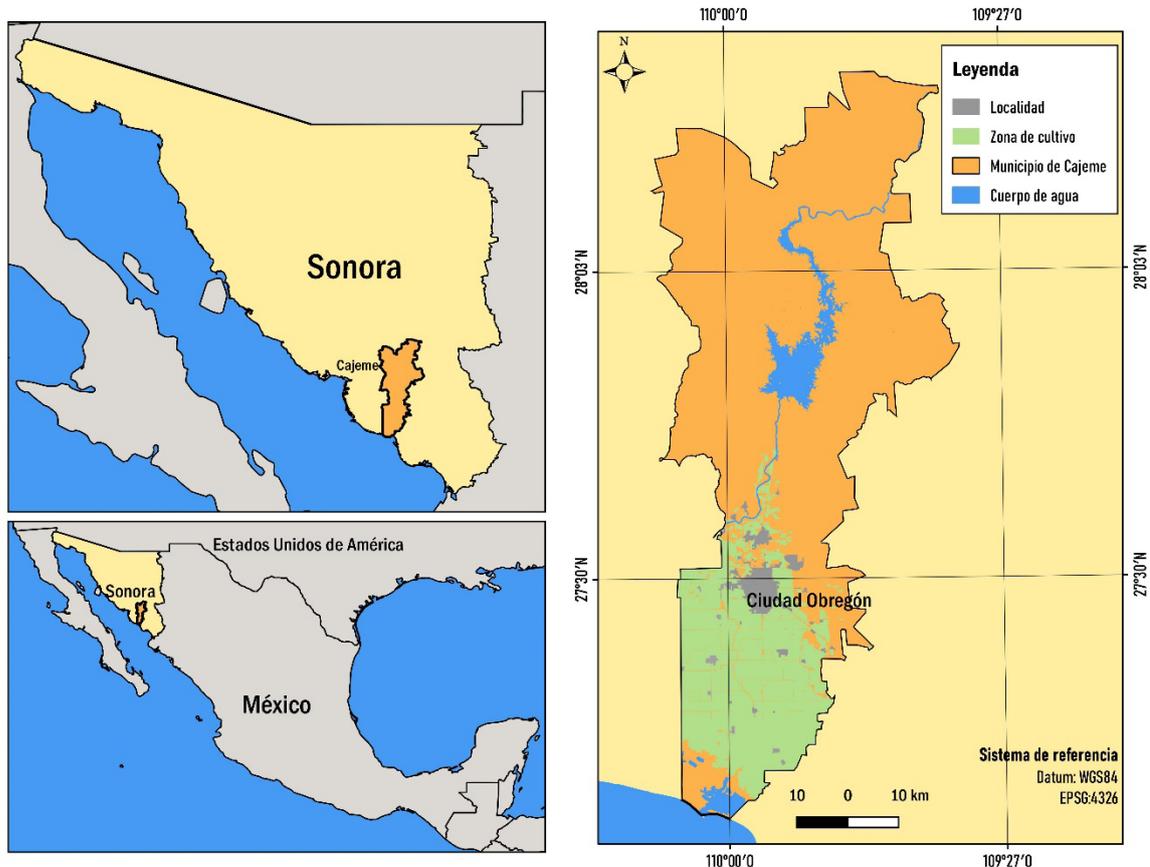
Por lo anterior, se han desarrollado instrumentos de medición respecto a las percepciones ambientales, además, existen varios trabajos que abordan dichas apreciaciones en estudiantes con diferentes objetivos, aunque la mayoría busca medir el grado de comprensión o nivel de conocimientos ambientales a través de diferentes técnicas, tanto cuantitativas como cualitativas (Aragónés, Sevillano, Cortés y Amérigo, 2006; Espino-Román, Olaguez-Torres y Davizon-Castillo, 2015; Isaac-Márquez et al., 2011; Padilla y Luna, 2003; Sosa, Isaac-Márquez, Eastmond, Ayala y Arteaga, 2010). En menor medida, se observan trabajos relacionados con las actitudes ambientales, como la medición del grado de compromiso con las problemáticas ambientales (Zamorano, Parra, Peña, Castillo y Vargas, 2009). Hasta ahora, pocos estudios abordan el nivel de importancia que los estudiantes le atribuyen a los diferentes problemas ambientales (Castells y Morey, 2005), como son la contaminación del aire, la generación de residuos, la escasez de agua potable y el cambio climático.

## 2. Área de estudio

La investigación se desarrolló en el municipio de Cajeme, ubicado al suroeste del estado de Sonora en México; específicamente, se localiza en el paralelo 27° 29' de latitud norte y a los 109° 56' de longitud al oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 46 metros sobre el nivel del mar (Figura 1). Tiene un territorio de 3,312.05 km<sup>2</sup> y una población aproximada de 410 mil habitantes, que se concentran mayormente en la cabecera municipal (Ciudad Obregón) y sus poblaciones conurbadas: Esperanza, Cócorit, Pueblo Yaqui y Marte R. Gómez.

El municipio ha logrado diversificar su vocación productiva, observándose un crecimiento de la industria alimentaria y maquiladora de exportación; además, concentra una buena oferta educativa de universidades, tanto públicas como privadas.

Figura 1. Zona de estudio. Municipio de Cajeme.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2018.

### 3. Métodos e instrumentos

La metodología desarrollada en el presente trabajo se basa en dos técnicas complementarias: el levantamiento de encuestas y la implementación de talleres participativos para evaluar la percepción ambiental de los estudiantes. Las encuestas son una de las técnicas para el estudio de actitudes y se adaptan a todo tipo de información y a cualquier población; la gran cantidad de referencias obtenidas en un período corto de tiempo hace posible estandarizar los datos para un análisis posterior (Redondo, 1998). Por otro lado, los talleres participativos orientados al mapeo comunitario han demostrado su potencial como herramienta de evaluación de la percepción del estado ambiental o de los recursos naturales de las comunidades (Peralta-Rivero, Galindo-Mendoza, Contreras-Servín, Algara-Siller y Mas-Causel, 2016; Sletto, Bryan, Torrado, Hale y Barry, 2013).

#### 3.1. Encuestas de percepción

El estudio se llevó a cabo en el ITESCA de Sonora. La población estudiada estuvo integrada por estudiantes activos de las nueve licenciaturas impartidas en el instituto, cuya matrícula es de cinco mil estudiantes. Se calculó un tamaño muestral de 447 encuestas, con un margen de error máximo permitido estimado en 4.43% y un nivel de confianza del 95% de probabilidad de que los resultados obtenidos fueran válidos. La fórmula para realizar el cálculo anterior es la siguiente

$$n = \frac{z^2 [N(p)(d)]}{e^2 (N - 1) + z^2 (p)(q)}$$

En esta ecuación:

n= Tamaño de la muestra requerida.

z= Nivel de Confiabilidad (95% valor estándar de 1.96, según tabla del área bajo la curva normal).

N= Tamaño de la población (5,000 estudiantes de licenciatura)

p= Variabilidad positiva (0.5)

q= Variabilidad negativa (0.5).

e= Margen de error permitido (4.43%)

El instrumento consistió en una encuesta de trece preguntas con opciones tipo escala de Likert y preguntas cerradas. Para su elaboración, se consultaron y adaptaron algunas preguntas de las encuestas de El Colegio de la Frontera Norte (El Colegio de la Frontera Norte y Secretaría de Desarrollo Social, 2005), las cuales fueron diseñadas bajo un esquema sencillo en función del cumplimiento de los objetivos (Navarro, 2011). El contenido de las preguntas se sustenta en un examen exploratorio previo entre estudiantes del ITESCA. Posteriormente, se realizó un taller participativo con estos mismos estudiantes para validar la confiabilidad del cuestionario.

Las preguntas se clasificaron según su contenido en los siguientes grupos: a) preguntas de identificación (edad, sexo, carrera estudiada, año cursado, lugar de origen y colonia de residencia); b) preguntas para determinar la importancia de los problemas ambientales en su municipio; c) preguntas para determinar la percepción de la calidad del ambiente; y d) preguntas de actitud del entrevistado en actividades en favor del ambiente en el municipio.

### 3.2. Talleres participativos

Los talleres participativos se realizaron en el mismo periodo de aplicación de las encuestas. En total, se realizaron dos talleres entre un número reducido de estudiantes. El primero fue una inducción al observatorio ciudadano para probar la validez del cuestionario e identificar la problemática ambiental percibida, así como una prueba piloto para realizar el siguiente taller.

El segundo taller se organizó entre 40 estudiantes acompañados de tres profesores de asignatura y consistió en una explicación sobre el observatorio ciudadano. También se aplicó el cuestionario de percepción ambiental y se construyó un mapa en el que los alumnos identificaron las zonas de impacto ambiental del municipio, así como los factores, causas y efectos que tienen mayor influencia en la situación ambiental de la región. Los datos recabados ayudaron a complementar y contrastar la información obtenida en las encuestas.

### 3.3. Mapeo de los datos

Los datos obtenidos en las encuestas y los talleres participativos fueron sistematizados y procesados mediante el software QGIS 3.12 en los que se elaboraron seis mapas de percepción de las causas de contaminación y el estado ambiental en la zona central del municipio.

El primer mapa, construido a partir de los datos recabados en los talleres de percepción ambiental, muestra la ubicación de las principales fuentes de contaminación o degradación en el área central de Cajeme.

Un conjunto de cuatro mapas corresponde a la sistematización de los datos de las encuestas aplicadas, particularmente aquellos arrojados por las preguntas relacionadas con la percepción de los estudiantes sobre la calidad del agua potable, la calidad del aire, los niveles de ruido y la limpieza de las calles en su colonia de residencia. De un total de 447 encuestados, solo 224 indicaron la zona en la que viven, identificándose así 90 colonias que fueron ubicadas geográficamente para la elaboración de los mapas correspondientes. Finalmente, se calcularon los valores promedio de calidad ambiental por colonia, resultados que sirvieron para la construcción del sexto mapa.

## 4. Resultados

La población estudiada estuvo constituida por 447 estudiantes con las siguientes características sociodemográficas: jóvenes de entre 17 y 29 años de edad (56% mujeres y 44% hombres) cursando diversas carreras profesionales, con preponderancia de ingeniería ambiental; la distribución de avance de la licenciatura es de 23% para el 1er año, 10% cursa el 2do año, 17% estudia el 3er año, 45% se encuentra en el 4to año y 6% en el 5to año. La mayoría de los estudiantes son originarios de Cajeme (79%) y un pequeño porcentaje proviene de otros municipios sonorenses y de los estados colindantes. La media de años de residencia en la región fue de 15 años.

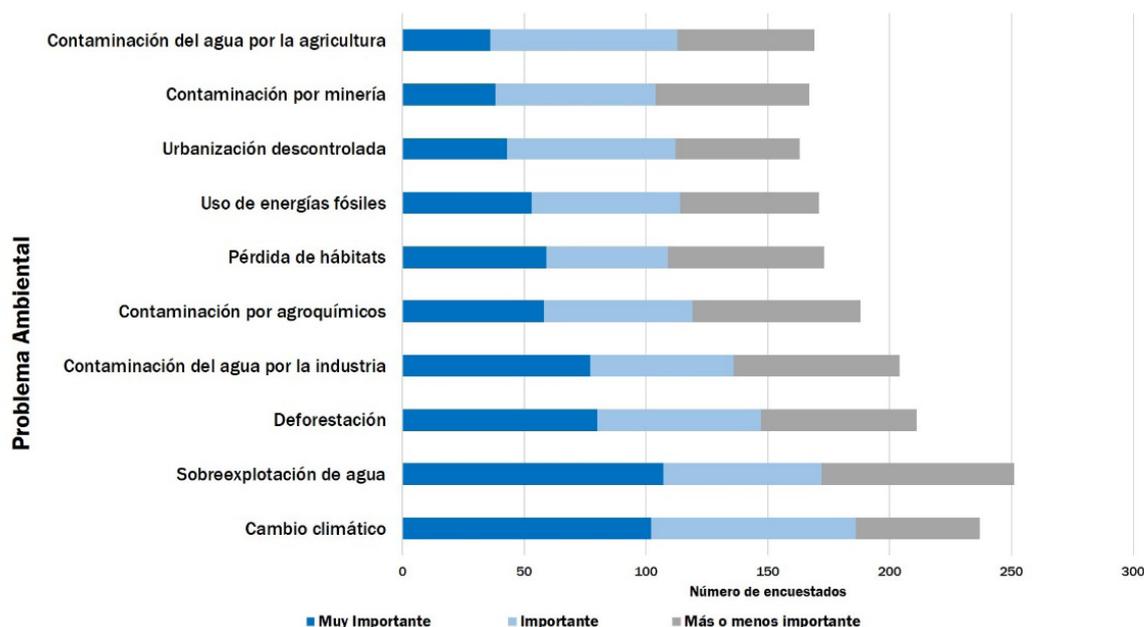
Solo 224 encuestados mencionaron puntualmente su colonia de residencia. De las 90 colonias identificadas, la mayoría (78%) se ubica en Ciudad Obregón y su zona conurbada (13%). Un pequeño porcentaje (4%) se localiza en comunidades rurales dentro de Cajeme y sus municipios contiguos.

### 4.1. Percepción de los problemas ambientales

Los datos muestran que entre los jóvenes universitarios de Cajeme existe interés y preocupación por las condiciones del medio ambiente en el municipio. Nuestro estudio revela que la percepción ambiental de los estudiantes puede ser evaluada a nivel geográfico y que presenta variaciones que dependen del lugar de residencia.

La percepción que tiene la población estudiada sobre los problemas ambientales se centra principalmente en el agua, ya sea por sobreexplotación o por contaminación, seguida del cambio climático, la deforestación, la pérdida de hábitats y, en menor medida, el uso de energías fósiles y la urbanización descontrolada (Figura 2).

Figura 2. Problemas ambientales por orden de importancia, según estudiantes del ITESCA.



Fuente: Elaboración propia con base en los datos de las encuestas levantadas.

En contraste, la percepción que tienen los estudiantes sobre el estado ambiental en su lugar de residencia identifica la presencia de residuos sólidos en las calles como el principal problema. El 61% de la población considera que el estado de las calles es sucio o muy sucio. El 45% de la población percibe la calidad del aire como regular, mientras que un 38% la considera buena. Pese a que los temas referentes al agua se consideran la problemática ambiental de mayor importancia, el 64% de la población opina que la calidad del agua potable recibida en casa es buena o muy buena, un 30% la percibe como regular y solo un 5% la considera mala. Los niveles de ruido son aceptables para un 52% de la población, en tanto que un 17% los considera significativamente molestos.

En cuanto a la evolución de la situación ambiental en el municipio, los datos indican una división entre la población, ya que el 51% considera que el estado ambiental del municipio sigue igual que antes, pero un 33% cree que ha empeorado y solo un 12% opina que ha mejorado.

#### 4.2. Responsabilidad sobre el medio ambiente

Se observa que poco más de la mitad de los encuestados (55%) considera que todos los sectores de la sociedad (gobierno, ciudadanía, empresas y asociaciones civiles) son corresponsables en el cuidado del ambiente, mientras que un 29% considera que es responsabilidad de los ciudadanos. Un porcentaje pequeño opina que es responsabilidad única de empresas (6%), del gobierno (5%) o asociaciones civiles (3%).

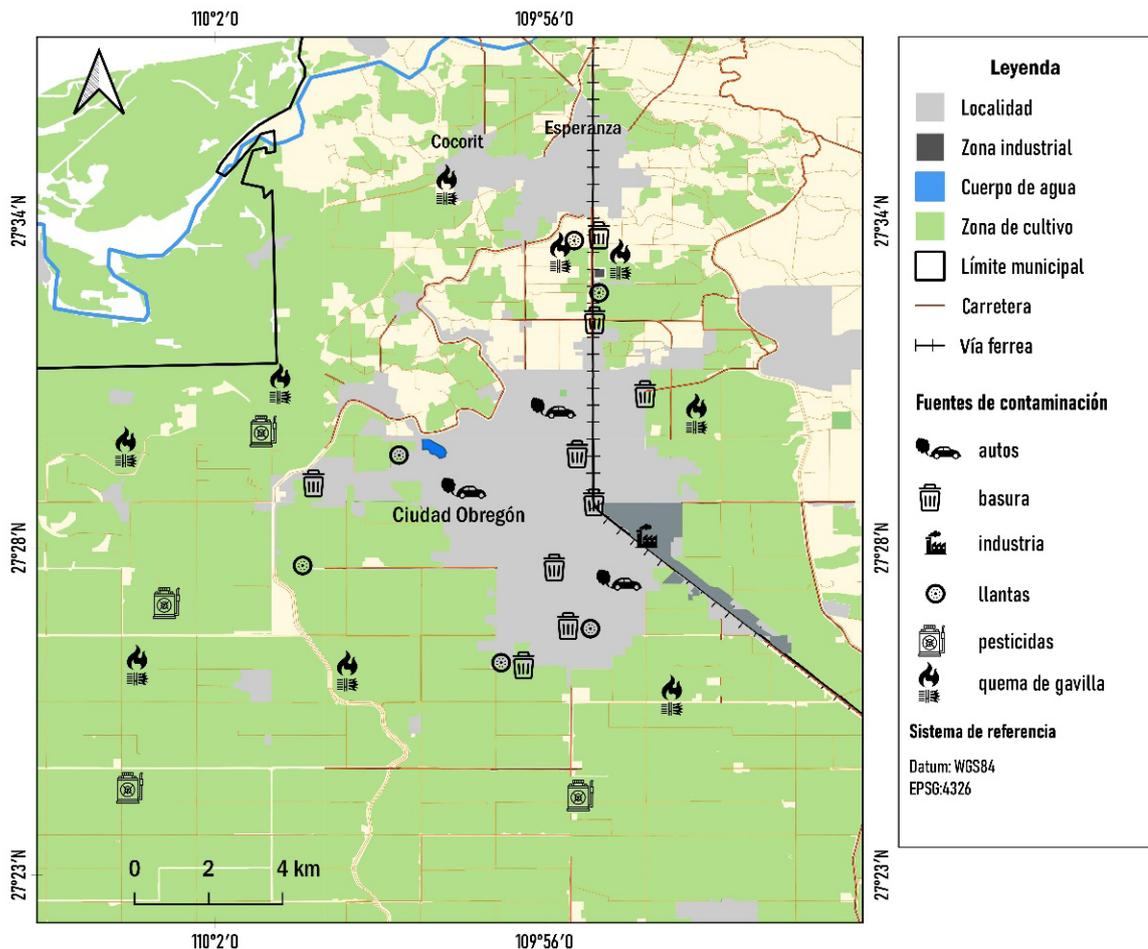
Resalta el porcentaje de estudiantes que considera que son los ciudadanos los principales responsables de cuidar el medio ambiente. Esta atribución de responsabilidad es congruente con el nivel de compromiso que los jóvenes asumen hacia los problemas ambientales de su entorno cercano (barrio, colonia o municipio): el 55% se siente algo responsable y un 25% muy responsable. Un alto porcentaje (71%) participaría en actividades que ayuden a cuidar el medio ambiente, aunque un porcentaje menor (62%) indicó que participaría en un observatorio ciudadano. Sin embargo, pese a que los estudiantes asumen actitudes responsables sobre el medio ambiente, existe una

proporción importante (43%) que considera que el entorno no les facilita la incursión a estas actividades, por ejemplo, mencionan que los medios de comunicación locales no hablan lo suficiente sobre el tema.

### 4.3. Fuentes de contaminación

Los estudiantes identificaron seis fuentes de contaminación que afectan la calidad del agua, el aire y el suelo (Figura 3). La presencia de basura fue identificada como la principal fuente de contaminación dentro de la ciudad, particularmente en la zona centro. La falta de centros de acopio de llantas también se consideró un problema. Las quemaduras agrícolas se reconocieron como la principal fuente de contaminación del aire y, en menor proporción, el flujo vehicular. El uso de pesticidas fue mencionado como un factor de contaminación de aire, agua y suelo de la zona agrícola. Finalmente, la zona industrial se identificó como una fuente de contaminación de aire, agua y suelo.

Figura 3. Representación de la percepción de los estudiantes sobre las fuentes de contaminación en el municipio de Cajeme.



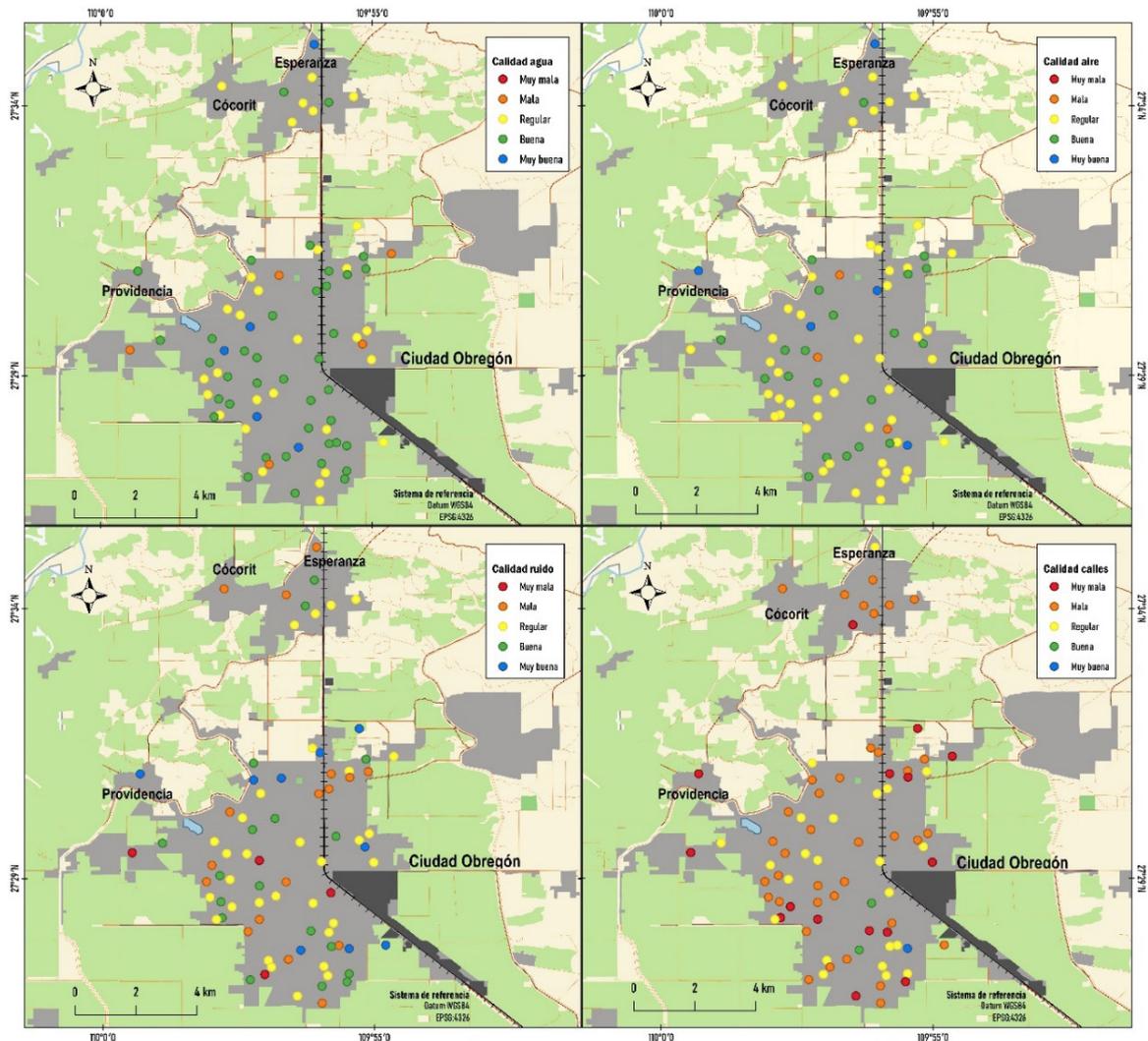
Fuente: Elaboración propia con datos recopilados en los talleres participativos.

#### 4.4. Análisis geográfico de la calidad de los factores ambientales

##### 4.4.1. Calidad del agua

El análisis de la información sobre la calidad del agua (Figura 4) permitió identificar que un pequeño número de colonias (5) promedian una percepción de calidad muy buena. Estas se ubican en la zona norte, poniente y suroeste de la ciudad. Cerca de la mitad de las colonias (42 colonias) percibe la calidad como buena, y se encuentran distribuidas de forma homogénea en la corona central de la ciudad y en la zona conurbada de Esperanza. Las colonias percibidas con calidad regular suman un total del 36, mismas que se distribuyen en la periferia de la ciudad y en algunos puntos del centro de esta, aunque también se ubican en los poblados conurbados de Cócorit, Esperanza y Villa Bonita, y en los poblados rurales de Campo 2, Pueblo Yaqui y Hornos. Las pocas colonias que promediaron una calidad mala de agua se encuentran en la periferia de la ciudad y corresponden a colonias de interés social de reciente creación. No se identificaron colonias con calidad de agua muy mala.

Figura 4. Mapa de percepción de calidad ambiental entre estudiantes del ITESCA.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recopilados en la encuesta de percepción ambiental.

#### 4.4.2. Calidad del aire

Seis colonias ubicadas de forma dispersa en diferentes puntos de la ciudad, tanto al norte, centro y sureste, así como en los conurbados de Providencia y Esperanza, reportaron una muy buena calidad de aire. Un tercio de las colonias identificadas reportan una calidad de aire buena a muy buena. Las 26 colonias que presentan buena calidad se distribuyen en toda la ciudad, aunque se observa una mayor concentración de estas en el sureste y poniente de la ciudad (Figura 4). En los poblados de Esperanza y Quetchehueca, también se reportó buena calidad. 53 colonias (60%) presentan calidad regular del aire. Estas se encuentran distribuidas tanto en el centro como en la periferia, en la zona conurbada de Cócorit y en las localidades rurales de Pueblo Yaqui, Quetchehueca y Hornos. Las cuatro colonias que presentaron mala calidad se ubican en la periferia de Ciudad Obregón. No se reportaron colonias con calidad muy mala de aire.

#### 4.4.3. Niveles de ruido

La tendencia de los niveles de ruido se encuentra principalmente distribuida entre regular y buena. 11 colonias ubicadas en la periferia de la ciudad y en dos poblados rurales, presentan niveles de ruido mínimos. En 21 colonias, los niveles de ruido se consideran poco molestos (buena calidad); estas se ubican en distintos puntos de la ciudad, en la zona conurbada de Esperanza y en las localidades rurales de Quetchehueca y Hornos. La mayor proporción de colonias (40%), distribuidas de manera uniforme en todo el municipio, tanto en la zona conurbada de Cócorit y Esperanza, así como en los poblados rurales de Pueblo Yaqui y Tobarito, reportaron un nivel regular de ruido. En el 26% de las colonias, los niveles de ruido van de insoportables a muy molestos. Estas colonias se encuentran tanto en la zona central de la ciudad como en las colonias periféricas del oriente, poniente y sur, y también en la zona conurbada de Esperanza y Cócorit.

#### 4.4.4. Limpieza de las calles

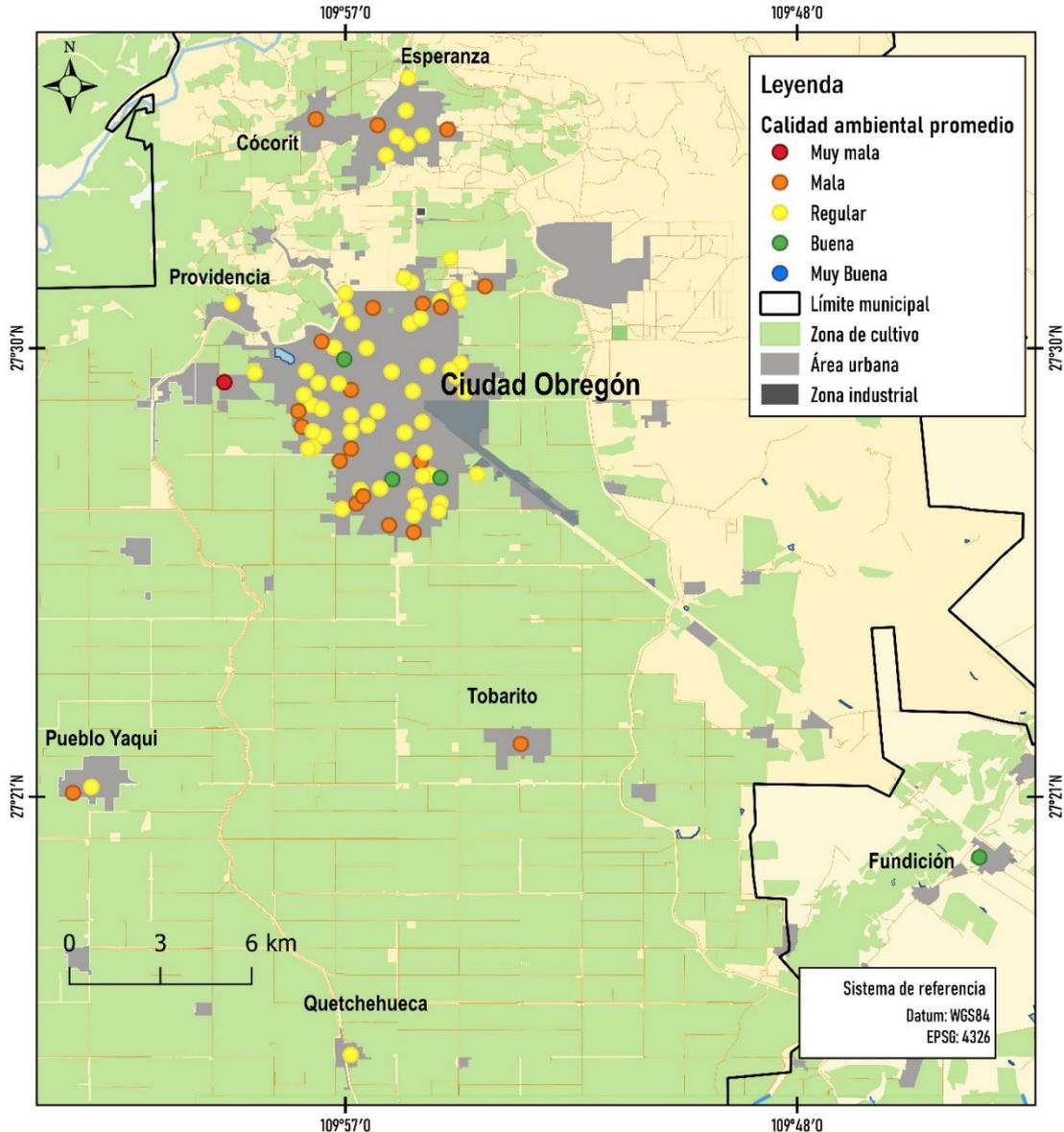
De los cuatro criterios evaluados, la limpieza de las calles obtuvo la percepción más baja. 65% de las colonias obtuvieron niveles de limpieza malos a muy malos. 15 colonias fueron calificadas como muy sucias y 43 colonias como sucias. Las colonias con calles muy sucias se encuentran principalmente en la zona oriente y sur de Ciudad Obregón, y en la zona conurbada de Cócorit y Esperanza (Figura 4). Las colonias con calles sucias se ubican en todo el municipio, ya sea en la zona centro o en la periferia de Ciudad Obregón, así como en los pueblos rurales y el área conurbada. Con una distribución similar, pero en menor proporción, 26 colonias fueron calificadas con una limpieza de calles regular. Solo cuatro colonias fueron calificadas con un nivel de limpieza bueno, las cuales se ubican en el sur de la ciudad y en los poblados rurales de otros municipios. No hubo colonia que fuera percibida con niveles muy buenos de limpieza.

#### 4.4.5. Promedio ambiental por colonia

En la Figura 5 se muestra la representación gráfica de la distribución de la percepción ambiental promedio de los elementos analizados. Se observa que la percepción que tienen los estudiantes sobre el estado del ambiente en el municipio de Cajeme es, en general, regular. Solo cinco colonias fueron percibidas con calidad buena, dos de las cuales se ubican en el sur de la ciudad, otra en la zona centro y el resto se localiza en otros municipios. Cerca del 70% de las colonias se encuentran en el rango de regular y su distribución es equitativa en Ciudad Obregón y su zona conurbada, así como en el poblado de Hornos. Las 21 colonias que obtuvieron una calificación mala se encuentran en las zonas periféricas del norte, poniente y sur de la ciudad, también en la zona

conurbada de Cócorit y Esperanza, y en las comunidades rurales de Tobarito y Pueblo Yaqui. Solo la colonia Urbi Villa, al poniente de la ciudad, promedió valores de muy mala calidad ambiental.

Figura 5. Representación de la percepción ambiental promedio en el municipio de Cajeme.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recopilados en la encuesta de percepción ambiental.

## 5. Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que la percepción ambiental que los estudiantes de Cajeme tienen sobre su municipio es de regular a mala, y que las condiciones generales no han mejorado en los últimos años. Los universitarios demostraron una conciencia ambiental bien definida sobre las problemáticas actuales, entre las que identifican las fuentes de contaminación. La presencia de basura en las calles es el principal problema ambiental que aqueja a la comunidad, seguido por la calidad del aire. Los estudiantes fueron capaces de identificar a la acumulación inadecuada de basura, principalmente en las zonas baldías que abundan tanto en la

ciudad como a lo largo de los canales de agua que forman parte del sistema de riego del Valle del Yaqui, como el origen de la basura en las calles; a su vez, los incendios provocados por las quemas agrícolas y de basura, fueron reconocidos como la principal fuente de contaminación del aire. El uso de pesticidas también se percibe como contaminante del aire, aunque se asocia más con la contaminación de suelos y agua. Con respecto a los niveles de ruido, no se obtuvo información sobre las fuentes o causas de los índices tan altos que se percibieron. Lo anterior resulta interesante considerando que la ciudad no tiene grandes flujos de tránsito vehicular o una industria generadora de ruido. La calidad del agua fue el elemento mejor evaluado, hecho relacionado con la buena disponibilidad de agua potable en la ciudad, pues esta cuenta con dos plantas potabilizadoras. En contraste, la calidad del agua en las comunidades rurales suele ser regular debido a que el agua de la que se abastecen proviene generalmente de pozos sin ningún tratamiento.

Las técnicas de encuestas y mapeo de percepción participativo demostraron ser una herramienta adecuada en la obtención de datos preliminares para el observatorio ciudadano. Las encuestas permitieron recabar un nivel de información crítico que da validez a la recolección de datos, convirtiéndose así en un instrumento significativo para esta labor. Por su parte, el análisis del mapeo de percepción participativo permitió obtener un panorama de la distribución geográfica del estado ambiental del municipio. Considerando dicho análisis, se puede concluir que el estado ambiental del municipio de Cajeme es regular y que presenta una problemática acentuada en los niveles de basura y calidad del aire. Finalmente, los datos recopilados hacen posible el establecimiento de una agenda ambiental a partir de la cual se dictarían acciones concretas tanto para el observatorio ciudadano como para las autoridades competentes en la materia.

## Agradecimientos

A los ciudadanos del municipio de Cajeme al aceptar contestar las encuestas, a la Subdirección de Gestión Ambiental y Ecología del Municipio de Cajeme por su apoyo en los talleres participativos con los estudiantes.

## Contribución de autorías

El artículo responde a un trabajo colectivo realizado entre los autores participantes. La concepción de la idea y coordinación del trabajo estuvo a cargo de Argelia Tiburcio y Martín Villa. Los cuatro autores han participado en la revisión bibliográfica, el análisis y la redacción del artículo. La coordinación de los talleres participativos, acercamiento con autoridades y financiamiento estuvo a cargo de Martín Villa Ibarra. Edith Karina Franco y Angel Meza Esquer levantaron las encuestas y sistematizaron los datos.

## Financiación

Este estudio se ha realizado en el marco del programa Cátedras Conacyt proyecto 694 Grupo Interdisciplinario e Interinstitucional de Estudios de Ciencias del Hábitat y el Instituto Tecnológico Superior de Cajeme.

## Conflicto de intereses

Los autores de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses con relación a la publicación de este artículo.

## Bibliografía

- Aragonés, J. I., Sevillano, V., Cortés, B., & Américo, M. (2006). Cuestiones ambientales que se perciben como problemas. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*, 7 (2), 1-19. Recuperado de: [https://mach.webs.ull.es/PDFS/Vol7\\_2/Vol7\\_2\\_a.pdf](https://mach.webs.ull.es/PDFS/Vol7_2/Vol7_2_a.pdf)

- Barraza, L., & Ceja, M. P. (2003). Los niños de la comunidad: su conocimiento y su percepción de la naturaleza. En A. Velázquez, A. Torres, y G. Bocco, *Las enseñanzas de San Juan. Investigación participativa para el manejo integral de los recursos naturales* (pp. 371-398). Mexico: INE-SEMARNAT.
- Benez, M. C., Kauffer, E. F., Soares, D., y Álvarez, G. (2010). El estudio de las percepciones de la gestión de la calidad del agua, una herramienta para fortalecer la participación pública en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas. *Región y Sociedad*, 22(47), 73-104.
- Bustamante, M., Robledo-Abad, C., Harper, R., Mbow, C., Ravindranat, N., Sperling, F. & Smith, P. (2014). Co-benefits, trade-offs, barriers and policies for greenhouse gas mitigation in the agriculture, forestry and other land use (AFOLU) sector. *Glob Change Biol*, 20(10), 3270-3290. <https://doi.org/10.1111/gcb.12591>
- Cantú, E.U., Meza, M. M., Valenzuela, A.I., Felix, A., Grajeda, P., Balderas, J.J., Osorio, C.L., Acuña, G. y Aguilar, M.G. (2011). Residues of Organochlorine Pesticides in Soils from the Southern Sonora, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 87 (556). doi:10.1007/s00128-011-0353-5
- Castells, M., y Morey, M. (2005). La percepción de los problemas ambientales y la visión del futuro en los jóvenes españoles. En M.F. Oliver (Ed.), *Actitudes y percepción del medio ambiente en la juventud española* (pp.97-184) Madrid: Ministerio de Medio Ambiente Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- Conrad, C. C., y Hilchey, K. G. (2011). A review of citizen science and community- based environmental monitoring: issues and opportunities. *Environmental Monitoring Assessment*, 176, 273-291. doi:10.1007/s10661-010-1582-5
- Dickinson, J. L., Shirik, J., Bonter, D., Bonney, R., Crain, R. L., Martín, J., Phillips, T., Purcell, K. (2012). The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), 291-297. doi:10.1890/110236
- El Colegio de la Frontera Norte y Secretaría de Desarrollo Social. (2005). *Encuesta de Ciudades Mexicanas sobre la Calidad de Vida y Violencia Social. Manual del entrevistador*. Tijuana: EL COLEF, SEDESOL.
- Espino-Román, P., Olaguez-Torres, E., & Davizon-Castillo, Y. A. (2015). Análisis de la Percepción del Medio Ambiente de los Estudiantes de Ingeniería en Mecatrónica. *Formación Universitaria*, 8(4), 45-54. doi: 10.4067/S0718-50062015000400006
- FAO. (2002). *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s00.htm>
- Frick, J. P., & Fagalde, M. (2014). El rol del mapeo participativo en la gestión urbana de los Barrios. *Tiempo y Espacio*(33), 9-29.
- Guevara, F., Mc Cune, N. M., Rodríguez, L. A., & Newell, G. E. (2011). Who's Who? Power Mapping, decision making and development concerns in an indigenous community of Oaxaca, México. *Journal of Human Ecology*, 36(2), 131-144. doi:10.1080/09709274.2011.11906427
- Isaac-Márquez, R., Salavarría, O. O., Eastmond, A. S., Ayala, M. E., Arteaga, M., Isaac-Márquez, A. P., Sandoval, J. L., y Manzanero, L. A. (2011). Cultura ambiental en estudiantes de bachillerato. Estudio de caso de la educación ambiental en el nivel medio superior de Campeche. *Revista electrónica de investigación educativa*, 13(2), 83-99. Recuperado de <https://redie.uabc.mx/redie/article/view/285/447>
- Kamar, E., Hacker, S., & Horvitz, E. (2012). Combining human and machine intelligence in large-scale crowdsourcing. *Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems* (pp. 467-474). International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. Valencia, España.
- Liu, H., Kobernus, M., Broday, D., & Bartonova, A. (2014). A conceptual approach to a citizen's observatory-supporting community-based environmental governance. *Environmental Health*, (13), 107-120.
- Matson, P., Luers, A., Seto, K. C., Naylor, R. L. & Ortiz- Monasterio, I. (2005). People, Land Use, and Environment in the Yaqui Valley, Sonora, México. En B. Entwisle, & P. C. Stern, *Population, Land Use, and Environment*. Washington: National Academies Press.
- Matson, P., & Falcon, W. (2012). Why the Yaqui Valley? An Introduction. En P. Matson (Ed.), *Seeds of Sustainability. Lessons from the Birthplace of the Green Revolution in Agriculture*. Washington, D.C.: Island Press/Center for Resource Economics. doi:10.5822/978-1-61091-177-1\_1
- Meza, M. M., Koppling, M.J., Burgess, J. L., & Gandolfi, A. J. (2004). Arsenic drinking water exposure and urinary excretion among adults in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico. *Environment Research*, 96(2), 119-126. doi:10.1016/j.envres.2003.08.010
- Meza, M. M., Valenzuela, A.I., Balderas, J. J., Yañez L., Gutiérrez, M. L., Cuevas, A., & Gandolfi, A. J. (2013). Exposure Assessment of Organochlorine Pesticides, Arsenic and Lead in Children from the major agricultural

- areas in Sonora, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 64(3), 519-527. doi:10.1007/s00244-012-9846-4
- Navarro, J. A. (2011). Introducción al diseño y análisis del muestreo de poblaciones finitas. En F. Bautista (Ed.), *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. (pp. 3-58). México: UNAM.
  - Padilla, L. S., y Luna, A. M. (2003). Percepción y conocimiento ambiental en la costa de Quintana Roo: una caracterización a través de encuestas. *Revista Investigaciones Geográficas*(52), 99-116.
  - Pavez-Soto, I., León-Valdebenito, C., & Triadú-Figueras, V. (2016). Jóvenes universitarios y medio ambiente en Chile: percepciones y comportamientos. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 14(2), 1435-1449. doi:10.11600/1692715x.14237041215
  - Peralta-Rivero, C., Galindo-Mendoza, M. G., Contreras-Servín, C., Algara-Siller, M., y Mas-Causel, J. F. (2016). Percepción local respecto a la valoración ambiental y pérdida de los recursos forestales en la región Huasteca de San Luis Potosí, México. *Madera y Bosques*, 22(1), 71-93. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v22n1/1405-0471-mb-22-01-00071.pdf>
  - Pilling, S.A.(2011). The human cycle of water management and anthropogenic contaminated pathways in Potam, Sonora, Mexico's water cycle. *Environment Development Sustainability*, 13(6), 1007-1019. doi:10.1007/s10668-011-9302-z
  - Ramírez, M. T. (2014). *Análisis y comparación de las percepción ambiental de la población de las zonas metropolitanas del Valle de México y de Mexicali (Tesis de maestría )*Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Ciudad de México, México.
  - Ramos, A. (2007). *La investigación cartográfica participativa como herramienta para la conservación ambiental en comunidades Tének de la Huasteca Potosina* (tesis de Maestría) Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí.
  - Redondo, Á. (1998). Las encuestas y las entrevistas en las investigaciones geográficas. En A. García (Ed.), *Métodos y técnicas cualitativas en geografía social*. (pp.53-60). Barcelona, España: Oikos-Tau.
  - Redondo, J. M., & Platonov, A. K. (2009). Self-similar distribution of oil spills in European coastal waters. *Environ. Res. Lett.*, 4(1),1-10. doi:10.1088/1748-9326/4/1/014008
  - Sletto, B., Bryan, J., Torrado, M., Hale, C., y Barry, D. (2013). Territorialidad, mapeo participativo y política sobre los recursos naturales:la experiencia de América Latina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 193-209.
  - Sosa, S. B., Isaac-Márquez, R., Eastmond, A., Ayala, M. E., y Arteaga, M. A. (2010). Educación Superior y Cultura Ambiental en el sureste de México. *Universidad y Ciencia*, 26 (1), 33-49.
  - Tipula, P. (2008). *Metodología de mapeo territorial. Comunidades nativas Cacataibo*. Perú: Instituto del Bien Común.
  - UN Environment. (2019). *Global Environment Outlook - GEO- 6: Healthy Planet, Healthy People*. Nairobi: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781108627146
  - Wynne, B. (1992). Misunderstood misunderstanding: social identities and public uptake of science. *Public Understanding Science*, 1(3), 281-304.
  - Zamorano, B., Parra, V., Peña, F., Castillo, Y., y Vargas, J.I. (2009). Percepción Ambiental en estudiantes de Secundaria. *Revista electrónica Actualidades Investigativas en Educación*, 9(3), 1-19.

# Estructura vertical y características de las inversiones térmicas nocturnas en el SE de España

## Characteristics and vertical structure of inversions temperature nocturnal in the SE of Spain

DAVID ESPÍN SÁNCHEZ<sup>1</sup>  0000-0003-4807-5450

<sup>1</sup>Departamento de Geografía, Universidad de Murcia

### Resumen

El sureste de la península ibérica se caracteriza por un importante número de días de cielos despejados al año. Bajo condiciones estables, durante las horas nocturnas, se desarrollan procesos de inversión térmica nocturna (ITN) con una notable alteración vertical y espacial en la distribución térmica superficial. El principal objetivo de la investigación es cuantificar el grado de importancia de los procesos de estabilidad nocturna en el sureste peninsular, y su influencia en las temperaturas mínimas superficiales. A través del análisis diario de sondeos atmosféricos nocturnos de la ciudad de Murcia (1986-2015) se identifica la estratificación vertical, frecuencia, tipología o intensidad de los fenómenos de ITN. Los resultados indican una notable importancia y predominio a lo largo del año (83,7% del total), especialmente en invierno. Se realiza, además, un estudio temporal reciente de los procesos de ITN y de las principales variables que lo desencadenan. Finalmente, el análisis se complementa con una caracterización de la capacidad de inversión de los procesos de estabilidad nocturna en superficie a través de 135 estaciones meteorológicas.

Palabras clave: inversión térmica; estabilidad; sondeo; estratificación; Murcia.

### Fechas • Dates

Recibido: 2021.06.03  
Aceptado: 2021.12.15  
Publicado: 2022.03.01

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

David  
Espín Sánchez  
[david.espin1@um.es](mailto:david.espin1@um.es)

## Abstract

The southeast of the Iberian Peninsula is characterized by a significant number of days of clear skies per year. Under stable conditions, during the night hours, inversion temperature nocturnal processes (ITN) develop with a notable vertical and spatial alteration in the thermal distribution. The main objective of the research is to quantify the degree of importance of nocturnal stability processes in the southeast of the Iberian Peninsula, and its influence on minimum surface temperatures. Through the daily analysis of nocturnal atmospheric soundings of the city of Murcia (1986-2015), the vertical stratification, frequency, typology or intensity of the ITN phenomena is identified. The results indicate a notable importance and predominance throughout the year (83.7% of the total), especially in winter. In addition, a characterization of the intensity of the nocturnal stability processes and a recent temporal study of the ITN processes and the main variables that trigger it are carried out.

Keywords: inversion; stability; sounding; stratification; intensity

## 1. Introducción

Las primeras alusiones al fenómeno de las inversiones térmicas (IT) o al cambio de condiciones climáticas en áreas deprimidas (lagos, lagunas) por la acción humana aparecen en 1804 en la Geografía Física de Kant (1999) o en el Cosmos de Humboldt (1874). Los primeros estudios con datos termométricos observados se remontan a 1883, cuando Hann analiza los fenómenos de IT en la cuenca alpina de Klagenfurt (Austria) (López Gómez, 1975). Durante las primeras décadas del siglo XX se inicia una prolija investigación científica con el objetivo principal de estudiar la deposición de aire frío en fondos de valle y hoyas interiores durante madrugadas estables (De Martonne, 1909; Marvin, 1914; Young, 1923; Ekhardt, 1934). La definición más sencilla, aportada por Whiteman (2000), establece que la inversión térmica se produce cuando la temperatura de una capa atmosférica aumenta con la altitud.

Los fenómenos de IT son, por tanto, procesos que se suceden a lo largo de todo el año, y que generalmente vienen definidos por una capa atmosférica cuyo gradiente térmico vertical es positivo, es decir, la temperatura aumenta con la altitud (Glickman 2000; Zhang et al., 2011). Afectan a un espesor variable de aire limitado por una base y un techo, y se clasifican en superficiales o de irradiación, inversiones de advección, de turbulencia, subsidentes o frontales, e incluso mesosféricas (Schnelle y Brown, 2002; Brümmer y Schultze, 2015). Asociadas a condiciones sinópticas de diferente escala, pueden producirse inversiones térmicas superficiales (Surface-based temperature inversions o SBI) o elevadas (Elevated inversions o ELI) (Mayfield y Fochesatto, 2013).

Según Iacobellis et al. (2009), existen dos tipos básicos de inversiones en niveles bajos atmosféricos: inversiones por radiación (o superficie) e inversiones por hundimiento. En concreto, las inversiones de radiación suelen desarrollarse durante la madrugada, al no existir en ella radiación solar entrante que equilibre el enfriamiento de la superficie provocado por la irradiación de onda larga saliente. Por tanto, las áreas de valle son especialmente propensas a las inversiones de radiación, debido al drenaje de aire frío a lo largo de las laderas que las flanquean (Watson y Chow, 2002). Dichas laderas refuerzan el proceso cuando actúan flujos catabáticos, siendo éstos tanto más acusados cuanto mayor es el confinamiento de las tierras bajas (Gustavsson et al., 1998; Lindkvist et al., 2000; Lundquist et al., 2008).

Los sucesos de inversión térmica superficiales han sido constatados en numerosas zonas del planeta (Miller et al., 1983; McChesney et al., 1995; Gustavsson et al., 1998; Lindkvist et al., 2000; Clements et al., 2003; Zängl, 2005; Chung et al., 2006; Lundquist et al., 2008). Resultan especialmente frecuentes en latitudes altas, incluido el Ártico (Kahl, 1990; Kadygrov et al., 1999; Liu et al., 2006; Devasthale et al., 2010; Vihma et al., 2011), donde constituyen un rasgo dominante durante la mayor parte del año. Connolley (1996) comprobó que las inversiones térmicas más fuertes y persistentes en superficie a nivel planetario (entendiendo como “fuerza de la inversión” la diferencia entre la temperatura máxima en la troposfera y la del aire a la altura estándar de 1,5 m) se producen en el interior de la Antártida durante la estación invernal. Concretamente en Vostok dicha diferencia en el estrato de inversión superficial alcanzó un promedio de 25°C durante el período de mayo a octubre. En cambio, en las latitudes tropicales las SBI son menos frecuentes (Fadnavis y Beig, 2004) y han sido menos estudiadas (Daly et al., 2003; Abdul-Wahab et al., 2004).

El ciclo diario de inversión es bien conocido y está ampliamente documentado (Garratt y Brost, 1981; Whiteman, 2000). Una capa estable superficial generalmente se forma cada noche, y su destrucción, muy estudiada durante las últimas décadas, se alcanza cuando los rayos solares alcanzan un calentamiento suficiente o cuando la velocidad del viento supera los 20 km/h. (Whiteman, 2000). Según Gillies et al. (2010), aunque es relativamente fácil predecir el inicio de una inversión, la duración o la eventual ruptura de un evento de inversión persistente son imprevisibles. A partir de las inversiones de temperatura simuladas numéricamente durante el día en un valle idealizado, Leukauf et al. (2015) constatan que se requiere un mínimo de 450 w/m<sup>2</sup> para alcanzar el punto de ruptura, así como un tiempo de 11 h para lograr la disipación de la ITN.

El problema se agrava cuando las inversiones térmicas vienen impuestas o condicionadas por la ocurrencia de episodios de polución prolongada o intensa (Incecik, 1996; Kukkonen et al., 2005; Malek et al., 2006). Por otra parte, la intensidad de una inversión es directamente proporcional a su capacidad para inhibir el movimiento vertical de los contaminantes (Milionis y Davies, 2008). Las inversiones de temperatura son también, por tanto, responsables de estos eventos (Olofson et al., 2009; Nidzgorska-Lencewicz y Czarnecka, 2015). De hecho, existen numerosos trabajos que abordan el estudio de las inversiones de temperatura con respecto a la calidad del aire, en particular en valles con gran ocupación urbana, registrando un importante aumento en las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> o NO<sub>2</sub>. Destacan los estudios realizados por Malek et al. (2006) o Silva et al. (2007) en el Valle de Cache (Logan, Utah, EE. UU), por Largeron y Staquet (2016) en los valles alpinos en el área de Grenoble (Francia), por Gramsch et al. (2014) en el valle de Santiago de Chile, o los más recientes llevados a cabo por Czarnecka y Nidzgorska-Lencewicz (2017).

El estudio de perfiles térmicos en relación con el grado de estabilidad atmosférica también ha llevado recientemente a elaborar diversos índices y clasificaciones. Fritz et al. (2008) determinan el grado de estabilidad o inestabilidad en una determinada situación meteorológica a partir de la revisión de índices que relacionan la ratio de estabilidad y los perfiles termodinámicos. En su análisis incluyen la velocidad del viento, la diferencia de altura geopotencial entre dos niveles atmosféricos, y cinco índices de energía convectiva (Lifted Index LI, Índice K, Índice Total de los Totales, Índice de Energía Potencial Disponible Convectiva CAPE, y el Índice Showalter SWI), utilizados en este caso como índices de estabilidad atmosférica (Ochoa y Cantor, 2011). Otros autores (e.g. Pasquill y Smith, 1983) propusieron clasificaciones de estabilidad, que permiten diferenciar entre condiciones inestables, neutras (durante el día), nublados o condiciones estables (nocturnas), con diferentes niveles de intensidad para cada una. Whiteman et al. (2004) comparan perfiles térmicos en el centro de la cuenca alpina del Gruenloch (Austria) con sondeos de

temperatura pseudo-vertical, y ayuda de datos de temperatura de dataloggers instalados en los flancos laterales de dicha cuenca. Esta comparación mostró que los sondeos atmosféricos pseudo-verticales pueden ser sustitutos útiles para obtener perfiles de temperatura del aire en el centro de la cuenca, al menos bajo las condiciones estratificadas que suelen encontrarse en noches de estabilidad. Cabe señalar que los estudios de acumulación de aire frío son relativamente limitados debido de la dificultad y al coste económico que supone realizar sondeos termodinámicos con la frecuencia y resolución vertical necesaria para capturar la estructura vertical y la evolución de los descensos de aire frío superior.

Los procesos de ITN tienen un efecto muy notable sobre el clima y la predicción de formación persistente de estratos superficiales (Zhang *et al.*, 2011). Si bien, la previsión en invierno se ve limitada por la falta actual de comprensión en los mecanismos involucrados en los procesos de ITN, y es considerado uno de los problemas más difíciles de pronosticar en cuencas y valles. Debe señalarse que, además de los modelos específicos empleados en los estudios de inversión térmica (Leukauf *et al.*, 2015), la mayoría de los modelos para la difusión de contaminantes del aire ya incorporan las características de las inversiones (Milionis y Davies, 2008; Morbidelli *et al.*, 2011; Rendón *et al.*, 2015). La mayoría de los estudios relacionados con procesos de ITN se limitan al análisis de inversiones superficiales o de poca elevación, y a la descripción detallada de las estructuras de sus estratos (Czarnecka *et al.*, 2016; Nidzgorska-Lencewicz, 2015; Czarnecka *et al.*, 2018). Las mediciones diarias de los radiosondeos han sido ampliamente utilizadas durante los últimos años para el estudio de inversión térmica (Zhang *et al.*, 2011 y Malingowski *et al.*, 2014)

En la península ibérica, Martín Vide y Fructuoso Aranda (1993) utilizan los sondeos termodinámicos para revisar los conceptos de inversión térmica por subsidencia, turbulencia, frontal o de irradiación y, al mismo tiempo, estudiar dicho tipo de fenómeno en el Vallès Oriental, haciendo hincapié en su frecuencia, intensidad y estacionalidad. Dorta Antequera (1996) analizó las inversiones térmicas por subsidencia, a través de sondeos termodinámicos que permitieron demostrar la mayor proclividad de los meses centrales de verano a padecerlas, bajo condiciones de una altitud relativamente baja y un fuerte gradiente térmico. Más recientemente han surgido estudios específicos sobre piscinas de aire frío o las llamadas “cold air pools” (CAPs) en la literatura anglosajona (e.g. en la Cerdaña, Pirineos), fundamentados principalmente en el uso de redes de datalogger y sondeos termodinámicos (Jiménez *et al.*, 2015; Miró *et al.*, 2017; Pagès *et al.*, 2017).

Los estudios realizados en el ámbito del sureste de la península ibérica son escasos y recientes. En la Región de Murcia la bibliografía existente sobre estas situaciones es muy somera y ha estado generalmente limitada a investigaciones puntuales referidas a los sucesos de heladas. Entre ellos pueden mencionarse los trabajos de Conesa García *et al.* (2014), y Espín Sánchez *et al.* (2018), que acometieron el estudio de SBIs en la Huerta de Murcia, asociadas a estratos cálidos en niveles bajos atmosféricos. Los resultados de ambos estudios mostraron diferencias térmicas de hasta 14°C en madrugadas de intensas inversiones térmicas nocturnas, en un desnivel altitudinal inferior a 200 m. Ponen de manifiesto un gran contraste térmico entre el fondo de valle y los relieves marginales periféricos.

El principal objetivo de la investigación es caracterizar los procesos de inversión térmica nocturna (ITN) en el sureste peninsular a través de una herramienta clave como son los sondeos atmosféricos nocturnos. Así mismo, se analiza la influencia de los procesos estables en la distribución de temperaturas superficiales, cuantificando los ámbitos geográficos con la mayor capacidad de inversión. Finalmente, se analiza la evolución temporal reciente (1986-2015) de los procesos de

ITN. Este artículo es un extracto de la Tesis Doctoral “Riesgo de heladas por inversión térmica e incidencia agrícola en la Demarcación Hidrográfica del Segura (DHS)” (Espín Sánchez, 2021).

## 2. Metodología

### 2.1. Datos

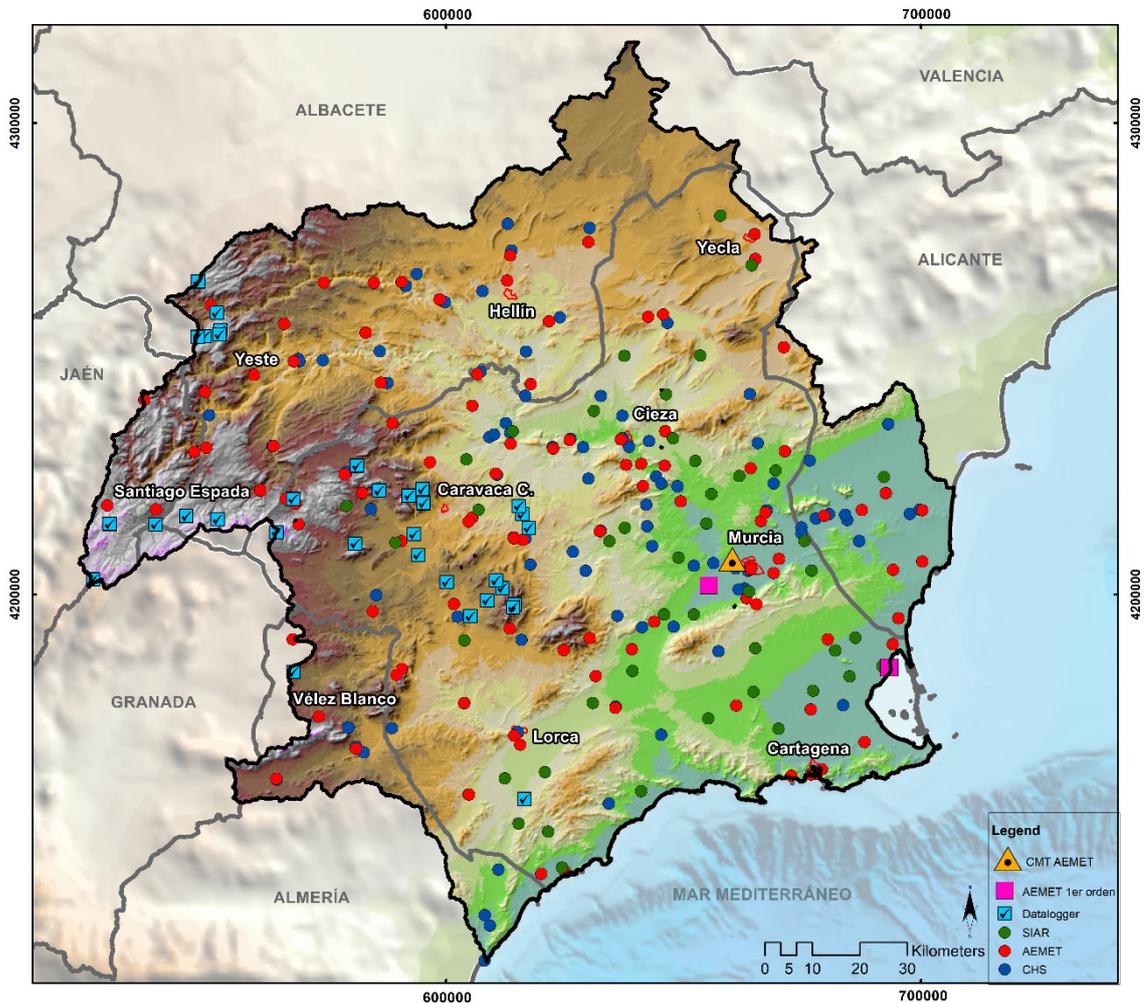
El análisis de los procesos de inversión térmica nocturna (ITN) ha sido realizado a través de 11680 sondeos atmosféricos diarios (1986-2015), lanzados desde el Centro Meteorológico Territorial (CMT) de Guadalupe (Murcia), realizados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en colaboración con la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Este observatorio, situado en las afueras de la ciudad de Murcia (38.00°N, 1.10° W, altitud de 62 m), constituye una de las ocho estaciones aerológicas que operan en España (junto a La Coruña, Santander, Barcelona, Madrid-Barajas, Huelva, Tenerife y Mallorca). Los datos diarios utilizados proceden de la base de datos del aire de la Universidad de Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>). Se trata de datos diarios de sondeos nocturnos (00 h UTC), es decir, de datos exclusivamente nocturnos que permiten analizar la estructura de las ITN. Desde el año 2015 los datos públicos de sondeos atmosféricos en España fueron privatizados, por lo que, debido a las altísimas prestaciones económicas para su consulta, se decidió finalizar la serie temporal de estudio en el año 2015.

La identificación de los estratos de inversión térmica se realiza siguiendo la metodología de Fochesatto (2015), a partir de los cambios verticales observados en la temperatura del aire obtenidos de los datos de los sondeos atmosféricos analizados (1986-2015). El estrato de inversión es identificado a la altitud donde la temperatura empieza a aumentar con la altitud ( $Z_{BASE}$ ), hasta el nivel altitudinal donde la temperatura vuelve a decrecer (conformando el tope o techo del estrato de inversión o  $Z_{TOP}$ ). En los sondeos donde aparecen varios estratos de ITN, se elige siempre el de menor altitud, por estar más próximo a superficie.

Las variables de los sondeos analizados son la altura de la base ( $Z_{BASE}$ ) y tope ( $Z_{TOP}$ ) del estrato de inversión térmica, la temperatura de la base ( $T_{BASE}$ ) y del tope ( $T_{TOP}$ ) del estrato, la presión atmosférica superficial (PA), y las temperaturas en los geopotenciales de 850 y 500 hPa ( $T_{850}$  y  $T_{500}$ ). En la serie temporal manejada (1986-2015) existen 51 jornadas sin mediciones (0.4% del total), un dato muy poco relevante en el conjunto total de la serie.

La intensidad de inversión  $C_{INV}$  y el promedio de temperatura media de las mínimas (TNm) se han calculado a través para los meses de enero de 2017 y 2018, a partir de 135 estaciones meteorológicas espacialmente distribuidas en la Demarcación Hidrográfica del Segura (DHS) (Figura 1). Del total de observatorios meteorológicos utilizados, 48 pertenecen a la Red del Sistema de Información Agrario de Murcia (SIAM), propiedad del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA) de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (SIAR), 84 forman parte del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH), de la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS), 3 a la red de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Figura 1. Puntos de observación meteorológica utilizados para el análisis de la intensidad de los procesos de inversión térmica ( $C_{INV}$ ), pertenecientes a las redes de AEMET, SIAR, CHS y red propia de datalogger.



Fuente: Espín Sánchez (2021).

## 2.2. Métodos

La estadística analizada referente a las características de los estratos de inversión (frecuencia, estructura vertical, temperatura, espesor o intensidad de los eventos de ITN) está calculada exclusivamente a través de madrugadas estables donde se detecta una capa de inversión térmica. La tipología de las ITN permite, en función de su altura, diferenciar básicamente entre inversiones superficiales (SBIs) y elevadas (ELIs). Las SBIs comienzan a desarrollarse inmediatamente a nivel del suelo, mientras que las ELIs tienen la base del estrato a partir de 1000 m (Parczewski, 1976; Stryhal *et al.*, 2017).

A partir de los datos de temperatura y altitud de la base y tope del estrato de ITN se calculan los siguientes parámetros:

Espesor de la capa de inversión, o diferencia altitudinal entre base y tope del estrato de ITN (Eq. 1)

$$(DZ_{INV} = Z_{TOP} - Z_{BASE}) \text{ (Eq. 1)}$$

Intensidad de inversión, o diferencia térmica entre la base y tope del estrato de ITN (Eq. 2)

$$(DT_{INV} = T_{TOP} - T_{BASE}) \text{ (Eq. 2)}$$

Gradiente de temperatura (lapse rate o LR) para la capa de inversión (en °C por 100 m) (Eq. 3):

$$LR = (DT_{INV} / DZ_{INV}) \text{ (Eq. 3)}$$

Para el cálculo de la intensidad de inversión (I) se ha adoptado la siguiente ecuación (Eq. 4) de Tavousi y Abadi (2016):

$$I = (DT_{INV})^2 / 3 + Z(DZ_{INV}) \text{ (Eq. 4)}$$

donde  $DT_{INV}$  es la diferencia de temperatura o intensidad de la capa de inversión (en °K),  $DZ_{INV}$  es el espesor de la capa de inversión (m), y  $Z$  es la altitud del observatorio meteorológico (desde donde se lanza el sondeo) en Hm

El autor propone el índice  $C_{INV}$  o capacidad de inversión térmica. El índice cuantifica la diferencia (en °C) entre la temperatura registrada en superficie de un observatorio meteorológico y la temperatura geopotencial que marca el sondeo atmosférico a la altitud de dicho observatorio (temperatura en atmósfera libre, sin influencia superficial). En consecuencia, la reducción de temperatura en superficie respecto a la temperatura geopotencial que le corresponde a esa altitud, es la capacidad inversora que tiene un enclave. Se propone la siguiente clasificación la capacidad de inversión térmica según diferentes umbrales (Tabla 1), que han sido obtenidos y adaptados con el análisis de datos diarios de observación de las estaciones meteorológicas del área de estudio entre 2016 y 2018.

Tabla 1. Umbrales térmicos de  $C_{INV}$  (°C)

CAPACIDAD DE INVERSIÓN TÉRMICA	UMBRAL TÉRMICO (°C)
Extremadamente débil	<4,3
Muy débil	4,3 / 6,2
Débil	6,3 / 8,1
Moderada	8,2 / 9,8
Fuerte	9,9 / 11,6
Muy fuerte	11,7 / 14,1
Extremadamente fuerte	>14,1

Fuente: Espín Sánchez (2021).

La cartografía de la distribución espacial de  $C_{INV}$  ha sido elaborada con una resolución espacial de 25 m de píxel, mediante un krigeado universal (universal kriging, UK), utilizando la altitud y la distancia a la costa como variables externas independientes. Además de la altitud, se incluyó la distancia a la costa como segunda variable externa para reflejar el efecto de la continentalidad en las temperaturas mínimas y mejorar la representación del campo de temperaturas en zonas cercanas al mar.

Para el análisis de tendencia temporal de las características de los procesos de inversión térmica, se adoptó el cálculo de tendencias temporales lineales (Eq. 5) del Test de Mann Kendall (M-K) (Kendall, 1975).

$$S = \sum k - 1n - 1 \sum j - k + 1n \operatorname{sgn}(x_j - x_k) \quad (\text{Eq. 5})$$

donde S es el número de diferencias positivas menos el número de diferencias negativas. Si S es un número positivo, las observaciones obtenidas posteriormente en el tiempo tienden a ser mayor que las observaciones anteriores. Si por el contrario es negativo, las observaciones realizadas posteriormente en el tiempo tienden a ser más pequeñas que las observaciones anteriores.

La correlación estadística entre las variables utilizadas (Eq. 6) se realiza mediante el coeficiente de correlación de Kendall (Kendall, 1938). Se utilizan niveles de significancia (p value) representadas con asteriscos en el texto: 0.001 (\*\*\*) , 0.01 (\*\*) y 0.5 (\*):

$$\omega = 12 \sum D^2 / m^2 n (n^2 - 1) \quad (\text{Eq. 6})$$

donde  $\omega$  es el estadístico de Kendall,  $D = \sum R - (\sum R/n)$ , m es el rango de evaluadores, n es el número de objetos, y  $\sum R$  es la suma de rangos, La significancia del coeficiente de Kendall viene dada por la expresión de la Eq. 7:

$$(7) c^2 = k (N - 1) \omega \quad (\text{Eq. 7})$$

donde  $c^2$  está distribuido como chi-cuadrado con  $N - 1$  grados de libertad, k es el número de evaluadores, N es el número de sujetos y  $\omega$  es el coeficiente de Kendall.

Finalmente, para el análisis de relación entre las variables analizadas de los procesos de inversión térmica y las temperaturas mínimas superficiales, se aplica un proceso de Análisis de Componentes Principales (PCA). El objetivo del PCA es encontrar combinaciones lineales de las variables con mayor varianza. La idoneidad del análisis factorial se determinó mediante dos criterios. Por un lado, la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) como medida de homogeneidad de variables (Kaiser, 1958; Sharma, 1996). Una medida de KMO superior a 0,50 es aceptable para el análisis PCA. Por otro, la prueba de esfericidad de Bartlett (Snedecor y Cochran, 1983), que prueba si la matriz de correlación es una matriz de identidad, lo que indicaría que el modelo factorial es inapropiado.

### 3. Resultados

#### 3.1. Características de los procesos de inversión térmica nocturna (ITN)

A partir del análisis de los sondeos atmosféricos diarios (1986-2015), se han identificado dos tipos principales de inversiones térmicas con características diferentes: (1) inversiones de superficie (SBI), e (2) inversiones elevadas (ELI). Se constata una elevada frecuencia de ITN, con el 83,7% de las madrugadas anuales.

La distribución mensual de las inversiones térmicas identificadas en los sondeos atmosféricos guarda estrecha relación con la duración de las situaciones de tiempo atmosférico a lo largo del año. Así pues, durante el periodo estival e invernal, caracterizados por largos periodos anticiclónicos, se registran los porcentajes más elevados de eventos de ITN (87,8% en julio y 87,1% en enero) en contraposición a los valores porcentuales más bajos observados en los meses equinocciales (78,8% en octubre o 79,8% en mayo). En este último caso existe una mayor influencia de nubosidad y viento asociados al paso de vaguadas y perturbaciones atlánticas de latitudes más altas (Figura 2).

De acuerdo con los umbrales de intensidad de inversión (I) de Tavousi y Abadi (2016), los periodos de aire cálido estable en la ciudad de Murcia son los más frecuentes a lo largo del año (65,1%), con mayor predominio en época invernal (78,0%). Las condiciones inestables representan, en cambio, sólo el 16,3% de las madrugadas del año, y el 14% durante el invierno (Tabla 2). Ello corrobora el predominio anticiclónico y las condiciones estables en el área de estudio.

Tabla 2. Distribución porcentual (%) de situaciones de estabilidad nocturna (1986-2015), de acuerdo con el índice de intensidad de inversión (I) de Tavousi y Abadi (2016).

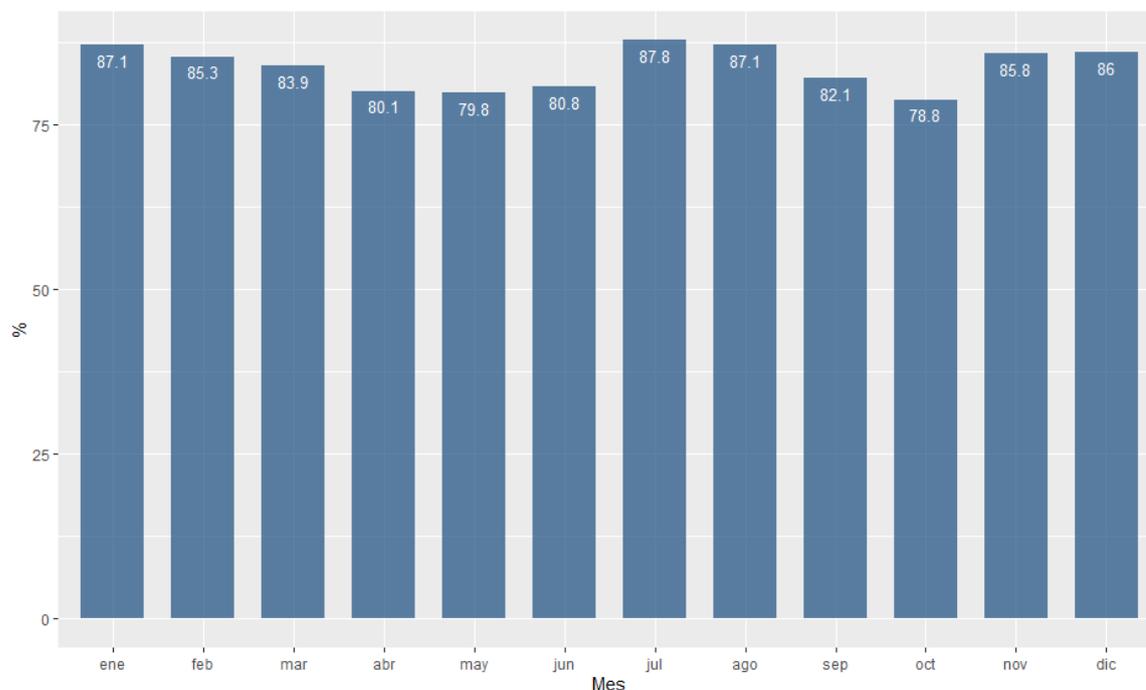
I	TIPO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	AÑO
>0	Aire cálido estable	77,8	62,7	52,6	67,4	65,1
<0	Subsidencia inestable	13,9	18,7	14,8	17,8	16,3
= 0	Condiciones neutras	8,3	18,6	32,6	14,8	18,6

Fuente: Datos sondeos atmosféricos nocturnos (AEMET). Espín Sánchez (2021).

Los meses con mayor porcentaje de madrugadas de ITN corresponden al período estival (julio, 87.8% y agosto, 87.1%). De igual modo, los meses invernales de enero y diciembre, con clara influencia de cielos despejados, presentan una frecuencia relativa importante (87.1 y 86.0% respectivamente). Por el contrario, los meses más húmedos en la región de Murcia, como octubre y abril, no superan el 80.0% de las ITN a lo largo del mes (Figura 2).

Los eventos de ITN en la ciudad de Murcia son predominantemente superficiales (SBIs), con un porcentaje anual del 80,8%. Las ELIs, por su parte, son poco frecuentes a lo largo del año (19,2%), y se concentran principalmente en la época cálida del año (79,4% del total anual, entre mayo y septiembre) (Figura 3).

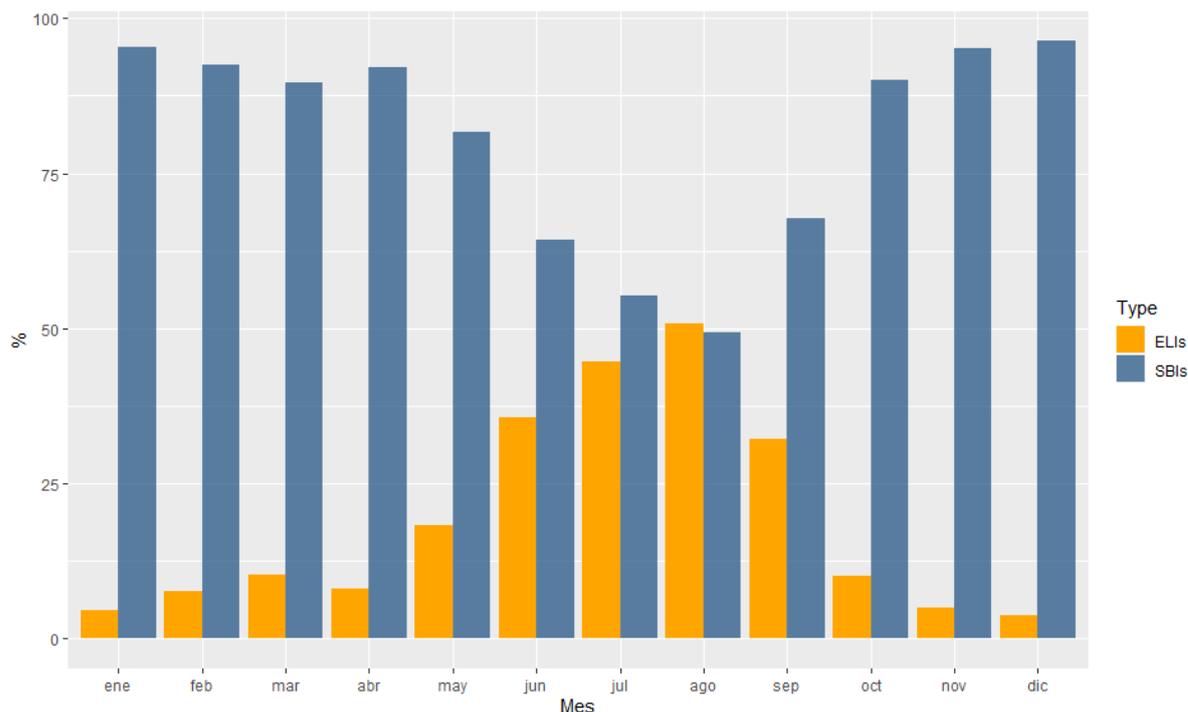
Figura 2. Frecuencia relativa mensual de jornadas con inversión térmica nocturna (1986-2015).



Fuente: Datos sondeos atmosféricos nocturnos (AEMET). Espín Sánchez (2021).

En consecuencia, desde el mes de octubre a abril (periodo más frío del año), el porcentaje de SBIs no desciende del 90% en el total de sucesos de procesos de inversión térmica (Figura 3). Por el contrario, los meses estivales registran un porcentaje mayor de ELIs (entre el 50 y 65%), con un ascenso del estrato de inversión bastante más marcado. Tal es el caso del mes de agosto, donde la frecuencia de inversiones elevadas (ELIs) es ligeramente superior (50,7%) a la de las inversiones superficiales (SBIs). En definitiva, se registran SBIs especialmente en invierno, con una acumulación superior al 95% del total en los meses de diciembre, enero, y febrero.

Figura 3. Distribución mensual de las SBIs y ELIs (1986-2015)



Fuente: Datos sondeos atmosféricos nocturnos (AEMET). Espín Sánchez (2021).

Los eventos de ITN presentan una variabilidad mensual considerable en el área de estudio. Ocurre del mismo modo con las jornadas consecutivas de inversión (episodios), aunque las diferencias son menos marcadas. La duración media de los episodios de ITN contabilizados durante el periodo de análisis (758 episodios) es de 3,1 días (Tabla 3). Se trata, en general, de episodios de inversión poco duraderas, asociadas principalmente a la persistencia de situaciones de estabilidad anticiclónica durante los meses de invierno en el sureste peninsular. El mayor número medio de episodios se registran durante la época invernal, con 3,1 episodios durante diciembre y enero.

Los meses invernales, y aquellos más próximos (marzo y noviembre), registran un mayor número medio de días por episodio (4,3 días en enero y diciembre). Durante los meses centrales del año (periodo cálido) la longitud de los episodios de ITN es relativamente más corta (inferior a 3,0 días desde mayo a septiembre). Las medias obtenidas enmascaran episodios de larga duración. El más duradero se registra desde el 24 de febrero al 20 de marzo de 1997, con 25 jornadas consecutivas con procesos de ITN.

Tabla 3. Características medias mensuales de las variables analizadas (1986-2015).

	E	F	M	A	My	J	Jl	A	S	O	N	D
Nº medio episodios ITN	3,1	2,6	2,8	2,3	1,7	1,5	1,4	1,5	1,4	1,5	2,6	3,1
Dur. episodios (días)	4,3	3,5	4,0	3,0	2,4	2,7	2,7	2,1	1,5	2,5	3,9	4,3
$T_{BASE}$ (°C)	8,0	8,8	10,7	12,8	15,7	18,7	21,2	21,9	19,5	16,1	11,8	9,1
$T_{TOP}$ (°C)	11,5	12,3	13,8	15,2	17,8	20,8	23,8	24,3	21,7	18,5	15,0	12,8
$Z_{BASE}$ (m)	111,7	134,2	177,9	146,7	250,8	395,7	507,0	557,4	386,1	192,1	128,8	97,5
$Z_{TOP}$ (m)	351,4	384,6	475,2	397,2	528,1	731,8	947,8	936,0	662,1	423,4	355,7	355,1
$DT_{INV}$ (°C)	3,5	3,4	3,1	2,4	2,2	2,1	2,6	2,4	2,1	2,4	3,2	3,7
$DZ_{INV}$ (m)	239,7	250,3	297,2	250,2	277,4	336,0	439,8	379,3	275,9	231,9	226,7	254,3
LR (°C)	2,2	2,1	1,8	1,8	1,7	1,2	0,9	0,9	1,3	1,7	1,9	2,0
PA (hPa)	1015,2	1014,7	1012,5	1008	1008,7	1009,2	1008,9	1008,4	1009	1009,9	1011,6	1013,4
T850 (°C)	4,3	4,7	6,8	7,8	12,0	15,8	20,3	20,8	16,2	11,4	7,7	5,8
T500 (°C)	-20,5	-20,6	-19,2	-18,9	-15,5	-11,8	-9,0	-9,4	-11,1	-14,0	-16,8	-19,7

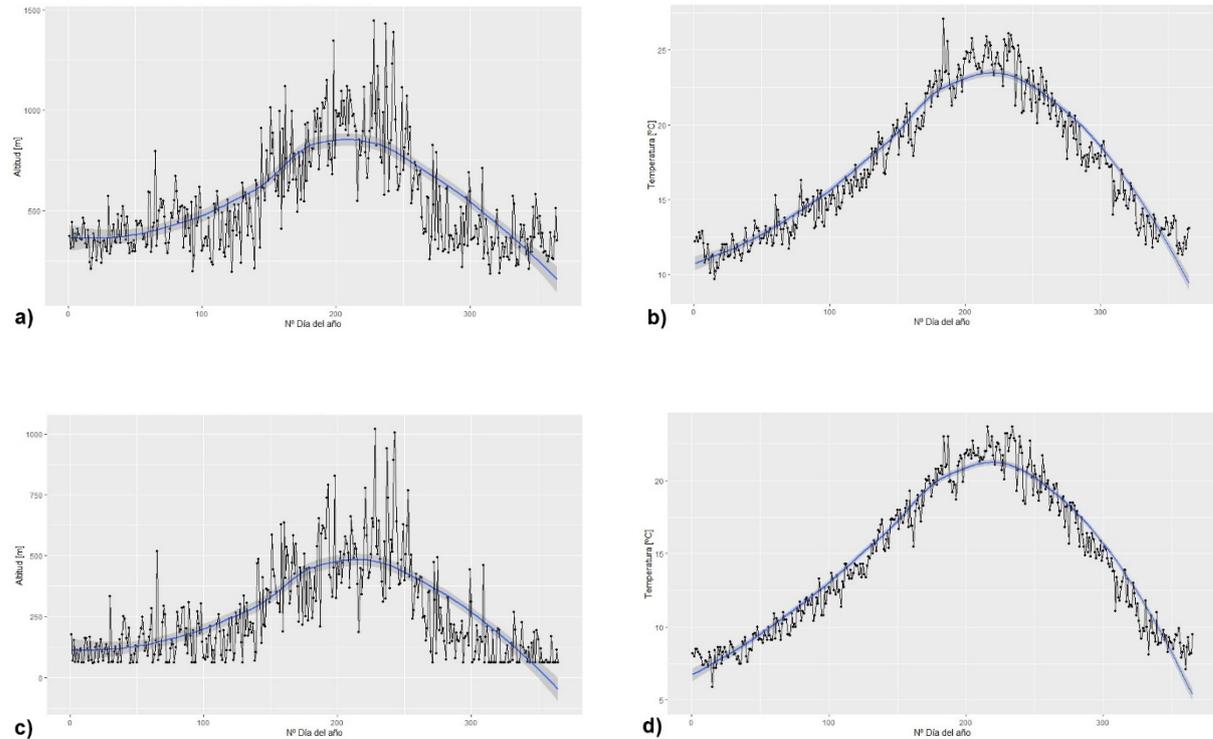
Fuente: Datos sondeos atmosféricos nocturnos (AEMET). Elab. propia.

La  $Z_{BASE}$  del estrato de ITN viene definida por la altitud a partir de la cual la temperatura aumenta en su ascenso. Obtiene un valor medio anual de 258,6 m, siendo, por tanto, un estrato de baja altitud. La  $Z_{BASE}$  presenta una importante variabilidad anual, con un rápido e importante incremento altitudinal durante los meses de verano (554,8 m. en agosto y 513,3 m. en julio).

A pesar de un promedio inferior a 300 m, se encuentra sujeta a una gran variabilidad mensual. Los resultados muestran un predominio relevante de estratos superficiales (79,6%), con una  $Z_{BASE}$  de 62 m (equivalente a la altitud del CMT de Guadalupe, desde donde son lanzados los sondeos atmosféricos). Durante el periodo invernal, el peso relativo de los estratos de ITN superficiales se incrementa, registrando casi un predominio total durante los meses de enero, febrero y marzo (93,0%). En dichos meses, la altitud de la base del estrato de ITN es la más baja del año, con valores de 97,7 m en diciembre y 109,1 en enero. Durante los últimos días de enero se registra la menor altitud de la  $Z_{BASE}$  (80 m), siendo un estrato prácticamente superficial marcado por el importante descenso de la radiación solar en época invernal (Figura 4c).

La altitud del tope del estrato de inversión térmica nocturna ( $Z_{TOP}$ ), o nivel donde la temperatura empieza a descender con el ascenso altitudinal, aparece a una altitud media anual de 544,5 m. Es un valor que puede definirse de baja altitud, a diferencia de otros lugares de la Península Ibérica (provincia de Castellón), con valores situados entre 500 y 1000 m de altitud (Quereda et al., 2004). Durante los meses invernales, la  $Z_{TOP}$  registra los valores más bajos del año. Desde principios de diciembre, y hasta el mes de febrero, la altitud media se sitúa en 344 m. La altitud media del estrato de inversión es manifiestamente más elevada durante los meses estivales. A finales de julio, y durante el mes de agosto, se registran valores de 948,5 m (Figura 4a).

Figura 4. Evolución media anual de: a) altitud del tope del estrato ( $Z_{TOP}$ ), b) temperatura del tope del estrato ( $T_{TOP}$ ), c) altitud de la base del estrato ( $Z_{BASE}$ ), y d) temperatura de la base del estrato ( $T_{BASE}$ ) de las ITN (1986-2015). Línea azul representa un método de suavizado de paso bajo (smoothing method loess).

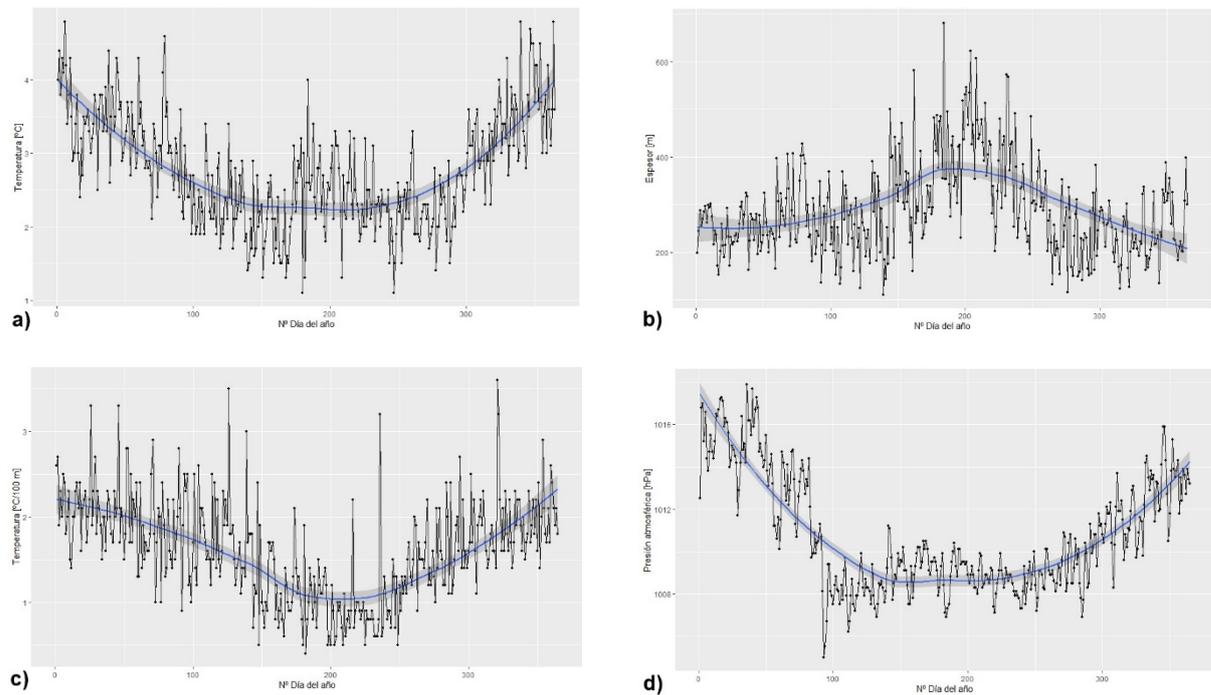


Fuente: Datos sondeos atmosféricos nocturnos (AEMET). Espín Sánchez (2021).

La temperatura de la base del estrato de inversión nocturna ( $T_{BASE}$ ) obtiene un valor medio anual de  $14,5^{\circ}\text{C}$ . Registra una distribución anual similar a las temperaturas superficiales registradas en los observatorios meteorológicos, con un mínimo en enero ( $8,0^{\circ}\text{C}$ ) y un máximo en agosto ( $22,0^{\circ}\text{C}$ ) (Figura 4d). Se trata de temperaturas templadas, más elevadas que las registradas en superficie en el observatorio del CMT de Guadalupe con mínimas de  $4,7^{\circ}\text{C}$  en enero y  $20,9^{\circ}\text{C}$  en agosto. Son valores de  $1,1$  a  $3,3^{\circ}\text{C}$  superior a los registrados en superficie, evidenciando una importante inversión de temperatura nocturna (00 h UTC).

La temperatura media anual del tope o techo del estrato de ITN ( $T_{TOP}$ ) es de  $17,3^{\circ}\text{C}$ , con extremos térmicos de  $11,5^{\circ}\text{C}$  en enero y  $23,4^{\circ}\text{C}$  en agosto (Figura 4b). Registra el mismo patrón distribucional que la  $T_{BASE}$  a lo largo del año, a pesar de no estar influenciado por la superficie. Vuelven a ser temperaturas elevadas teniendo en cuenta la altitud a la que se registran y la hora nocturna del sondeo (00 h UTC). La altitud media donde se registran constituye un nivel relativamente elevado en el conjunto anual (544 m). La variabilidad anual es tremendamente importante, con extremos absolutos de temperatura en el mes de agosto de  $35$  a  $6^{\circ}\text{C}$ . Depende, en buena parte, de la gran oscilación altitudinal de la  $Z_{TOP}$  en época estival, bajo la influencia de las dorsales anticiclónicas y las inversiones de subsidencia.

Figura 5. Evolución media anual de: a) intensidad media ( $DT_{INV}$ ), b) espesor medio ( $DZ_{INV}$ ), c) gradiente térmico vertical (LR) y d) presión atmosférica superficial (PA) de las ITN (1986-2015). Línea azul representa un método de suavizado de paso bajo (smoothing method loess).



Fuente: Datos sondeos atmosféricos nocturnos (AEMET). Espín Sánchez (2021).

La intensidad de los procesos de inversión térmica nocturna ( $DT_{INV}$ ) presenta una gran variabilidad a lo largo del año. La diferencia media de temperatura entre la base y el techo del estrato de inversión es de  $2,8^{\circ}\text{C}$ , sin duda, un valor elevado si se considera que el espesor del estrato apenas tiene 286 m ( $1,6^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$  de LR). La  $DT_{INV}$  es considerablemente menor en los meses estivales y tardo-estivales ( $2,1^{\circ}\text{C}$  en junio y septiembre), debido principalmente a la reducción de horas nocturnas. Durante los últimos días de diciembre, y primeros de enero, los registros son los más elevados del año ( $3,8^{\circ}\text{C}$ ), con un máximo secundario a finales de febrero y principios de marzo ( $3,6^{\circ}\text{C}$ ) (Figura 5a).

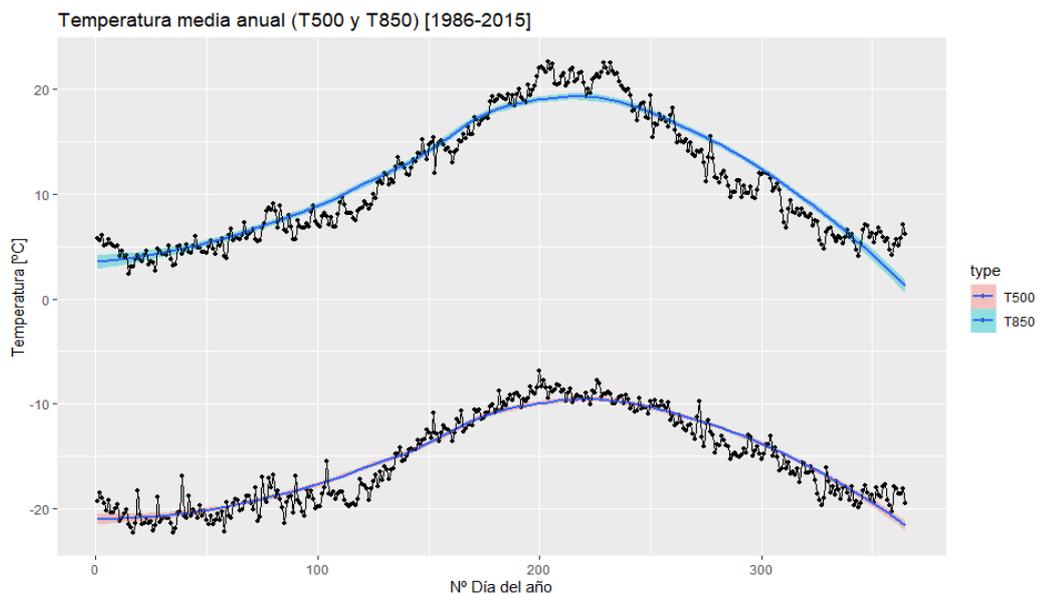
El espesor del estrato de ITN ( $DZ_{INV}$ ) es de vital importancia para el análisis de la intensidad relativa de la inversión (gradiente parcial), como se detalla más adelante. Fluctúa de forma importante a lo largo del año, registrando un espesor medio anual de 286,0 m. Durante los meses de invierno el  $DZ_{INV}$  obtiene el menor espesor anual (234,8 m en enero y 247,1 m en febrero). Por su parte, los valores ascienden progresivamente durante los últimos días de junio y principios de julio hasta 500 m (Figura 5b).

La relación entre intensidad ( $DT_{INV}$ ) y espesor ( $DZ_{INV}$ ) del estrato de ITN determina el gradiente de temperatura parcial o gradiente térmico vertical (LR). El valor medio a lo largo del año se sitúa en  $1,6^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$ , aunque presenta una importante variabilidad anual. Los meses invernales registran el LR más elevado ( $2,2^{\circ}\text{C}$  en enero y  $2,1$  en febrero de media), constituyendo valores relativamente elevados, que, en combinación con mecanismos de superficie o altitud, intensifican ampliamente sus valores (Gil y Olcina, 2017). Durante los primeros días de febrero y marzo en su conjunto se registran los valores más elevados ( $2,3^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$ ), coincidiendo con una mayor  $DT_{INV}$  y un espesor relativamente escaso. Mientras, en los meses de verano, el LR disminuye conside-

rablemente ( $1,0^{\circ}\text{C}$  en julio y agosto), valor más próximo al gradiente adiabático seco (DALR) de atmósferas neutras (Figura 5c).

La presión atmosférica superficial (PA) juega un papel fundamental en la configuración de los procesos de ITN. En el CMT de Guadalupe (AEMET), desde donde se realizan los sondeos atmosféricos, la presión atmosférica media anual es de 1010,8 hPa. Se trata de un valor ligeramente influenciado por las bajas presiones estivales (Figura 5d). Durante los meses invernales aparecen los registros más elevados, coincidiendo con la instauración de anticiclones subtropicales en las inmediaciones de la Península Ibérica (1015,1 hPa en enero o 1014,7 en febrero). Los valores más elevados del año aparecen durante la segunda quincena de febrero (1018,0 hPa), con un brusco descenso desde marzo a mayo. Por su parte, los meses estivales y equinocciales registran los valores más bajos del año, asociados a una mayor inestabilidad y al predominio de bajas presiones de origen térmico sobre la Península (1008,5 hPa en agosto o 1008,7 en mayo). Es durante el mes de mayo cuando se registra la PA más baja (1007 hPa), con un mínimo secundario a principios de septiembre y durante el mes de agosto (1008 hPa).

Figura 6. Evolución de la temperatura media (T850 y T500) en las ITN (1986-2015). Línea azul representa un método de suavizado de paso bajo (smoothing method loess).



Fuente: Datos sondeos atmosféricos nocturnos (AEMET). Espín Sánchez (2021).

Las temperaturas en los geopotenciales de 850 y 500 hPa (unos 1500 y 5500 m de altitud) proporcionan información relevante en niveles medios-altos atmosféricos. Durante los meses invernales, la T850 y T500 obtienen valores medios de  $4,3$  y  $-20,5^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Se trata de temperaturas frías, que generan recurrentes heladas en valles de elevada altitud ( $>1500$  m). Este aspecto se tratará con profundidad en el Capítulo 4. Durante los primeros días de enero es el momento más frío del año, con temperaturas medias de  $2,5$  y  $-23,0^{\circ}\text{C}$  a 850 y 500 hPa respectivamente (Figura 6). Por su parte, los meses estivales registran las temperaturas más elevadas del año, con valores de  $22,6^{\circ}\text{C}$  (850 hPa) a mediados de agosto. La influencia de las burbujas cálidas en niveles medios atmosféricos, asociados a dorsales anticiclónicas en el sur de la Península Ibérica, genera temperaturas más elevadas en el geopotencial a 500 hPa ( $-8/-9^{\circ}\text{C}$ ).

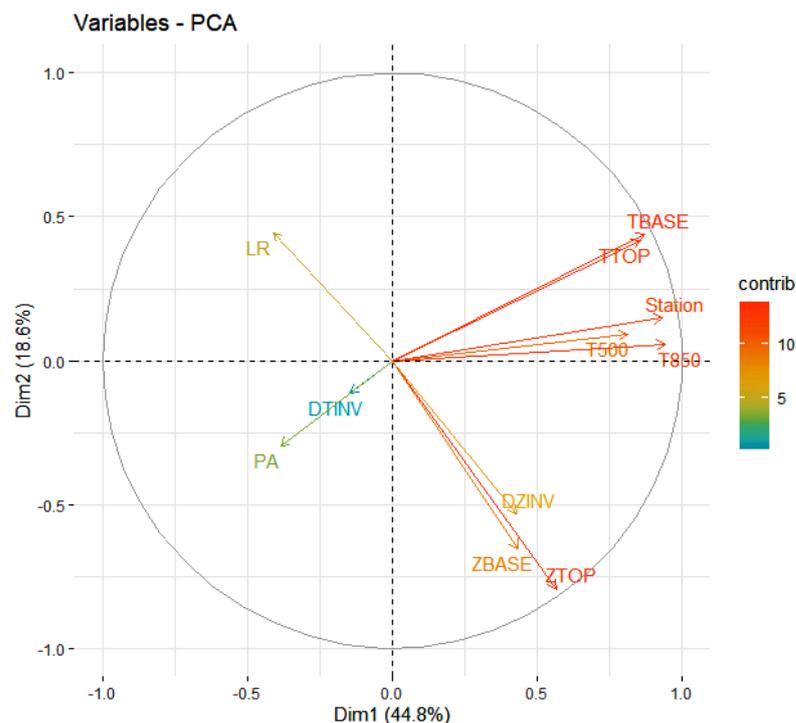
### 3.2. Influencia de los procesos de ITN en las temperaturas mínimas superficiales: capacidad de intensidad de inversión ( $C_{INV}$ )

Las temperaturas mínimas superficiales están sujetas a los procesos de inversión térmica nocturna, y a sus variables asociadas. Para determinar la influencia que ejercen los diferentes factores analizados en los sondeos atmosféricos, se lleva a cabo un Análisis de Componentes Principales (PCA).

Para comprobar la viabilidad del PCA se han realizado previamente varias pruebas y test estadísticos. La determinante de la matriz de correlaciones de las variables analizadas muestra un valor bajo (-0.000862), es decir, muy próximo a 0, lo que indica una alta multicolinealidad entre las variables. El Test de Bartlett (Bartlett's K-squared = 248980, df = 10, p-value < 2.2e-16) expresa la existencia de una homogeneidad en las varianzas, y por consiguiente un buen número de correlaciones positivas entre las variables. Del mismo modo, el Test de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) compara los valores de las correlaciones entre las variables y sus correlaciones parciales. Si el índice KMO está próximo a 1, el PCA es viable. Si el índice es bajo (próximo a 0), el PCA no tendrá una aplicabilidad relevante. En el presente caso, los resultados muestran un valor intermedio, en torno a 0,5.

Las temperaturas mínimas generadas durante las madrugadas con procesos de ITN, están fuertemente influenciadas por dos componentes principales: (1) las características térmicas de la masa de aire (reflejada en T500 y T850) y su transferencia a la temperatura del estrato de ITN, y (2) la altitud de la capa de inversión térmica, así como al espesor de la misma. El pronóstico de ambos grupos es clave para la predicción de temperaturas mínimas en madrugadas con condiciones atmosféricas estables (Figura 7).

Figura 7. Gráfico Biplot PCA. "Station" hace referencia a las temperaturas mínimas de 22 observatorios meteorológicos del área de estudio.



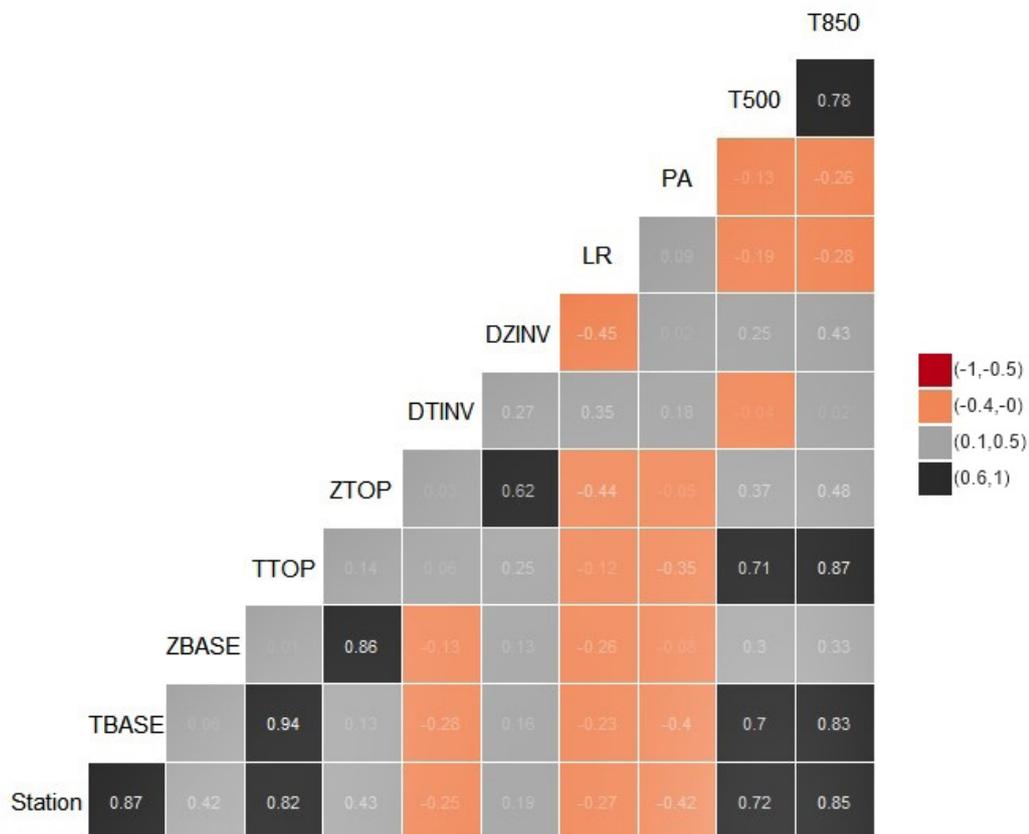
Fuente: AEMET. Espín Sánchez (2021).

Las  $T_h$  en los observatorios meteorológicos analizados (DHS) obtienen una significativa correlación con las  $T_{850}$  y  $T_{500}$ . ( $0,85^{***}$  y  $0,72^{***}$  respectivamente) (Figura 7). Las temperaturas en el nivel geopotencial de  $T_{500}$  (menos influenciadas por la superficie terrestre) guardan menor relación con las temperaturas superficiales. Las temperaturas registradas en la capa de ITN obtienen correlaciones estadísticas entre  $0,87$  y  $0,82^{***}$ , lo que corrobora la importancia de la temperatura en diferentes niveles altitudinales.

La presión atmosférica (PA), con mayor varianza explicada, influye en la reducción de las temperaturas mínimas superficiales, aunque con una correlación estadística no demasiado alta ( $-0,42^{***}$ ). Las dorsales anticiclónicas y altas presiones en superficie parecen tener una clara influencia en los valores mínimos más bajos.

El espesor o  $DZ_{INV}$  presenta una correlación importante con la  $Z_{TOP}$  ( $0,62^{***}$ ). El espesor de los estratos de ITN aumenta a medida que el tope del estrato se sitúa a mayor altitud, aunque apenas mantiene correlación estadística con la altitud de la base del estrato ( $Z_{TOP}$ ). Además, a mayor  $T_{850}$ , la  $DZ_{INV}$  aumenta, lo que genera estratos de mayor espesor ( $0,48^{***}$ ) (Figura 8). Ello adquiere una gran relevancia, ya que el aumento de espesor está relacionado con un aumento altitudinal del tope del estrato, pero no de la base, lo que corrobora el carácter superficial de las inversiones térmicas en el área de estudio. Por su parte, la  $DT_{INV}$  o la intensidad de inversión no parece estar influenciada por ninguna otra variable, si bien, se advierte que las intensidades son mayores conforme disminuyen las temperaturas superficiales ( $-0,25^{**}$ ).

Figura 8. Matriz de correlación estadística según Kendall. "Station" hace referencia a las temperaturas mínimas de 22 observatorios meteorológicos del área de estudio.

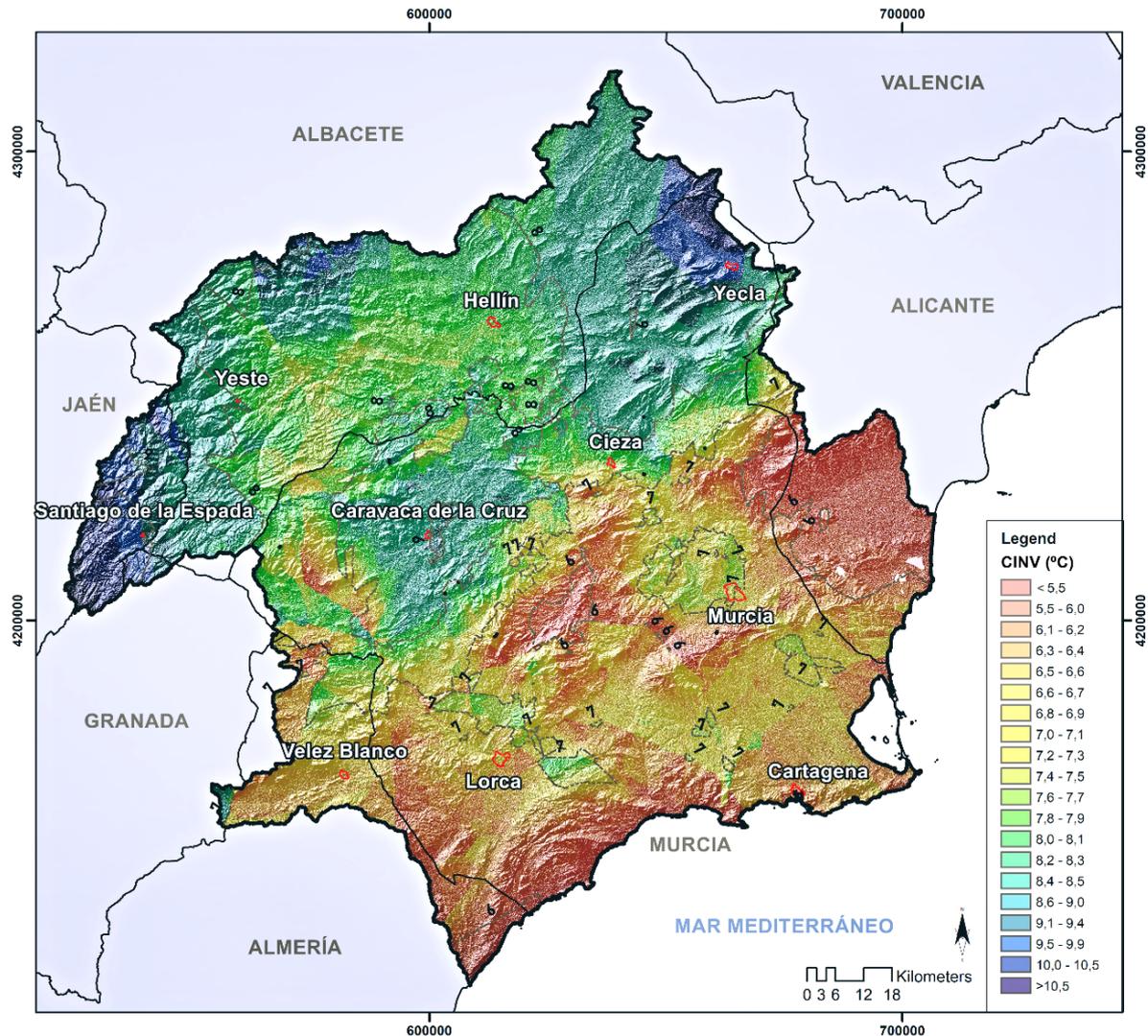


Fuente: AEMET. Espín Sánchez (2021).

Los procesos de ITN influyen notablemente en la distribución espacial de las temperaturas mínimas. Los fenómenos de inversión térmica generan diferente intensidad de inversión según la tipología y altitud de la depresión, y la orografía contigua. A través del índice propuesto de la capacidad de inversión térmica ( $C_{INV}$ ) es posible cuantificar la capacidad de un territorio para hacer descender la temperatura en madrugadas estables. Se definen tres ámbitos geográficos con procesos intensos de inversión térmica (Figura 9): el sector centro-occidental del área de estudio (subcuencas hidrográficas del Quípar y Argos), con valores superiores a  $9,9^{\circ}\text{C}$  (intensidad fuerte), el sector más septentrional de la Región de Murcia (Comarca del Altiplano) los valores medios se sitúan en torno a  $10^{\circ}\text{C}$ , y finalmente el sector más occidental de la DHS (Sierra de Segura y Valle del río Mundo), presenta los valores de  $C_{INV}$  más elevados del área de estudio, con una capacidad de inversión muy fuertes ( $>11,7^{\circ}\text{C}$ ).

Los valores máximos absolutos de  $C_{INV}$  son realmente elevados en los sectores más occidentales de la DHS (Campos de Hernán Perea, paraje de Monterilla, y cabecera del río Segura), donde se registra hasta  $26,3^{\circ}\text{C}$  (17 enero de 2018).

Figura 9. Distribución espacial de la  $C_{INV}$  media (2016-2018).



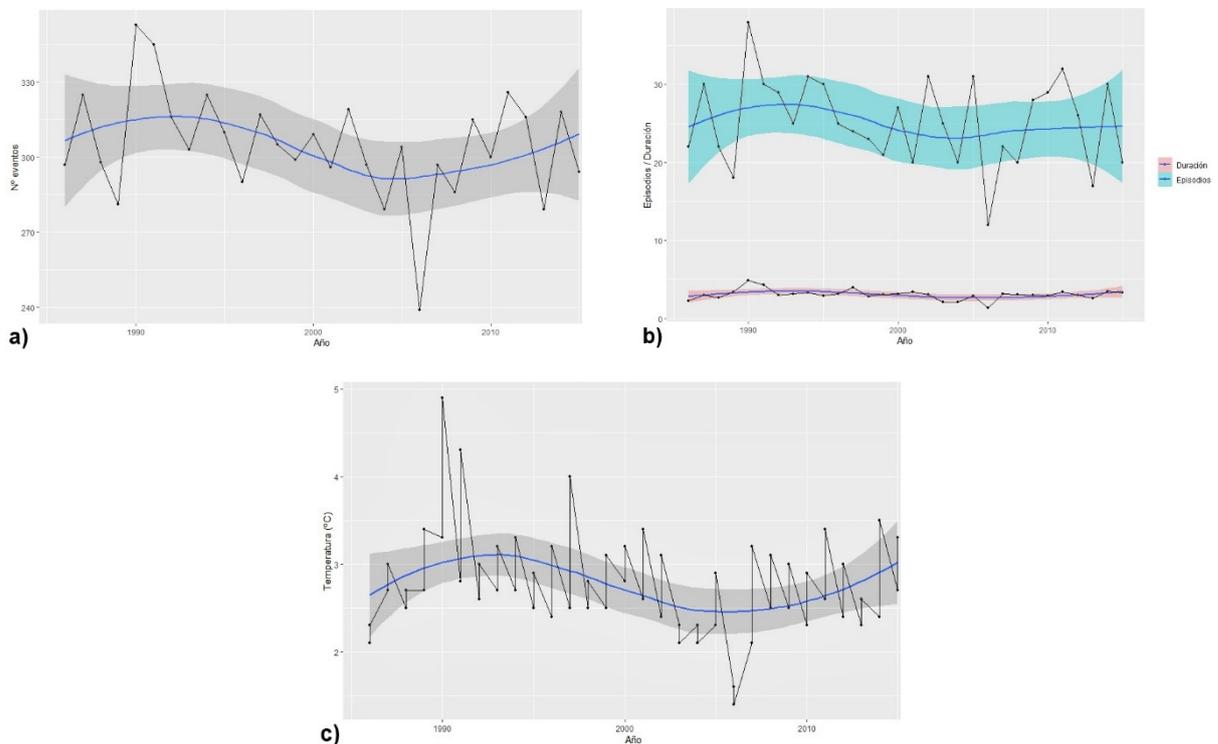
Fuente: AEMET. Espín Sánchez (2021).

### 3.3. Tendencia temporal de los episodios de ITN (1986-2015)

El número de eventos diarios de ITN disminuye, de forma general, durante las últimas tres décadas (-7,9 días/década), si bien, tras el descenso de 1990 a 2005 se produce una tendencia ascendente hasta la actualidad (Figura 10a). No presenta significancia estadística anual, si bien, aunque la pendiente es ligera, las madrugadas estables experimentan una disminución progresiva (Tabla 4). La tendencia es significativa durante los meses de julio, agosto y septiembre, apoyada en un P-value inferior a 0,05 según el Test de Wilcoxon Signed-Rank (-1,5 y -2,0 días/década). Un aspecto especialmente relevante es la débil tendencia positiva durante el periodo invernal (0,4 días/década), con ascensos marcados en diciembre y enero, los únicos meses con registros positivos destacables (Tabla 4). Se trata de un aspecto tremendamente interesante, pues coincide con la etapa donde se concentran los eventos y episodios más intensos del año.

Los episodios de inversión térmica analizados durante las tres últimas décadas experimentan un ligero descenso (-1,1 episodios/década), aunque no es un valor estadísticamente significativo (Figura 10b). Se constata un mayor descenso en agosto y septiembre (época cálida), con tasas de -0,5 episodios/década (ratificadas por un P-value <0.05). Durante el resto del año, en general, los resultados no son concluyentes, si bien, sólo los meses más fríos del año (diciembre y enero) son los únicos que experimentan un ligero crecimiento (0,2 episodios/década).

Figura 10. Evolución anual del: a) número de eventos de ITN, b) duración y número de episodios de ITN, y c) intensidad media ( $DT_{INV}$ ) de los eventos de ITN (1986-2015).



Fuente: Datos sondeos atmosféricos nocturnos (AEMET). Espín Sánchez (2021).

Por su parte, la duración de los procesos de ITN requiere una interpretación más compleja, ya que presenta un descenso anual poco relevante (-0,1 días/década), y arroja pocas claves sobre su comportamiento en las últimas décadas. Gran parte de los meses anuales experimentan un descenso entre -0,4 y -0,6 días/década, aunque sólo agosto muestra niveles estadísticamente signifi-

cativos de acuerdo con las pruebas de Kendall y Wilcoxon. El resto del año, los valores se sitúan entre 0,1 y 0,4 días/década.

En definitiva, las jornadas estables con inversiones térmicas nocturnas (ITN), así como su persistencia y duración (episodios), experimentan ligeros descensos generales durante las últimas décadas, si bien, la mayoría no muestran cambios estadísticamente significativos. Los cambios más relevantes se producen durante la época cálida (verano), con significancia estadística en algunos meses. Los meses invernales de enero y febrero experimentan un ligero aumento en el número de madrugadas estables de ITN. Por último, a finales de la década de los 80 y principios de los 90 se produce un incremento de los eventos y episodios de inversión nocturna, con un repunte actual en los últimos años.

Durante las últimas décadas el estrato de ITN registra un progresivo ascenso altitudinal (Tabla 4). La  $Z_{BASE}$  aumenta a razón de 74,7 m/década como promedio (P-value < 0.05), y en un grado considerablemente mayor durante los meses estivales de junio (295,1 m/década) y julio (118,7 m/década). Durante el periodo invernal, y noviembre, la altitud de la base del estrato apenas experimenta variaciones notables (-19,0 m/década).

Tabla 4. Tendencia mensual por década para diferentes variables analizadas (1986-2015). En negrita, estadísticamente significativo según Kendall y Wilcoxon Signed Rank con un nivel de significancia <0.05.

	E	F	M	A	My	J	Jl	A	S	O	N	D
Nº EVENTOS	1,0	-1,4	-1,3	-0,7	-1,2	-0,2	-1,9	-1,9	-1,5	0,1	-0,5	1,6
Nº EPISODIOS	0,2	-0,2	0,0	-0,1	-0,2	0,1	-0,1	-0,5	-0,5	0,0	0,0	0,0
DURACIÓN (DÍAS)	0,1	-0,5	-0,5	0,1	-0,4	0,4	-0,6	-0,1	-0,1	0,2	-0,6	0,3
$T_{BASE}$ (°C)	0,9	1,0	-0,1	0,9	1,0	-0,4	-0,3	-0,6	-0,6	-0,1	0,4	0,3
$T_{TOP}$ (°C)	0,0	0,4	-0,6	0,6	0,4	-0,6	-0,6	-1,4	-0,8	-0,6	-0,2	-0,1
$Z_{BASE}$ (m)	19,9	97,6	51,1	98,7	77,7	295	119	28,7	0,2	94,3	-18,9	33,8
$Z_{TOP}$ (m)	34,1	150	108	143	69,1	358	151	5,8	2,8	189	-15,7	79,5
$DT_{INV}$ (°C)	0,0	-0,3	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,3	-0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0
$DZ_{INV}$ (m)	14,2	52,2	58,1	44,5	-8,5	63,0	30,7	-20,1	6,1	96,8	7,4	54,4
LR (°C)	-0,8	-0,8	-0,3	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	0,0	-0,4	-0,7	-0,1	-0,5
PA (hPa)	0,6	0,5	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,8
T850 (°C)	0,5	0,4	0,7	1,1	0,2	1,1	0,4	-1,0	-1,8	0,3	-0,7	0,5
T500 (°C)	-0,2	1,2	-1,8	0,4	-0,1	0,4	0,2	0,1	-0,3	0,5	-0,8	-0,5

Fuente: Datos sondeos atmosféricos nocturnos (AEMET). Espín Sánchez (2021).

La  $T_{BASE}$  registra como promedio un ligero aumento en las últimas décadas (0,2°C/década). El incremento es algo más acusado durante los meses invernales (enero y febrero) y los equinocciales de abril y mayo (entre 0,9 y 1°C / década). Sin embargo, sólo febrero y mayo son estadísticamente significativos, con P-values < 0,05. En los meses cálidos del año (de junio a octubre) se produce, aunque con escaso nivel de significancia, un descenso térmico, especialmente en los meses de agosto y septiembre (-0,6°C/década). En cambio, la  $T_{TOP}$  experimenta una tendencia media negativa (-0,3°C), con alto nivel de significancia según el Test de Wilcoxon. Los meses de junio a octubre (-0,6 a -1,4°C/década) presentan los mayores descensos térmicos del techo de la inversión, mientras que la primavera e invierno muestran tendencias ligeramente positivas (0,1°C/década). En ningún caso son dichas tendencias estadísticamente significativas. En general, la

menor influencia de la superficie, asociada a un aumento altitudinal de la  $Z_{TOP}$  (74,7 m), provoca el descenso térmico del tope del estrato.

El menor aumento de temperatura en la base del estrato de inversión ( $T_{BASE}$ ), en detrimento de una disminución más marcada de la  $T_{TOP}$  origina una ligera reducción de la  $DT_{INV}$  en el periodo de análisis (-0,1°C/década). Según el test de Wilcoxon, la tasa media de todo el periodo es estadísticamente significativa, por lo que de una década a otra los eventos de ITN son, como promedio, 0,1°C menos intensos. No obstante, a escala mensual, salvo febrero que presenta un P-value < 0.05 para una reducción de la intensidad de 0,3°C/década, el resto de los meses no parecen guardar un patrón de tendencia claro. Según la evolución (Figura 10c), la década de los 90 se inicia con dos picos anuales de  $DT_{INV}$  muy elevados (4,9°C en 1990 y 4,3°C en 1991), que representan con diferencia las mayores intensidades de todo el período. Le sigue una etapa de estabilidad (1993-1995) con fluctuaciones poco importantes entre los máximos anuales (en torno a 3,3°C), un nuevo pico de 4°C en 1997, y a partir de ahí hasta 2005 una tendencia decreciente (con mínimos de intensidad anuales inferiores a 2,5°C). Posteriormente, hasta el momento actual, se observa una tendencia creciente progresiva, con máximos que aumentan 0,5°C en la última década, situando el pico de  $DT_{INV}$  en 3,5°C.

El espesor medio del estrato de inversión aumenta (con significancia estadística) durante las últimas décadas (33,4 m/década). Desde el punto de vista mensual destaca un mayor ascenso registrado en octubre (96,8 m) y varios máximos secundarios que no mantienen un patrón común, repartidos entre todas las estaciones. Incluso, los meses en los que se produce una disminución del espesor de la ITN (mayo y agosto) corresponden a condiciones climáticas muy contrastadas en el área de estudio. Además, los niveles de significación estadística son bajos y en ningún caso pueden obtenerse resultados concluyentes.

El incremento del espesor del estrato ( $DZ_{INV}$ ), unido a la reducción de la intensidad ( $DT_{INV}$ ), determina una drástica disminución del gradiente térmico medio vertical (LR) (-0,9°C/década). La mayoría de los meses muestran una tendencia negativa del  $DZ_{INV}$  estadísticamente significativa (con P-values relativamente bajos <0.05), que dan robustez y credibilidad a los descensos observados. Este hecho tiene una indudable repercusión en los contrastes térmicos entre zonas de valle y terrenos orográficamente complejos, pudiéndose constatar una menor diferencia de temperatura entre la base y el techo del estrato de inversión (Tabla 4).

La presión atmosférica (PA) durante las jornadas de ITN muestra una tendencia general positiva, siendo estadísticamente significativa (0,4 hPa/década). La PA aumenta en los periodos de mayor recurrencia de procesos de inversión térmica nocturna, especialmente durante la época fría del año (diciembre a marzo) con valores significativos de 0,8 y 0,5 hPa/década respectivamente. El mes de diciembre experimenta el mayor incremento, con un P-value inferior a 0.01 (muy relevante). Por el contrario, en los meses de abril a octubre, apenas se aprecian cambios en la evolución temporal de la PA durante las últimas décadas, de modo que ésta se mantiene prácticamente estable (0,0 - 0,1 hPa/década) (Tabla 4).

Durante este tipo de eventos, a lo largo del período analizado, la temperatura en niveles altos atmosféricos (T500) experimenta un leve descenso (-0,1°C/década). Las tasas de disminución más importantes se producen en primavera y otoño (a menudo en torno a -0,5°C/década). Especialmente relevante es el mes de marzo, donde se registra una reducción estadísticamente significativa (-1,8°C/década). En cambio, los meses estivales e invernales apenas registran variaciones

relevantes (0,1 a 0,2°C/década), a excepción de los meses de diciembre (-0,5°C/década) y febrero (1,2°C/década).

La T850, en un geopotencial con clara influencia para las temperaturas superficiales, presenta tendencias y tasas de variación mensuales muy heterogéneas. Registra una tendencia media positiva (0,2°C/década), que incluye aumentos mensuales particularmente notorios en febrero y abril (0,4 y 1,1°C/década respectivamente). La media estacional de invierno supone un incremento de 0,4°C/década, lo que implica un claro cambio en el grado de influencia sobre las heladas en dicha época del año. Por el contrario, los meses de agosto, septiembre o noviembre registran tendencias negativas, alguna de ellas de cierta relevancia (-1,8°C/ década en septiembre).

#### 4. Discusión

El estudio de las inversiones térmicas nocturnas (ITN) en la ciudad de Murcia pone de manifiesto la importancia de las ITN superficiales o SBIs en el Área Metropolitana de la ciudad de Murcia, con el 83,7% de madrugadas anuales. Frecuencias similares a las observadas en otras zonas topográficamente deprimidas del país, como la Depresión de Sariñena (Cuenca del Ebro) en la que suponen un 82,9% (Ezpeleta, 1990). El porcentaje resulta, incluso, algo superior al registrado en extensas áreas llanas continentales como las Southern Great Plains (EE. UU), que presentan un 75%, en gran parte relacionado con una alta frecuencia de madrugadas anticiclónicas (Li *et al.*, 2019). Las jornadas de ITN nocturna son extraordinariamente frecuentes (83,7%) en la ciudad de Murcia. Se trata de frecuencias porcentuales anuales muy elevadas, en consonancia con las observadas en otras regiones semiáridas del planeta. En Teherán (Irán), por ejemplo, Tavousi y Abadi (2016) establecieron un 62,6% el porcentaje de jornadas de ITN al año, correspondiendo el 90% de ellas a origen superficial (SBIs), proporción algo superior a la registrada en Murcia (80,8%).

Las SBIs se muestran predominantes y persistentes en Murcia, particularmente durante el invierno, en el que se registran la mayoría de las heladas y las temperaturas mínimas extremas (93,2% de SBIs, frente a un 6,8% de ELIs). En Polonia, Czarnecka *et al.* (2018) han constatado un claro predominio de las jornadas con ITN superficial (SBIs) (>65% del total anual de eventos diarios de IT, y >90% en invierno). El mayor número de inversiones térmicas en niveles bajos atmosféricos tienen lugar, según Abdul-Wahab *et al.*, (2004), durante la estación invernal, mientras que las de niveles altos tienden a producirse en verano.

El espesor del estrato de inversión térmica ( $DZ_{INV}$ ) es muy débil en invierno, con valores que se sitúan entre 230 y 240 m. Son resultados similares a los espesores medios invernales registrados en el centro de la Península Ibérica (100 m) (Rasilla *et al.*, 2018), en Irán (128 m) (Tavousi y Abadi 2016), o en Elba (Polonia) (entre 100 y 200 m) (Czarnecka *et al.*, 2018). En todos estos casos, los estratos de inversión superficiales tienen muy poco desarrollo vertical durante el trimestre invernal y un espesor ligeramente moderado en el periodo de abril a octubre). Son resultados compatibles con los obtenidos en el desierto de Taklamakan (China) durante las noches estables de verano, con espesores promedios de la capa de inversión entre 400 y 600 m. (Wang *et al.*, 2016). A principios de diciembre, y durante el mes de febrero, la altitud media se sitúa del estrato de inversión es de 344 m. Es un valor relativamente bajo en comparación con otros ámbitos del planeta con características climáticas similares al sureste peninsular (Teherán – Irán), donde se observan altitudes medias entre 1267 y 1482 m (Halimi *et al.*, 2017).

Stryhal *et al.* (2017) rebatió el umbral de  $Z_{TOP}$  de 1000 m para definir las ELIs, por considerarlo demasiado bajo, proponiendo una altitud tope de 2000 m. Sin embargo, este último umbral no parece ser adecuado para el área de estudio, caracterizada por una gran complejidad orográfica (intercalación de vaguadas, depresiones, hoyas y llanuras prelitorales), y donde un umbral de  $Z_{TOP}$  de 2000 m reduciría de forma muy significativa la proporción de ITN definidas como ELIs hasta un 0,08% en la ciudad de Murcia.

Durante la época fría del año, especialmente en el trimestre invernal, los estratos de ITN superficiales presentan un fuerte contraste térmico entre la base y el tope, a pesar de su escaso espesor. Ello genera que la intensidad de inversión ( $DT_{INV}$ ) sea realmente elevada en la ciudad de Murcia (superior a 5°C en el 45% de las jornadas invernales). Se trata de un valor muy parecido al promedio registrado (2,5°C) en el Área Metropolitana de Guadalajara (México), donde los problemas de contaminación por dióxido de azufre ( $SO_2$ ), de nitrógeno (N), y por ozono ( $O_3$ ), constituyen un gran riesgo para la población (García *et al.*, 2012). En el Valle del Henares, el promedio de  $DT_{INV}$  es similar, situándose entre 2,1 y 4,0°C (Bello Fuentes, 2008). En otras regiones áridas del planeta (e.g. El Cairo), las intensidades de inversión más importantes se registran también en diciembre, enero y febrero (Kandil *et al.*, 2008). La consecuencia inmediata es la presencia de estratos bajos de ITN con gradientes térmicos verticales (LR) particularmente elevados en invierno (2 a 4°C/100 m).

Los resultados del análisis de evolución temporal de las ITN en la ciudad de Murcia muestran una disminución del número de jornadas con inversiones de madrugada (-9,9 días/década), aunque sujeta a ciertas oscilaciones en las tres últimas décadas, y estadísticamente significativa en los meses de marzo, julio, agosto y septiembre. En determinadas ciudades de Estados Unidos y de Centroeuropa (e.g. Praga) las tendencias temporales durante las últimas décadas muestran una disminución en la frecuencia de ITN superficiales y un aumento en las inversiones elevadas (Knozová, 2008; Bailey *et al.*, 2011; Strylah *et al.*, 2017). Por el contrario, Bailey *et al.* (2011) afirman que los procesos de inversión térmica nocturna desencadenados a niveles bajos en la zona centro-oeste de EE. UU están aumentando, como consecuencia de cambios recientes en los patrones atmosféricos. En una perspectiva de futuro los datos de radiosondeos proporcionados por el National Climatic Data Center (NCDC) predicen un aumento de las inversiones de nivel bajo en consonancia con un mayor estancamiento regional proyectados por los modelos. Por el contrario, muestran descensos notables en situaciones débiles, llegando a concluir que la calidad del aire en términos generales tenderá a empeorar con el transcurso de los próximos años (Kukkonen *et al.*, 2005; Bailey *et al.*, 2011).

Horton y Siffenbaugh, (2012) predicen un incremento de la estabilidad atmosférica en Europa y en zonas del Mediterráneo, con un aumento de los días invernales de estancamiento atmosférico para las próximas décadas entre 3 y 8 días por año (12-25%), hecho que está en consonancia con los patrones de tendencia positiva observadas en los eventos de ITN de la ciudad de Murcia en los meses de diciembre y enero (1,6 y 1,0 evento/década) respectivamente.

La intensidad ( $DT_{INV}$ ) y el gradiente térmico vertical (LR) están experimentando un descenso estadísticamente significativo (tasas medias de -0,5 y -0,9°C/década respectivamente), más relevante en invierno, lo que es consistente con la tendencia de disminución de la intensidad de las ITN observada por Hiebl y Schöner (2018) en Austria (tasa media de -0,1°C/década). Por su parte, la  $Z_{TOP}$  muestra un ascenso medio importante (106,2 m/década), con valores mensuales estadísticamente significativos en abril y junio (>140 m/década). Se trata de valores parecidos a los

obtenidos por Zhang et al. (2013) a partir del análisis de sondeos en la ciudad de Murcia. Según los resultados del reanálisis del ERA-20C (ECMWF), el techo del estrato de inversión asciende en las regiones de Asia oriental y norte de África a menor ritmo (10 a 14 m/década). Se trata de incrementos más reducidos que los registrados en Murcia, pero que confirman la tendencia ascendente de los estratos de ITN ya detectada en regiones áridas y semiáridas (Zhao et al., 2017). En particular, el aumento de la  $T_{BASE}$  en febrero está en concordancia con el estimado por Zhang et al. (2013) en la ciudad de Murcia (0,5°C/década). Este aspecto es clave en la génesis de temperaturas superficiales durante las madrugadas de ITN invernales, debido al ascenso de la  $Z_{BASE}$  en dicha estación.

Numerosos estudios señalan que las condiciones para un fuerte enfriamiento radiativo en superficie vienen marcadas por pequeños gradientes de presión horizontal en el centro del anticiclón, cuña o cresta anticiclónica (Bailey et al., 2011; Palarz, 2017). En la ciudad de Murcia se produce un incremento estadísticamente significativo de la presión atmosférica (PA) durante los eventos nocturnos de ITN (0,5 a 0,8 hPa/década), especialmente de diciembre a marzo. Es posible una intensificación de las islas de calor urbanas (ICU) y un aumento del ciclo térmico diario (mayor oscilación térmica diaria). Por ejemplo, se han observado diferencias de entre 4 y 5°C en cabeceras municipales de mediano tamaño (25000 habitantes) como es el caso de Caravaca de la Cruz (Murcia), donde los procesos de ITN son notables en la periferia, pero no en el centro de la ciudad (Espín Sánchez, 2021). Así mismo, recientes investigaciones en la ciudad de Zaragoza muestran una mayor intensidad de la ICU durante las noches (2.5°C) (Cuadrat et al., 2021). Sin duda se trata de una línea de futuro, donde las actuales investigaciones presentan series temporales muy cortas, y es preciso su análisis durante los próximos años.

Respecto al rango térmico diario (DTR), el análisis de 22 estaciones meteorológicas (1950-2020) muestra una tendencia neutra en la Demarcación Hidrográfica del Segura (DHS) (0.0°C/década), si bien, es positiva y estadísticamente significativa (0.3°C/década) en el sector occidental de la DHS (Pontones, Santiago de la Espada, Molinicos, Elche de la Sierra...), donde se produce un aumento de los días de helada anuales (Espín Sánchez, 2021) y un descenso de las precipitaciones invernales en Pontones (-5.6 mm/década) (Ruiz Álvarez, 2021). Los eventos de contaminación atmosférica en la ciudad de Murcia están estrechamente ligados a los procesos de estabilidad nocturna, generando un gran número de episodios a lo largo del año, con un 52% de los días donde se supera la cantidad máxima recomendada de  $NO_2$  (Ortega García et al., 2020). Se trata, por tanto, de una línea de investigación a seguir durante los próximos años, fundamentada principalmente por la importancia de los procesos de ITN en la concentración de contaminantes y efectos en la salud poblacional.

## 5. Conclusiones

Uno de los principales objetivos de la investigación era la de cuantificar la importancia de los procesos de inversión térmica nocturna (ITN) en el sureste de la península ibérica, así como sus características y origen.

Debido principalmente a la gran recurrencia de las condiciones nocturnas estables (gran cantidad de días despejados al año), los procesos de ITN aglutinan el 83,7% de las madrugadas anuales, especialmente en invierno (93,2%). Se trata, además, de inversiones térmicas de origen superficial (SBI), con un porcentaje anual del 90%.

El aumento de la temperatura de las masas de aire en niveles medio-bajos atmosféricos (T850) durante el invierno, está generando una disminución significativa del número de inversiones nocturnas de temperatura (7,9 días / década). La temperatura en los geopotenciales de 500 y 850 hPa (T500 y T850) generan una gran influencia en la temperatura superficial mínima ( $R^2$  de 0,72 a 0,85).

Finalmente, la intensidad de inversión ( $DT_{INV}$ ) y el gradiente térmico vertical (LR) están experimentando un descenso estadísticamente significativo (tasas medias de 0,5 y 0,9°C / década respectivamente), más relevante en invierno.

## Contribución de autorías

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Abdul-Wahab, S. A., Al-Saifi, S. Y., Alrumhi, B. A., Abdulraheem, M. Y., & Al-Uraimi, M. (2004). Determination of the features of the low-level temperature inversions above a suburban site in Oman using radiosonde temperature measurements: Long-term analysis. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109 (D20). <https://doi.org/10.1029/2004JD004543>
- Bailey, A.; Chase, T. N.; Cassano, J.J. & Noone, D. (2011). Changing Temperature Inversion Characteristics in the U.S. Southwest and Relationships to Large-Scale Atmospheric Circulation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50, 1307-1323. <https://doi.org/10.1175/2011JAMC2584.1>
- Bello Fuentes, V. (2008). Las inversiones térmicas en el Valle Bajo del Henares. *Serie Geográfica*, 14, 47-60.
- Brümmer, B., & Schultze, M. (2015). Analysis of a 7-year low-level temperature inversion data set measured at the 280 m high Hamburg weather mast. *Meteorologische Zeitschrift*, 24(5), 481-494. <https://10.1127/metz/2015/0669>
- Chung, U.; Seo, H.H.; Hwang, K.H.; Hwang, B.S.; Choi, J.J.; Lee, T. & Yun, J.I. (2006). Minimum temperature mapping over complex terrain by estimating cold air accumulation potential. *Agricultural and Forest Meteorology*, 137, 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.12.011>
- Clements, C.B.; Whiteman, C. D. & Horel J. D. (2003). Cold-air-pool structure and evolution in a mountain basin: Peter Sinks, Utah. *Journal of Applied Meteorology*, 42, 752-768. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2003\)042<0752:CSAEIA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2003)042<0752:CSAEIA>2.0.CO;2)
- Conesa García, C., Espín Sánchez, D., García Marín, R., Castejón Porcel, G., & Moreno Muñoz, D. (2014). Inversiones térmicas con advección cálida inferior en la Vega Media del Segura (Región de Murcia). *Estudios geográficos*, 75 (277), 521-552. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201416>
- Connolley, W. M. (1996). The Antarctic temperature inversion. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 16(12), 1333-1342. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199612\)16:12<1333::AID-JOC96>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199612)16:12<1333::AID-JOC96>3.0.CO;2-6)
- Cuadrat, J. M., Serrano-Notivoli, R., Barrao, S., Saz, M. Á., & Tejedor, E. (2021). Temporal variability of the urban heat island in Zaragoza (Spain). *Cuadernos de Investigación Geográfica*. <https://doi.org/10.18172/cig.5022>
- Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz J., & Rawicki, K., (2016). Thermal inversions and sulphure dioxide concentrations in some Polish cities in the winter season. *J Elem* 21, 1001–1015. <https://doi.org/10.5601/jelem.2016.21.1.1038>
- Czarnecka, M., Nidzgorska-Lencewicz, J., & Rawicki, K. (2018). Temporal structure of thermal inversions in Łeba (Poland). *Theoretical and Applied Climatology*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2459-8>
- Daly, C.; Helmer, E.H. & Quinones, M. (2003). Mapping the climate of Puerto Rico, Vieques, and Culebra. *International Journal of Climatology*, 23, 1359-1381. <https://doi.org/10.1002/joc.937>
- De Martonne, E., (1909). *Traité de la Géographie Physique*. París: A. Colin.
- Devasthale, A.; Willen, U.; Karlsson, K.G. & Jones, C.G. (2010). Quantifying the clear sky temperature inversion frequency and strength over the Arctic Ocean during summer and winter seasons from AIRS profiles Atmospheric. *Chemistry and Physics Discussions*, 10, 2835-2858. <https://10.5194/acp-10-5565-2010>

- Dorta Antequera, P. (1996). Las inversiones térmicas en Canarias. *Investigaciones geográficas*, 15, 109-124
- Ekhart, E., (1934). Neuere Untersuchungen zur Aerologie der Talwinde: die periodischen Tageswinde in ein em Quartale der Alpen. *Beitrage zur Physik der Atmosphaere*, 21, 245-268.
- Espín Sánchez, D.; Conesa García, C.; & Castejón Porcel, G. (2018). Temperature Inversions Due to Warm Air Advections at Low Levels: Significant Thermal Contrasts in the Vega Media of the Segura River (Southeast Spain). *Advances in Environmental Research* (Vol. 64, 7), 139-178.
- Espín Sánchez, D. (2021). *Riesgo de heladas por inversión térmica e incidencia agrícola en la Demarcación Hidrográfica del Segura (DHS)*. Tesis Doctoral, Universidad de Murcia, 573 pp.
- Ezpeleta, A.M., (1990). Las inversiones térmicas en la depresión de Sariñena. *Geographicalia*, 27, 105-120. [https://doi.org/10.26754/ojs\\_geoph/geoph.1990271862](https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.1990271862)
- Fadnavis, S., & Beig, G. (2004). Mesospheric temperature inversions over the Indian tropical region. *Annales Geophysicae*, 22, 3375-3382. <https://doi.org/10.5194/angeo-22-3375-2004>
- Fochesatto, G. J., (2015). Methodology for determining multilayered temperature inversions. *Atmospheric Measurement Techniques*, 8(5), 2051-2060. <https://doi.org/10.5194/amt-8-2051-2015>
- Fritz, B. K., Hoffmann, W. C., Lan, Y., Thompson, S. J., & Huang, Y. (2008). Low-level atmospheric temperature inversions and atmospheric stability: characteristics and impacts on agricultural Applications. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 08 001. Vol. X, pag 1-10,
- García M., Ramírez, H., Ulloa, H., Arias, S. & Pérez, A. (2012). Las inversiones térmicas y la contaminación atmosférica en la zona Metropolitana de Guadalajara (México). *Investigaciones Geográficas*, 58, 9-29.
- Garrat, J. R., & Brost R. A., (1981). Radiative cooling effect within and above the nocturnal boundary layer. *J. Atmos. Sci.*, 38, 2730-2745. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1981\)038<2730:RCEWAA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<2730:RCEWAA>2.0.CO;2)
- Gil Olcina, A. & Olcina Cantos, J. (2017). *Tratado de climatología*. Universidad de Alicante.
- Gillies R.R, Wang S.Y., & Booth, M.R., (2010). Atmospheric scale interaction on wintertime intermountain west low-level inversions. *Wea Forecasting* 25:1196-1210. <https://doi.org/10.1175/2010WAF2222380.1>
- Glickman T., (2000). *Glossary of meteorology*. American Meteorological Society.
- Gramsch E., Cáceres, D., Oyola, P., Reyes, F., Vásquez Y., Rubio M.A., & Sánchez G. (2014). Influence of surface and subsidence thermal inversion on PM 2.5 and black carbon concentration. *Atmos Environ* 98, 290-298. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.08.066>
- Gustavsson, T.; Karlsson, M.; Bogren J. & Lindqvist, S. (1998). Development of temperature patterns during clear nights. *Journal of Applied Meteorology*, 37, 559-571. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1998\)037<0559:DOTPD C>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1998)037<0559:DOTPD C>2.0.CO;2)
- Halimi M., Yarahmadi D., & Zarei Z (2017). Analysis of the monthly change in the boundary layer height using the vertical temperature profile models. Case study: Tehran's Mehrabad station. *Space communications* 6(21), 115-124.
- Hiebl, J., & Schöner, W., (2018). Temperature inversions in Austria in a warming climate—changes in space and time. *Meteorologische Zeitschrift*, 309-323. <https://doi.org/10.1127/metz/2018/0899>
- Horton, D. E., & Siffenbaugh, N. S. (2012). Response of air stagnation frequency to anthropogenically enhanced radiative forcing. *Environmental Research Letters*, 7(4), 044034.
- Humboldt, A. (1874). *Cosmos, ensayo de una descripción física del mundo*. Madrid, España.
- Iacobellis, S.F., Norris, J.R., Kanamitsu, M., Tyree, M., & Cayan, D.C., (2009). Climate variability and California low-level temperature inversions. *California Climate Change Center*, 48.
- Incecik, S., (1996). Investigation of atmospheric conditions in Istanbul leading to air pollution episodes. *Atmospheric Environment*, 30(15), 2739-2749. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00366-5](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00366-5)
- Jiménez, M.A., Ruiz, A., & Cuxart, J., (2015). Estimation of cold pool areas and chilling hours through satellite-derived surface temperatures. *Agricultural and Forest Meteorology*, 207, 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.agrfor.2015.03.017>
- Kadyrov, E. N.; Gaykovich, K.P.; Westwater, E.R.; Han, Y. & Widener, K. (1999). Potential performance of boundary layer temperature profile microwave remote sensing: results of field testing at various latitude zones. *Proceedings of the Eighth Atmospheric Radiation Measurement (ARM)*. 353-357.
- Kahl, J.D., (1990). Characteristics of the low-level temperature inversion along the Alaskan Arctic coast. *International Journal of Climatology*, 10, 537-548. <https://doi.org/10.1002/joc.3370100509>

- Kaiser, H. F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23(3), 187-200. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>
- Kandil, A. M. M., Elhadidi, B. M., & Sherif, A. O. (2008). Seasonal evaluation of temperature inversion. *Proceedings of the IEEE, Conference: The 10th Cairo International Conference on Energy and Environment*, At: Luxor, EGYPT 6-11.
- Kant, I., (1999). *Géographie. Physische Geographie*. Paris: Aubier, Tradução de Michèle Cohen-Halimi, Max Marcuzzi et Valérie Seroussi.
- Knozová, G., (2008). Temperature inversions at Prague-Libuš aerological station (1975–2006). In: Kłysik K, Wibig J, Fortuniak K (eds) *Klimat i bioklimatmiast. Wydawnictwo Uniwersyte tu Łódzkiego, Katedra Meteorologii i Klimatologii UŁ, Łódź*, 65–80.
- Kendall, M. G., (1938). A new measure of rank correlation. *Biometrika*, 30(1/2), 81-93.
- Kendall, M. G., (1975). *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin, London.
- Kukkonen, J., Pohjola, M., Sokhi, R.S., Luhana, L., Kitwiroon, ... & Finardi, S., (2005). Analysis and evaluation of selected local-scale PM10 air pollution episodes in four European cities: Helsinki, London, Milan and Oslo. *Atmos. Environ.*, 39, 2759-2773. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.09.090>
- LARGERON Y., & STAQUET C. (2016). Persistent inversion dynamics and wintertime PM10 air pollution in alpine valleys. *Atmos Environ* 135, 92– 108. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.045>
- Leukauf, D., Gohm, A., Rotach, M.W., & Wagner J.S., (2015). The impact of the temperature inversion breakup on the exchange of heat and mass in an idealized valley: sensitivity to the radiative forcing. *J Appl Meteor Climatol*, 54, 2199–2216. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D- 15-0091.1>
- Li, J., Jian, B., Zhao, C., Zhao, Y., Wang, J., & Huang, J. (2019). Atmospheric instability dominates the long-term variation of cloud vertical overlap over the Southern Great Plains site. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(16), 9691-9701.
- Lindkvist, L.; Gustavsson, T. & Bogren, J. (2000): A frost assessment method for mountainous areas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 102, 51-67. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00087-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00087-8)
- Liu, H.; Crawford, J.; Pierce, B.; Norris, P.M.; Platnick, S... & Tie, X., (2006). Radiative effect of clouds on tropospheric chemistry in a global three-dimensional chemical transport model. *Journal of Geophysical Research*, 111. <https://doi.org/10.1029/2005JD006403>
- López Gómez, A. (1975). Inversión de temperatura entre Madrid y la Sierra de Guadarrama con advección cálida superior. *Estudios Geográficos*, 36 (138-139), 567-604.
- Lundquist, J.D.; Pepin, N. & Rochford, C. (2008). Automated algorithm for mapping regions of cold-air pooling in complex terrain. *Journal of Geophysical Research*, 113. <https://doi.org/10.1029/2008JD009879>
- Malek, E.; Davis, T.; Martin, R.S. & Silva, P.J., (2006). Meteorological and environmental aspects of one of the worst national air pollution episodes (January, 2004) in Logan, Cache Valley, Utah, USA. *Atmospheric Research*, 79 (2), 108-122. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2005.05.003>
- Malingowski, J., Atkinson, D., Fochesatto, J., Cherry, J., & Stevens, E. (2014). An observational study of radiation temperature inversions in Fairbanks, Alaska. *Polar Science*, 8(1), 24-39. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2014.01.002>
- Martín Vide, J., & Fructuoso Aranda, S., (1993). Las inversiones térmicas acusadas en el Vallès Oriental. *Geografía i Territori. Colecció Homenatges: Professor Lluís Casassas*, Universitat de Barcelona, 219-226.
- Marvin, C. F., (1914). Air drainage explained. *Monthly Weather Review*, 42(10), 583-585.
- Mayfield, J. A., & Fochesatto G. J., (2010). A study of elevated and surface-based inversions in the Interior of Alaska. *Fall Meeting, San Francisco, CA, Amer. Geophys. Union*, Abstract A21C-0070.
- McChesney, C.J.; Koch, J.M. & Bell D.T., (1995). Jarrah forest restoration in Western Australia: canopy and topographic effects. *Restoration Ecology*, 3, 105-110. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1995.tb00083.x>
- Milionis, A.E., & Davies, T.D., (2008). A comparison of temperature inversion statistics at a coastal and a non-coastal location influenced by the same synoptic regime. *Theor Appl Climatol*, 94, 225–239. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0356-7>
- Miller, D.R.; Bergen, J.D., & Neuroth, G., (1983). Cold air drainage in a narrow forested valley. *Forest Science*, 29, 357-370. <https://doi.org/10.1093/forestscience/29.2.357>
- Miró, J.R., Peña, J.C., Pepin, N., Sairouni, A., & Aran, M., (2017). Key features of cold-air pool episodes in the northeast of the Iberian Peninsula (Cerdanya, eastern Pyrenees). *International Journal of Climatology*, 37. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5236>

- Morbidelli, R., Corradini, C., Saltalippi, C., & Flammini, A., (2011). Atmospheric stability and meteorological scenarios as inputs to air pollution transport modeling. *Water Air Soil Pollut*, 218, 275-281. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0640-5>
- Nidzgorska-Lencewicz, J., & Czarnecka, M. (2015). Winter weather conditions vs. air quality in Tricity, Poland. *TheorAppl Climatol* 119, 611-627. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1129-8>
- Ochoa-Jaramillo, A., & Cantor-Gómez, D., (2011). Tendencias de largo plazo en cinco índices de estabilidad atmosférica en Colombia. In *IX Congreso Colombiano de Meteorología y Conferencia Internacional* (23-25).
- Olcina, A. G., & Cantos, J. O., (2017). *Tratado de climatología*. Universidad de Alicante, 978-84-9717-519-7, 952 pp.
- Olofson K.F.G, Andersson P.U., Hallquist M., Ljungström E., Tang L., ..., & Pettersson J.B. (2009). Urban aerosol evolution and particle formation during wintertime temperature inversions. *Atmos Environ* 43, 340-346. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.080>
- Ortega-García, J. A., Martínez-Hernández, I., Boldo, E., Cárceles-Álvarez, A., Solano-Navarro, C., Ramis, R., ... & López-Hernández, F. (2020). Contaminación atmosférica urbana e ingresos hospitalarios por asma y enfermedades respiratorias agudas en la ciudad de Murcia (España). *Anales de Pediatría* (Vol. 93, No. 2, pp. 95-102).
- Pagès, M., Pepin, N. & Miró, J.R., (2017). Measurement and modelling of temperature cold pools in the Cerdanya valley (Pyrenees), Spain. *Meteorological Applications*, 2(24): 290- 302. <http://dx.doi.org/10.1002/met.1630>
- Palarz A., Celiński-Mysław, D., & Ustrnul, Z., (2017). Temporal and spatial variability of surface-based inversions over Europe based on ERA interim reanalysis. *Int J Climatol*, 38, 158-168. <https://doi.org/10.1002/joc.5167>
- Parczewski, W., (1976). Thermo-dynamic stability of vertical air in Poland. *PrInst Meteorol GospWodne* 102.
- Pasquill, F. & Smith, F.B., (1983). *Atmospheric Diffusion: A Study of the Dispersion of Windborne Material from Industrial and Other Sources*. Chichester, West Sussex, England: Ellis Horwood Limited.
- Quereda, J., Montón, E., Escrig, J., Ruescas, A.B., & Mollá, B., (2004). *La previsión de nieblas en la cuenca occidental del mediterráneo. El Clima entre el Mar y la Montaña, Santander*. En García Codrón et al. (editores). Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, serie A, nº 4. Santander, 125-134.
- Rasilla, D., Fernández García, F., Allende, F., & Martilli, A., (2018): Estancamiento atmosférico e inversiones térmicas en la meseta meridional. *XI Congreso AEC En Montávez Gómez et al. (editores) El clima: aire, agua, tierra y fuego. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, serie A, nº 11. Cartagena, 363-372*.
- Rendón, A.M., Salazar J.F., Palacio C.A., & Wirth V., (2015). Temperature inversion breakup with impacts on air quality in urban valleys influenced by topographic shading. *J Appl Meteor Climatol*, 54, 302-321. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-14-0111.1>
- Ruiz Álvarez, V. (2021). *Estimación del Impacto del Cambio Global sobre el Riesgo de Sequía en el Sureste de España: Evaluación y Pronóstico sobre los Recursos Hídricos y el Uso del Agua*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, 504 pp.
- Schnelle, K.B., & Brown, C.A. (2002). *The air pollution control technology handbook*. CRC Press, Boca Raton.
- Sharma, S., (1996). *Applied Multivariate Techniques*. John Wiley and Sons, Inc., New York
- Silva P.J., Vawdrey, EL., Corbett M., & Erupe M., (2007). Fine particle concentrations and composition during wintertime inversions in Logan, Utah, USA. *Atmos Environ* 41, 5410-5422. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.02.016>
- Snedecor, G. W., & Cochran, W. G. (1983). *Statistical Methods*. Oxford and IBH publishing company, New Delhi.
- Stryhal J., Huth R. & Sládek I. (2017). Climatology of low-level temperature inversions at the Prague Libuš aerological station. *TheorAppl Climatol* 127, 409-420. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1639-z>
- Tavousi, T., & Abadi, N. H. (2016). Investigation of inversion characteristics in atmospheric boundary layer: a case study of Tehran, Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(2), 85. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0139-1>
- Vihma, T.; Kilpeläinen, T.; Manninen, M.; Sjöblom, A.; Jakobson, E.; Palo, T.; ... & Maturilli, M., (2011). Characteristics of Temperature and Humidity Inversions and Low-Level Jets over Svalbard Fjords in Spring. *Advances in Meteorology*, 14. <https://doi.org/10.1155/2011/486807>
- Wang, M. Z., Lu, H., Ming, H., & Zhang, J., (2016). Vertical structure of summer clear-sky atmospheric boundary layer over the hinterland and southern margin of Taklamakan Desert. *Meteorological Applications*, 23(3), 438-447. <https://doi.org/10.1002/met.1568>

- Watson, J.G., & Chow J.C. (2002). A wintertime PM<sub>2.5</sub> episodes at the Fresno, CA, supersite. *Atmos. Environ.* 36, 465–475. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00309-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00309-0)
- Whiteman, C.D., (2000). *Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications*. Oxford University Press. Oxford, 355 pp.
- Whiteman, C.D.; Pospichal, B.; Eisenbach, S.; Weihs, P.; Clements, C. B.; Steinacker & Dorninger, M. (2004). Inversion Breakup in Small Rocky Mountain and Alpine Basins. *Journal of Applied Climatology and Meteorology*, 43, 1069-1082. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2004\)043<1069:IBISRM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043<1069:IBISRM>2.0.CO;2)
- Young, F.D., (1923). Nocturnal temperature inversions in Oregon and California. *Monthly Weather Review*, 49, 138-148. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1921\)49<138:NTIIOA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1921)49<138:NTIIOA>2.0.CO;2)
- Zängl, G., (2005). Dynamical aspects of wintertime cold-air pools in an alpine valley system. *Monthly Weather Review*, 133, 2721-2740. <https://doi.org/10.1175/MWR2996.1>
- Zhang Y.H., Zhang S.D., Yi F., & Chen Z.Y. (2011). Statistics of lower tropospheric inversions over the continental United States. *Ann Geophys* 29, 401–410. <https://doi.org/10.5194/angeo-29>
- Zhang, Y., Seidel, D. J., & Zhang, S., (2013). Trends in planetary boundary layer height over Europe. *Journal of Climate*, 26(24), 10071-10076. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00108.1>
- Zhao, Y., Mao, W., Zhang, K., LI, H., & Zhang, W., (2017). Climatic Variations in the Boundary Layer Height of Arid and Semiarid Areas in East Asia and North Africa. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 95(3), 181-197. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2017-010>

# El sellado antropogénico del suelo. Análisis bibliométrico

## Anthropogenic Soil Sealing. Bibliometric Analysis

EMILIO JOSÉ ILLÁN-FERNANDEZ<sup>1</sup>  0000-0002-5793-5152

ALFREDO PÉREZ-MORALES<sup>1</sup>  0000-0001-7532-8711

ASUNCIÓN ROMERO-DÍAZ<sup>1</sup>  0000-0003-1355-4160

<sup>1</sup> Departamento de Geografía. Universidad de Murcia. España.

### Resumen

El sellado antropogénico constituye uno de los principales procesos de degradación física de los suelos y tiene como principal resultado su impermeabilización, con efectos negativos muy importantes. Los estudios sobre este tema son relativamente recientes, apareciendo las primeras investigaciones relevantes a finales del siglo XX. Sin embargo, no se ha realizado, hasta ahora, ningún estudio que analice su evolución. Por este motivo, se llevó a cabo un análisis bibliométrico de las publicaciones relacionadas con esta materia a nivel internacional a partir de las bases de datos Web of Science y Scopus en el periodo 2000-2019. Los resultados muestran cómo el número de trabajos ha ido aumentando de manera significativa hasta 2017, alcanzando tal relevancia que diferentes organizaciones gubernamentales propusieron acciones para la mitigación de sus efectos. Además, fue posible evidenciar qué autores son especialistas en el tema, qué países han realizado más estudios (China, EEUU y países europeos), y se ha obtenido una clasificación de las principales líneas temáticas que exponen las tendencias actuales. Finalmente, se ha establecido una hipótesis sobre su estancamiento en los últimos años por la aparición de las denominadas infraestructuras verdes.

Palabras clave: sellado antropogénico de suelo; análisis bibliométrico; indicadores bibliométricos; producción científica; degradación de suelos

#### Fechas • Dates

Recibido: 2021.09.23  
Aceptado: 2022.01.28  
Publicado: 2022.03.01

#### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Emilio José  
Illán-Fernandez  
[emiliojose.illan@um.es](mailto:emiliojose.illan@um.es)

## Abstract

Anthropogenic sealing is one of the main processes of physical degradation of soils and its main result of this process is waterproofing, with significant negative effects. Studies on this problem are relatively recent, with the first relevant research appearing at the end of the 20th century. However, until now, no study has been carried out to analyse its evolution. For this reason, a bibliometric analysis of the publications related to this subject at international level was carried out using Web of Science and Scopus databases for the period 2000-2019. The results show how the number of works has increased progressively until 2017, reaching such relevance that different governmental organisations proposed actions to mitigate its effects. In addition, it was possible to show which authors are specialists in this subject, which countries have developed these works the most (China, USA and European countries) and a classification of the main thematic lines was obtained. Finally, a hypothesis was established regarding its stagnation in recent years due to the appearance of the green infrastructures.

Keywords: anthropogenic soil sealing; bibliometric analysis; bibliometric indicators; scientific production; soil degradation

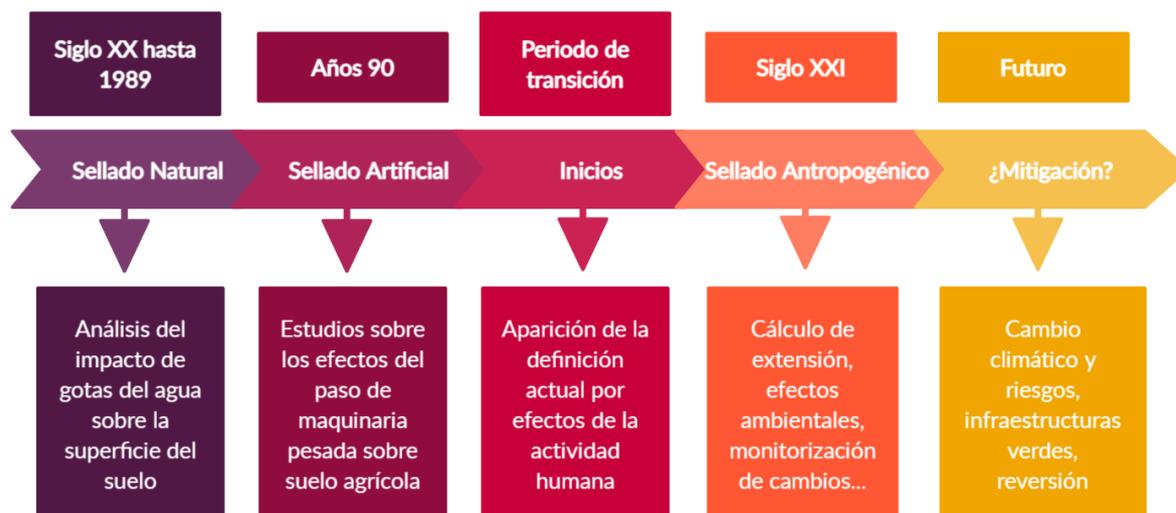
## 1. Introducción

En las últimas décadas, los cambios producidos en los usos y cubiertas del suelo son notables. Mientras que la cubierta del suelo hace referencia a los aspectos biofísicos presentes en la superficie, ya sean naturales o inducidos por el hombre, los usos se corresponden con la utilización del suelo desde una perspectiva antrópica (Di Gregorio, 2005). Es de destacar, principalmente, el aumento de las superficies artificiales como consecuencia de la urbanización (viviendas, equipamientos, industria, vías de comunicación, etc.) y con ello, el sellado del suelo (Deng et al., 2009; Rounsevell et al., 2006; Seto & Shepherd, 2009). Dicho proceso, y su generalización a escala global, afecta de forma directa a las funciones básicas del suelo, acrecentando otros problemas como pueden ser la pérdida de biodiversidad, contaminación, degradación edáfica o los efectos del cambio climático (Valera-Lozano et al., 2011). El aumento de los usos sellantes es debido, en gran medida, al crecimiento de las áreas urbanas (mayor dinamismo económico y laboral, polos de atracción, despoblamiento rural, etc.); a su rápida expansión en un periodo relativamente corto de tiempo; y a su capacidad de ejercer influencia sobre otros usos adyacentes. Sin embargo, la importancia y magnitud de los estudios acerca de este fenómeno no se han puesto en valor hasta los primeros años del siglo XXI.

El concepto de sellado de suelo es relativamente nuevo, pues se desarrolló desde finales del siglo XX. Desde entonces, su interés y relevancia científica aumentó, adquiriendo una importancia considerable en multitud de campos científicos. Pese a que se trata de un concepto reciente, ha experimentado una evolución rápida en cuanto a su significado (Figura 1).

En un primer momento, el sellado se entendía como un proceso natural en el que las gotas de lluvias intensas impactaban sobre la superficie del suelo, propiciando su compactación. Este proceso tiene como resultado una serie de cambios en su capacidad de infiltración, desde las capas superiores a las inferiores (Jones & Montanarella, 2001; Levy et al., 1994; Mualem et al., 1990).

Figura 1. Evolución del concepto de sellado de suelo



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, el objeto de estudio de los posibles sellados del suelo se centraba en aquel producido sobre áreas agrícolas (Hamza & Anderson, 2005; Ramos et al., 2000; Shainberg et al., 1992). De esta manera, se clasificaba como un proceso más de degradación de suelos por compactación, ocasionado fundamentalmente por el uso de maquinaria pesada sobre el suelo natural, que daba como resultado una pérdida de actividad biológica y capacidad de infiltración (García-Alvarado et al., 2014; Jones & Montanarella, 2001).

Más tarde, a finales de los años 90 del siglo XX y comienzo del XXI, se le comienza a relacionar, casi exclusivamente, con aquel derivado de la actividad humana no agrícola, como la industria, las infraestructuras y equipamientos, o la expansión urbana (Añó-Vidal et al., 2005). Es entonces cuando se consolida como tal el sellado antropogénico del suelo (SAS en adelante). En este sentido, no será hasta 2001 cuando la Comisión Europea a través de la Agencia Europea del Medio Ambiente defina este concepto de forma oficial como “la cobertura del suelo mediante la urbanización y la construcción de infraestructuras, de modo que el suelo ya no puede realizar las funciones básicas asociadas a él” (EEA, 2001). También ha sido definido por otros autores como “la destrucción o cubrimiento del suelo mediante edificios, construcciones u otras capas de material total o parcialmente impermeable, tales como asfalto, cemento, plásticos, etc., siendo este un proceso prácticamente irreversible” (Bernard, 2012), resultante de procesos de urbanización y cambios en los usos del suelo (Scalenghe & Marsan, 2009), como puede ser de agrícola a industrial o urbano.

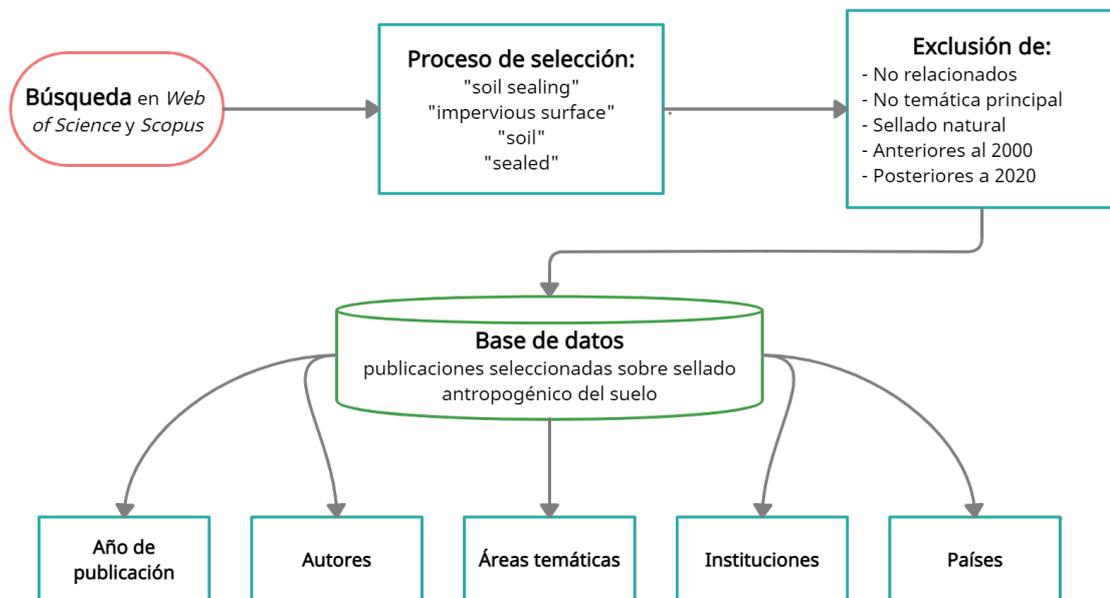
El objetivo de este trabajo ha sido analizar, a diferentes escalas (global, europea y española), las características de los estudios que sobre el SAS se han realizado en las últimas dos décadas.

## 2. Metodología

El análisis bibliométrico se extiende desde el 01/01/2000 hasta el 31/12/2019. Estas fechas han sido escogidas para tener un periodo lo suficientemente largo como para observar tendencias y

se acotan entre la aparición de los primeros trabajos relevantes hasta alcanzar las dos décadas. Para ello, se siguieron los ocho pasos establecidos por Okoli & Schabram (2010) pero aplicados a las publicaciones cuya temática coincida o se relacione con el SAS. Se consideraron únicamente como válidas aquellas que, desde distintas disciplinas, estudien o analicen esta temática como objeto principal. También se llevó a cabo el descarte de aquellas que se correspondían parcialmente o que solo mencionaban el fenómeno sin profundizar en la materia. Todo este proceso se distribuyó en tres etapas (Figura 2).

Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de trabajos sobre sellado antropogénico.



Fuente: Elaboración propia.

Etapa 1: pasos 2 (establecimiento del método) y 3 (búsqueda) de la guía de Okoli & Schabram. Consistió en la selección de publicaciones científicas utilizando la información proporcionada por Web of Science (WoS en adelante) y Scopus, debido a su extensa base de datos y fácil acceso. Existe una gran variedad de términos para este fenómeno, principalmente porque el concepto SAS puede ser denominado de forma diferente (“soil sealing”, “impervious surface”, “urban sprawl”, “urbanization”, “urban growth”, “build-up”, “land take”...) en función de la parte del mundo donde se estudie. Así, mientras que en países europeos es más común utilizar la denominación “soil sealing” o “land take”, en el resto predomina el uso de “impervious surface” o “urbanization”, aunque este último se aplica en estudios sobre crecimiento urbano. Una vez consideradas estas singularidades, se procedió a una búsqueda por términos, realizada el 3 de Julio de 2020, utilizando las siguientes palabras clave: “soil sealing”, “impervious surface”, “soil” y “sealed”. Finalmente, se seleccionaron aquellas publicaciones que aparecieron en la búsqueda con estos requisitos específicos tanto en títulos, resúmenes y palabras clave. Al mismo tiempo, se realizó una búsqueda complementaria con el término “green infrastructure” para comparar la posible tendencia de los trabajos sobre SAS en los últimos años.

Etapa 2: pasos 4 (selección de publicaciones) y 5 (exclusión de aquellas no científicas). En la segunda fase se ha realizado un cribado de investigaciones, descartándose aquellas que no tuvieran relación directa con la temática pese a su aparición en la búsqueda. Este proceso se realizó

mediante la lectura de sus resúmenes ya que, en numerosos casos, no tratan el SAS como asunto central. En consecuencia, no fueron escogidas las publicaciones que únicamente explican de forma somera el SAS o que aportaban otra visión diferente, como pueden ser estudios sobre su mitigación o soluciones de sus efectos. También se excluyeron aquellas que estudian el sellado de tipo natural, puesto que nuestro interés se centra en el sellado propiciado por el ser humano y sus actividades. Además, se acotó el periodo de selección por años de publicación, centrándonos entre el inicio del año 2000 y el final de 2019. Este lapso de tiempo seleccionado es debido a que, tras efectuar la búsqueda realizada en el paso anterior, se observó que los estudios sobre SAS son casi inexistentes en años previos al 2000.

Etapa 3: pasos 6 (extracción de datos), 7 (síntesis) y 8 (redacción de resultados). Por último, se procedió a la obtención de la información proporcionada por WoS y Scopus sobre cada una de las publicaciones finalmente seleccionadas. Se llevó a cabo un análisis en función de los indicadores elegidos y se procedió a la transcripción de los resultados.

Siguiendo otros estudios bibliométricos (Bordons, 1999; Wu et al., 2015; Romero-Díaz, 2016; Campos-Sánchez, 2017; Camargo et al., 2019), se emplearon los siguientes indicadores de la actividad científica: 1) evolución de las publicaciones, 2) áreas de investigación, 3) autores principales, 4) países y centros de investigación y 5) clasificación de las publicaciones según líneas temáticas. Así pues, una vez realizado el análisis, se pudo obtener una visión general de la investigación sobre el sellado antropogénico del suelo. Por último, se reflexiona de forma crítica sobre dicha evolución.

### 3. Resultados

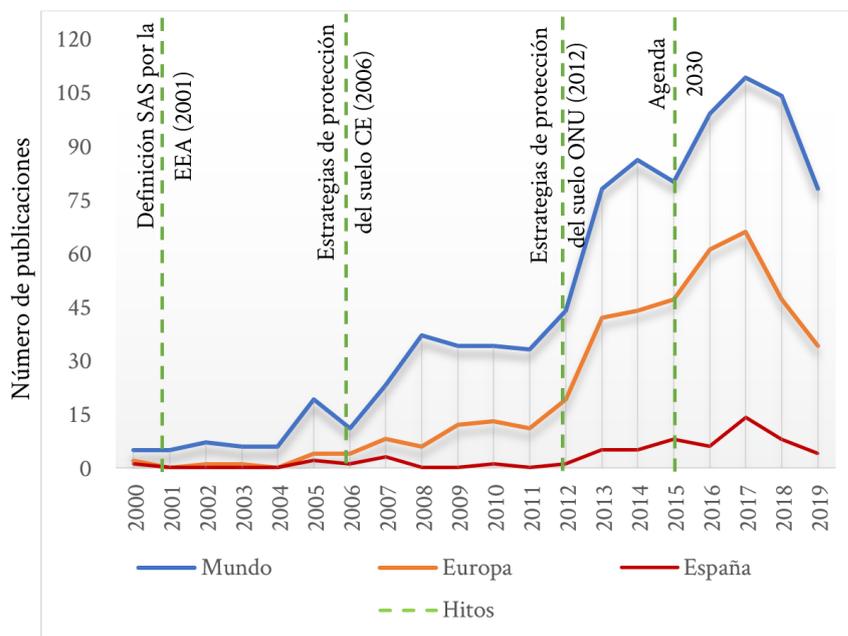
Las publicaciones que cumplían los requisitos establecidos han sido 1073, de las cuales 502 se encuentran indexadas en WoS y 571 en Scopus.

#### 3.1. Evolución de las publicaciones

El progreso de los trabajos sobre SAS (Figura 3) es semejante a nivel español, europeo y global, si bien es cierto que la multiplicación de las investigaciones se origina con algunos años de anterioridad en el resto del mundo con respecto a España y Europa. Además, la existencia de ciertos hitos o eventos (línea verde discontinua) parecen influir en la variación de publicaciones.

En este sentido, mientras que el aumento significativo de divulgaciones a nivel mundial aparece a partir de 2004 y, sobre todo, desde 2006, se evidencia cómo Europa no comienza a indagar a un mayor ritmo sobre el SAS hasta 2007-2008, cuando la tendencia es claramente alcista. Al mismo tiempo, se observa un incremento general en España, aunque con una inclinación a la baja durante los últimos años, al igual que a nivel europeo y global.

Figura 3. Evolución del número de publicaciones sobre sellado antropogénico en España, Europa y resto del mundo.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WoS y Scopus.

Esta variación anual de publicaciones puede haberse producido por diferentes motivos, entre ellos la legislación vigente o la aparición de nuevas tendencias de investigación. A nivel europeo, a principios de los años 2000, tiene lugar una mayor preocupación por cuestiones ambientales, entre ellas el SAS: en 2001 se define el sellado de suelo, por parte de la Unión Europea (UE), como un problema creciente (EEA, 2001) y en 2002 se establece el objetivo de un uso sostenible del suelo para reducir su aumento (Comisión Europea, 2002). En 2006 se avanza en la necesidad de una legislación comunitaria sobre este problema y se establecen estrategias de protección mediante políticas nacionales y promoción de su investigación (Comisión Europea, 2006a, 2006b). Es entonces cuando se comienza a distinguir un crecimiento en el número de investigaciones sobre SAS.

Más tarde, en 2012, y tras ser rechazada la propuesta de 2006 por algunos países miembros de la UE, se procede a la aplicación de la estrategia temática para la protección del suelo aprobada por la ONU (Naciones Unidas, 2012). Esto, junto con la publicación por parte de la Comisión Europea de la estrategia europea para la mitigación de sus efectos (Comisión Europea, 2012), tiene como resultado el repunte de estudios existente en todas las escalas. Asimismo, la conferencia de las Naciones Unidas Rio+20 de 2012 (Naciones Unidas, 2012) junto con la Agenda 2030 para un desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 2015), impulsan dicho aumento, pues enfatizan la necesidad de abordar la problemática de la desertificación y de la degradación de suelos, en todas sus expresiones, desde una perspectiva global.

No obstante, gobiernos de diversos países, entre los que se destacan Estados Unidos y China, siguieron el camino contrario con respecto a los europeos. En el primer caso, Estados Unidos no elaboró ningún tipo de ley federal para mitigar los efectos del SAS, sino que estableció recomendaciones y dejó en manos de los gobiernos locales el establecimiento de normas. Estas no fueron muy desarrolladas, lo que propició la continuidad del problema y de sus efectos (Sung et al., 2013). Por otro lado, China fue modificando diferentes políticas con respecto al suelo: en 2004 es-

tableció una reforma de la ley de ordenación territorial para evitar un crecimiento desmesurado de la urbanización (Chen, 2007) y en 2014 se publicó el Nuevo Plan Nacional de Urbanización. No obstante, ambos países se centran en la protección de los suelos con el fin de un mayor desarrollo agrícola y no con el propósito de mitigar los efectos del SAS. Así, tanto EEUU como China tienen una gran producción científica pero debido, probablemente, a los problemas derivados de una legislación laxa que permite la rápida expansión del SAS, pues la mayoría se centran en su cuantificación y evolución.

Aun así, en cuanto a los tres niveles comparativos, la disminución de publicaciones relacionadas con esta temática desde 2017 es evidente. El cambio de la perspectiva social e investigadora sobre el SAS puede verse reflejado en ese descenso, posiblemente, por la aparición de otros enfoques que no solo lo analicen, sino que intenten aportar algún tipo de solución. Por tanto, lo importante no parece ser el problema en sí sino cómo llevar a cabo su mitigación o eliminación. Dicha variación a la hora de afrontar el SAS parece tener relación con los propósitos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, como el de minimizar o mitigar los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas o ciudades y el desarrollo de comunidades y ciudades sostenibles (Naciones Unidas, 2015). Si se tiene en cuenta que el SAS incrementa los impactos del cambio climático, es factible suponer que uno de los posibles motivos de tal decrecimiento es la proliferación de publicaciones que surgen con el fin de paliar sus efectos. De este modo, al añadir uno de los términos más empleados para referirnos a la solución de tales consecuencias, como es el de la creación de “infraestructuras verdes” (*green infrastructure*), se visualiza un proceso que podría explicar el descenso en cuanto a publicaciones exclusivas sobre SAS. No obstante, estas referencias no han sido incluidas en este análisis, ya que su objeto no es dar a conocer o explicar la problemática, sino aportar soluciones.

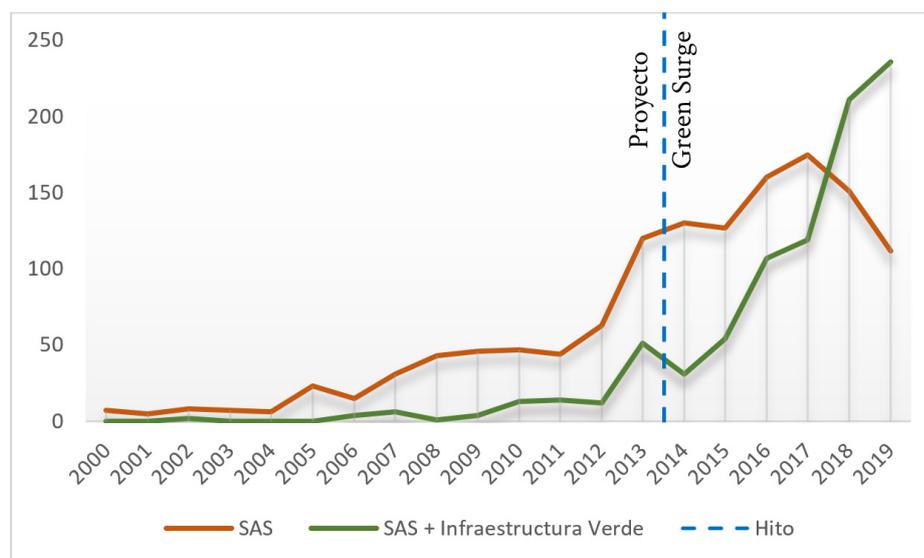
Las infraestructuras verdes son un concepto relativamente nuevo en términos de planificación, basado en una red hidrológica y de drenaje cuya función es complementar y vincular las áreas verdes relictas en áreas edificadas (Ahern, 2007; Mell, 2008). Su aplicación parece relevante, con proyectos como el *Green Surge* de la Comisión Europea, pues se intentan resolver los principales efectos negativos de la urbanización. Su objetivo principal era, entre otros, propiciar la adaptación al cambio climático y la conservación de la biodiversidad (Pauleit et al., 2019), elementos derivados o magnificados por el SAS.

Por tanto, pese a tener ambos conceptos una evolución similar, se observó un punto de inflexión entre 2017 y 2018 (Figura 4). Parece producirse el mismo efecto que en la Figura 3, con una subida de las publicaciones sobre infraestructura verde propiciada, probablemente, por el proyecto *Green Surge*.

Es a partir de entonces cuando las publicaciones con algún tipo de infraestructura verde como método de mitigación del SAS despuntan, demostrando una relación ente ambos conceptos. Además, ese incremento se acentúa al descender el número de trabajos que solo tratan el fenómeno. Este cambio en cuanto a la visión del problema puede haberse visto respaldado por un aumento de la conciencia ecológica a nivel mundial o regional, tal y como demuestran diferentes encuestas o estudios. En el caso europeo, la opinión pública en cuestiones relevantes o retos a los que se enfrenta la UE se mide a través de la herramienta del Parlamento Europeo conocida como *eurobarómetro*. En los últimos informes sobre la actitud ciudadana hacia el medio ambiente, más del 90 % de los 27.500 encuestados de todos los países miembros consideran esencial la protección del medio ambiente (Comisión Europea, 2020), el 93 % cree que el cambio climático es un

problema serio (63 % en 2009) y el 62 % opina que es necesario realizar acciones de adaptación y mitigación (Comisión Europea, 2021). Resultados semejantes aparecen en EEUU, con un aumento de la preocupación sobre las consecuencias del cambio climático del 51 % en 2009 al 66 % en 2020 (Ballew et al., 2019; YPCCC & Mason 4C, 2020). Así, una mayor preocupación sobre una cuestión específica (en este caso, el medio ambiente) proviene de la existencia de un problema real y, generalmente, tiene un impacto en cuanto a las investigaciones sobre ese aspecto. En este sentido, la definición del término *Antropoceno* así como la aparición de la expresión *Cambio Global* a principios del siglo XXI parece afianzarse entre la población con años de retraso tras observarse sus principales efectos nocivos, según se advierte en las encuestas. El primer concepto se entiende, según Paul Crutzen, como la era geológica donde el ser humano controla los procesos de la biosfera; mientras que el segundo se refiere a los cambios producidos por las actividades de origen antropogénico y que afectan al planeta (Duarte et al., 2006). En definitiva, estas expresiones ponen nombre a hechos hasta entonces no observados o no tenidos en cuenta y, por tanto, parece razonable relacionar la alteración del estudio del SAS desde una perspectiva vinculada a su mitigación y la adaptación de sus consecuencias con respecto al cambio global. Este nuevo punto de vista es, seguramente, debido a un incremento en la conciencia ambiental de la sociedad actual, siendo esta probablemente la razón del estancamiento del concepto considerado hasta ahora como objeto de análisis.

Figura 4. Comparación de publicaciones totales sobre sellado antropogénico de suelo e infraestructura verde.

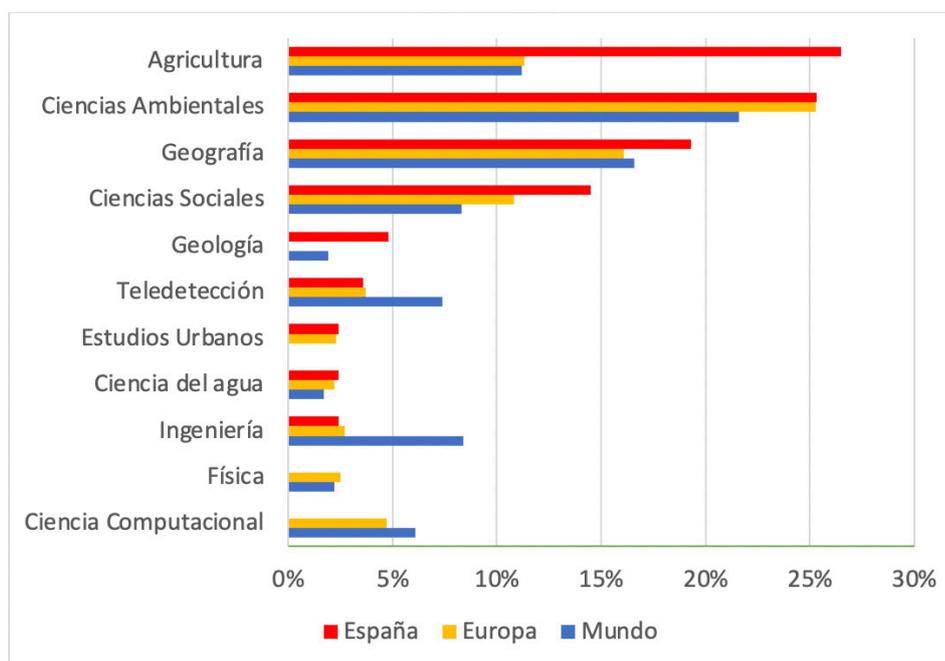


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WoS y Scopus.

### 3.2. Áreas de investigación

El estudio del suelo es interdisciplinar y puede ser analizado por distintos campos de la investigación, no solo desde las áreas más comúnmente relacionadas. En este caso (Figura 5), no solo se centran en aquellas como pueden ser la agricultura o las ciencias ambientales, sino que existe una variabilidad en cuanto a estudios desde distintas ramas del conocimiento. En total, se encontraron más de 30 áreas diferentes, aunque solo se ven representadas aquellas con un número de publicaciones relevante.

Figura 5. Publicaciones por áreas de investigación en España, Europa y resto del mundo.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WoS y Scopus.

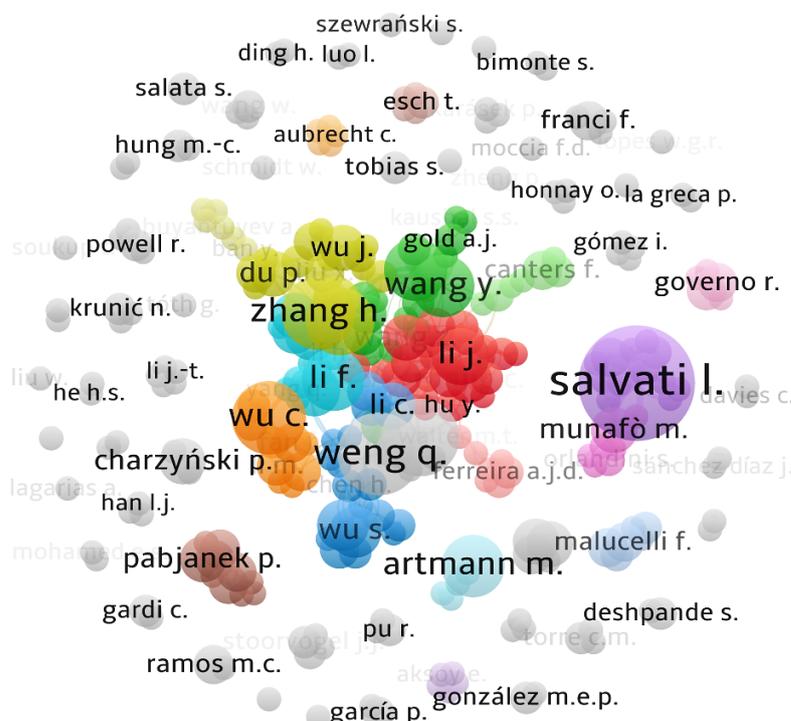
Las áreas de investigación que mayor número de publicaciones tienen sobre SAS en España, están principalmente relacionadas con el estudio de la superficie terrestre y sus usos: agricultura (26,5 %), ciencias ambientales (25,3 %), geografía (19,3 %) y las ciencias sociales (14,5 %), sumando aproximadamente el 85 % del total. Sin embargo, otras materias, relativamente nuevas, aparecen en el listado, tales como los estudios urbanos (2,4 %) o la teledetección (2,6 %). Al comparar el panorama español con Europa y el mundo, la situación por áreas de investigación es similar, aunque con algunos matices. Las principales siguen siendo las ciencias ambientales, la geografía y la agricultura, con un total del 52,6 % a nivel europeo y 49,4 % a nivel mundial, pero a mucha distancia del 71,1 % que suman las mismas áreas a nivel español. Este hecho se debe a la importancia de los estudios sobre la afección del SAS a la agricultura, puesto que el desarrollo urbano ha propiciado la ocupación de suelo, en gran parte agrícola, como pueden ser las huertas del área mediterránea (Guaita, 2008).

Por tanto, a pesar de existir una similitud a diferentes escalas, en cuanto a áreas de investigación, se puede apreciar una diferencia significativa en aquellas con un alcance secundario. Así, por ejemplo, la teledetección representa un 3,6 % en España y un 3,7 % en Europa, lejos del 7,4 % que supone a nivel global. Lo mismo ocurre en ingeniería, con un 2,4 %, 2,7 % y 8,4 % respectivamente o ciencia computacional, sin representación en España, pero con un 4,7 % en Europa y 6,1 % a nivel global. En estos casos, el origen de la diferencia se debe, principalmente, a que fuera de Europa (en el resto del mundo) los estudios proceden de departamentos más tecnológicos, con el cálculo del SAS a través de diferentes índices, modelos o técnicas y su automatización (Bui *et al.*, 2019; Yang & He, 2017; Zhang *et al.*, 2014). En definitiva, existe una variabilidad geográfica en esta área de investigación, según la parte del mundo donde se encuentre el centro de investigación. Y este se basa, generalmente, según la problemática principal causada por el SAS en este entorno: aspectos ambientales y sociales en Europa e investigaciones más repartidas en el resto del mundo, con mayor énfasis en cuestiones técnicas.

### 3.3. Autores principales

Paralelamente al desarrollo de los estudios sobre SAS, se produjo un aumento en el número de científicos que han investigado sobre esta temática, ascendiendo a un total de 572. Sin embargo, la existencia de este elevado número no deriva en un reparto equitativo de trabajos. En la Figura 6 se muestran los autores más destacados en función de la cantidad de publicaciones. Cada esfera puede englobar a otros investigadores con menor número de estudios pero que están vinculados al principal y que, por razones de representación, sus nombres no son visibles. En su conjunto, se distinguen diferentes agrupaciones: aquellos con colores más fuertes, que poseen una gran red de publicaciones con elevada cantidad de coautores; los integrados por tonos más suaves, con vínculos más limitados entre ellos; y el resto, formado por grupos más reducidos o individuales y que son representados por la gama de grises.

Figura 6. Autores más destacados y sus relaciones.



Fuente: Elaboración propia en VOSviewer a partir de datos de WoS y Scopus.

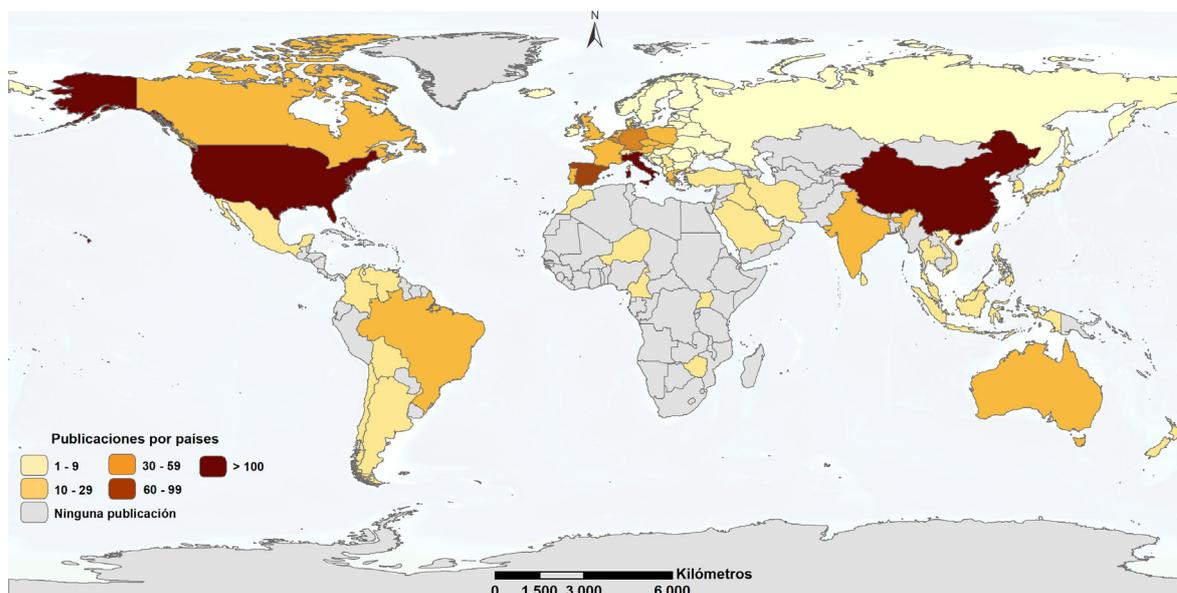
Entre todos ellos sobresale, en cuanto a número de publicaciones y a nivel global, Salvati, con más de 35 trabajos como autor principal o coautor y donde destacan los estudios llevados a cabo en Italia y España (Bajocco et al., 2012; Cuadrado-Ciuraneta et al., 2017; Munafò et al., 2013). Le siguen Weng y Lu, con entre 15 y 20 publicaciones cada uno, con divulgaciones conjuntas sobre la clasificación de superficies artificiales en entornos de transición urbanos (Lu & Weng, 2007; Weng, 2012; Lu & Weng, 2006; Weng & Lu, 2008). Finalmente, es de resaltar las contribuciones de las españolas Pérez-González y García-Rodríguez, con alrededor de 15 publicaciones y que, junto con García-Alvarado, forman un grupo de investigación muy destacable, no solo a nivel español sino también internacional (García-Alvarado et al., 2014; García-Rodríguez y Pérez-González, 2007; García-Rodríguez & Pérez-González, 2014), centrándose especialmente en estudios sobre el SAS en la Comunidad de Madrid.

### 3.4. Países y centros de investigación

La existencia de numerosos centros de investigación distribuidos a lo largo de todo el mundo revela el interés suscitado por esta materia. Al igual que con los autores, el reparto no es equitativo por países o continentes, pues estos se encuentran diseminados en zonas muy específicas del globo. En total, 62 países han participado, hasta el momento, en algún tipo de investigación sobre el SAS, aunque con una gran variabilidad respecto a su cuantía. De entre todos estos países, 28 pertenecen a Europa, 18 a Asia, 9 a América, 5 a África y 2 a Oceanía. Asimismo, es en aquellos considerados como más avanzados y con una gran concentración poblacional en áreas urbanas y periurbanas, donde existe un mayor interés en el estudio del SAS. De hecho, es en Europa donde se produce la mayor concentración de trabajos, con alrededor del 46 % de todas las investigaciones, seguido de Asia con casi el 26 % y América con el 22 %.

En términos absolutos por países (Figura 7), el ranking mundial se encuentra encabezado por China, que destaca sobre el resto con un total de 217 publicaciones (20,2 %), seguido por Estados Unidos con 182 (17 %) e Italia con 141 (14,1 %). En cuarta posición aparece España con un total de 60 publicaciones (5,6 %), y muy de cerca Alemania, con 54 (5 %). Por tanto, solo entre estos 5 países se concentra el 61 % de la investigación sobre SAS en el mundo. El resto de naciones, a excepción de Bélgica con 31, tienen menos de 30 publicaciones: 6 estados se sitúan en la franja entre 20 y 29, 8 entre 10 y 19 y los demás han aportado menos de 9 publicaciones.

Figura 7. Mapa de distribución de publicaciones en el mundo.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WoS y Scopus.

Si se analizan aquellos situados en las primeras posiciones, es posible observar los nexos existentes (Figura 8). Así, China y Estados Unidos muestran una relación realmente intensa con una elevada cantidad de investigaciones conjuntas sobre SAS, aunque es el país asiático el que se vincula más con otras naciones occidentales. Por otro lado, el resto de países, casi todos europeos, evidencian la existencia de una red notable de publicaciones, si bien no tan potente como el caso anterior.



población. En este caso destaca China, siendo el primer país en números totales pero que, a su vez, obtiene el índice de publicaciones por millón de habitantes de los más bajos del mundo, solo por detrás de India, donde la investigación del SAS es residual, y Brasil. Por el contrario, otros países como Austria, Bélgica o Italia sí que mantienen posiciones elevadas en la clasificación en ambas comparativas, lo que puede indicar que sí se trata de un tema más ampliamente estudiado.

Tabla 1. Publicaciones sobre SAS por millón de habitantes y país.

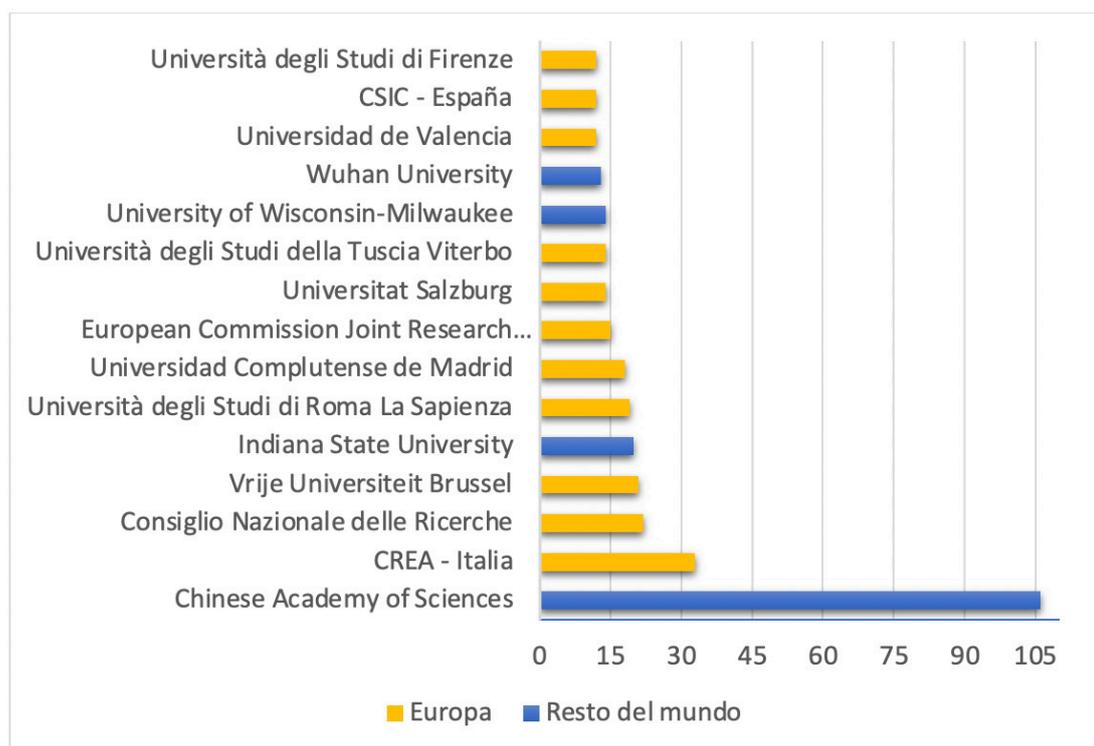
País	Artículos	Población	Artículos/Millón Hab.
China	217	1 402 112 000	0,15
Estados Unidos	182	329 484 120	0,55
Italia	141	59 554 020	2,37
España	60	47 351 570	1,27
Alemania	54	83 240 520	0,65
Bélgica	31	11 556 000	2,68
Polonia	29	37 950 800	0,76
Brasil	27	212 559 410	0,13
Reino Unido	23	67 215 290	0,34
Austria	22	8 917 200	2,47
India	20	1 380 004 390	0,01
Portugal	17	10 305 560	1,65
República Checa	17	10 698 900	1,59
Australia	17	25 687 040	0,66
Canadá	17	38 005 240	0,45
Francia	16	67 391 580	0,24
Países Bajos	15	17 441 140	0,86
Eslovaquia	13	5 458 830	2,38
Grecia	12	10 715 550	1,12
Corea del Sur	9	51 780 580	0,17
Dinamarca	8	5 831 400	1,37
Hong Kong	7	7 481 800	0,94
Eslovenia	6	2 100 130	2,86
Serbia	6	6 908 220	0,87
Suiza	6	8 636 900	0,69

(\*) Banco Mundial (2020)

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de población obtenidos del Banco Mundial (2020).

En cuanto a la localización de los centros de investigación, su ubicación se corresponde con los países con mayor índice de publicaciones. Igualmente, la existencia de una legislación más restrictiva, como puede ser en Europa, parece favorecer su consolidación. En la Figura 9 se muestran los 15 centros de investigación con más de 10 de trabajos sobre el SAS a nivel mundial, de los cuales 11 pertenecen a Europa, 2 a América y 2 a Asia.

Figura 9. Publicaciones por centro de investigación a nivel global



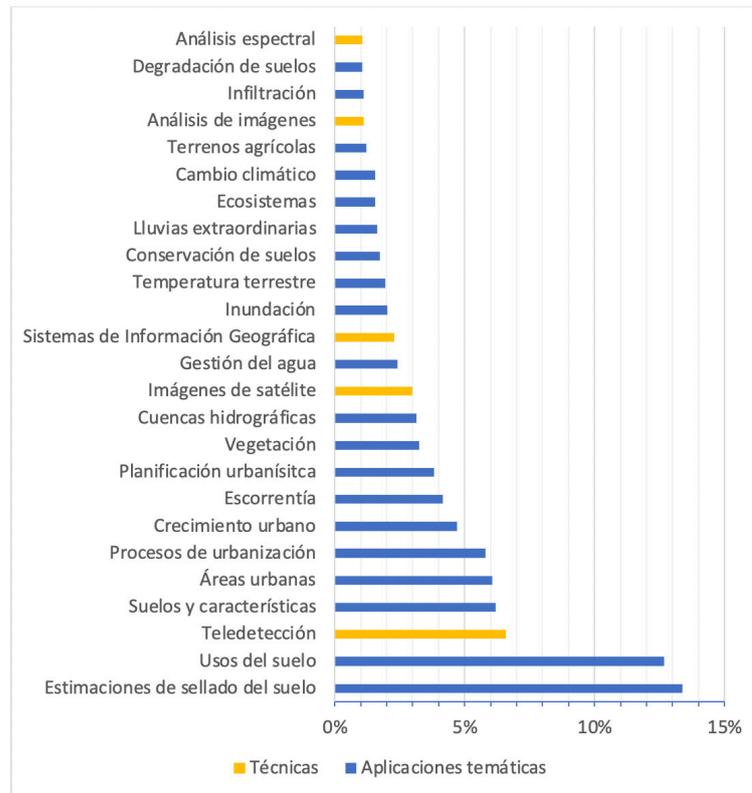
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WoS y Scopus.

De entre todos, sobresale la Academia de Ciencias de China, con 106 publicaciones, la cual representa el 9,9 % de la producción mundial. Por otro lado, aunque Estados Unidos se posiciona en segundo lugar en cuanto a número de publicaciones, únicamente dos de sus universidades aparecen entre las más productivas a nivel global. Esto es debido principalmente a que, pese a que se ha originado una gran cantidad de investigaciones respecto al SAS, ningún centro se ha especializado en este campo concreto y, en general, se estudia esporádicamente. La mayoría de centros destacados se encuentran en Europa, con un número de publicaciones entre 10 y 30, pero despunta el instituto agrícola CREA de Italia, con 33 trabajos. Si se desglosan las instituciones a nivel europeo, nos encontramos que las más notorias se corresponden igualmente con los países con mayor producción científica sobre SAS: Italia ocupa el primer lugar con 5 centros de investigación, seguido de España con 3 y la tercera posición se reparte entre la Comisión Europea, la Universidad de Bruselas y la Universidad de Salzburgo.

### 3.5. Líneas temáticas de las publicaciones

El análisis temático de las investigaciones se realizó categorizando las publicaciones en función del tema principal del estudio, es decir, en qué se centran los trabajos sobre SAS. Con el objeto de reducir las categorías temáticas, se han aglutinado en 35 (Figura 10) únicamente aquellas que alcancen al menos el 1 % del total de publicaciones, sumando entre las aplicaciones y las técnicas un total de 25. La gran cantidad de líneas de investigación sobre el SAS viene a demostrar la interdisciplinariedad que existe en la materia, haciendo posible tratar un mismo problema desde distintas perspectivas.

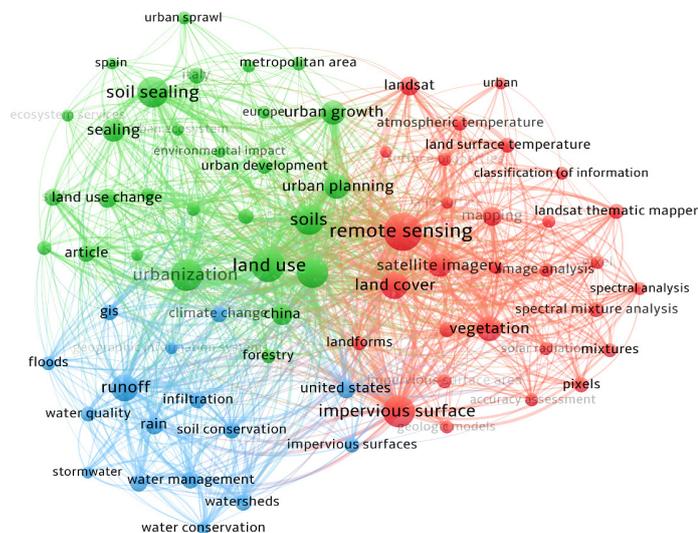
Figura 10. Principales líneas temáticas sobre SAS.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WoS y Scopus.

Además, con el análisis de las palabras clave más empleadas por los autores en sus investigaciones (Figura 11) y sus relaciones, se puede observar cuales son las tendencias en cuanto al SAS. La diferente coloración indica una categorización de términos relacionados entre sí (llevada a cabo por la propia aplicación), mientras que las conexiones muestran la existencia de vinculación entre las diferentes palabras asignadas por los investigadores.

Figura 11. Red de palabras clave.



Fuente: Elaboración propia en VOSviewer a partir de datos de WoS y Scopus.

Debido al elevado número de líneas, y teniendo en cuenta la información proporcionada por las palabras clave empleadas por los autores, se han sintetizado en 5 grandes temáticas generales: i) Degradación de suelos; ii) Uso de nuevas tecnologías; iii) Cambios hidrológicos; iv) Desarrollo urbano; y v) Cambio climático.

i) El análisis de la degradación del suelo y su influencia en los ecosistemas, debido a su impermeabilización, es uno de los temas que más han sido investigados desde sus inicios. Numerosos trabajos analizan distintos grados de sellado, con el fin de no eliminar completamente las funciones del suelo una vez sellado. Estos se realizan mediante el estudio de los impactos de diferentes superficies afectadas, como en el caso de la investigación llevada a cabo en Toruń (Polonia) por Piotrowska-Długosz & Charzyński (2015).

ii) Los estudios relacionados con la aplicación de nuevas técnicas de análisis espacial (teledetección, SIG) se centran especialmente en la estimación del SAS o en la detección de los cambios en los usos con el objetivo de monitorizarlos. En el caso inicial tenemos como ejemplo el trabajo de Wu & Murray (2003) o el de Munafò *et al.* (2013). En ellos, el primero calcula el área sellada de Columbus (Ohio) a través de imágenes Landsat mientras que, en el segundo, se realiza una estimación a escala nacional para Italia. Por otro lado, es común el estudio de los cambios de usos en áreas próximas a grandes ciudades, como en los casos de Pekín (Ding & Shi, 2013) o Milán (Villa, 2012).

iii) Los cambios en la hidrología producidos por el SAS también son una problemática con una importancia notable. Los principales trabajos se basan en los efectos que se producen en la infiltración, como el desarrollado por Gregory *et al.* (2006), donde se compara la capacidad de infiltración de distintos suelos de áreas urbanas de Florida (EEUU) en función de su grado de sellado. También se trata la escorrentía, siendo ejemplos de ello las investigaciones de Du *et al.* (2012), donde se utilizan diferentes años para comparar niveles de sellado y escorrentía a nivel de cuenca en Jiangsu (China), observándose un aumento del riesgo de inundación; o el de Ungaro *et al.* (2014), en el que se analiza la expansión de la superficie sellada en el norte de Italia y su relación con un incremento de la escorrentía de hasta el 20 % en algunas zonas.

iv) Una de las líneas temáticas que más relevancia ha adquirido en los últimos años es la que aborda los inconvenientes que generan las áreas urbanas y la impermeabilización de las superficies. En este caso, existen una gran diversidad de estudios, pero la mayoría se centran en el análisis del crecimiento urbano y la facilitación de un control sobre estas áreas. Ya, a principios del presente siglo, se evidencia la necesidad de estudiar el rápido crecimiento que experimentaban numerosas ciudades, como son los casos de Queensland en Australia (Ward *et al.*, 2000) o Shanghái en China (Yin *et al.*, 2011). Por otro lado, en Europa, dichos estudios se centran más en el estado actual de la materia, consecuencias y posibles alternativas para su control, como ocurre en Alemania (Artmann, 2014; Artmann, 2015), España (Rodríguez-Rojas *et al.*, 2018; Romero-Díaz *et al.*, 2017) o Italia (Fini *et al.*, 2017; Munafò *et al.*, 2010).

v) Los estudios relacionados con la contribución del SAS al cambio global y los efectos derivados del cambio climático se sitúan entre las investigaciones con más importancia en la actualidad. Estos se enfocan, principalmente, en el análisis de las temperaturas superficiales y su efecto de isla de calor, así como en el riesgo de inundación. Dentro de los primeros, destacan estudios como el de Ward *et al.* (2016), donde se analiza el caso de 70 ciudades europeas y en las que se indica el papel fundamental que ejerce la cantidad de superficie sellada y no sellada ante las olas de calor; o el de Dugord *et al.* (2014) en Berlín (Alemania), en el que se evidencia la distribución

de la superficie sellada como almacenamiento de calor, principalmente nocturno. Por otro lado, con respecto al riesgo de inundación, podemos mencionar el estudio de Skougaard-Kaspersen et al. (2017) en 4 ciudades europeas, en las que se ha realizado una previsión futura de desarrollo urbano y aumento del riesgo de inundación en función de escenarios climáticos, basándose en el crecimiento de la superficie sellada entre 1984 y 2014.

#### 4. Conclusión

Se revisaron publicaciones que investigaban el sellado antropogénico de suelo, pero hasta la fecha no se encontró ninguna que analizara el concepto y sus características, con la excepción de García-Alvarado et al. (2014).

Se observa que la velocidad de difusión y el enfoque del término “sellado de suelo” fue variando desde finales del siglo XX hasta la actualidad, con la consolidación de este como SAS y, por tanto, derivado de la acción humana, excluyendo casi por completo su origen natural.

Desde el principio de los 2000 se evidencia el aumento de las investigaciones sobre el SAS con motivo de diferentes actuaciones gubernamentales que lo sitúan como un problema a atajar, pues forma parte del denominado Cambio Global. Se reconoce que no solo afecta al ámbito natural (contaminación, pérdida de biodiversidad, funciones del suelo, afección a la red hídrica, etc.) sino que también al humano (inundaciones, isla de calor, pérdidas económicas derivadas, etc.).

Se ha visto cómo la evolución de los trabajos ha estado influenciada por diversos factores. Existe una relación del aumento de estudios sobre este tema con respecto a algunas variables: la definición del SAS como problema a resolver, una mayor preocupación social de sus efectos negativos y la creación de normativas e informes nacionales, comunitarios o internacionales. No obstante, se observó un máximo en 2017, con el 16 % del total de publicaciones en el periodo analizado. Desde entonces, se produjo un descenso en el número de estudios sobre la cuantificación del SAS a la vez que se origina un aumento de las investigaciones sobre la minimización de los inconvenientes derivados de su expansión.

El origen de los estudios y las áreas de investigación que han abordado el tema es muy variable. La mayoría de los trabajos se reparten entre Europa (46 %), Asia (26 %) y América (22 %). Por países, destacan China, Estados Unidos e Italia, pero se produce una mayor tasa de publicación en los países europeos, si se tiene en cuenta el tamaño de su población. Por otro lado, es remarkable la variedad de áreas de investigación que han abordado el SAS desde diferentes perspectivas. Aunque las predominantes son las ciencias ambientales, la geografía y la agricultura, despuntan otras como la teledetección y las ciencias computacionales, ligadas a la automatización y monitorización del sellado.

En definitiva, pese a la actualidad de la problemática, parece que no se han llevado a cabo suficientes estudios que resalten la necesidad de realizar acciones más contundentes ante este problema global, con la esperable implicación de las infraestructuras verdes sobre aquellas regiones donde se encuentre más extendido. Por este motivo, esperamos que las investigaciones futuras se orienten, mayoritariamente, en un enfoque relacionado con la mitigación de los efectos del SAS y de la influencia que este tiene de magnificar las consecuencias del cambio climático y global.

## Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España mediante las ayudas para contratos predoctorales para la formación de profesorado universitario (FPU) de la que el primer autor es beneficiario (FPU18/03622), así como parcialmente financiado por el proyecto 20912/PI/18 de la Fundación Séneca (Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia).

## Contribución de autorías

Emilio José Illán-Fernández es el responsable de la búsqueda de información, análisis de resultados, redacción y revisión. Alfredo Pérez-Morales y Asunción Romero-Díaz contribuyeron en el diseño de la investigación, análisis de resultados, redacción y revisión de manuscritos.

## Financiación

La financiación fue incluida en el apartado agradecimientos, por lo que dicho apartado puede ser eliminado y la información que contiene puede ser traspasada a este epígrafe de financiación sin ningún problema.

## Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Ahern, J. (2007). Green infrastructure for cities: the spatial dimension. In *Cities of the future: towards integrated sustainable water and landscape management*. IWA Publishing. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.558.8386>
- Añó-Vidal, C., Pascual, J. A., & Sánchez-Díaz, J. (2005). Capacidad de uso y sellado antropogénico del suelo en la franja litoral de la provincia de Castellón. Recuperado de <https://digital.csic.es/handle/10261/41782>
- Artmann, M. (2014). Institutional efficiency of urban soil sealing management—From raising awareness to better implementation of sustainable development in Germany. *Landscape and urban Planning*, 131, 83-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.07.015>
- Artmann, M. (2015). Managing urban soil sealing in Munich and Leipzig (Germany)—From a wicked problem to clumsy solutions. *Land Use Policy*, 46, 21-37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.02.004>
- Bajocco, S., De Angelis, A., Perini, L., Ferrara, A., & Salvati, L. (2012). The impact of land use/land cover changes on land degradation dynamics: a Mediterranean case study. *Environmental management*, 49(5), 980-989. DOI: 10.1007/s00267-012-9831-8
- Ballew, M., Marlon, J., Rosenthal, S., Gustafson, A., Kotcher, J., Maibach, E., & Leiserowitz, A. (2019). Do younger generations care more about global warming? Yale University and George Mason University. New Haven, CT: *Yale Program on Climate Change Communication*. Recuperado de <https://climatecommunication.yale.edu/publications/do-younger-generations-care-more-about-global-warming/>
- Banco Mundial (2020). World Development Indicators Database. *Population, total*. Recuperado de <https://data.worldbank.org/indicador/SP.POP.TOTL>
- Bernard, G. (2012). *Supporting elected representatives in the preservation of agricultural land: Suggestions for a methodological guide*. Norwegian University of Life Sciences. Recuperado de <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/189407/Master%20Thesis%20Gaelle%20Bernard.pdf>
- Bordons, M. (1999). Evaluación de la actividad científica a través de indicadores bibliométricos. *Revista española de cardiología*, 52(10), 790-800. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0300-8932\(99\)75008-6](https://doi.org/10.1016/S0300-8932(99)75008-6)
- Bui, Q. T., Pham Van, M., Hang, N. T. T., Nguyen, Q. H., Linh, N. X., Hai, P. M., ... & Van Cu, P. (2019). Hybrid model to optimize object-based land cover classification by meta-heuristic algorithm: an example for supporting urban management in Ha Noi, Viet Nam. *International Journal of Digital Earth*, 12(10), 1118-1132. DOI: <https://doi.org/10.1080/17538947.2018.1542039>

- Camargo, J. M., Silva, M. V., Ferreira-Júnior, A. V., & Araújo, T. (2019). Marine geohazards: a bibliometric-based review. *Geosciences*, 9(2), 100. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences9020100>
- Campos-Sánchez, F. S. (2017). Ciudades medias españolas siglo XXI. Revisión y análisis bibliométrico de enfoques y temáticas predominantes. *Cuadernos geográficos*, 56(1), 217-241. DOI: <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v56i1.3960>
- Chen, J. (2007). Rapid urbanization in China: A real challenge to soil protection and food security. *Catena*, 69(1), 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.04.019>
- Comisión Europea (2002). *Decision No 1600/2002/EC of the European Parliament and of the Council of 22 July 2002: laying down the sixth community environmental action programme*. Official Journal of the European Communities, L242/1, 1-15. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32002D1600>
- Comisión Europea. (2006a). *Proposal Establishing a Framework for the Protection of Soil and amending Directive 2004/35/EC*. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0232:FIN:%20EN:PDF>
- Comisión Europea. (2006b). *Thematic Strategy for Soil Protection*. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52006DC0231&from=EN>
- Comisión Europea. (2012). *Guidelines on best practice to limit, mitigate or compensate soil sealing*. Recuperado de [https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_en.pdf)
- Comisión Europea (2020). *Special Eurobarometer 501. Attitudes of European citizens towards the Environment*. Recuperado de [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_20\\_331](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_331)
- Comisión Europea (2021). *Special Eurobarometer 513. Climate Change*. Recuperado de <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2273>
- Cuadrado-Ciuraneta, S., Durà-Guimerà, A., & Salvati, L. (2017). Not only tourism: Unravelling suburbanization, second-home expansion and “rural” sprawl in Catalonia, Spain. *Urban Geography*, 38(1), 66-89. DOI: <https://doi.org/10.1080/02723638.2015.1113806>
- Deng, J. S., Wang, K., Hong, Y., & Qi, J. G. (2009). Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization. *Landscape and urban planning*, 92(3-4), 187-198. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.05.001>
- Di Gregorio, A. (2005). *Land cover classification system: classification concepts and user manual: LCCS* (Vol. 2). Food & Agriculture Organization.
- Ding, H., & Shi, W. (2013). Land-use/land-cover change and its influence on surface temperature: a case study in Beijing City. *International Journal of Remote Sensing*, 34(15), 5503-5517. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.792966>
- Du, J., Qian, L., Rui, H., Zuo, T., Zheng, D., Xu, Y., & Xu, C. Y. (2012). Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhui River basin, China. *Journal of Hydrology*, 464, 127-139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.057>
- Duarte, C., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo-Buendía, M., & Valladares, F. (2006). *Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. CSIC. Recuperado de [https://www.unioviado.es/ranadon/Ricardo\\_Anadon/docencia/DoctoradoEconomia/DuarteCambioGlobal.pdf](https://www.unioviado.es/ranadon/Ricardo_Anadon/docencia/DoctoradoEconomia/DuarteCambioGlobal.pdf)
- Dugord, P. A., Lauf, S., Schuster, C., & Kleinschmit, B. (2014). Land use patterns, temperature distribution, and potential heat stress risk—the case study Berlin, Germany. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 86-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.07.005>
- EEA. (2001). *Proceedings of the Technical Workshop on Indicators for Soil Sealing. Technical report 80*. Copenhagen, European Environment Agency. Recuperado de [https://www.eea.europa.eu/publications/technical\\_report\\_2002\\_80](https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2002_80)
- Fini, A., Frangi, P., Mori, J., Donzelli, D., & Ferrini, F. (2017). Nature based solutions to mitigate soil sealing in urban areas: Results from a 4-year study comparing permeable, porous, and impermeable pavements. *Environmental research*, 156, 443-454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.032>
- García-Alvarado, J. M., Pérez-González, M. E., & García-Rodríguez, M. P. (2014). Revisión del concepto de sellado de suelos y propuesta de tipología urbana. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 34(1), 87-103. DOI: [http://dx.doi.org/10.5209/rev\\_AGUC.2014.v34.n1.45193](http://dx.doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n1.45193)
- García-Rodríguez, M. P. & Pérez-González, M. E. (2007). Changes in soil sealing in Guadalajara: cartography with Landsat images. *Science of total Environment*, 41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.048>

- García-Rodríguez, M. P., & Pérez-González, M. E. (2014). Análisis multitemporal del urbanismo expansivo en el corredor del Henares. Aportación de las imágenes de satélite. *Estudios Geográficos*, 75(277), 597-618. DOI: <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201419>
- Gong, P., Li, X., & Zhang, W. (2019). 40-Year (1978–2017) human settlement changes in China reflected by impervious surfaces from satellite remote sensing. *Science Bulletin*, 64(11), 756-763. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.04.024>
- Gregory, J. H., Dukes, M. D., Jones, P. H., & Miller, G. L. (2006). Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of soil and water conservation*, 61(3), 117-124. Recuperado de <https://abe.ufl.edu/faculty/mdukes/pdf/stormwater/Gregor-et-%20al-JSWC-compaction-article.pdf>
- Guaita, N., López, I., & Prieto, F. (2008). Cambios de ocupación del suelo en España: implicaciones para la sostenibilidad. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 156, 235-260. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/75852>
- Hamza, M. A., & Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and tillage research*, 82(2), 121-145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>
- Inönü, E. (2003). The influence of cultural factors on scientific production. *Scientometrics*, 56(1), 137-146. DOI: <https://doi.org/10.1023/a:1021906925642>
- Jantz, P., Goetz, S., & Jantz, C. (2005). Urbanization and the loss of resource lands in the Chesapeake Bay watershed. *Environmental Management*, 36(6), 808-825. DOI: 10.1007/s00267-004-0315-3
- Jones, R. J., & Montanarella, L. (2001). "Subsoil compaction: a hidden form of soil sealing in Europe". En *O-COPERNICUS*, 3er taller, Busteni, Rumania.
- Levy, G. J., Levin, J., & Shainberg, I. (1994). Seal formation and interrill soil erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 58(1), 203-209. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800010030x>
- Lu, D., & Weng, Q. (2006). Use of impervious surface in urban land-use classification. *Remote Sensing of Environment*, 102(1-2), 146-160. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.02.010>
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote sensing*, 28(5), 823-870. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
- Mell, I. C. (2008). Green infrastructure: concepts and planning. In *FORUM ejournal*, 8(1), 69-80.
- Meo, S. A., Al-Masri, A. A., Usmani, A. M., Memon, A. N., & Zaidi, S. Z. (2013). Impact of GDP, spending on R&D, number of universities and scientific journals on research publications among Asian countries. *PLoS one*, 8(6). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066449>
- Mualem, Y., Assouline, S., & Rohdenburg, H. (1990). Rainfall induced soil seal (C) A dynamic model with kinetic energy instead of cumulative rainfall as independent variable. *Catena*, 17(3), 289-303. DOI: [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(90\)90022-6](https://doi.org/10.1016/0341-8162(90)90022-6)
- Munafò, M., Norero, C., Sabbi, A., & Salvati, L. (2010). Soil sealing in the growing city: a survey in Rome, Italy. *Scottish Geographical Journal*, 126(3), 153-161. DOI: <https://doi.org/10.1080/14702541.2010.527855>
- Munafò, M., Salvati, L., & Zitti, M. (2013). Estimating soil sealing rate at national level—Italy as a case study. *Ecological indicators*, 26, 137-140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.11.001>
- Naciones Unidas (2012). Resolution Adopted by the General Assembly on 27 July 2012: 66/288. *The future we want*. Recuperado de [https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A\\_RES\\_66\\_288.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_66_288.pdf)
- Naciones Unidas. (2015). Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015: 70/01. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Recuperado de [https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A\\_RES\\_70\\_1\\_E.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf)
- Okoli, C., & Schabram, K. (2010). A guide to conducting a systematic literature review of information systems research. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1954824>
- Pauleit, S., Ambrose-Oji, B., Andersson, E., Anton, B., Buijs, A., Haase, D., ... & van den Bosch, C. K. (2019). Advancing urban green infrastructure in Europe: Outcomes and reflections from the GREEN SURGE project. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 4-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.10.006>
- Piotrowska-Długosz, A., & Charzyński, P. (2015). The impact of the soil sealing degree on microbial biomass, enzymatic activity, and physicochemical properties in the Ekranic Technosols of Toruń (Poland). *Journal of Soils and Sediments*, 15(1), 47-59. DOI 10.1007/s11368-014-0963-8

- Pistocchi, A., Calzolari, C., Malucelli, F., & Ungaro, F. (2015). Soil sealing and flood risks in the plains of Emilia-Romagna, Italy. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 398-409. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.06.021>
- Ramos, M. C., Nacci, S., & Pla, I. (2000). Soil sealing and its influence on erosion rates for some soils in the Mediterranean area. *Soil Science*, 165(5), 398-403. DOI:10.1097/00010694-200005000-00003
- Rodríguez-Rojas, M. I., Huertas-Fernández, F., Moreno, B., Martínez, G., & Grindlay, A. L. (2018). A study of the application of permeable pavements as a sustainable technique for the mitigation of soil sealing in cities: A case study in the south of Spain. *Journal of environmental management*, 205, 151-162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.075>
- Romero-Díaz, A. (2016). *Estado de la cuestión de los estudios de abandono. Abandono de cultivos en la Región de Murcia: consecuencias ecogeomorfológicas*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, 19-39. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Asuncion-Diaz-3/publication/304989541\\_Estado\\_de\\_la\\_cuestion\\_de\\_los\\_estudios\\_de\\_abandono/links/577e2fc208aed39f59945b9c/Estado-de-la-cuestion-de-los-estudios-de-abandono.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Asuncion-Diaz-3/publication/304989541_Estado_de_la_cuestion_de_los_estudios_de_abandono/links/577e2fc208aed39f59945b9c/Estado-de-la-cuestion-de-los-estudios-de-abandono.pdf)
- Romero-Díaz, A., Caballero-Pedraza, A., & Pérez-Morales, A. (2017). Expansión urbana y turismo en la Comarca del Campo de Cartagena-Mar Menor (Murcia). Impacto en el sellado del suelo. *Cuadernos de turismo*, (39), 521-546. DOI: <https://doi.org/10.6018/turismo.39.290691>
- Rounsevell, M. D. A., Reginster, I., Araújo, M. B., Carter, T. R., Dendoncker, N., Ewert, F., House, J. I., Kankaanpää, S., Leemans, R., Metzger, M. J., Schmit, C., Smith, P. & Tuck, G. (2006). A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(1), 57-68. DOI: 10.1016/j.agee.2005.11.027
- Scalenghe, R., & Marsan, F. A. (2009). The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and urban planning*, 90(1-2), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.011>
- Seto, K. C., & Shepherd, J. M. (2009). Global urban land-use trends and climate impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 89-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.07.012>
- Sexton, J. O., Song, X. P., Huang, C., Channan, S., Baker, M. E., & Townshend, J. R. (2013). Urban growth of the Washington, DC–Baltimore, MD metropolitan region from 1984 to 2010 by annual, Landsat-based estimates of impervious cover. *Remote Sensing of Environment*, 129, 42-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.025>
- Shainberg, I., Levy, G. J., Rengasamy, P., & Frenkel, H. (1992). Aggregate stability and seal formation as affected by drop's impact energy and soil amendments. *Soil Science*, 154(2), 113-119. DOI:10.1097/00010694-199208000-00004
- Shi, K., Chen, Y., Yu, B., Xu, T., Li, L., Huang, C., ... & Wu, J. (2016). Urban expansion and agricultural land loss in China: A multiscale perspective. *Sustainability*, 8(8), 790. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8080790>
- Skougaard-Kaspersen, P., Høegh Ravn, N., Arnbjerg-Nielsen, K., Madsen, H., & Drews, M. (2017). Comparison of the impacts of urban development and climate change on exposing European cities to pluvial flooding. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(8), 4131-4147. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-21-4131-2017>
- Sung, C. Y., Yi, Y. J., & Li, M. H. (2013). Impervious surface regulation and urban sprawl as its unintended consequence. *Land use policy*, 32, 317-323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.10.001>
- Ungaro, F., Calzolari, C., Pistocchi, A., & Malucelli, F. (2014). Modelling the impact of increasing soil sealing on runoff coefficients at regional scale: a hydrogeological approach. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 62(1), 33-42. DOI: 10.2478/johh-2014-0005
- Valera-Lozano, A., Añó-Vidal, C., & Sánchez-Díaz, J. (2011). Crecimiento urbano (1956-2005) y sellado antropogénico del suelo en el municipio de Alacant. *Serie Geográfica*, 17 (2011), 97-108. Recuperado en <https://digital.csic.es/bitstream/10261/43161/1/CA%c3%b1%c3%b320.pdf>
- Villa, P. (2012). Mapping urban growth using Soil and Vegetation Index and Landsat data: The Milan (Italy) city area case study. *Landscape and urban planning*, 107(3), 245-254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.06.014>
- Ward, D., Phinn, S. R., & Murray, A. T. (2000). Monitoring growth in rapidly urbanizing areas using remotely sensed data. *The Professional Geographer*, 52(3), 371-386. DOI: <https://doi.org/10.1111/0033-0124.00232>
- Ward, K., Lauf, S., Kleinschmit, B., & Endlicher, W. (2016). Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of the Total Environment*, 569, 527-539. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.119>
- Weng, Q. (2012). Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. *Remote Sensing of Environment*, 117, 34-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.030>

- Weng, Q., & Lu, D. (2008). A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis, United States. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 10(1), 68-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2007.05.002>
- Wu, C., & Murray, A. T. (2003). Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis. *Remote sensing of Environment*, 84(4), 493-505. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00136-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00136-0)
- Wu, X., Chen, X., Zhan, F. B., & Hong, S. (2015). Global research trends in landslides during 1991–2014: a bibliometric analysis. *Landslides*, 12(6), 1215-1226. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0624-z>
- Yale Program on Climate Change Communication (YPCCC) & George Mason University Center for Climate Change Communication (Mason 4C). (2020). *Climate Change in the American Mind: National survey data on public opinion (2008-2018)*. DOI: 10.17605/OSF.IO/JW79P
- Yang, J., & He, Y. (2017). Automated mapping of impervious surfaces in urban and suburban areas: Linear spectral unmixing of high spatial resolution imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 54, 53-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.09.006>
- Yin, J., Yin, Z., Zhong, H., Xu, S., Hu, X., Wang, J., & Wu, J. (2011). Monitoring urban expansion and land use/land cover changes of Shanghai metropolitan area during the transitional economy (1979–2009) in China. *Environmental monitoring and assessment*, 177(1), 609-621. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1660-8>
- Zhang, Y., Zhang, H., & Lin, H. (2014). Improving the impervious surface estimation with combined use of optical and SAR remote sensing images. *Remote Sensing of Environment*, 141, 155-167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.10.028>

# Degradación y deforestación en la cuenca del río Conchos (México): modelado predictivo mediante regresión logística (1985-2016)

Degradation and deforestation in the Conchos river basin (Mexico): predictive modeling through logistic regression (1985-2016)

LUIS CARLOS BRAVO PEÑA<sup>1</sup>  0000-0002-9825-3940

MANUEL OCTAVIO GAUTRÍN CÓRDOVA<sup>2</sup>  0000-0002-4602-6340

LUIS CARLOS ALATORRE CEJUDO<sup>3</sup>  0000-0003-0837-3381

MARÍA ELENA TORRES OLAVE<sup>3</sup>  0000-0003-3492-3914

RAMÓN LEOPOLDO MORENO MURRIETA<sup>3</sup>  0000-0003-4155-7545

VÍCTOR MANUEL SALAS AGUILAR<sup>3</sup>  0000-0002-0258-7816

HUGO LUIS ROJAS VILLALOBOS<sup>3</sup>  0000-0002-2483-9228

VÍCTOR MANUEL REYES GÓMEZ<sup>1</sup>  0000-0003-0452-7996

MARIO IVAN UC CAMPOS<sup>3</sup>  0000-0002-0151-6872

MANUEL OCTAVIO GONZÁLEZ LEÓN  0000-0003-3484-3295

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México.

<sup>2</sup>División de Ciencias Sociales, Universidad de Sonora. México.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México.

<sup>4</sup>Instituto de Ecología A.C. México.

## Resumen

En este trabajo se identificaron las áreas de bosques de pinos, encinos y mixtos, con mayor probabilidad de ser degradadas-deforestadas en la cuenca del río Conchos (Chihuahua-Durango, México). Mediante superposición de cartografías (inventario de suelo y vegetación series I y VI) se obtuvieron las áreas donde los bosques de pinos, encinos y mixtos, se ha degradado-deforestado durante el periodo 1985-2016 en dicha cuenca. Posteriormente se aplicó la técnica de regresión logística considerando ocho variables físicas y socioeconómicas, posiblemente asociadas con la pérdida/degradación del bosque. Se obtuvo un valor de Pseudo  $R^2$  de McFadden 0.204, que indica un alto poder predictivo del modelo. Se identificó una superficie

### Fechas • Dates

Recibido: 2021.06.25  
Aceptado: 2021.02.08  
Publicado: 2022.03.14

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Luis Carlos Bravo Peña  
[luis.bravo@uacj.mx](mailto:luis.bravo@uacj.mx)

de 733.43 km<sup>2</sup> en riesgo de ser deforestada y degradada en el futuro, la cual representa el 6.7 % de la superficie de bosque existente actualmente en la cuenca. Las variables con mayor peso específico en la deforestación y degradación del bosque fueron, en orden descendente, marginación, concesiones mineras y tenencia de la tierra. Los resultados son útiles para prevenir la pérdida y degradación de los bosques en la cuenca del Río Conchos, y facilitan el manejo ambiental de la misma.

---

Palabras clave: Deforestación, Predicción, Chihuahua, Bosque de pino, encino y mixtos.

---

## Abstract

In this work, the pine, oak and mixed forest areas, with the highest probability of being degraded-deforested, were identified in the Conchos river basin (Chihuahua-Durango, Mexico). Degraded-deforested of pine, oak and mixed forest areas were calculated from 1985-2016 through map algebra (Inventory of land uses and vegetation series I and VI). Subsequently, the logistic regression technique was applied considering eight physical and socioeconomic variables possibly associated with the loss / degradation of the forest. A pseudo R<sup>2</sup> value of 0.204 was obtained, which indicates high predictive power of the model. An area of 733.43 km<sup>2</sup> was identified at risk of being deforested / degraded in the future, representing 6.7% of the forest area currently existing in the basin. The variables with the greatest specific weight in deforestation / forest degradation were, in descending order: marginalization, mining concessions and land tenure. The results are helpful to prevent the loss / degradation of pine-oak forests in the basin, and facilitate its environmental management.

---

Key words: Deforestation, Prediction, Chihuahua, Pine, oak and mixed Forest.

---

## 1. Introducción

La degradación deforestación de los bosques templados es un problema mundial (Hu *et al.*, 2021). Implica directamente la pérdida de biodiversidad, pero también el deterioro de funciones ambientales estrechamente ligadas a la conservación de la cubierta vegetal, como la calidad del agua en los reservorios de agua dulce (Adiaffi *et al.*, 2009), la severidad de inundaciones (Horton *et al.*, 2021), el control de la erosión (Hu *et al.*, 2021); etc. Su prevención/mitigación mediante medidas orientadas a la conservación de coberturas, representa una acción necesaria para asegurar la sustentabilidad en amplias regiones del planeta. Según el informe de la FAO 2020 sobre los recursos forestales mundiales, la superficie forestal mundial ha perdido 178 millones de hectáreas de bosque durante el periodo 1990-2020, con pérdidas que se han venido reduciendo en el periodo 2010-2020, pero que siguen siendo importantes (FAO, 2020). Dicho documento también establece que la deforestación, los incendios, plagas, y fenómenos meteorológicos extremos; constituyen amenazas que siguen siendo vigentes para los bosques boreales, templados y tropicales del planeta; pero vale destacar que en América Latina, alrededor del 70% de la degradación forestal se debe a las actividades de tala, seguidas de la leña, la extracción de carbón vegetal y los incendios forestales (Eguiguren, *et al.*, 2019).

En el caso de México, desde hace años se reconoce que la pérdida de superficies forestales alcanza magnitudes preocupantes (Rosete-Verges *et al.*, 2014). Según el Programa Nacional Forestal 2020-2024, el país está perdiendo su cobertura forestal a tasas brutas de 250 a 260 mil ha por año. Como se ha demostrado en otras regiones de Latinoamérica, este fenómeno se origina en un complejo entramado de causas antropogénicas y naturales (Armenteras *et al.*, 2017), destacando

cambios ilegales de uso del suelo, tala clandestina de los bosques, comercio ilegal de materias primas y productos forestales, incendios, plagas y enfermedades diversas que afectan a los bosques (Diario Oficial de la Federación, 2020). Como el mismo Programa Nacional Forestal lo reconoce, se trata de un fenómeno multifactorial, que requiere políticas públicas que atiendan tanto las pérdidas de bosque en el territorio nacional, como las causas sociales, económicas e institucionales que las están provocando. Esta tarea se facilitará si se realizan diagnósticos regionales que ubiquen geográficamente las áreas de mayor riesgo a ser deforestadas, y que esclarezcan, en lo posible, la importancia de las causas que lo originan.

Una de las medidas que puede ser útil en el manejo ambiental de los bosques, es la modelización y mapeo de áreas que son susceptibles de ser deforestadas o degradadas. Existen distintos procedimientos sustentados en las geo-tecnologías y los sistemas de información geográfica (SIG), que permiten la discretización espacial de las áreas con mayor probabilidad de cambio, así como la identificación y ponderación de los factores y causas antropogénicas relacionadas con estos procesos (Bravo-Peña *et al.*, 2017). Dichas metodologías se han ensayado con éxito en distintos lugares del mundo, buscando prevenir el deterioro de cubiertas vegetales. En el caso específico de México, se han modelizado los cambios futuros de uso del suelo en zonas boscosas del centro sur del país (Torres-Rojo *et al.*, 2016; Osorio *et al.*, 2015), pero son casi inexistentes las modelizaciones realizadas para identificar la vulnerabilidad de los bosques en estados norteros. En los trabajos se demuestra que las transiciones de zona arbolada a zona no arbolada siguen dinámicas distintas en función de la región y del tipo de vegetación analizado (bosque templado-bosque tropical), y que los factores causales de los cambios también son distintos de un lugar a otro, sobre todo en lo que respecta a factores antropogénicos (Torres-Rojo *et al.*, 2016).

Entre los factores antropogénicos identificados a nivel nacional destacan procesos como la expansión de la actividad pecuaria en zonas forestales (Barbier & Burgess, 1996), la expansión de la frontera agrícola (Monjardín-Armenta *et al.*, 2017), la tala concesionada y la extracción ilegal de madera (Bravo-Peña *et al.*, 2017), por citar algunos; aunque también es notoria la amenaza que actualmente impone la actividad minera (Humpreys & Sauls, 2019), que históricamente se ha desarrollado en la zona, pero que adquirió una extraordinaria importancia desde fines de la década de los 90 del siglo pasado. Estas actividades, en conjunto con actividades tradicionales como la agricultura de temporal, y la apertura de potreros ganaderos, han provocado cambios importantes en la cobertura superficial de los bosques, y afectaciones notorias en su composición de especies, generando también conflicto socio-ambientales (Bastidas-Orrego *et al.*, 2018). En México, no se tiene claro cuál de estos factores contribuye más a la pérdida de bosques, por lo que es necesario el desarrollo de trabajos y modelizaciones orientadas a establecer la importancia de estos factores en la degradación o pérdida de cobertura forestal.

Hablando del norte del país, la cuenca del río Conchos es una de las regiones donde la modelización de estos procesos es urgente. Esta cuenca de 67955.9 km<sup>2</sup> tiene mucha importancia desde el punto de vista hídrico, pues contribuye con buena parte de las aguas superficiales aportadas por México en el Tratado Internacional de Límites y Aguas, que compromete una parte del agua producida en territorio mexicano desde el año de 1944, para ser entregada a los Estados Unidos. La cuenca del río Conchos experimenta desde hace décadas procesos muy intensos de cambios de uso del suelo, con disminuciones importantes de su superficie forestal incrementos en las superficies de uso agrícola, asentamientos humanos y demás áreas antropizadas. Estos cambios han provocado impactos en funciones ecosistémicas como la retención del suelo (erosión), y la funcionalidad hídrica (Rodríguez-Pineda *et al.*, 2017), pero pueden hacerse más graves si se conside-

ran los efectos del cambio climático en el norte de México, que implican en la cuenca del Conchos una modificación drástica de los caudales y repercusiones adicionales en la funcionalidad de sus paisajes (González-Villela *et al.*, 2017). De no modificarse los patrones actuales de cambio de uso del suelo, las consecuencias de su degradación ambiental pueden ser muy relevantes en México y en el ámbito binacional.

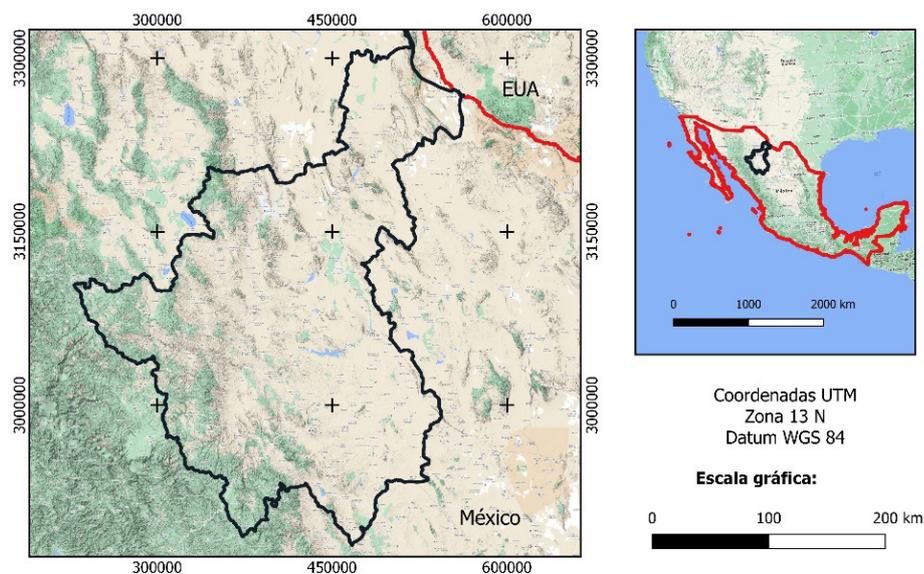
Por las razones anteriores, el objetivo de este trabajo fue desarrollar una modelización y mapeo de las zonas de bosque de pino, encino y mixto con riesgo de ser degradadas-deforestadas en la Cuenca del río Conchos, en los estados de Chihuahua y Durango, al norte de México. Se utilizó la técnica de regresión logística y se identificaron posibles variables explicativas de las pérdidas de masa forestal correspondientes al periodo 1985-2016.

## 2. Metodología

### 2.1. Área de estudio

La cuenca del río Conchos se localiza al norte del país. Se comparte por los estados de Chihuahua y Durango, y tiene una extensión territorial de 67955.9 km<sup>2</sup>, superior a la de países europeos como Lituania, Letonia, Dinamarca (Figura 1). El río Conchos nace en la vertiente oriental de la Sierra Madre Occidental a una altitud superior a los 3000 metros sobre el nivel del mar, y fluye cerca de 350 km hasta conectarse con el río Bravo, frontera natural entre los Estados Unidos de Norteamérica y México. En su trayectoria, el río Conchos desciende hasta los 800 metros sobre el nivel del mar, conectando con el río Bravo en las cercanías de la localidad fronteriza de Ojinaga, del lado mexicano.

Figura 1. Área de Estudio.



Fuente: elaboración propia con información de CNA (1988).

Esta cuenca es una de las más importantes del norte de México. Su superficie representa casi un 14 % de la cuenca del río Bravo, escurrimiento binacional que ha sido objeto de negociaciones

históricas por el uso del agua transfronteriza (Arreguín-Cortés *et al.*, 2013). Siendo uno de los grandes tributarios de este último, en la cuenca del río Conchos se produce anualmente una cantidad aproximada de 6205 millones de m<sup>3</sup> de agua (Rocha, 2005), parte de los cuales se utilizan localmente en actividades agropecuarias, industriales y de consumo humano, exportándose también para satisfacer las necesidades hídricas en Texas, y los estados mexicanos fronterizos de Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León (Kelly, 2001).

Una parte sustancial del agua que transporta la cuenca del río Conchos se almacena en tres grandes presas: La Boquilla, Francisco I. Madero, y Luis L. León, localizadas en la cuenca alta, media y baja respectivamente. Juntas tienen una capacidad de almacenamiento de 3541 millones de m<sup>3</sup> al año, con los que se irrigan tres distritos de riego. Estas presas también son el receptáculo de sedimentos y otros materiales generados en la parte alta de la cuenca, por lo que sus volúmenes originales se han modificado con el tiempo. La degradación acelerada de las masas forestales aguas arriba de las presas (Rodríguez-Pineda *et al.*, 2017), genera un arrastre de sedimentos que no se ha cuantificado, provocado el azolvamiento de los tres reservorios. Además, los eventos recurrentes de sequía en la zona (Núñez-López *et al.*, 2007), generan periodos de disminución en los almacenamientos de las presas en la región acentuando las sequías hidrológicas, lo que provoca efectos negativos en la ecología, economía y estrategias de manejo del agua. Estas provocan pérdidas de vegetación natural y pérdidas económicas por reducción de superficies de cultivo en el estado de Chihuahua (Reyes-Gómez *et al.*, 2013).

Lo anterior cobra mayor relevancia si se considera que la degradación de los bosques en las cabeceras de la cuenca, se asocia con la pobreza en muchos municipios de la Sierra Tarahumara, donde se observa desde hace décadas métodos de explotación forestal no sustentables (Porrás-Carrillo, 1999). A ello se suman el cambio climático, que en esta región implica sequías más severas (UACJ, 2019), y la existencia del Tratado Internacional de Límites y Aguas, que compromete una parte del agua producida en territorio mexicano desde el año de 1944, para ser entregada a los Estados Unidos de Norteamérica (Arreguín-Cortés *et al.*, 2013). Estos factores dejan claro que la funcionalidad hídrica de la cuenca del río Conchos, se ve amenazada por factores naturales y humanos.

## 2.2. Procedimientos

El trabajo tuvo tres fases, que se describen a continuación:

### a. Identificación de áreas degradadas-deforestadas (1985-2016)

Para identificar las áreas deforestadas y degradadas se utilizaron las cartografías de uso del suelo y vegetación series I y VI del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2001 y 2016), cuyas categorías y clases se describen en INEGI (2015). Al respecto la serie I contiene en formato digital la información de usos del suelo que se fechó a 1985 en formato analógico (Mapas en papel), transferidas y presentadas en formato shape 16 años después, en 2001. La información de la serie VI por su parte, corresponde a los usos del suelo en formato digital fechados al año de 2016. En ambas cartografías las clases del mapa original se reagruparon en clases genéricas, para hacerlas comparables y facilitar la tabulación cruzada de un año a otro. Por ejemplo, la clase bosque de pino, encino y mixtos, es la reagrupación de las categorías originales bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, bosque de encino-pino (*Pinus chihuahuana*, *Pinus durangensis*, *Pinus engelmannii*, *Quercus rugosa*, *Quercus*

*chihuahuensis*, *Quercus sideroxyla*; Lebgue, Quintana y Soto, 2015), clasificadas de esa manera por INEGI con base en la composición y dominancia de especies de los bosques. Igual sucedió con los matorrales, reagrupándose en todos los casos bajo la categoría de matorrales xerófilos. Con esta reagrupación se obtuvieron los mapas para cada año, que fueron superpuestos mediante álgebra de mapas en el programa Terrset de Idrisi. Con esto se identificó el cambio total de cada clase (positivo y negativo en km<sup>2</sup>), los porcentajes de cambio, y la ubicación espacial de los mismos, aunque sólo fue de nuestro interés visualizar la ubicación espacial de los cambios asociados a la pérdida y degradación del bosque. El procedimiento se basa en lo descrito por Pontius, Shusas & McEachern (2004).

#### b. Identificación y selección de variables explicativas

En este trabajo se consideraron ocho variables biofísicas y socioeconómicas explicativas del proceso de deforestación y degradación de los bosques. Para la selección de estas variables se tomaron en cuenta las variables propuestas por otros estudios que también emplearon la regresión logística en la modelación de patrones de deforestación (Serra, Pons, & Saurí, 2008; Pineda-Jaimes *et al.*, 2009; Morales-Barquero *et al.*, 2015; Bravo-Peña *et al.*, 2017); pero también se incluyeron variables propias de la región, considerando la experiencia de los autores del manuscrito. Estas ocho variables, el tratamiento que recibieron y sus fuentes se indican en la tabla 1. Posteriormente, se hizo un análisis de correlación espacial con las mismas, a fin de evitar sobre-representación de ellas en caso de estar correlacionadas, fijándose un criterio de 0.7 de correlación como límite máximo.

Tabla 1. Variables explicativas utilizadas en el modelo, fuentes y procesos a las que se sometieron.

Variable	Fuente	Proceso
Tenencia de la tierra	Registro Agrario Nacional (RAN, 2021)	Corte con límites de cuenca y reagrupación en tres clases: Propiedad Privada, Propiedad Social (ejidos) y Propiedad de la Nación (Terrenos Nacionales y Cuerpos de Agua).
Concesiones mineras 2017.	Mapa en formato Shape proporcionado por Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2017)	Corte con límites de cuenca y reagrupación en dos clases: Área Concesionada para Minería, Área no Concesionada.
Grado de marginación por localidad.	Consejo Nacional de Población (2010). CONAPO (2010)	Interpolación por el método Inverso de la Distancia Ponderada (IDW).
Distancia a polígonos agrícolas	Inventario de Uso del Suelo y Vegetación Serie I (1985). INEGI (2001)	Se extrajo del inventario, posteriormente se generó un mapa de distancias euclidianas al borde de los polígonos.
Distancia a carreteras caminos	Inventario de Uso del Suelo y Vegetación Serie I (1985). INEGI (2001)	Se extrajo del inventario, posteriormente se generó un mapa de distancias euclidianas al borde de los polígonos.
Distancia a localidades	Inventario de Uso del Suelo y Vegetación Serie I (1985). INEGI (2001)	Se extrajo del inventario, posteriormente se generó un mapa de distancias euclidianas al borde de los polígonos.
Distancia a pastizales	Inventario de Uso del Suelo y Vegetación Serie I (1985). INEGI (2001)	Se extrajo del inventario, posteriormente se generó un mapa de distancias euclidianas al borde de los polígonos.
Pendiente	Continuo de Elevaciones Mexicano (INEGI, 2013)	La pendiente fue reclasificada en nueve clases, con intervalos de diez grados al borde de los polígonos.

Fuente: elaboración propia.

#### c. Regresión logística

Con las zonas degradadas y deforestadas identificadas en el apartado “a” y las variables explicativas seleccionadas en “b” se construyó el modelo de regresión logística (RLO). En este modelo se

asume que la variable de respuesta tiene un comportamiento dicotómico, pues solo puede asumir dos valores, siendo 1 la ocurrencia del fenómeno de interés (área degradada deforestada), y 0 su inexistencia o no ocurrencia. La distribución de esta variable está representada por un parámetro "P", que indica su probabilidad. Por su parte, las variables explicativas pueden ser numéricas, continuas o categóricas. En este caso, a diferencia de la regresión lineal donde se modela una recta, en la regresión logística el modelo corresponde a una función exponencial, de tipo Logit, donde se calcula la probabilidad de que la variable de respuesta adopte el valor del evento modelado, en función del valor que presentan las variables independientes. El supuesto básico del método es que la probabilidad de la variable dependiente toma el valor de 1 (respuesta positiva) y sigue la curva logística, por lo que su valor se puede estimar con la siguiente fórmula:

Donde P es la probabilidad de que la variable dependiente sea 1, X es la variable independiente y B es el parámetro estimado  $B = (b_0, b_1, b_2, b_k)$ . Esta ecuación de tipo exponencial, es transformada en una respuesta lineal mediante una transformación Logit, donde:

$$P = \text{Ln} (P/(1-P))$$

Que toma la forma de la ecuación de regresión lineal ( $Y=b_0+bx$ ), aunque en este caso:

$$\text{Ln} (P/(1-P)) = b_0+b_1*x_1+b_2*x_2+b_3*x_3+b_n*x_n + \text{error}$$

En dicha ecuación  $b_0$  corresponde al intercepto de la línea en el eje Y.  $b_1, b_2, b_3, b_n$ , corresponden al coeficiente asociado a cada variable, que, al estar estandarizado, aporta una idea del peso de la misma en el proceso que se está modelando, en este caso, la probabilidad de ser degradado-deforestado. Dicha probabilidad toma valores entre 0 y 1, lo que permite identificar áreas ya degradadas-deforestadas (Probabilidad de uno), las áreas más amenazadas (probabilidad menor que uno, pero mayor que cero), así como aquellas donde la amenaza es inexistente (cero), aunque suelen priorizarse aquellas zonas donde el valor de P es superior a 0.5.

En este caso el modelo se construyó utilizando el programa Terrset de Idrisi, que toma en consideración los fundamentos conceptuales explicados previamente. El procedimiento también contempló una validación para evaluar la confiabilidad de las predicciones. Esta incluyó la estimación de Pseudo- $R^2$  de McFadden, que indica la bondad de ajuste del modelo. De acuerdo al método, Pseudo- $R^2$  de McFadden tiene un comportamiento distinto al que tendría un coeficiente de  $R^2$  en la regresión lineal convencional. En esta última se esperan valores cercanos a 1 para indicar que hubo buen ajuste, mientras que en Pseudo- $R^2$  se esperan valores bajos porque la variable de respuesta es dicotómica. La literatura reporta como buenos valores de RLO cuando esta es superior a 0.2 (Clark y Hosking, 1986; Wilson, Newton, Echeverría, Weston, & Burgman, 2005).

En el caso de este trabajo, el valor obtenido de Pseudo- $R^2$  de McFadden fue el primer criterio de validación, pero adicionalmente se compararon las predicciones espaciales de áreas deforestadas, con los valores reales de ocurrencia. La comparación se realizó mediante la curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*), que compara los valores de las celdas deforestadas respecto a valores predichos, y observa los intervalos de acierto como criterio de calidad del modelo generado. Para realizar este procedimiento el modelo de regresión logística se construye con una muestra de las áreas deforestadas, de manera que el resultado final, producto del modelo, se contrasta con una muestra de las celdas no incluidas en la construcción del mismo. ROC es un excelente método para probar la validez de un modelo que predice la probabilidad de ocurrencia de un hecho mediante la comparación con los valores reales de ocurrencia. Si su valor se ubica entre 0.97 y 1, el modelo ajusta de forma excelente; tiene muy buen ajuste si se encuentra entre 0.97 y 0.90, presen-

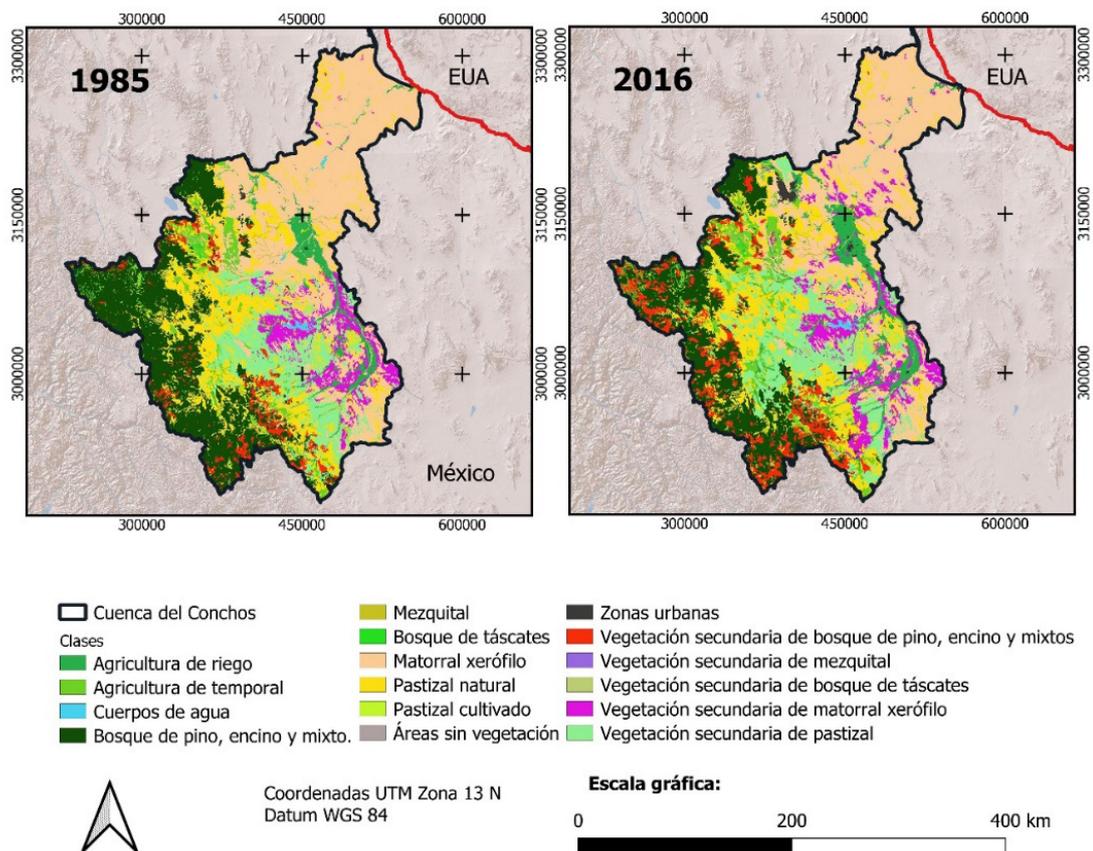
ta buen ajuste si se encuentra entre 0.90 y 0.75, y un ajuste regular si sus valores se ubican entre 0.75 y 0.60 (Hall & Hyndam, 2003; Hall, Hydam & Fan, 2004; Bravo *et al.*, 2017). Para mayores referencias del método se sugiere consultar Eastman (2016).

### 3. Resultados

#### 3.1. Identificación de áreas degradadas-deforestadas entre 1985-2016

La comparación de las cartografías correspondientes a 1985 y 2016 (Figura 2) mediante álgebra de mapas permitió identificar las clases con mayor cambio absoluto (Km<sup>2</sup>) y mayor porcentaje de cambio. Destacan la degradación y deforestación de superficies cubiertas por bosque de pino, encino y mixtos (-27.7 %), los matorrales xerófilos (-12.5 %) y los mezquiales (-8.2 %); mientras que son notables los incrementos de la superficie agrícola (Casi 42 % para la agricultura de temporal y de riego) (Tabla 2).

Figura 2. Usos del suelo y vegetación en la cuenca del río Conchos (1985-2016).



Fuente: elaboración propia con información de INEGI 2001 y 2016

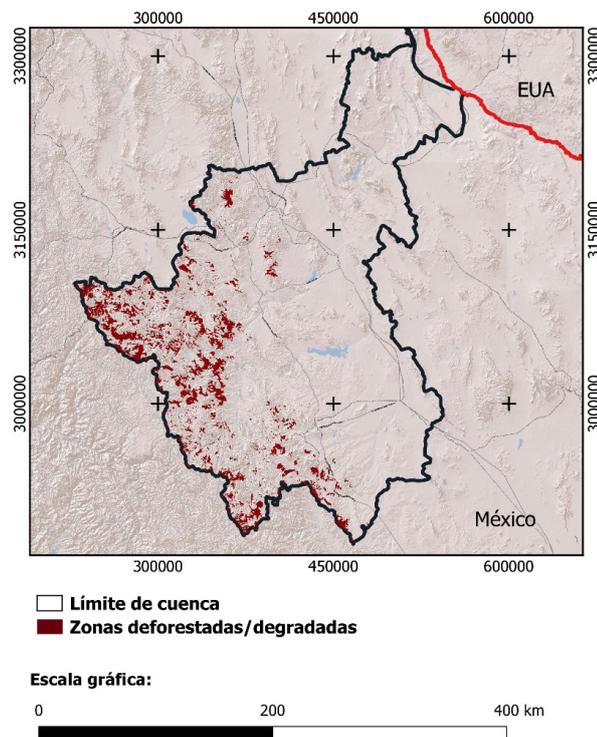
Tabla 2. Cambio total y porcentaje por clase de uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Conchos, 1985-2016.

CLASE	Superficie 1985 km <sup>2</sup>	Superficie 2016 km <sup>2</sup>	Cambio km <sup>2</sup>	Porcentaje de Cambio %
Agricultura de riego	2383.6	3381.1	997.5	41.9
Agricultura de temporal	2893.1	4103.6	1210.5	41.8
Cuerpos de agua	294.8	278.4	-16.3	-5.5
Bosques de pino, encino y mixtos.	15 171.6	10 970.4	-4201.2	-27.7
Mezquitales	278.1	255.3	-22.8	-8.2
Bosque de táscates	43.5	47.5	4.1	9.4
Matorrales xerófilos	21 236.1	18 577.8	-2658.3	-12.5
Pastizal natural	12 390.4	11 973.3	-417.1	-3.4
Pastizal cultivado	2.3	34.0	31.7	1370.4
Áreas sin vegetación	46.1	44.7	-1.4	-3.1
Áreas urbanas	54.2	488.1	433.8	800.2
Veg. Sec. bosques de pino, encino y mixtos.	2254.1	4757.6	2503.5	111.1
Veg. Sec. de mezquitales	3.3	75.6	72.3	2189.0
Veg. Sec. de bosque de táscates	37.3	112.2	74.9	200.5
Veg. Sec. de matorrales xerófilos	3771.6	4696.9	925.3	24.5
Veg. Sec. de pastizales	7095.1	8150.0	1054.8	14.9

Fuente: elaboración propia.

La comparación también permitió identificar aquellas zonas con mayor cambio absoluto, aunque para fines de este trabajo sólo se muestran las zonas con pérdida y degradación de la superficie de bosques (Figura 3). Estas se ubican al sur-suroeste de la cuenca del río Conchos, en regiones montañosas que integran la cabecera de la misma.

Figura 3. Superficie deforestada y degradada de bosque de pinos, encinos y mixtos



Fuente: elaboración propia.

Aquí es importante destacar que no todas las áreas identificadas en figura 3 están completamente deforestadas. En los polígonos se incluyen también áreas de bosque degradado, porque una parte importante de la superficie original de bosque en 1985, aparece como superficie de bosque con vegetación secundaria en 2016. Esto obedece a las características de los patrones de deforestación en la región, que frecuentemente no implican una transición abrupta entre clases, sino una degradación lenta de los parches de bosque derivada de la extracción de madera a tasas que rebasan la capacidad natural de los parches (Bravo *et al.*, 2017). En el caso de las zonas forestales en la cuenca del río Conchos, los autores hemos observado que el bosque original se va transformando gradualmente en áreas cubiertas por bosque con vegetación secundaria (áreas intermitentes de bosque, con parches dispersos de matorrales y pastizales, suelo desnudo, etc.). Se ignora la extensión espacial y frecuencia de esta práctica, pero se relaciona con el tránsito de áreas de bosque en buen estado hacia áreas de bosque degradado o completamente deforestado.

### 3.2. Variables explicativas seleccionadas y construcción de cartografías

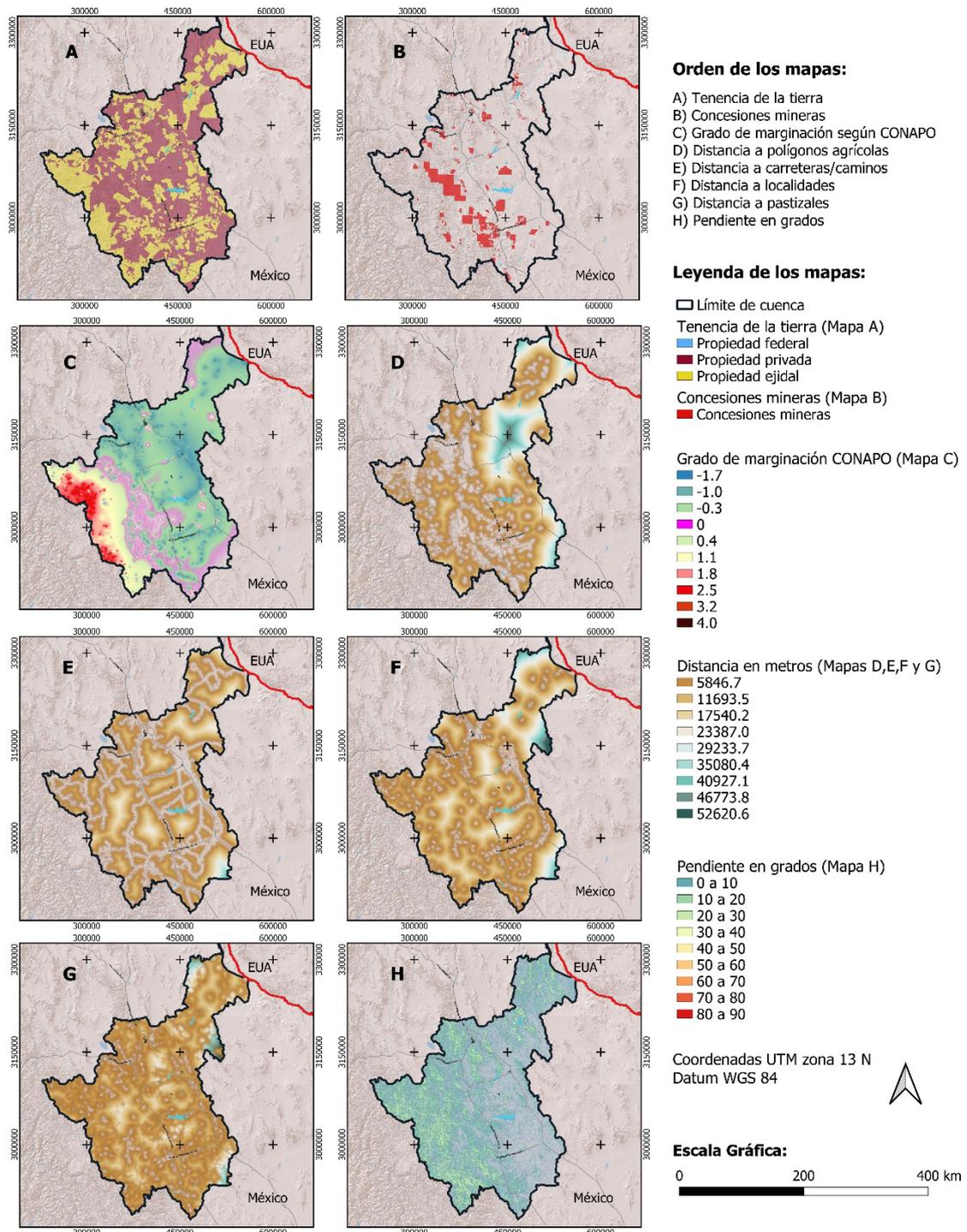
Todas las variables explicativas mencionadas en la sección de métodos se incluyeron en la construcción del modelo, pues en ningún caso se obtuvo un valor de correlación superior a 0.7 (Tabla 3). Esto asegura que no hubo colinealidad entre las variables predictoras, lo cual otorga potencia al método y lo hace más confiable en análisis inferencial (Godínez-Jaimes *et al.*, 2012). La representación espacial de estas variables se indica en la figura 4.

Tabla 3. Valores de correlación entre variables explicativas.

	Concesiones mineras	Tenencia de la tierra	Marginación	Distancia a polígonos agrícolas	Distancia a carreteras y caminos	Distancia a localidades	Distancia a pastizales	Pendiente
Concesiones mineras	1	-0.030	0.009	-0.099	0.056	-0.008	-0.114	0.023
Tenencia de la Tierra	-0.030	1	0.164	-0.165	-0.179	-0.277	0.088	0.025
Marginación	0.009	0.164	1	-0.247	0.072	0.027	-0.079	0.317
Distancia a polígonos agrícolas	-0.099	-0.165	-0.247	1	0.361	0.401	0.146	-0.112
Distancia a carreteras y caminos	0.056	-0.179	0.072	0.361	1	0.625	0.066	0.063
Distancia a localidades	-0.008	-0.277	0.027	0.401	0.625	1	0.071	0.023
Distancia a pastizales	-0.114	0.088	-0.079	0.146	0.066	0.071	1	-0.004
Pendiente	0.023	0.025	0.317	-0.112	0.063	0.023	-0.004	1

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Variables explicativas empleadas en el modelo.



Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Regresión logística

El modelo de regresión logística se construyó considerando una muestra equivalente a 9.5 % del área total de la cuenca del río Conchos. Dentro de esta muestra, se incluyó una proporción re-

representativa del total deforestado y no deforestado en toda el área de estudio (Tabla 4). Con estos datos se obtuvo un valor de Pseudo  $R^2$  de 0.2049, que se considera de buen nivel predictivo.

Tabla 4. Datos de la muestra utilizada en la regresión.

Conceptos de la regresión	Cantidad	Porcentaje
Número total de observaciones en la Cuenca del Conchos	8 389 649	100
Número de casos negativos (sin deforestación = 0)	7 754 249	92.43
Número de casos positivos (Con deforestación = 1)	635 400	7.57
Tamaño de la muestra	802 190	9.56
Número de casos negativos en la muestra (0)	741 489	92.43
Número de casos positivos en la muestra (1)	60 701	7.57
Pseudo $R^2$	0.2049	
ROC	0.8504	

Fuente: elaboración propia.

En el modelo se identificaron tres variables que se relacionan fuertemente con el proceso de degradación/deforestación de los bosques. En orden de importancia por el valor del coeficiente son: marginación (0.9616), concesiones mineras (0.5683), tenencia de la tierra (ejidos, 0.2078). Otras variables incluidas en el modelo tuvieron un coeficiente menor, pero su valor de significancia inferior a 0.05, indica que también son relevantes para el proceso (Tabla 5).

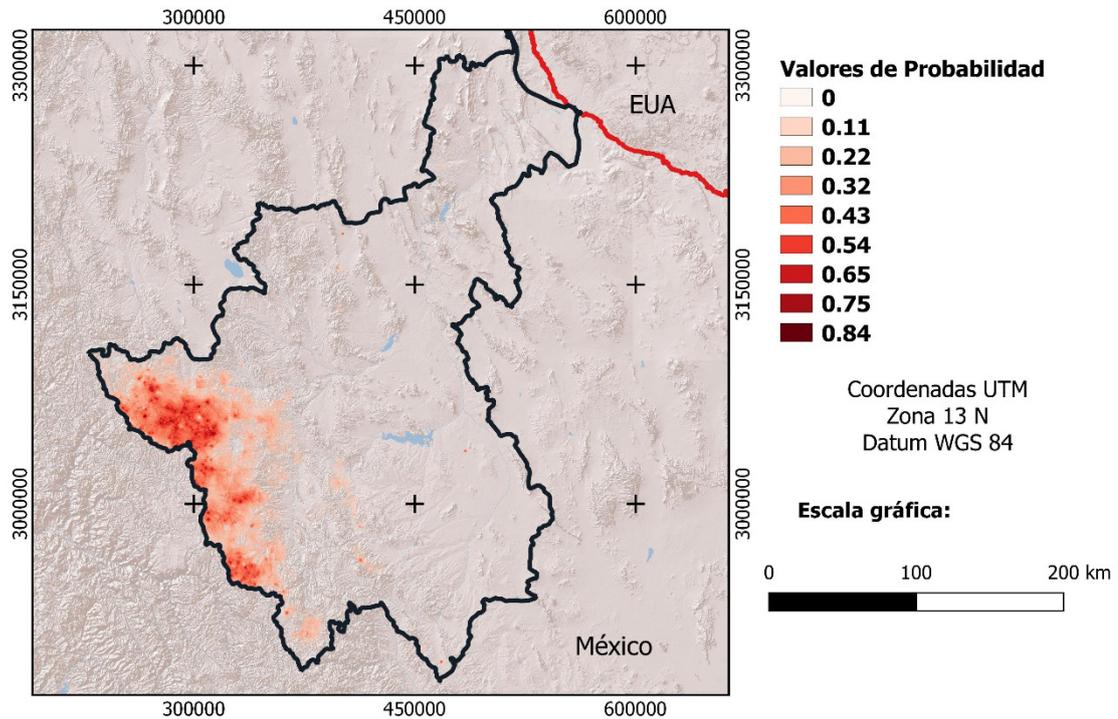
Tabla 5. Coeficientes obtenidos por las variables explicativas.

Intercepto/Variables	Coeficiente	Significancia
Intercepto	-3.40	
Concesiones mineras	0.56	< 0.05
Tenencia de la tierra	0.20	< 0.05
Marginación	0.96	< 0.05
Distancia a polígonos agrícolas	-6.26E-05	< 0.05
Distancia a carreteras/caminos	6.66E-05	< 0.05
Distancia a localidades	-5.40E-05	< 0.05
Distancia a pastizales	-3.59E-05	< 0.05
Pendiente	0.02	< 0.05

Fuente: elaboración propia.

El modelo alcanzó un valor de ROC de 0.85, e identificó 733.43 km<sup>2</sup> de cobertura boscosa en riesgo de ser deforestada y degradada en el futuro. Esta superficie representa el 6.7 % del total de bosque existente actualmente en la cuenca, y se localiza en sitios muy cercanos a la divisoria de aguas, hacia el oeste de la zona de estudio (Figura 5).

Figura 5. Áreas de bosque con probabilidad de ser degradadas-deforestadas.



Fuente: elaboración propia.

#### 4. Discusión de resultados

En este trabajo se identificaron las áreas de bosque de pino, encino y mixto, con mayor probabilidad de ser degradadas-deforestadas en la cuenca del río Conchos (Chihuahua-Durango, México). Los valores de Pseudo  $R^2$  de McFadden y ROC obtenidos (0.204 y 0.85 respectivamente) indican buena capacidad predictiva del modelo y un buen ajuste entre los valores observados y la realidad. Los tres factores que alcanzan mayor peso en la degradación y pérdida de bosque fueron, en orden de importancia, la marginación, las concesiones mineras, la tenencia de la tierra y específicamente la presencia de ejidos. El modelo identifica como más vulnerables aquellas áreas donde coinciden los tres factores, pero no aclara cómo interactúan con el proceso de degradación y pérdida de bosques. Sin embargo, indica que, a mayor coincidencia espacial entre los bosques, la marginación, las concesiones mineras y la propiedad ejidal, habrá una degradación o pérdida más extendida de la masa forestal.

Con base en lo anterior, las áreas más vulnerables a la degradación y deforestación de la cobertura boscosa, se ubican hacia el oeste, básicamente en regiones caracterizadas por su alta marginación, prevalencia de la propiedad ejidal de la tierra, y cercanía de grandes concesiones mineras. Los polígonos de bosque con mayor probabilidad de ser degradados o deforestados se localizan en zonas muy importantes desde el punto eco-hidrológico, pues al ubicarse en la cabecera de la cuenca, determinan procesos regionales de producción hídrica, calidad del agua, escurrimiento hacia las partes bajas, cambios atmosféricos de humedad relativa y consecuente modificación en la regulación del clima local y regional.

Nuestros resultados complementan trabajos previos que han tratado de determinar los cambios de uso del suelo en la cuenca del río Conchos (Rodríguez-Pineda *et al.*, 2017; Bravo-Peña *et al.*, 2020), pero amplían el conocimiento al abordar las relaciones entre estos cambios y los posibles factores causales que les dan origen. Por otro lado, también son resultados parcialmente coincidentes con lo reportado por otros autores que han abordado el estudio de la deforestación en otras regiones de Chihuahua y México. Empezando por la marginación, Bravo-Peña *et al.*, (2017) en su análisis de los mismos procesos en tres municipios del estado que se localizan fuera de la cuenca del río Conchos, encontraron también una fuerte asociación entre este factor y la pérdida o degradación del bosque de pino. También se encontró una relación parecida al estudiar la pérdida del bosque tropical seco en el estado de Guerrero (Osorio *et al.*, 2015). En este último caso, los autores reportan pérdidas mayores de bosque en aquellas zonas que coinciden espacialmente con altos valores de marginación.

No está claro cuál es el papel de la pobreza en la pérdida y degradación de los bosques. Estudios comparativos muestran que la relación entre pobreza y degradación o deforestación de la cobertura boscosa puede seguir comportamientos diferenciados dependiendo de la región geográfica (Cheng *et al.*, 2017), lo que sugiere que factores adicionales condicionan el vínculo existente entre pobreza y pérdida de bosque. Por otro lado, en zonas caracterizadas por la pobreza de la población rural se han reportado cambios de uso del suelo orientados a elevar los ingresos que se obtienen de la tierra, como la conversión de bosques en áreas agrícolas o ganaderas (Miyamoto, 2020), o la extracción de leña para la fabricación de carbón o el consumo doméstico (Nagothu, 2001; Zulu & Richardson, 2013); lo que revela que la pobreza puede incentivar la elección de alternativas de sobrevivencia que resuelven problemas en lo inmediato, pero que conducen con el tiempo a mayor deterioro ambiental, y probablemente a mayor pobreza. Variables exógenas como el precio de cultivos, o mercados no regulados para productos forestales, condicionan este tipo de decisiones.

Por lo que se refiere al papel de la minería en el proceso de pérdida de bosques, otros autores han demostrado como el desarrollo de esta actividad contribuye inequívocamente a la deforestación. Es el caso de la pérdida de bosques en la India, donde la superficie deforestada fue sustancialmente mayor en distritos mineros respecto a zonas donde la minería estuvo ausente, con tasas de deforestación mayores cuando la explotación se concentra en ciertos minerales (Ranjan, 2019). Dicho hallazgo es consistente con lo que ocurre en otras regiones del mundo, como la cuenca del Amazonas, donde la extracción de oro ha contribuido sustancialmente a la pérdida de bosques (Galbraith & Kalamandeen, 2020), observándose relaciones positivas entre las tasas de deforestación y el precio que alcanza este mineral en el mercado (Flores & Einer, 2017).

En México, la minería ha jugado un papel importante en los procesos de degradación ambiental desde los tiempos del virreinato español (Studnicki-Gizbert & Schecter, 2010), pero se carece de un seguimiento sistemático de sus impactos sobre la cobertura vegetal y los usos del suelo. Al año 2021 se han concesionado 964,000 hectáreas para extracción de minerales en México<sup>1</sup>, pero no hay evaluaciones que permitan sustentar el rol que juega esta actividad en la pérdida de bosques en todo el país. La minería a tajo abierto involucra remover la vegetación de la zona donde se ubica el proyecto minero, y este proceso se acompaña de una manifestación de impacto ambiental (MIA) que menciona los impactos de dicha actividad sobre el medio biótico. Las MIA's son de consulta pública, pero su información no se ha integrado en una estadística nacional que lleve

1. Gobierno Federal Mexicano (2021). Estadística de Títulos Concesionados para la Actividad Minera. [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D2\\_ENERGIA05\\_02&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce&NOMBREANIO=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_ENERGIA05_02&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREANIO=*)

el registro de las hectáreas deforestadas. Frente a este vacío, nuestros resultados contribuyen a documentar un proceso que parece muy importante en la cuenca del río Conchos, y que quizás también es muy importante en todo el país.

Los resultados del modelo también indican que la tenencia de la tierra, y específicamente la propiedad ejidal parece vincularse con la degradación y pérdida del bosque; aunque por su naturaleza cuantitativa, no clarifican la naturaleza de ese vínculo. Con este hallazgo, nuestro trabajo da continuidad a otros trabajos en México que también han abordado las relaciones entre tenencia de la tierra y deforestación. Por lo menos desde hace unos 25 años, estudios previos en el país han tratado de identificar el papel de esta variable en la pérdida de la cubierta vegetal, y al igual que en el caso de la relación entre pobreza y deforestación, los resultados no son concluyentes (Bonilla-Moheno *et al.*, 2013). Algunos autores han documentado como la dotación de tierras ejidales favoreció la pérdida de superficie forestal (Cortina-Villar *et al.*, 1999), mientras que otros señalaron a factores institucionales, económicos o de política pública, como los verdaderos causantes del problema (Reyes-Hernández *et al.*, 2006). No hay claridad al respecto, pero en nuestra zona de estudio los datos sugieren una relación estadísticamente significativa entre propiedad ejidal y deforestación.

Cabe destacar que nuestros datos no demuestran un vínculo causal inalterable entre el régimen de propiedad ejidal y la degradación o pérdida del bosque, pero si permiten suponer posibles factores subyacentes que afectan a los ejidos y que propician un proceso más marcado de pérdida de la cubierta vegetal que en el resto de las formas de propiedad. Son hallazgos que contrastan con los casos de éxito documentados en otras regiones de México, donde algunos ejidos hacen un manejo forestal más sustentable de la cubierta forestal (Ceballos, 2020).

La propiedad ejidal en el área de estudio generalmente recae en población de origen Tarahumara, un grupo indígena que se caracteriza por formas de relación con la naturaleza que tienden a preservar los bosques (Quintana-Silveyra, 2020). Sería de esperarse que en sus ejidos y tierras de uso común la deforestación tuviera menor gravedad que en los terrenos bajo otra forma de propiedad, pero se trata de territorios que enfrentan múltiples formas de despojo por la población mestiza, para apropiarse de sus tierras, bosques y aguas (Martínez, 2019). También existen reportes periodísticos de la incursión del narcotráfico en la tala ilegal de madera (El Universal, 2017)<sup>2</sup>, pero se ignora la localización y el alcance espacial de esta práctica. Se desconoce si los propietarios ejidales son más vulnerables a estas incursiones que los propietarios privados, por lo que deben aplicarse técnicas de investigación social en el campo para clarificar el rol verdadero de grupos externos y de la tenencia de la tierra en este proceso de degradación y deforestación del bosque. Sin embargo, es una línea de trabajo que escapa a los alcances de este manuscrito, y debe desarrollarse en trabajos posteriores por científicos sociales vinculados con el tema.

Además de los factores anteriores, existen otros factores involucrados en la pérdida del bosque que no fueron incluidos en esta evaluación. Prácticas como la extracción de leña para utilizarse como combustible en las comunidades (Nagothu, 2001), incendios forestales que ocurren por causas naturales o humanas (Dos Reis *et al.*, 2021), sobrepastoreo ganadero (Hao *et al.*, 2018), o incluso cambios en el clima regional (Van Rompaey, 1995; Elhag & Walker, 2009); son factores que favorecen procesos de degradación o pérdida de cubierta vegetal cuya importancia se ha comprobado en otras áreas del mundo y en México también. Son factores que impactan en la pérdida de masas forestales, pero también en la pérdida de otras formas de biodiversidad im-

2. <https://interactivo.eluniversal.com.mx/2017/bosque-del-narco/>.

portantes para el funcionamiento del ecosistema, por lo que también merecen incluirse en una modelación. Sin embargo, a pesar de su importancia, actualmente resultan difíciles de cartografiar en la cuenca del río Conchos. Hay gran incertidumbre en los datos, o sus registros carecen de calidad y consistencia espacial como para incluirlos en una modelación a escala de toda la cuenca. Si se incluyen, la cuenca tendría que dividirse en sub-regiones o sub-cuencas, con el riesgo de dificultar la comparabilidad de los hallazgos en unidades distintas.

Aunque este ejercicio de modelación se puede y debe mejorar, provee resultados valiosos que ayudan a identificar zonas vulnerables a la deforestación y degradación de la masa forestal. Se han generado datos que permiten identificar las relaciones existentes entre un conjunto de factores socioeconómicos y naturales y los procesos locales de degradación- pérdida de los bosques en la cuenca del río Conchos. La técnica de regresión logística permitió cumplir con el objetivo general del trabajo, pero existen otras metodologías de predicción de áreas vulnerables a deforestación que también pudieran ensayarse. Técnicas como la evaluación multicriterio, de autómatas celulares con cadenas de Markov, incluyendo el uso de módulos y programas geomáticos como Terrset Modeler (Idrisi) o Dinámica Ego han mostrado su utilidad en la modelación predictiva de cambios de uso del suelo, de coberturas naturales a áreas antropizadas, de urbanizaciones, etc. (Ávalos-Jiménez *et al.*, 2019; Mas *et al.*, 2011).

Cada uno de los procedimientos y modelos a elegir tiene sus propios supuestos y condiciones de incertidumbre, pero en este trabajo se eligió la técnica de regresión logística por su simplicidad conceptual y su probada utilidad para predecir cambios de uso del suelo en zonas sujetas a procesos de deforestación (Nahib & Suryanta, 2017; Gayen & Saha, 2018; Buya *et al.*, 2020). Ensayos posteriores deben realizarse para evaluar y mejorar los resultados de este primer acercamiento, orientados a precisar cada vez con más claridad qué importancia tienen las posibles variables explicativas de la pérdida y degradación de las masas forestales en esta región del país.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se identificaron mediante la técnica de regresión logística las áreas de bosque de pino-encino y mixto, con mayor probabilidad de ser degradadas-deforestadas en la cuenca del río Conchos (Chihuahua-Durango, México). El modelo obtenido tuvo buena capacidad predictiva y sus valores obtuvieron un alto ajuste con los valores observados de degradación-deforestación de la cubierta forestal.

Las variables explicativas con mayor peso específico en este proceso de degradación y deforestación del bosque fueron, en orden descendente: marginación, concesiones mineras y tenencia de la tierra; identificando como más vulnerables aquellas áreas donde coinciden los tres factores. Estas superficies acumulan 733.43 km<sup>2</sup> en riesgo de ser degradadas y deforestadas en el futuro, y se localizan hacia el oeste de la cuenca, en zonas muy cercanas al parteaguas.

Los resultados son útiles para prevenir la pérdida y degradación de los bosques de pino-encino y mixtos en la cuenca del río Conchos, y facilitan el manejo ambiental de la misma. Aunque las zonas en riesgo se encuentran cercanas al parteaguas, los impactos de su degradación seguramente podrán percibirse aguas abajo, particularmente en actividades desarrolladas en los distritos de riego que dependen de las presas La Boquilla, Francisco I. Madero, y Luis L. León, donde se almacena el agua generada en las montañas para su posterior uso agrícola, industrial o de consumo

humano. Por esta razón, aunque los cambios de uso del suelo y de la masa forestal ocurran en las partes altas, la sustentabilidad de la cuenca se ve comprometida.

Además de su utilidad, nuestro ejercicio constituye un ensayo inédito en esta región del país. Son escasos los trabajos nacionales que han abordado el tema de la deforestación, y en la literatura académica casi no se reportan estudios para el norte de México. En ese sentido, aunque los resultados pueden enriquecerse con otras variables predictoras, o el ejercicio puede intentarse con otros procedimientos, nuestros hallazgos constituyen una primera aproximación para entender el proceso de degradación y deforestación de la cubierta de bosques en la cuenca del río Conchos y sus factores causales.

La cuenca del río Conchos tiene gran importancia geoestratégica, pues el agua que produce contribuye en buena medida a tratados binacionales entre México y los Estados Unidos de Norteamérica, y la conservación de su cubierta vegetal debe ser prioritaria para ambos países, sobre todo considerando los pronósticos del cambio climático para esta región del continente (mayores y más severas sequías). Por otro lado, aunque se trata de un modelo esencialmente cuantitativo, se aportan elementos para el diseño de hipótesis que deben probarse mediante trabajo de carácter etnográfico y cualitativo. Entrevistas en profundidad, observación participante, y otras técnicas de investigación social, pueden complementar nuestros resultados, y ayudar a identificar las relaciones subyacentes entre estos factores y la pérdida o degradación de la masa forestal en esta cuenca del norte de México.

### Contribución de autorías

Los autores han contribuido por igual en la redacción de este artículo.

### Bibliografía

- Adiaffi, B., Marlin, C., Oga, Y. M. S., Massault, M., Noret, A., & Biemi, J. (2009). Palaeoclimatic and deforestation effect on the coastal fresh groundwater resources of SE Ivory Coast from isotopic and chemical evidence. *Journal of Hydrology*, 369(1), 130-141. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.02.046>
- Armenteras, D., Espelta, J. M., Rodríguez, N., & Retana, J. (2017). Deforestation dynamics and drivers in different forest types in Latin America: Three decades of studies (1980–2010). *Global Environmental Change*, 46, 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.09.002>
- Arreguín-Cortés, F., López-Pérez, M., Velázquez-Mireles, C., & López-Corzo, R. (2013). Análisis de sequías en el marco del Tratado sobre Aguas Internacionales de 1944. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(1), 117-148. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222013000100006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000100006&lng=es&tlng=es)
- Ávalos-Jiménez, A. A., Gómez-Delgado, M., Aguilera-Benavente, F., & Flores-Vilchez, F. (2019). Simulación del crecimiento urbano de la zona metropolitana Tepic-Xalisco, México. *Estudios Geográficos*, 80(287), e021-e021. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201938.018>
- Barbier, E. B., & Burgess, J. C. (1996). Economic analysis of deforestation in Mexico [MPRA Paper]. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/12089/>
- Bastidas-Orrego, L. M., Ramírez-Valverde, B., Cesín-Vargas, A., Juárez-Sánchez, J. P., Martínez-Carrera, D., Vaquera-Huerta, H., Bastidas-Orrego, L. M., Ramírez-Valverde, B., Cesín-Vargas, A., Juárez-Sánchez, J. P., Martínez-Carrera, D., & Vaquera-Huerta, H. (2018). Conflictos socioambientales y minería a cielo abierto en la Sierra Norte de Puebla, México. *Textual: análisis del medio rural latinoamericano*, 72, 35-65. <https://doi.org/10.5154/r.textual.2017.72.003>
- Bravo-Peña, L. C., Torres-Olave, M. E., Alatorre-Cejudo, L. C., Castellanos-Villegas, A. E., Moreno-Murrieta, R. L. M., Granados-Olivas, A., Uc-Campos, M., Gónzales-León, M. O., & Wiebe-Quintana, L. C. (2017). Áreas probables de degradación-deforestación de la cubierta vegetal en Chihuahua, México. Una exploración mediante

- regresión logística para el período 1985-2013. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 0(20), 109-137. <https://doi.org/10.21138/GF.545>
- Bravo-Peña, L. C., Gómez-Reyes, V. M., Moreno-Murrieta, R. L., Alatorre-Cejudo, L. C., Torres-Olave, M. E., Granados-Olivas, A., & Hernández-Fuentes, H. A. (2020). Cambios del uso del suelo e impactos en la escorrentía potencial de la cuenca Chuviscar-Sacramento (Chihuahua, México). *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 0(26), 69-91. <https://doi.org/10.21138/GF.669>
  - Bonilla-Moheno, D. J. R. M., T. Mitchell Aide, Matthew L. Clark, & H. Ricardo Grau. (2013). Vegetation change and land tenure in Mexico: A country-wide analysis. *Land Use Policy*, 30, 355-364.
  - Buya, S., Tongkumchum, P., & Owusu, B. E. (2020). Modelling of land-use change in Thailand using binary logistic regression and multinomial logistic regression. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(12), 437. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05451-2>
  - Ceballos, P. S. (2020). Impacto territorial del manejo forestal comunitario en la Sierra Norte de Puebla, 2003-2017. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 17. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr17.itmf>
  - Cheng, S. H., Ahlroth, S., Onder, S., Shyamsundar, P., Garside, R., Kristjanson, P., McKinnon, M. C., & Miller, D. C. (2017). What is the evidence for the contribution of forests to poverty alleviation? A systematic map protocol. *Environmental Evidence*, 6(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s13750-017-0088-9>
  - Clark, W.A., and P.L. Hosking, (1986). *Statistical Methods for Geographers*. New York, John Wiley & Sons.
  - CNA (1988). *Cuencas Hidrológicas a escala 1:250,000*. Comisión Nacional del Agua. Recuperado de/Retrieved from <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
  - CONAPO (2010). *Grado de Marginación por Localidad*. Consejo Nacional de Población.
  - Recuperado de/Retrieved from <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
  - Cortina-Villar, S., Macario-Mendoza, P., & Ogneva-Himmelberger, Y. (1999). Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo, México. *Investigaciones geográficas*, 38, 41-56.
  - Diario Oficial de la Federación. (2020, diciembre 31). Programa Nacional Forestal 2020-2024. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de/Retrieved from [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5609275&fecha=31/12/2020](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609275&fecha=31/12/2020)
  - Dos Reis, M., Graça, P. M. L. de A., Yanai, A. M., Ramos, C. J. P., & Fearnside, P. M. (2021). Forest fires and deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics. *Journal of Environmental Management*, 288, 112310. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112310>
  - Eastman, J. R. (2016). *Terrset Geospatial Monitoring and Modeling System (Clark Labs Manual)* (2016.a ed., Vol. 1). Clark University.
  - Eguiguren, P., Fischer, R., & Günter, S. (2019). Degradation of Ecosystem Services and Deforestation in Landscapes With and Without Incentive-Based Forest Conservation in the Ecuadorian Amazon. *Forests*, 10(5), 442. <https://doi.org/10.3390/f10050442>
  - Elhag, M., & Walker, S. (2009). Impact of climate variability on vegetative cover in the Butana area of Sudan. *African Journal of Ecology*, 47, 11-16. <https://doi.org/Article>
  - El Universal (2017). El Bosque del Narco. *Diario El Universal*. Recuperado 8 de diciembre de 2021, de <http://interactivo.eluniversal.com.mx/2017/bosque-del-narco/>
  - FAO. (2020). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020: Principales resultados*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de/Retrieved from <http://www.fao.org/3/CA8753ES/CA8753ES.pdf>
  - Flores, R., & Einer, J. (2017). *Estimación de la variabilidad espacial y temporal de la deforestación por minería aurífera aluvial en la Quebrada Guacamayo, utilizando el método de segmentación por umbrales a partir de imágenes de satélite*. Repositorio de Tesis - UNMSM. Recuperado de/Retrieved from <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/7367>
  - Galbraith, D., & Kalamandeen, M. (2020). Gold mining leaves deforested Amazon land barren for years, find scientists. *The Conversation*. Recuperado de/Retrieved from <http://theconversation.com/gold-mining-leaves-deforested-amazon-land-barren-for-years-find-scientists-141639>
  - Gayen, A., & Saha, S. (2018). Deforestation probable area predicted by logistic regression in Pathro river basin: A tributary of Ajay river. *Spatial Information Research*, 26(1), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0151-1>

- Gobierno Federal Mexicano (2021). *Estadística de Títulos Concesionados para la Actividad Minera*. Recuperado de [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D2\\_ENERGIA05\\_02&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce&NOMBREANIO=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_ENERGIA05_02&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREANIO=*)
- Godínez-Jaimes, F., Ramírez-Valverde, G., Reyes-Carreto, R., Ariza-Hernandez, F. J., & Barrera-Rodriguez, E. (2012). La colinealidad y la separación en los datos en el modelo de regresión logística. *Agrociencia*, 46(4), 411-425.
- González-Villela, R., Montero-Martínez, M. J., & Santana-Sepúlveda, J. S. (2017). *Repercusiones del Cambio Climático en el Caudal Ecológico del río Conchos*. En *En La cuenca del río conchos: Una mirada desde las ciencias ante el cambio climático*. (pp. 109-156). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado de/Retrieved from [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/rio-conchos/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/rio-conchos/files/assets/common/downloads/publication.pdf)
- Hall, P. G. & Hyndman, R. J. (2003). An Improved Method for Bandwidth Selection When Estimating ROC Curves. *Statistics and Probability Letters* 64(2), 181-189.
- Hall, P. G., Hyndman, R. J. & Fan, Y. (2004). Nonparametric Confidence Interval for Receiver Operating Characteristic Curve. *Biometrika*, 91(3), 743-750.
- Hao, L., Pan, C., Fang, D., Zhang, X., Zhou, D., Liu, P., Liu, Y., & Sun, G. (2018). Quantifying the effects of overgrazing on mountainous watershed vegetation dynamics under a changing climate. *Science of The Total Environment*, 639, 1408-1420. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.224>
- Horton, A. J., Nygren, A., Diaz-Perera, M. A., & Kumm, M. (2021). Flood severity along the Usumacinta River, Mexico: Identifying the anthropogenic signature of tropical forest conversion. *Journal of Hydrology X*, 10, 100072. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2020.100072>
- Hu, X., Naess, J. S., Jordan, C. M., Huang, B., Zhao, W., & Cherubini, F. (2021). Recent global land cover dynamics and implications for soil erosion and carbon losses from deforestation. *Anthropocene*, 34, 100291. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2021.100291>
- Humphreys, D., & Sauls, L. (2019). Evaluación y alcance de la relación de las industrias extractivas y la infraestructura con la deforestación: México. *Climate and land use alliance*. Recuperado de/Retrieved from <http://www.climateandlandusealliance.org/wp-content/uploads/2020/03/EII-Mexico-Report-ES-FINAL.pdf>
- INEGI. (2001). *Carta de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, serie I. Datos en formato vectorial generados por CETENAL para las ortofotos e imágenes de 1985*. Aguascalientes, Aguascalientes. Recuperado de/Retrieved from <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- INEGI. (2016). *Carta de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, serie VI. Datos en formato vectorial generados por INEGI para las imágenes de 2016*. Aguascalientes, Aguascalientes. Recuperado de/Retrieved from <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- INEGI. (2013). *Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0*. Aguas Calientes, México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Recuperado de/Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- INEGI. (2015). *Guía para la interpretación de cartografía de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250000, Serie V*. Aguas Calientes, México. INEGI.
- Kelly, M. (2001). *El río Conchos: Un informe Preliminar*. Texas Policy Center. Recuperado de/Retrieved from <http://www.texascenter.org/publications/spaconchos.pdf>
- Lebgue, K. T., Quintana, M.G., y R. Soto, C. (2015): *Pinos y Encinos de Chihuahua*. Chihuahua, México. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Martínez, E. (2019). Tala clandestina, azote de Sierra Tarahumara. *El Heraldo de Chihuahua* | Noticias Locales, Políticas, de México, Chihuahua y El Mundo. Recuperado de/Retrieved from <https://www.elheraldodechihuahua.com.mx/local/noroeste/tala-clandestina-azote-de-sierra-tarahumara-4021368.html>
- Mas, J.-F., Kolb, M., Houet, T., Paegelow, M., & Camacho Olmedo, M. T. (2011). Una comparación de programas de modelación de cambios de cobertura/ uso del suelo. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.5801 . <https://digibug.ugr.es/handle/10481/29653>
- Mertens, B., & E. Lambin. (1997). Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon. Spatial disaggregation of diverse deforestation processes. *Applied Geography*, 17, 143-162.
- Miyamoto, M. (2020). Poverty reduction saves forests sustainably: Lessons for deforestation policies. *World Development*, 127, 104746. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104746>

- Monjardín-Armenta, S. A., Pacheco-Angulo, C. E., Plata-Rocha, W., & Corrales-Barraza, G. (2017). La deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México. *Madera y bosques*, 23(1), 7-22. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311482>
- Morales-Barquero, L., Borrego, A., Skutsch, M., Kleinn, C., & Healey, J. R. (2015). Identification and quantification of drivers of forest degradation in tropical dry forests: A case study in Western Mexico. *Land Use Policy*, 49, 296-309. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.07.006>
- Nagothu, U. S. (2001). Fuelwood and fodder extraction and deforestation: Mainstream views in India discussed on the basis of data from the semi-arid region of Rajasthan. *Geoforum*, 32(3), 319-332. [https://doi.org/10.1016/S0016-7185\(00\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(00)00034-8)
- Nahib, I., & Suryanta, J. (2017). Forest cover dynamics analysis and prediction modelling using logistic regression model (case study: Forest cover at Indragiri Hulu Regency, Riau Province). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 54, 012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/54/1/012044>
- Núñez-López, D., Muñoz-Robles, C. A., Reyes-Gómez, V. M., Velasco-Velasco, I., & Gadsden-Esparza, H. (2007). Characterization of drought at different time scales in Chihuahua, México. *Agrociencia*, 41(3), 253-262.
- Osorio, L. P., Mas, J.-F., Guerra, F., Maass, M., Osorio, L. P., Mas, J.-F., Guerra, F., & Maass, M. (2015). Análisis y modelación de los procesos de deforestación: Un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México. *Investigaciones geográficas*, 88, 60-74. <https://doi.org/10.14350/rig.43853>
- Pineda-Jaimés, N. B., Bosque-Sendra, J., Gómez-Delgado, M., & Plata-Rocha, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*, 69, 33-52.
- Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101, 251-268.
- Porrás-Carrillo, E. (1999). La Sierra Tarahumara de Chihuahua (México): Una región multiétnica y pluricultural. *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 51(45). Recuperado de/Retrieved from <http://www.ub.edu/geocrit/sn-45-51.htm>
- Quintana-Silveyra, V. (2020). El despojo sin fin a los pueblos de la sierra tarahumara. *Diario La Jornada*. Recuperado de/Retrieved from <https://www.jornada.com.mx/2020/11/21/delcampo/articulos/despojo-tarahumara.html>
- RAN (2021). *Sistema de Información Geoespacial del Catastro Rural*. Recuperado de/Retrieved from <https://sig.ran.gob.mx/sigKML.php>
- Ranjan, R. (2019). Assessing the impact of mining on deforestation in India. *Resources Policy*, 60, 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.11.022>
- Reyes-Gómez V.M., Díaz S., Brito-Castillo L. & Nuñez-López D. 2013. ENSO/drought effects and their impact in the ecology and economy of the state of Chihuahua, Mexico. pp.101-117, In Yañez A., Dávalos-Sotelo R., Day J.W. & Reyes E. (Edits.), *Ecological dimensions for sustainable socio economic development*. WIT Press, Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton, SO40 7AA, UK.
- Reyes-Hernández, H., Aguilar, R. M., Aguirre, R. J. R. y Trejo, V. I. (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso de suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *Investigaciones Geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. (59): 26-42
- Rocha, F. (2005). *Programa de Manejo Integral de la Cuenca del río Conchos*. Grupo Interinstitucional de Trabajo-Gobierno del Estado de Chihuahua. Recuperado de/Retrieved from [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/05/07\\_fernando\\_rocha.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/05/07_fernando_rocha.pdf)
- Rodríguez-Pineda, J. A., Carreón, E., Lafon, A., Santos, J., & Ruiz, R. (2017). *Cambio de uso de suelo en la cuenca del río Conchos, Chihuahua, México*. En *La cuenca del río conchos: Una mirada desde las ciencias ante el cambio climático*. (pp. 157-204). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado de/Retrieved from [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/rio-conchos/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/rio-conchos/files/assets/common/downloads/publication.pdf)
- Rosete-Vergés, F. A., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N., Salinas-Chávez, E., & Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y bosques*, 20(1), 21-35.
- Serra, P., Pons, X., & Saurí, D. (2008). Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography*, 28(3), 189-209. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.02.001>
- SGM (2017). *Cartografía de Concesiones Mineras en el Territorio Nacional*. Servicio Geológico Mexicano. Recuperado de/Retrieved from [http://www.datos.economia.gob.mx/RegulacionMinera/Cartografia\\_Minera.7z](http://www.datos.economia.gob.mx/RegulacionMinera/Cartografia_Minera.7z)

- Studnicki-Gizbert, D., & Schecter, D. (2010). The Environmental Dynamics of a Colonial Fuel-Rush: Silver Mining and Deforestation in New Spain, 1522 to 1810. *Environmental History*, 15(1), 94-119. <https://doi.org/10.1093/envhis/emq007>
- Torres-Rojo, J. M., Magaña-Torres, O. S., Moreno-Sánchez, F., Torres-Rojo, J. M., Magaña-Torres, O. S., & Moreno-Sánchez, F. (2016). Predicción del cambio de uso/cobertura arbolada en México a través de probabilidades de transición. *Agrociencia*, 50(6), 769-785.
- UACJ. (2019). *Programa Estatal de Cambio Climático: Chihuahua 2019*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez-Gobierno del Estado de Chihuahua. Recuperado de/Retrieved from <http://lanti.uacj.mx/PECC/web/multimedia/PECC%204%20jun.pdf>
- Van Rompaey, R. S. A. R. (1995). *Climate change and deforestation in West Africa: A space-time trend analysis of rainfall series from Côte d'Ivoire and Liberia*. En S. Zwerver, R. S. A. R. van Rompaey, M. T. J. Kok, & M. M. Berk (Eds.), *Studies in Environmental Science* (Vol. 65, pp. 417-420). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-1116\(06\)80231-1](https://doi.org/10.1016/S0166-1116(06)80231-1)
- Wilson, K., Newton, A., Echeverría, C., Weston, C., & Burgman, M. (2005). A vulnerability analysis of the temperate forests of south central Chile. *Biological Conservation*. 122(1), 9–21.
- Zulu, L. C., & Richardson, R. B. (2013). Charcoal, livelihoods, and poverty reduction: Evidence from sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development*, 17(2), 127-137. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.07.007>

# Sostenibilidad de los cultivos subtropicales: claves para el manejo del suelo, el uso agrícola y la Ordenación del Territorio

Sustainability of subtropical crops: keys for land management, agricultural use, and spatial planning

JESÚS RODRIGO-COMINO<sup>1</sup>  0000-0002-4823-0871

ANDRÉS CABALLERO-CALVO<sup>1</sup>  0000-0002-4382-0055

LUCA SALVATI<sup>2</sup>

JOSÉ MARÍA SENCIALES-GONZÁLEZ<sup>3</sup>  0000-0002-7858-1357

<sup>1</sup> Universidad de Granada. España.

<sup>2</sup> University of Macerata. Italia

<sup>3</sup> Universidad de Málaga. España

## Resumen

El manejo del suelo es un tema clave para la correcta conservación del territorio, que permite contribuir al cuidado del medioambiente y garantizar la seguridad alimentaria. Su gestión poco sostenible, debido al uso de herbicidas, el laboreo o la intensificación de las plantaciones, dificulta la compleción de dichas metas. En la costa meridional de la Península Ibérica, en las provincias de Málaga, Granada y Almería, la sustitución de especies tradicionales (olivar, vid y almendro) por cultivos subtropicales está generando una desestabilización del suelo poco estudiada. El objetivo de esta investigación es el estudio exhaustivo de las condiciones del suelo utilizando perfiles y descripciones edáficas junto con análisis de suelo. El área de estudio es una parcela experimental en el Valle del Guadalhorce (Málaga) con cultivos de aguacate, mango y mandarinos. Los resultados muestran la degradación del perfil del suelo en todos sus horizontes y la pérdida de propiedades como consecuencia de un modelo de gestión poco sostenible. Esto repercute en la calidad de la producción y en la productividad. Son necesarias medidas de control de la degradación, no solo a nivel parcelario, si no a nivel regional para que dicho problema no se traslade a una mayor escala en el territorio.

Palabras clave: mango; aguacate; mandarino; degradación del suelo; planificación agrícola; ordenación del territorio.

### Fechas • Dates

Recibido: 2021.09.21  
Aceptado: 2021.02.03  
Publicado: 2022.03.02

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Andrés Caballero-Calvo  
[andrescaballero@ugr.es](mailto:andrescaballero@ugr.es)

## Abstract

Soil management is a key issue for the correct conservation of the land, which allows us to guarantee the care of the environment and guarantee the food security of the population. However, unsustainable management due to the use of herbicides, tillage and intensification of plantations are difficulting this task. On the southern coast of the Iberian Peninsula, in the provinces of Málaga, Granada and Almería, the introduction of subtropical crops as a replacement for other traditional species (olive groves, grapevines and almonds) is generating a destabilization of the soil, to date little studied. Therefore, the main goal of this research is to carry out an exhaustive study of soil conditions using soil profiles and descriptions together with soil analysis, considering an experimental plot in the Guadalhorce Valley (Málaga) as the study area with avocado, mango and mandarin crops. The results show how the degradation of the soil profile in all its horizons and properties after unsustainable management is intense. This will affect the quality of production and productivity. Therefore, degradation control measures are necessary, not only at the parcel level, but also at the regional level so that this problem does not spread to a larger scale in the territory.

---

Keywords: mango; avocado; mandarin; soil degradation; agricultural planning; spatial planning.

---

## 1. Introducción

Los retos de sostenibilidad promulgados por Naciones Unidas apuntan que el suelo es la clave para alcanzar una gestión respetuosa del medio natural y garantizar la seguridad alimentaria (Sims et al., 2019; Smith et al., 2021). Sin embargo, no en todos los campos cultivados del mundo esta premisa está siendo respetada. Especialmente grave es la situación de los cultivos leñosos, que suelen presentar altas tasas de erosión que ponen de manifiesto su falta de sostenibilidad (Jianjun et al., 2017). Estos procesos de degradación se producen como consecuencia de condiciones ambientales favorables a la erosión y pérdida de calidad del suelo pero también como resultado de la implementación de usos del suelo poco sostenibles (Incerti et al., 2011; Panagos et al. 2015).

En el área mediterránea se han registrado tasas de erosión que superan claramente los niveles sostenibles permitidos, estimados en torno a 1.1 Mg/ha/año (Verheijen et al., 2009). Algunos de los usos del suelo con mayores tasas de degradación en la franja sur mediterránea española son el olivar y el viñedo, con valores superiores a 30 Mg/ha/año en campos con suelos descubiertos de vegetación, fuertes pendientes y afectados por el uso de maquinaria (Taguas et al., 2015) y herbicidas (Novara et al., 2019). Sin embargo, la vulnerabilidad específica a la degradación es aún desconocida para áreas donde se ha producido un cambio drástico de uso del suelo hacia otro tipo de cultivos leñosos, como los subtropicales, en la búsqueda de una mayor rentabilidad de las explotaciones.

Históricamente, la vid, el olivo y el almendro, junto a cítricos como los naranjos o los limoneros, han sido algunos de los usos más relevantes en el litoral mediterráneo peninsular, tanto por producción como por la calidad de sus productos, a pesar de registrar altas tasas de erosión o pérdida de calidad (Martínez-Casasnovas & Ramos, 2006). En Andalucía, datos recientes (<https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio>) demuestran que la superficie plantada de algunos subtropicales (como el mango o el aguacate) podría superar en breve a la del viñedo o del almendral. Esto se produce a través de la sustitución y ocupación de sus suelos y mediante la recuperación de campos anteriormente abandonados por falta de productividad o interés, pro-

cesos que vinculados a la presente desestabilización demográfica y socioeconómica del mundo rural (Salvati, 2013).

No son pocos los estudios que demuestran que cambios de uso del suelo sin una correcta gestión o medidas de control sostenibles pueden conducir al incremento de las tasas de degradación (Bakker et al., 2008). Sin embargo, no existen estudios del Mediterráneo europeo que demuestren que los cambios de uso hacia cultivos subtropicales incrementen la degradación del suelo al reducir su espesor, fertilidad y productividad. Esta ausencia de información dificulta una intervención necesaria (Bonilla et al., 2012), ya que se trata de suelos fuertemente afectados por los mencionados procesos de degradación (Martínez-Valderrama et al., 2016). Además, las fuertes precipitaciones concentradas en pocos eventos y las elevadas pendientes inducen fuertes tasas de erosión, lavado de nutrientes y escasez de recursos hídricos (Panagos & Katsoyiannis, 2019).

Estos estudios forman parte del avance en los conocimientos en la agricultura de conservación, recomendada por la Unión Europea (Reg. EU No. 1308/2013). Entender la respuesta del suelo tras cambios de uso brinda la oportunidad de diseñar medidas de control, adaptación o prevención para nuevas áreas de acogida de cultivos subtropicales dentro del marco del cambio climático y la sostenibilidad en la franja mediterránea. El agotamiento del recurso suelo por la ausencia de medidas obligaría a los agricultores a buscar nuevas áreas con suelos fáciles de manejar (e.g. mediante la roturación de bosques) o a abandonar su actividad (Cramer et al., 2008), alejándonos de uno de los objetivos de la Sociedad del Horizonte 2020: “Seguridad alimenticia; agricultura y silvicultura sostenibles; investigación marina, marítima y costera; y bioeconomía”.

Los cultivos subtropicales de la costa meridional española son un claro caso de gestión conducente a la degradación, requiriendo la ejecución de estudios que permitan disponer de información para la mejora de la conservación de su calidad y productividad agrícola (Durán Zuazo et al., 2005). Estas investigaciones deberían proponer la cuantificación de la pérdida y el deterioro del suelo en las explotaciones agrícolas sobre tierras que, en principio, no estaban destinadas a este fin y diseñar, junto con los agricultores, gestiones alternativas que permitan reducir las pérdidas de suelo para hacer sostenible la producción (Bayat et al., 2019). El paso a cultivos subtropicales como el mango (*Mangifera indica*), el mandarino (*Citrus reticulata*) o el aguacate (*Persea americana*) (objetivos de esta investigación) en la franja este y meridional española podría mostrar cómo estas transformaciones se acelerarían exponencialmente en las próximas décadas.

Los cultivos subtropicales son representativos del Mediterráneo en la actualidad, extendiéndose por una gran parte de la provincia de Málaga. En esta provincia, la extensión de mango y aguacate alcanza 3277 ha (97% de la producción andaluza) y 6762 ha (más del 50% de la producción española y el 69% de la andaluza), respectivamente, cifras muy cercanas a las 4000 ha del viñedo, que superaba durante el siglo pasado las 15000 ha. No obstante, Málaga cuenta con más de un 36% de su superficie con pendientes superiores al 16% en sus laderas y tormentas con intensidades registradas de más de 100 mm en 24 horas con una recurrencia media de 2 años (Senciales González & Ruiz Sinoga, 2013), por lo que se trata de territorios en los que la ausencia de estudios como el que proponemos puede ocasionar la implementación de modelos de gestión no adaptados a sus características ambientales.

Así, es necesario un análisis pormenorizado de los tipos de suelos que albergan cultivos subtropicales y observar sus diferencias desde el punto de vista de la gestión sostenible. Por lo tanto, el principal objetivo de este trabajo es realizar una serie de perfiles de suelos (cinco repeticiones por cultivo) y análisis de laboratorio sobre un terreno experimental con gestión convencional del

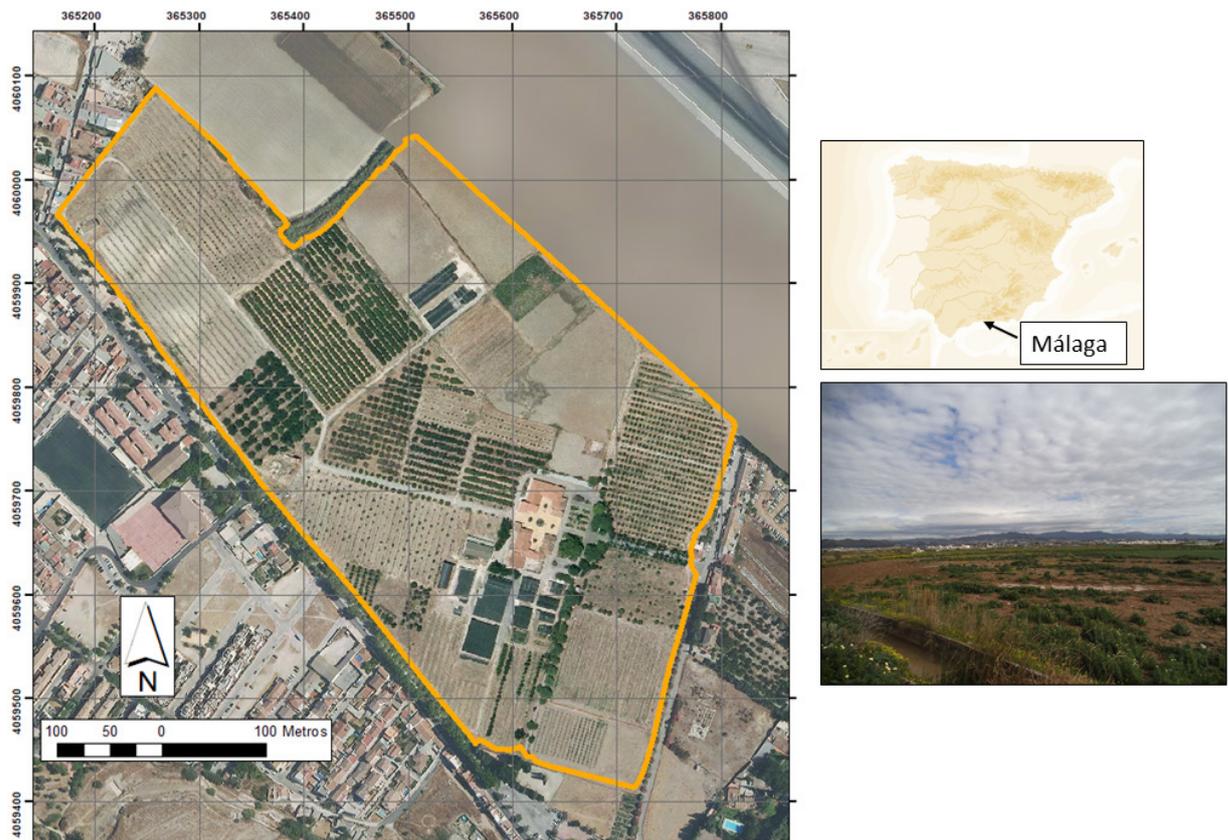
suelo que tiende al abandono, uso de herbicidas, suaves pendientes y riego por goteo, todos ellos representativos del Valle del Guadalhorce (provincia de Málaga - España). Mediante tres exámenes exhaustivos en suelos cultivados con mangos, aguacates y mandarinos, se ha determinado si el suelo (hasta los 30 cm de profundidad) se mantiene con una calidad apta. El análisis de la conservación de su potencialidad es necesario para el establecimiento del uso más aconsejable y su promulgación en los correspondientes planes de ordenación territorial.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Área de estudio

Las parcelas experimentales están localizadas en la explotación del IFAPA (Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica), de la pedanía de Churriana, en la cuenca baja del valle del Guadalhorce (Figura 1).

Figura 1. Área de estudio.

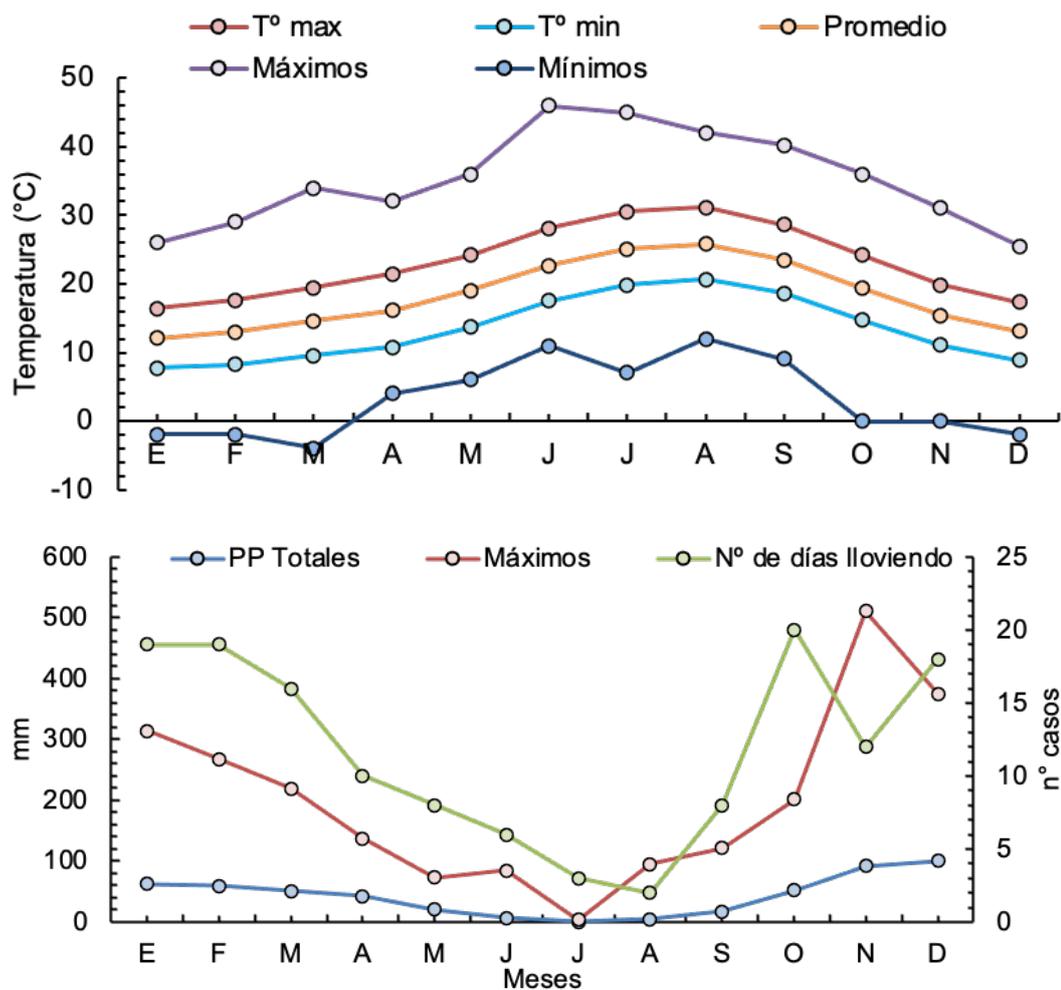


Fuente: elaboración propia. Imagen: Instituto Geográfico Nacional.

Recibe una marcada influencia del Mar Mediterráneo y está en contacto con los Montes de Málaga por el norte y este y la Sierra de Mijas por el sur. Se sitúa entre los 0 y 300 m de altitud, con pendientes inferiores al 10%. Los suelos se relacionan con materiales sinorogénicos y mezclas fluviales o procedentes de unidades circundantes (calcáreos, marmóreos y pizarrosos) (Rodrigo-Comino *et al.*, 2021). El clima es típicamente mediterráneo con una marcada irregularidad en

las precipitaciones y las temperaturas (Figura 2; datos obtenidos de: Rodrigo-Comino, Senciales González & González Moreno, 2014). La temperatura media anual es de 18.3 °C, con unas mínimas en enero de 12.1 °C y máximas en agosto de 25.8 °C. Se pueden alcanzar temperaturas medias máximas diarias de 38.7°C y mínimas de 1.6 °C. El promedio anual de lluvias anuales es de 512 mm, con una concentración de eventos torrenciales durante otoño e invierno (octubre-marzo), con intensidades medias de 11.8 mm, frente a los de primavera-verano, que alcanzan 7.15 mm.

Figura 2. Temperaturas y precipitaciones mensuales en la estación experimental.



Fuente: elaboración propia a partir datos de la estación meteorológica del IFAPA, Churriana.

La finca de IFAPA-Churriana se dedicaba al estudio de diferentes variedades de caña de azúcar hasta en un 90% de su superficie. Fruto del abandono, actualmente se pueden encontrar restos de antiguos tocones. Tras numerosas restauraciones, la parcela seleccionada ha albergado plantaciones de aguacates, mandarinos y mangos, cultivos que no han ofrecido los resultados deseados desde el punto de vista del establecimiento de los usos más productivos y sostenibles para este tipo de suelos y contexto ambiental.

## 2.2. Parcelas experimentales y cultivos subtropicales seleccionados

El área de estudio se divide en parcelas llanas con un total de 8170 m<sup>2</sup> (95x86 m), divididas en 14 lomos o caballones con una separación de 7 m entre ellos, lo que deja un marco de

plantación de 7x4 m, con la posibilidad de aumentar en un futuro a 7x8. Los caballones sobre los que se desarrollan los aguacates, mandarinos y mangos son de 3 m de ancho y 0.8 m de altura. La parcela presenta una orientación sur-suroeste, con una media de 6634.7±286.9 horas de sol en el período 2002-2010. Las especies utilizadas son Hass y Bacon para los aguacates, Kent para los mangos y la variedad castellana para los mandarinos. La cobertura vegetal del suelo es inexistente y muchos pies están dañados por la acción del sol y el uso inapropiado de herbicidas. También se ha registrado la existencia de pequeñas plagas de caracoles (género *Helix*), vestigios de ácaro cristalino (*Oligonychus perseae*) y de pulgón negro (*Aphis fabae*). El riego parte de una tubería de polietileno de 40 mm y 6 atm, dividida en 14 secciones secundarias de 18 mm, una por fila de árboles. La fisiografía del área está marcada por una topografía suavemente ondulada, enmarcada en la llanura aluvial del valle del Guadalhorce. Con una inclinación llana o casi llana (0-2%), presenta usos del suelo agrícolas: arado, fitosanitarios y herbicidas, riego, acumulaciones de arena, compactación de la superficie, etc. La profundidad efectiva del suelo puede alcanzar los 30 cm. La cubierta superficial no tiene afloramientos rocosos y existe una separación menor de 2 m entre las gravas de mayor tamaño (2-6 cm). Existe erosión hídrica con generación de rills y escorrentía superficial laminar que, posiblemente, hayan dañado algunas funciones biológicas de los horizontes superficiales O y A. El drenaje es deficiente, el agua queda encharcada la superficie. La permeabilidad es escasa, impidiendo que el agua empape el suelo en profundidad. Se aprecian pequeñas costras y grietas superficiales debido a las labores de aplicación de carbonatos y el uso de maquinaria.

### 2.3. Evaluación de suelos

Se han analizado una serie de datos extraídos durante el trabajo de campo, análisis de laboratorio y bibliografía. El estudio del suelo se realiza con métodos mixtos entre la agronomía, la edafología, la ecología o la geografía de los suelos (Rodrigo-Comino et al., 2018). En primer lugar, se designaron tres ubicaciones para los levantamientos de perfiles edáficos. Posteriormente, se procedió al análisis de laboratorio. Cinco perfiles edafológicos cercanos a árboles en cada parcela fueron realizados por la misma persona para homogeneizar cualquier error de visualización o interpretación. Tras cada perfil, se realizaron muestreos (de 0.5 a 1 kg) de suelos compuestos (2 por perfil; un total de 10 por área), colocados en el mismo contenedor y bien mezclados. Los análisis se realizaron en el laboratorio del IFAPA. Los análisis de suelos se realizaron hasta una profundidad de 30 cm. Al ser campos labrados, por lo tanto, removidos, se consideró que no era necesario analizar los horizontes superficiales. La medida de 30 cm se corresponde con la franja de suelo considerada fértil. Esto es común para comparar perfiles de suelos cultivados y labrados con espesores de horizontes que pueden variar a lo largo del tiempo en función de su modelo de gestión.

Los perfiles fueron descritos siguiendo el manual de suelos de la FAO (FAO, 2017) y clasificados según la clasificación más reciente (IUSS Working Group WRB, 2015). Se incluye información sobre: profundidad, color, límite de los horizontes; afloramientos rocosos; superficie cubierta; pedregosidad superficial; erosión; sellado de la superficie (costras); grietas y otras características superficiales; relación agua-suelo; clases de drenaje; capa de agua en el suelo; manchas de color; estructura; consistencia; poros; cutanes y presencia de nódulos; cementación y compactación; y raíces.

Para realizar las taxonomías pertinentes, se controló la expresión, el espesor y la profundidad de las capas, contrastándolas con los requerimientos de los horizontes, propiedades y materiales

de diagnóstico morfológico o analítico. Se utilizó la combinación de 32 nombres de GSR (Grupo de Suelos de Referencia) acompañados de unos calificadores integrados para escalas entre 1:1,000,000 a 1:10,000,000. Finalmente, se realizó una evaluación conjunta para establecer qué tipo de suelo es sostenible tras el cultivo prolongado de mango, aguacate y mandarino.

### 3. Resultados

#### 3.1. *Perfiles de suelos cultivados con aguacates*

En la figura 3, se puede apreciar un ejemplo de los perfiles de suelo elaborados en la plantación de aguacates. Los colores varían desde 5YR 2/2 a 7.5YR 2/2. La superficie es poco rocosa (2-5%, menos de 2 m entre las piedras) y el tamaño de los fragmentos es de gravas medianas (2-6 cm). Existe erosión hídrica (surcos y laminar) y depósito. Hay evidencias de daño en horizontes superficiales y algunas funciones biológicas han sido parcialmente destruidas. Hay además sellado de la superficie en forma de costras finas grietas superficiales muy finas y cerradas. Estas incrementan su tamaño y número cuando se utilizan gomas de riego por goteo. La clase de drenaje es "imperfectamente drenado", ya que presenta escasa permeabilidad debido a su alto contenido en arcillas, provocando que el agua sea lentamente eliminada de un suelo que, por lo tanto, permanece mojado durante apreciables períodos de tiempo. Al saturar el suelo con agua, se observa una capa moderadamente profunda (30 cm) donde no hay costras.

Se pueden establecer los límites de los horizontes de la siguiente forma: i) 0-2/3 cm (muy abrupto e irregular); ii) 2/3-50 cm (abrupto y plano); y iii) 50-70 cm (gradual y plano). No se observan manchas en el horizonte más superficial, pero sí en los subyacentes definido como consecuencia de la materia orgánica, la oxidación y los carbonatos. La estructura del suelo en el horizonte superficial está fuertemente desarrollada en bloques angulares y gruesos. En profundidad, también está fuertemente desarrollada en bloques subangulares y gruesos. La consistencia, en el horizonte superficial, es extremadamente dura, presentando gran resistencia a la presión, no rompiéndose manualmente. En húmedo también es extremadamente firme. En mojado no es adherente, no quedando restos en los dedos. El horizonte sub-superficial, en seco, también es extremadamente duro; en húmedo, se muestra friable; y, en mojado, muestra una ligera adherencia y no es plástico.

La tipología de los poros en el horizonte superficial es intersticial/vesicular (irregulares, discontinuos o interconectados, formados como resultado del cultivo) y en el horizonte inferior, su tipología es vesicular. Tienen origen sedimentario o comprimidos por lluvia o arado, siendo poco importantes para el crecimiento de las plantas. Solo se aprecian cutanes débiles y horizontales en el horizonte superior. La cementación y compactación en ambos horizontes se extiende casi sin interrupciones con estructura nodular/laminar (nódulos y láminas horizontales o subhorizontales). Por último, se observan muy pocas raíces diferentes al aguacate (20-50), horizontales y muy finas (2-5 mm).

Figura 3. Ejemplo de perfil de suelo en el cultivo con aguacates.



Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Perfiles de suelos cultivados con mangos

En la figura 4, se muestra un perfil realizado en el cultivo con mangos. Los colores varían desde 7.5YR 3/2 a 10YR 2/2. Encontramos una profundidad efectiva extremadamente superficial (<10 cm). Como en el anterior perfil, hablamos de suelos poco rocosos, con pedregosidad superficial de 2-5%. El tamaño de los fragmentos es de gravas medianas. Existe erosión hídrica (surcos y laminar) y depósito, hay evidencias de daño en horizontes superficiales y deterioro de las funciones biológicas, por ejemplo, por ausencia de un claro horizonte A. Se observa sellado superficial con costras finas, grietas muy finas y cerradas que impiden la buena aireación e infiltración del agua. Así, se puede clasificar como suelo imperfectamente drenado (el agua es eliminada lentamente, permanece mojado apreciables períodos). Al saturar el suelo, la capa de agua es moderadamente profunda.

Se pueden establecer como límite de los horizontes dos claramente diferenciados: desde 0-0.5/1 cm y hasta 70 cm. Las manchas de color no se aprecian en el primer horizonte y se observan pocas en el horizonte subsuperficial y un contraste destacado. Se observan manchas pertenecientes a materia orgánica (enterrada) y carbonatos. El horizonte más superficial no tiene estructura y el segundo muestra unos rasgos de fuerte desarrollo, en bloques angulares y gruesos. Esto conlleva que el horizonte superficial no tenga tampoco consistencia. El horizonte subyacente en seco es extremadamente duro, en húmedo es muy firme y en mojado no es ni adherente y ni plástico. Los poros solo son visibles de tipología tubular/vugh en el horizonte sub-superficial. La cimentación es discontinua (capa cementada o compactada en más del 50-90%, extendiéndose casi sin interrupciones) con una estructura nodular. Tampoco se observan raíces que no sean de los mangos.

Figura 4. Ejemplo de perfil de suelo en el campo cultivado con mangos.



Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Perfiles de suelos cultivados con mandarinos

En la Figura 5, se presenta un perfil de suelo del cultivo con mandarinos. Los colores distinguibles van desde 7.5YR 3/2 a 10YR 2/2. La profundidad efectiva del suelo es algo mayor, superficial (30-50 cm). No se observan tampoco afloramientos rocosos: la superficie cubierta es muy poco pedregosa y el tamaño de los fragmentos es de gravas medianas. También se aprecian signos de erosión hídrica (surcos y laminar) y depósito. Hay evidencias de daño en horizontes superficiales y algunas funciones biológicas deterioradas en las plantas. Existe un sellado de la superficie (costras) con costras finas. Las grietas superficiales son finas y cerradas. El suelo está escasamente drenado (el suelo permanece mojado durante largos períodos de tiempo). Se observa suelo húmedo al saturar hasta los 20 cm (superficial). Se pueden establecer los límites entre horizontes como sigue: i) 0-5 cm (abrupto e irregular); ii) 5-20.5 cm (abrupto y plano); y, iii) 20.5-70 cm (abrupto y plano). En los dos primeros horizontes no se observan manchas de color. Por el contrario, en el subyacente sí y con un contraste definido (se ven con claridad, aunque sin resaltar demasiado de la matriz del suelo). En el horizonte superficial, la estructura está fuertemente desarrollada, en bloques subangulares y gruesos. En el horizonte intermedio, la estructura es moderadamente desarrollada, en bloques subangulares y gruesos. Por último, el horizonte sub-superficial muestra una estructura moderadamente desarrollada, laminar y gruesa. La consistencia varía entre ellos. En el primer horizonte, en seco, se muestra dura. En condiciones húmedas es firme. En mojado, no hay adhesividad porque no queda adherido a los dedos, pero sí es plástico. En el horizonte intermedio, en seco, la consistencia es muy dura. En húmedo, se mantiene firme (se desmenuza con moderada presión entre pulgar e índice). Bajo condiciones de saturación, no hay adhesividad porque no queda adherido a los dedos ni se muestra plástico. El horizonte inferior, en seco, es ligeramente duro. En estado húmedo es muy friable y en mojado se podría considerar entre adherente a muy adherente, siendo muy plástico. Los poros son irregulares, de tipo vugh y muy finos. Se pueden encontrar cutanes bajo el horizonte más superficial. Su naturaleza es arcillosa en la cara de los agregados. Se observa una cementación y compactación de tipo quebrada, con estructura entre laminar y

nodular. Finalmente, aparecen algunas raíces: de forma frecuente, horizontales y medianas en los dos primeros horizontes, pero muy pocas en profundidad.

Figura 5. Ejemplo de perfil de suelo en el cultivo con mangos.



Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Análisis físico-químico de las propiedades relevantes de los suelos muestreados

En las Tablas 1, 2 y 3 se presentan los valores de las propiedades físico-químicas del suelo hasta una profundidad de 30 cm. La densidad aparente revela suelos compactados con fuerte contenido en arcillas que van desde francos a franco-arcillosos. Esto genera suelos con baja permeabilidad, alta compacidad, dificultades de laboreo y con una capacidad de retención de agua que aumenta conforme descendemos en el perfil. La profundidad efectiva muestra suelos con pocas posibilidades de desarrollo radicular profundo, bastante compactado y, posiblemente, con problemas de infiltración.

El pH marca la actividad de los iones  $H^+$  en la suspensión del suelo. En los suelos estudiados, supera con creces el nivel básico, rozando en ocasiones los niveles de extrema alcalinidad. Esto se traduce en un alto contenido de bases intercambiables, pero existen problemas de asimilación debido a los carbonatos, bloqueándose los microelementos y la actividad microbológica, que podría ser fundamental para el desarrollo del humus y la materia orgánica. Los resultados revelan que, en relación con el anterior apartado, encontramos un suelo pobre en sus niveles de contenido orgánico por el bloqueo de los carbonatos. Se aprecia la necesidad de enriquecer los horizontes A superficiales. Respecto a la salinidad, no existen problemas. El contenido en carbonatos es muy elevado, generando bloqueos de la materia orgánica, compactación, laminación y formación de nódulos calcáreos. Con respecto al CIC (capacidad de intercambio catiónico), los resultados muestran suelos muy pobres que necesitan más cantidad de materia orgánica pues, aunque se dispone de gran contenido en bases para el intercambio, quedan bloqueadas por los carbonatos. Finalmente, se aprecia que para el nitrógeno y la relación C/N los niveles oscilan entre normales y bajos en la liberación de nitrógeno, lo que empobrece el suelo (impedida esta propiedad por la mala aireación del aire, como ya comentamos anteriormente).

Tabla 1. Propiedades del suelo en cultivos con aguacates desde 0 a 30 cm.

Ítems	Perfil 1	Calificación	Baremos
Densidad aparente	1.36	Franca	1.35 – 1.4
Textura	Arena: 36.4% Limo: 35% Arcilla: 28.6%	Franco-arcillosa	10-30% de arcillas
Profundidad efectiva (riego)	10-30 cm	Clase 4H	7/8 (8 no regable)
pH	8.18	Alcalino (7.6-8.5)	Altos contenidos de bases para el cambio, pero problemas de asimilación por carbonatos (bloqueo)
Materia orgánica (%)	2.53	Normal (2-2.5)	Mineralización de carácter medio
Salinidad según conductividad	0.39	Ninguna (<2 dS m <sup>-1</sup> )	Efectos despreciables de la salinidad
Caliza total	64.2%	Muy alta (>40%)	Forma móvil de los carbonatos
Caliza activa	13.1%	Muy alta (>9%)	Reserva inmediata de carbonatos
Calcio	11.81 meq/100g	Normal (10-14)	-
Magnesio	3.3 meq/100g	Alto (2.51-4)	-
Sodio	0.03 meq/100g	Muy bajo (0-0.3)	-
Potasio (fertilidad)	0.37 meq/100g	Bajo (0.31-0.6) en un suelo franco	Secano (baja) Regadío extensivo (bajo) e intensivo (bajo)
CIC	15.49 meq/100g	Suelo bajo (10-20 meq/100g)	-
CTC (CIC+NH <sup>4+</sup> )	15.49+0.1= 15.59	Suelo medio (10-20 meq/100g)	-
Saturación de bases (CIC*100/CTC)	99.35%	>90% Suelo saturado en bases	Alto estado de floculación.
Nitrógeno	0.1%	0.06-0.1 (Bajo)	Baja mineralización
Relación C/N	14.68	12-15 (escasa liberación)	Baja actividad microbiológica, baja fertilidad.
Fósforo (fertilidad)	65.5	-	Secano (muy alta) Regadío extensivo (muy alta) e intensivo (muy alta)

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de laboratorio de IFAPA.

Tabla 2. Propiedades del suelo en cultivos con mangos desde 0 a 30 cm.

Ítems	Perfil 1	Calificación	Baremos
Densidad aparente	1.33	Franco-limosa	1.25 – 1.35
Textura	Arena: 28.9% Limo: 35% Arcilla: 36.2%	Arcillosa	>30% de arcillas
Profundidad efectiva (riego)	>10 cm	Clase 4H	7/8 (8 no regable)
PH	8.21	Alcalino (7.6-8.5)	Altos contenidos de bases para el cambio, pero problemas de asimilación por carbonatos (bloqueo)
Materia orgánica	2.52	Normal (2-2.5)	Mineralización de carácter medio
Salinidad según conductividad	0.42	Ninguna (<2 dS m <sup>-1</sup> )	Efectos despreciables de la salinidad
Caliza total	56.7%	Muy alta (>40%)	Forma móvil de los carbonatos
Caliza activa	14.1%	Muy alta (>9%)	Reserva inmediata de carbonatos
Calcio	12.62 meq/100g	Normal (10-14)	-
Magnesio	3.56 meq/100g	Alto (2.51-4)	-
Sodio	0.03 meq/100g	Muy bajo (0-0,3)	-

Ítems	Perfil 1	Calificación	Baremos
Potasio (fertilidad)	0.25 meq/100g	Bajo (0-0.3) en un suelo arcilloso	Secano (muy baja) Regadío extensivo (muy baja) e intensivo (muy baja)
CIC	16.46 meq/100g	Suelo bajo (10-20 meq/100g)	-
CTC (CIC+NH <sup>4+</sup> )	16.46+0.12= 16.58	Suelo medio (10-20 meq/100g)	-
Saturación de bases (CIC*100/CTC)	99.3%	>90% Suelo saturado en bases	Alto estado de floculación
Nitrógeno	0.12%	0.11-0.2 (Normal)	Baja mineralización
Relación C/N	12.18	12-15 (escasa liberación)	Poca actividad microbiológica, baja fertilidad
Fósforo (fertilidad)	37.2	-	Secano (alta) Regadío extensivo (alta) e intensivo (alta)

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de laboratorio de IFAPA.

Tabla 3. Propiedades del suelo en los cultivos con mandarinos desde 0 a 30 cm.

Ítems	Perfil 1	Perfil 2	Calificación	Baremos
Densidad aparente	1.38	1,39	Franca	1.35 – 1.4
Textura	Arena: 28.85 Limo: 25 Arcilla: 46.15	Arena: 20,45 Limo: 30 Arcilla: 49,55	Arcilloso o pesado	>30% de arcillas
Profundidad efectiva (riego)	30-50 cm	30-50 cm	Clase 4H	7/8 (8 no regable)
pH	8.42	8.51	Alcalino (7.6-8.5)	Altos contenidos de bases para el cambio, pero problemas de asimilación por carbonatos (bloqueo)
Materia orgánica	1.56	1.26	Baja (1-1.9)	Bloqueo del humus y la actividad microbiológica
Salinidad según conductividad	0.36	0.33	Ninguna (<2 dS m <sup>-1</sup> )	Efectos despreciables de la salinidad
Caliza total	53.3%	45.3	Muy alta (>40%)	Forma móvil de los carbonatos
Caliza activa	13.4%	12.6%	Muy alta (>90%)	Reserva inmediata de carbonatos
Calcio	15.4 meq/100g	16.57 meq/100g	Alto (14-20)	
Magnesio	6.9 meq/100g	11,06 meq/100g	Muy alto (>4)	
Sodio	0.06 meq/100g	0,28 meq/100g	Muy bajo (0-0.3)	
Potasio (fertilidad)	0.33 meq/100g	0.36 meq/100g	Bajo (0.31-0.6) en un suelo arcilloso	Secano (baja) Regadío extensivo (bajo) e intensivo (Muy bajo)
CIC	22.69 meq/100g	28.27 meq/100g	Suelo medio (20-35 meq/100g)	
CTC (CIC+NH <sup>4+</sup> )	22.69+0.08= 22.77	28.2+0.06= 28.26	Suelo medio (20-35 meq/100g)	
Saturación de bases (CIC*100/CTC)	99.6%	99.8%	>90% Suelo saturado en bases	Alto estado de floculación
Nitrógeno	0.08%	0.06%	0.06-0.1 (Bajo)	Baja mineralización
Relación C/N	11.31	12.18	10-12 (normal liberación)	Poca actividad microbiológica, baja fertilidad

Ítems	Perfil 1	Perfil 2	Calificación	Baremos
Fósforo (fertilidad)	23.8	8.6	-	Secano (alta/baja) Regadío extensivo (normal/ muy bajo) e intensivo (bajo/ muy bajo)

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de laboratorio de IFAPA.

### 3.5. Clasificación de suelos

El horizonte A es de espesor muy reducido, con un grado de compactación significativo por los carbonatos y el arado (Ap: “plowing” -arado-). El horizonte B es más profundo, pero se mezcla con el C por la remoción de sedimentos tras el arado. En todos los perfiles la humedad es retenida en mayor medida a partir de los 30 cm aproximadamente, coincidiendo con zonas del suelo donde no llegan las raíces. Los suelos se clasificarían como Antrosoles térricos (IUSS Working Group WRB, 2014). Dicha clasificación corresponde a suelos que han sido tradicionalmente muy modificados por la explotación agraria (riego, labranza, extracciones) o usados como contenedor (adiciones de materiales orgánicos, desechos). Pueden aparecer sobre cualquier material parental que haya sido modificado por cultivos o adición de materiales continuada y profunda. Se observa un desarrollo del perfil altamente restringido a los horizontes más superficiales, que queda supeditado al mantenimiento de la explotación. Cabría aún la opción de determinar el tiempo máximo que podrán ser explotados agrícolamente o según otra función, como sustento de infraestructuras o zonas urbanas.

## 4. Discusión

A pesar de la amplia extensión y aceptación actual de los cultivos subtropicales en Andalucía, estos no se corresponden con los cultivos ecológicamente más asociados a los suelos de la región (Durán, 2007). Esto incrementa sus impactos en la degradación del medio en comparación con otras coberturas vegetales propias de ecosistemas naturales, donde la rapidez del crecimiento de la vegetación es menor y, por tanto, la cantidad de nitrógeno y otros nutrientes captados por las plantas es de menor exigencia edáfica. En la captura de carbono sucede algo similar. En suelos sin labranza, la retención de carbono es mayor que en aquellos otros donde se implementan modelos tradicionales de gestión de la tierra (Novara et al. 2020). Esta variabilidad en los niveles de captación de nutrientes ha sido repetidamente analizada con similares resultados tanto en Latinoamérica (Gardi et al., 2014) como en el sudeste asiático (Shi et al., 2018).

A estas diferencias entre la vegetación natural y la frecuente sobreexplotación del suelo en algunas prácticas agrícolas, hay que añadir el impacto generado por la alteración de la topografía natural para la adecuación del terreno, especialmente en los casos en los que se producen aterrazamientos, si bien estos también contribuyen a la mitigación de la erosión de los horizontes productivos del suelo (Deng et al., 2021; Wei et al., 2016) y al uso de coberturas vegetales (Novara et al. 2021).

Para suavizar posibles problemas de pérdida de fertilidad del suelo frente a prácticas cada vez más extendidas de dominio del monocultivo en superficies crecientes de diferentes contextos geográficos, se plantea la diversificación de los cultivos (e.g. frente al monocultivo de soja en América Latina) (Gardi et al., 2014). No obstante, emerge así la discusión que enfrenta el interés por la rotación de cultivos con las ventajas de los cultivos permanentes gracias a su mayor vinculación a los usos agroforestales (como pueden ser los ejemplos de las plantaciones de cacao o de café,

en esta última promoviendo además su asociación simultánea con otros cultivos, siendo el del banano el más entendido). En este tipo de plantaciones de cultivos permanentes, especialmente cuando se trata de cultivos arbóreos, su asociación al pastoreo genera ventajas extensamente analizadas, pudiendo destacar en el mencionado contexto latinoamericano ejemplos como los del coco, la palma africana o los cítricos (Gardi *et al.*, 2014). En cualquiera de los casos mencionados, la vegetación no cultivada de estos terrenos agrarios desempeña una función crucial para la mitigación de la erosión del viento y, fundamentalmente, de los episodios de lluvias torrenciales o semi-torrenciales propios de este sector de dominio del clima mediterráneo (Casermeiro *et al.*, 2003).

En Europa existe una fuerte tendencia, consolidada en cultivos tradicionales poco sostenibles, a la aparición de diversos procesos de degradación por laboreo y agradación química de los perfiles tras su tratamiento agrícola (Anken *et al.*, 2004; Papiernik *et al.*, 2007). En general, todos los perfiles presentan estructuras fuertemente consolidadas en bloques subangulares y angulares en los horizontes más superficiales, lo que dificulta el arado por la pesadez del suelo, aunque la estructura en bloques beneficie la aireación y percolación del agua (Telak *et al.*, 2021). Sin embargo, cuanto más profundidad en el perfil, la estructura es de componente más laminar como resultado de la presión ejercida por el arado y el paso de maquinaria agrícola. Esto también dificulta en gran medida la penetración de las raíces en el suelo, reduciendo la actividad biológica y la infiltración del agua (disminuyendo la capacidad de campo -posibilidad de contener agua en contra de su punto de marchitez por la fuerte ET existente en la finca-).

Igualmente, hay que considerar los procesos de liberación de nutrientes en el suelo, que van a condicionar su disponibilidad para los cultivos y, por tanto, su fertilidad y productividad. La medición de estos parámetros en cada ámbito de estudio podría ser un campo de investigación en el que profundizar. Estas variables han sido medidas en otros ámbitos de estudio dentro del contexto andaluz alcanzando resultados que podrían ser asimilables. Según Pleguezuelo *et al.* (2011), en el proceso de liberación del nitrógeno en el suelo de la Costa Tropical, tienen lugar periodos de inmovilización que hacen que los cultivos no puedan disponer de este nutriente. En el caso del mango, este periodo emerge como uno de los más dilatados dentro del ámbito de los cultivos subtropicales (0.64 años<sup>-1</sup>).

El mantenimiento de prácticas inadecuadas o la no adaptación de las labranzas tradicionales a lucha contra la erosión y degradación del suelo deben ser abordadas con urgencia. Si bien la globalización responsabiliza a cualquier territorio que incumpla estos preceptos, son especialmente vulnerables aquellos ubicados en regiones con una presión poblacional más intensa, donde la erosión puede resultar un factor determinante de la biocapacidad edáfica de las tierras para el adecuado sustento nutricional de sus habitantes (Panagos *et al.*, 2020).

“Andalucía es la única zona productora dentro del continente europeo que ha desarrollado la fruticultura tropical” (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2015:1), lo que hace que la Política Agraria Común (PAC) carezca de directrices específicamente dirigidas desde la Unión Europea a los cultivos subtropicales y exista un vacío normativo para la regulación de las prácticas asociadas. La reglamentación existente está principalmente encaminada al reconocimiento del valor y calidad del producto y su proceso de producción y no tanto a la evaluación de las consecuencias que las prácticas agrícolas empleadas puedan tener en el suelo a medio o largo plazo. Así, reconocimientos como la GLOBAL G.A.P., la International Food Standard o el certificado de Producción Ecológica, si bien vienen ampliando las variables a considerar para su

otorgación, siguen careciendo de análisis edafológicos integrales que aseguren la sostenibilidad de la explotación del suelo.

Debido a la mencionada exclusividad andaluza de estos cultivos en territorio europeo (sin considerar el territorio canario), la expansión de los últimos años de los terrenos dedicados a los subtropicales puede continuar gracias a la rentabilidad (a pesar del predominio del minifundismo) que otorga la calidad que la cercanía a los mercados (Europa es el principal destino del producto andaluz) permite a la producción en comparación a los mayores productores internacionales, fundamentalmente de América Latina. Si al mencionado minifundismo se le añade el hecho de que para gran cantidad de propietarios de cultivos subtropicales en Andalucía la agricultura no representa su fuente principal de ingresos (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2015), nos encontramos ante una situación de falta de tratamiento especializado a los requerimientos de estos cultivos que permita garantizar su sostenibilidad edáfica.

Por todo lo anterior, la responsabilidad humana en el problema global que representan unos modelos de gestión poco sostenibles del suelo tras un cambio de uso es ya inequívoca. Así, el sector agrario andaluz necesita urgentemente detectar los retos asociados a la expansión de nuevos cultivos, como los subtropicales, para formular soluciones prácticas y sostenibles. La evaluación de la problemática a la que este proyecto se enfrenta resulta imprescindible para lograr el equilibrio entre preservación y mejora del medio ambiente, equidad social y viabilidad financiera y económica. Anticipar estos cambios es clave para combatirlos, máxime en un sector como los cultivos subtropicales, con una capacidad de reacción muy lenta por las propias características del modelo productivo. Si han de rediseñarse los tipos de cultivos, se requerirá un esfuerzo ingente en recursos y tiempo, así como una reubicación en los mercados. Una caída no prevista en los niveles de las cosechas en los productos subtropicales por pérdida de suelo, inundaciones o heladas sostenidas, eventos de gran irregularidad climática y acentuados por el cambio climático, produciría un gran impacto socio-económico. Uno de los principales objetivos de este artículo fue realizar un análisis exhaustivo innovador avalado por una temática con actual interés por parte de la Unión Europea (horizontes 2020), la ONU (Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2015-2030) y la comunidad científica.

Con frecuencia, los análisis agronómicos del terreno tienden a ignorar las características generales del medio, primando sus valores productivos y económicos frente a la visión integral del suelo. La evaluación de suelos debe ser seguida de la de tierras. Aunque el levantamiento de suelos y el mapeo de los mismos no son sinónimos, el primero debe llevar a la producción de un mapa y, con él, a la posibilidad de su utilización como herramienta para la planificación territorial (Miller & Schaeztl, 2014). Al realizar esta taxonomía y análisis sobre suelos en estas parcelas, pretendemos establecer zonificaciones territoriales de los tipos y subtipos en el futuro, conociendo las áreas concretas que ocupa cada tipo de suelo y relacionando procesos edafogenéticos con los factores explicados: evolutivos o dinámicos, propiedades o características intrínsecas del suelo y sus modelos de gestión. Por lo tanto, se agruparán tipos de suelos en una serie de clases y subclases, cuyo significado es abstracto, no natural para una aplicación agrícola, científica y de análisis territorial.

## 5. Conclusiones

La gestión poco sostenible del suelo en campos cultivados con especies subtropicales como el aguacate, el mango o el mandarino está extendiéndose a lo largo de la costa meridional de la Península Ibérica. Es necesario buscar soluciones para frenar un deterioro que, a largo plazo,

puede ser irreparable. Estas soluciones puedan pasar por el uso de cobertura de vegetales o restos de poda y por la diversificación de los cultivos entre las calles con especies como aromáticas o leguminosas, aterrazamientos que reduzcan la intensificación o regulando el cultivo sin límites ante la ausencia de reservas de agua disponible. En este estudio se ha mostrado una investigación experimental para analizar la degradación del suelo con objeto de observar y cuantificar dicha degradación. Nuestros resultados muestran cómo los horizontes superficiales del suelo han perdido calidad en sus principales propiedades, como la materia orgánica, el pH, los nutrientes, etc. Además, signos de compactación y pérdida de capacidad de retención del agua e infiltración también han sido observadas mediante la realización de los perfiles de los suelos estudiados. Por lo tanto, concluimos que es necesario diseñar estrategias eficientes para recuperar los suelos degradados por modelos de gestión poco sostenibles del suelo (laboreo, herbicidas e intensificación de la plantación). Estos cambios deben implementarse, no solo a escala parcelaria si no a nivel regional, a través de políticas más estables y específicas y capacitando a agricultores y técnicos sobre cómo solucionar eficientemente dichos problemas.

## Agradecimientos

A Guillermo García-Méndez-Villamil, por su apoyo en campo y conocimientos relacionados con los cultivos subtropicales; a José María González-Moreno como tutor de las prácticas de máster de AUTOR1 en IFAPA, Churriana y los datos facilitados del análisis de suelos.

## Contribución de autorías

Jesús Rodrigo-Comino

- Concepción y diseño de la investigación
- Recolección de datos
- Redacción y edición del texto

Andrés Caballero-Calvo

- Concepción y diseño de la investigación
- Tratamiento de datos
- Redacción y edición del texto

Luca Salvati

- Concepción y diseño de la investigación
- Tratamiento de datos
- Redacción y edición del texto

José María Senciales-González

- Concepción y diseño de la investigación
- Recolección de datos
- Redacción y edición del texto

## Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Anken, T., Weiskopf, P., Zihlmann, U., Forrer, H., Jansa, J., & Perhacova, K. (2004). Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland. *Soil & Tillage Research*, 78, 171-183.

- Bakker, M. M., Govers, G., van Doorn, A., Quetier, F., Chouvardas, D., & Rounsevell, M. (2008). The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: The importance of landscape pattern. *Geomorphology*, 98(3-4), 213-226.
- Bayat, F., Monfared, A. B., Jahansooz, M. R., Esparza, E. T., Keshavarzi, A., Morera, A. G., ... & Cerda, A. (2019). Analyzing long-term soil erosion in a ridge-shaped persimmon plantation in eastern Spain by means of ISUM measurements. *Catena*, 183, 104176.
- Bonilla, N., Gutiérrez-Barranquero, J. A., Vicente, A. D., & Cazorla, F. M. (2012). Enhancing Soil Quality and Plant Health Through Suppressive Organic Amendments. *Diversity*, 4(4), 475-491. <https://doi.org/10.3390/d4040475>
- Casermeiro, M. A., Molina, J. A., De la Cruz Caravaca, M. T., J.H., H. C., Hernando Massanet, M. I., & Moreno, P. S. (2003). Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. *Catena*, 57, 91-107.
- Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural (2015) El sector de los cultivos subtropicales en Andalucía. Online: [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/estudios\\_informes/16/12/Sector%20subtropicales%20en%20Andalucia.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/estudios_informes/16/12/Sector%20subtropicales%20en%20Andalucia.pdf)
- Cramer, V. A., Hobbs, R. J., & Standish, R. J. (2008). What's new about old fields? Land abandonment and ecosystem assembly. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(2), 104-112.
- Deng, C., Zhang, G., Liu, Y., Nie, X., Li, Z., Liu, J., & Zhu, D. (2021). Advantages and disadvantages of terracing: A comprehensive review. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(3), 344-359. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.03.002>
- Durán Zuazo, V. H., Aguilar Ruiz, J., Martínez Raya, A., & Franco Tarifa, D. (2005). Impact of erosion in the taluses of subtropical orchard terraces. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 107, 199-210.
- Durán, V. H., Rodríguez, C. R., Martín, F. J., & Franco, D. (2007). Valoración del impacto de la implantación de terrazas de cultivo en la costa granadina (SE España). *Actes de les Jornades sobre Terrasses i Prevenció de Riscos Naturals*, 125-130.
- FAO. (2017). *Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Incerti, G., Bonanomi, G., Giannino, F., Rutigliano, F. A., Piermatteo, D., Castaldi, S., De Marco, A., Fierro, A., Fioretto, A., Maggi, O., Papa, S., Persiani, A. M., Feoli, E., Virzo De Santo, A., & Mazzoleni, S. (2011). Litter decomposition in Mediterranean ecosystems: Modelling the controlling role of climatic conditions and litter quality. *Applied Soil Ecology*, 49, 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.06.004>
- IUSS Working Group WRB. (2014). *World Reference Base for Soil Resources 2014*. FAO.
- Jianjun, W., Quansheng, L., & Lijiao, Y. (2017). Effect of intercropping on soil erosion in young citrus plantation—A simulation study. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 8(2), 143-146.
- Lal, R. (2009). Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*, 1(1), 45-57. <https://doi.org/10.1007/s12571-009-0009-z>
- Martínez-Casasnovas, J. A., & Ramos, M. C. (2006). The cost of soil erosion in vineyard fields in the Penedès-Anoia Region (NE Spain). *CATENA*, 68(2-3), 194-199. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.04.007>
- Martínez-Valderrama, J., Ibáñez, J., Del Barrio, G., Sanjuán, M. E., Alcalá, F. J., Martínez-Vicente, S., Ruiz, A., & Puigdefábregas, J. (2016). Present and future of desertification in Spain: Implementation of a surveillance system to prevent land degradation. *The Science of the Total Environment*, 563-564, 169-178. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.065>
- Miller, B. A., & Schaetzl, R. J. (2014). The historical role of base maps in soil geography. *Geoderma*, 230-231, 329-339. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.020>
- Novara, A., Stallone, G., Cerdà, A., & Gristina, L. (2019). The Effect of Shallow Tillage on Soil Erosion in a Semi-Arid Vineyard. *Agronomy* 9(5):257. doi: 10.3390/agronomy9050257.
- Novara, A., Favara, V., Novara, A., Francesca, N., Santangelo, T., Columba, P., Chironi, S., Ingrassia, M., & Gristina, L. (2020). Soil Carbon Budget Account for the Sustainability Improvement of a Mediterranean Vineyard Area. *Agronomy* 10(3):336. doi: 10.3390/agronomy10030336.
- Novara, A., Cerda, A., Barone, E., & Gristina, L. (2021). Cover Crop Management and Water Conservation in Vineyard and Olive Orchards. *Soil and Tillage Research* 208:104896. doi: 10.1016/j.still.2020.104896.
- Panagos, P., Borrelli, P., & Robinson, D. (2020). FAO calls for actions to reduce global soil erosion. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 25(5), 789-790. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09892-3>

- Panagos, P., & Katsoyiannis, A. (2019). Soil erosion modelling: The new challenges as the result of policy developments in Europe. *Environmental Research*, 172(February), 470-474. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.043>
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., van der Zanden, E., Poesen, J., & Alewell, C. (2015). Modelling the Effect of Support Practices (P-Factor) on the Reduction of Soil Erosion by Water at European Scale. *Environmental Science & Policy* 51:23-34. doi: 10.1016/j.envsci.2015.03.012
- Papiernik, S. K., Lindstrom, M. J., Schumacher, T. E., Schumacher, J. A., Malo, D. D., & Lobb, D. A. (2007). Characterization of soil profiles in a landscape affected by long-term tillage. *Soil and Tillage Research*, 93(2), 335-345. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.05.007>
- Pleguezuelo, C. R. R., Zuazo, V. H. D., Fernández, J. L. M., & Tarifa, D. F. (2011). Descomposición de hojarasca y reciclado del nitrógeno de frutales tropicales y subtropicales en terrazas de cultivo en la costa de Granada (SE España). *Comunicata Scientiae*, 2(1), 42-48.
- Rodrigo-Comino, J., Keshavarzi, A., & Senciales-González, J. M. (2021). Evaluating soil quality status of fluvisols at the regional scale: A multidisciplinary approach crossing multiple variables. *River Research and Applications*.
- Rodrigo-Comino, J., Senciales González, J. M., & González Moreno, J. M. (2014). La necesidad de considerar los riesgos climáticos en la introducción de cultivos tropicales en latitudes medias. El mango en el valle del Guadalhorce (Málaga). *Investigaciones Geográficas*, 62, 127-141. <https://doi.org/10.14198/INGEO2014.62.09>
- Rodrigo-Comino, J., Senciales, J. M., Cerdà, A., & Brevik, E. C. (2018). The multidisciplinary origin of soil geography: A review. *Earth-Science Reviews*, 177(Supplement C), 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.008>
- Salvati, L. (2013). Land degradation, rural poverty and the socioeconomic context in the mediterranean region: A brief commentary. *Current Politics & Economics of Europe*, 24.
- Senciales González, J. M., & Ruiz Sinoga, J. D. (2013). Análisis espacio-temporal de las lluvias torrenciales en la ciudad de Málaga. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 61, 7-24.
- Shi, L., Feng, W., Xu, J., & Kuzyakov, Y. (2018). Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials. *Land Degradation & Development*, 29(11), 3886-3897. <https://doi.org/10.1002/ldr.3136>
- Sims, N. C., England, J. R., Newnham, G. J., Alexander, S., Green, C., Minelli, S., & Held, A. (2019). Developing good practice guidance for estimating land degradation in the context of the United Nations Sustainable Development Goals. *Environmental Science and Policy*, 92, 349-355. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.10.014>
- Smith, P., Keesstra, S. D., Silver, W. L., & Adhya, T. K. (2021). The role of soils in delivering Nature's Contributions to People. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0169>
- Taguas, E. V., Guzmán, E., Guzmán, G., Vanwallegghem, T., & Gómez, J. A. (2015). Characteristics and importance of rill and gully erosion: A case study in a small catchment of a marginal olive grove. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 41(1), 107-126. <https://doi.org/10.18172/cig.2644>
- Telak, L. J., Dugan, I., & Bogunovic, I. (2021). Soil Management and Slope Impacts on Soil Properties, Hydrological Response, and Erosion in Hazelnut Orchard. *Soil Systems*, 5(1), 5. <https://doi.org/10.3390/soilsystems5010005>
- Verheijen, F. G. A., Jones, R. J. A., Rickson, R. J., & Smith, C. J. (2009). Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94(1-4), 23-38. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.02.003>
- Wei, W., Chen, D., Wang, L., Daryanto, S., Chen, L., Yu, Y., Lu, Y., Sun, G., & Feng, T. (2016). Global synthesis of the classifications, distributions, benefits and issues of terracing. *Earth-Science Reviews*, 159, 388-403. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.06.010>

# Podcast para el aprendizaje y la difusión de los Fundamentos de la Geografía

## Podcast for learning and disseminating the Fundamentals of Geography

CRISTINA GARCÍA-HERNÁNDEZ<sup>1</sup>  0000-0003-3003-9128

JESÚS RUIZ-FERNÁNDEZ<sup>1</sup>  0000-0001-7161-3320

MARTA HERRÁN-ALONSO<sup>1</sup>  0000-0001-8262-0112

DAVID GALLINAR-CAÑEDO<sup>1</sup>  0000-0002-3643-2660

<sup>1</sup>Departamento de Geografía de la Universidad de Oviedo. España

### Resumen

El colectivo geográfico encuentra en el desconocimiento social de su potencial uno de los principales obstáculos para su crecimiento. Paliar dicho desconocimiento debería constituir uno de sus principales cometidos, algo que puede llevarse a cabo mediante la labor docente e investigadora, o bien mediante iniciativas que vayan más allá del aula universitaria. El presente artículo sintetiza los planteamientos y principales resultados de un proyecto que ha involucrado a 102 estudiantes del Grado Maestra/o en Educación Primaria de la Universidad de Oviedo, en cuyo segundo curso se imparte la asignatura “Fundamentos de la Geografía”. Este ha consistido en la realización de podcasts con una función didáctica, dirigidos al alumnado de Educación Primaria, que expliquen las especialidades, salidas profesionales, principales corrientes y evolución de la Geografía como saber fundamental que ha acompañado a la humanidad en su desarrollo científico y tecnológico, siendo capaz de generar conocimientos de gran valor en la actualidad. De este modo, se busca sacar provecho al potencial educativo y divulgador del podcast fomentando en el alumnado competencias básicas para su futuro profesional, al tiempo que se contribuye a la difusión del conocimiento geográfico a través de la creación de un repositorio virtual de podcast, abierto al público. El proyecto ha sido valorado positivamente a través del uso de tres indicadores relacionados con los resultados académicos y establecidos a partir de unos rangos cuantitativos previamente fijados, así como a través de un cuestionario anónimo dirigido al alumnado de la asignatura.

Palabras clave: Geografía; Educación Primaria; didáctica; divulgación; TIC.

### Fechas • Dates

Recibido: 2021.02.20  
Aceptado: 2021.05.07  
Publicado: 2022.03.04

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Cristina García Hernández  
[garciahcristina@uniovi.es](mailto:garciahcristina@uniovi.es)

## Abstract

Geographers find in the general lack of awareness of their scientific and professional potential one of the main obstacles to their growth as a group. Therefore, scientific dissemination should be one of our main goals as members of this community. The educational experience has involved 102 students of the Degree in Primary Education Teaching (Faculty of Teaching Training and Education of the University of Oviedo), in whose second year the subject “Fundamentals of Geography” is taught. It has consisted of the development of educational podcasts aimed at primary school pupils, which explain different aspects of Geography: its specialties, professional opportunities, the main geographical currents, its foundations and its evolution as an ancient fundamental knowledge with a great current value. The project uses the educational potential of podcasting, so that students develop basic skills for their professional future in a motivating context, but also of its disseminating potential, through the creation of a podcast open-access repository. The project was positively valued through the use of three indicators related to academic results, and with a questionnaire showing the degree of satisfaction of the students.

---

Keywords: Geography; primary school; educational; dissemination; TIC.

---

## 1. Introducción

Uno de los principales retos a los que se enfrenta el profesorado actualmente, es el de abordar el cambio metodológico que acompaña a la transformación de las estructuras educativas en el marco de la sociedad de la información y el conocimiento. Numerosas publicaciones respaldan la validez y utilidad del podcast, en sus diferentes modalidades, como herramienta didáctica en distintos niveles educativos (Moura y Carvalho, 2006; Solano Fernández y Sánchez Vera, 2010). En concreto, existen varios ejemplos internacionales de su aplicación a la enseñanza de la Geografía en el ámbito universitario, tanto en estudios específicos de Geografía (Brown, 2011), como de ciencias sociales en general (Kemp et al., 2013), pudiendo ser una herramienta a aplicar en la formación continua del profesorado de Geografía (Caldis, 2018).

A su aceptación ayuda, en primer lugar, su inclusión en la tradición educativa basada en elementos sonoros, ya bien implantada en la segunda mitad del siglo XX y representada por cursos a distancia basados en la utilización de grabaciones en diferentes formatos (casetes, CDs) o enseñanza a distancia a través de la radio. La radio educativa de la UNED, con más de 45 años de emisiones a través de Radio Nacional de España, representa el mejor ejemplo de esta práctica en nuestro país (Perona Páez y Barbeito Veloso, 2007). El uso de archivos sonoros, por otra parte, se ha visto enormemente favorecido por la utilización creciente de las TIC, la implantación de internet, la facilidad del acceso al software de grabación y edición de audios, y la amplia disponibilidad de dispositivos que permiten su reproducción (Piñeiro-Otero y Costa-Sánchez, 2011).

El podcast educativo ha sido definido como un medio didáctico que se basa en la creación, a partir de un proceso de planificación didáctica, de un archivo de audio (Solano Fernández y Amat Muñoz, 2008). En el ámbito de la enseñanza de la Geografía en los niveles de Educación Primaria y Secundaria, la elaboración de podcasts se ha mostrado como una actividad que contribuye a la asimilación de los conocimientos teóricos (Sánchez, 2012) y a la adquisición de competencias como la capacidad de investigar, reflexionar y organizar las ideas (Pádua-Franco, Sabino y Rezen-de de Faria, 2015), tanto en un contexto de educación a distancia (*e-learning*) como utilizando estas tecnologías como complemento en la educación presencial (*b-learning*). Son muchas las ventajas que han sido identificadas en relación a su inserción en el proceso educativo, como la fle-

xibilidad de uso y el desarrollo de numerosas competencias básicas que se adecuan bien a ciertos estilos de aprendizaje (Baird y Fisher, 2005; Schnackenberg, Vega y Relation, 2009; Skiba, 2006).

El proyecto docente “Geocast: podcast para el aprendizaje y la difusión del conocimiento geográfico” desarrollado en el primer semestre del presente curso con el alumnado de segundo curso del Grado en Maestra/o en EP de la Universidad de Oviedo, ha consistido en la ejecución de podcasts educativos que explican diferentes aspectos relativos a la ciencia geográfica. Estos se abordan, de una forma introductoria, en la asignatura “Fundamentos de la Geografía”, que es impartida en el primer semestre de varios grados de Humanidades, Ciencias Sociales y, como en este caso, Ciencias de la Educación, en la Universidad de Oviedo. En el caso de Fundamentos de la Geografía del Grado que nos ocupa, se imparten los contenidos geográficos básicos para dotar al alumnado de un conocimiento geográfico que le sirva para su futura labor de magisterio. Concretamente, se explican las especialidades de la Geografía Física y Humana, exponiendo los paisajes como el resultado de la interacción, en mayor o menor grado, de los factores naturales y humanos. Se debe hacer constar en este punto que han sido muchas las definiciones que se han dado de los fundamentos de la Geografía, habiendo existido un debate intenso al respecto. No es objeto de este artículo entrar en este tipo de cuestiones, si bien parece necesario hacer constar que, en este caso, por fundamentos entendemos conocimientos fundamentales para comprender la ciencia Geográfica.

Los grados de Ciencias de la Educación, pensados para formar a las maestras y maestros del futuro en las especialidades de Educación Primaria e Infantil, introducen en sus currículos conocimientos muy variados que son en general ajenos al ámbito de las Ciencias de la Educación. Así, no siempre resulta sencillo implicar al alumnado en las diferentes materias de carácter generalista que se imparten en estas titulaciones, como, por ejemplo, matemáticas, ciencias ambientales, arte, lengua y literatura, o idiomas. Esto se traduce en que, a menudo, el porcentaje de la matrícula que asiste regularmente a las clases sea susceptible de mejora, siendo perceptible cierta desmotivación en una parte del alumnado (Fernández Agüero, 2005; Mattos Medina, Prados Megías y Padua Arcos, 2013). Esta situación también afecta a las asignaturas relacionadas con el conocimiento del medio geográfico. En grupos numerosos, como el de “Fundamentos de la Geografía”, impartida en el segundo curso del Grado de Maestro en EP de la Universidad de Oviedo, con más de 225 estudiantes en el presente curso que se reparten en tres grupos de teoría, supone un gran reto involucrar al total del alumnado.

En este sentido, nuestro papel como docentes no consiste solamente en transmitir información y conocimiento, vía que parece conducir inevitablemente a la desmotivación. En algunos informes recientes, como el realizado en la Universidad de Zaragoza, la desmotivación se establece como una de las principales causas del absentismo en la titulación de Magisterio en Educación Primaria (Ponzán-Frisa, 2019), y frecuentemente conduce al abandono de los estudios universitarios (González, Álvarez, Cabrera y Bethencourt, 2007). Dentro de nuestras funciones, por tanto, resulta prioritaria la creación de un clima de enseñanza-aprendizaje en el que los modos de aprender, y no solo los contenidos, sean protagonistas. Para ello, parece fundamental considerar cuidadosamente las metodologías que empleamos.

Por otra parte, nos hallamos ante una asignatura cuyos objetivos consisten en familiarizar al alumnado con ciertos conceptos básicos desde el punto de vista geográfico, pero también con la propia esencia de la Geografía como ciencia y como profesión. El potencial investigador y profesional de la Geografía es enorme, pero relativamente desconocido para la sociedad en compara-

ción con otras disciplinas (Araya Palacios y Souza Cavalcanti, 2018; Arenas, Fernández y Pérez, 2016; Reyes Torres, Pérez Alcántara y Carreto Bernal, 2012).

Son numerosos los estudios que ponen de relieve la necesidad de promover el mejor conocimiento del espacio geográfico y de las particularidades de la Geografía como ciencia y práctica profesional (De Miguel y De Lázaro, 2016; Llorente-Adán, 2020; Souto González y García Monteagudo, 2016). Esto explica el importante impulso que, a lo largo de las últimas décadas, ha experimentado la didáctica de la Geografía, con numerosos estudios que profundizan en la definición de su marco conceptual y apuestan por la utilización de metodologías activas en el proceso de enseñanza-aprendizaje (De Miguel González y Donert, 2014; Granados Sánchez, 2019; Souto González, 2013). A esto se añaden iniciativas en marcha como la desarrollada por el Instituto Geográfico Nacional, que plantea actividades para la difusión del conocimiento geográfico en general, y en los centros escolares en particular.

Con esta propuesta se busca hacer uso del potencial educativo de este recurso, aprovechando las facilidades anteriormente señaladas y contribuyendo, a un tiempo, a la difusión social del conocimiento geográfico. De este modo, entre los objetivos principales que se pretende alcanzar se encuentran: i) Evaluar los diferentes modos en que la creación de podcasts contribuye al aprendizaje de los contenidos geográficos por parte del alumnado universitario, incrementando sus niveles de implicación en la asignatura, especialmente en la parte práctica de su desarrollo; ii) Dar a conocer el potencial del podcast sobre Geografía para colaborar al mejor conocimiento de la disciplina entre la sociedad. A este último objetivo se contribuiría a través de la elaboración de un banco de podcasts que, posteriormente, pueda ser consultado por el alumnado de otros niveles educativos (Educación Primaria, Secundaria Obligatoria y Bachillerato), y por el público general; iii) Indagar en las dificultades y ventajas de la utilización de esta herramienta, así como realizar algunas recomendaciones al respecto de su uso, y aportar formas para su evaluación.

## 2. Metodología

El proyecto fue desarrollado en el primer semestre del curso lectivo 2020-2021 y llevado a cabo por cuatro docentes vinculados al Departamento de Geografía de dicha Universidad. En él participaron 102 estudiantes de la asignatura Fundamentos de la Geografía, la totalidad de los que no tuvieron evaluación diferenciada ya que la actividad formaba parte de la parte práctica de la asignatura, y como tal, era evaluable y no optativa (suponiendo su cumplimentación un 40% de la nota final). El alumnado fue informado de los objetivos y duración del proyecto al inicio del mismo, también de la posibilidad de cumplimentar una encuesta anónima al final para evaluar sus resultados, en este caso de forma completamente voluntaria. El cometido del alumnado ha sido la realización de un podcast en el que se profundice en un aspecto planteado en el apartado teórico de la materia, partiendo de una serie de planteamientos iniciales sobre la disciplina geográfica, los cuales se realizan en el primer tema que se imparte. Se trata de un tema introductorio en el que se abordan conceptos básicos para la comprensión del espacio geográfico y de sus posibilidades de análisis, y se revisan los fundamentos a partir de los cuales se produjo la configuración histórica de la Geografía como conocimiento científico. También se tratan cuestiones relativas a la inserción laboral, y a los principales campos de acción científica y profesional de la Geografía. El audio, a su vez, debe integrar no solo los conceptos básicos aprendidos en la asignatura, sino los conocimientos y destrezas adquiridos hasta la fecha en el desarrollo del Grado en EP, en relación a la creación y adaptación de contenidos didácticos.

El podcast se plantea como un ejercicio grupal, entre tres personas, en el que cada equipo debe seleccionar de entre las cuestiones explicadas en el primer apartado de la teoría, y de acuerdo con el o la docente, un aspecto concreto en el que les interese profundizar. El proyecto se desarrollará a través de cuatro tareas intermedias y una entrega final que consiste en el podcast definitivo. Estas entregas intermedias están pensadas para constituir escalones hacia la elaboración del producto definitivo. La elaboración de un podcast de calidad es una labor hartamente compleja, y exige una detallada planificación de los contenidos y la ejecución de numerosos cometidos de diferente índole. A través de la misma se adquieren y afianzan ciertas destrezas a través de aprendizajes que pueden ser categorizados, recurriendo a la Taxonomía de Bloom revisada por Anderson y Krathwohl (2001), desde los niveles de complejidad más bajos desde el punto de vista de los procesos cognitivos involucrados, hasta los más altos. Estos son la buscar información específica y contenido audiovisual de uso libre, usar aplicaciones para editar audio, cuidar la dicción, expresarse correctamente oralmente y por escrito, organizar la información adquirida, plantear las propias ideas, reflexionar sobre su originalidad, evaluar el carácter didáctico de la propia exposición, construir un producto final. Es decir, la idea es elaborar un podcast de forma escalonada. Cada escalón implicará la entrega de una tarea de modo que se atienda por separado a todas las fases intermedias de la elaboración, pudiendo supervisar cada labor implicada con el mayor detalle posible y afrontar de forma específica las dificultades que pudieran surgir en cada una de ellas.

El producto final que se espera es un audio editado de entre 7 y 10 minutos de duración, que incluya música y efectos sonoros, basado en un guion de contenido previamente establecido. El podcast debe incluir un título, unas palabras clave y una imagen representativa, así como un test con el que cualquier persona pueda poner a prueba su aprendizaje una vez haya escuchado el contenido. Dicho test incluirá 10 preguntas y tendrá una respuesta multi-opción, con tres alternativas. Para llegar a este resultado, el alumnado debe abordar cada una de estas labores llegando a integrarlas finalmente todas en su podcast. A través del desarrollo de la propuesta se prevé trabajar competencias básicas de la asignatura, pero que tienen notable carácter transversal. Estas son la capacidad de investigar o buscar información, de organizar y exponer las ideas sintéticamente, capacidad de trabajar en grupo, de expresarse correctamente en la propia lengua por escrito y oralmente, a parte de la motivación por la calidad y el rigor.

Las tareas, en concreto, son las expuestas en la Figura 1. Cada una de ellas será evaluada con un peso equitativamente distribuido en la calificación final, una fecha de entrega concreta y un número de sesiones prácticas de trabajo en clase dedicadas a la explicación de las tareas y a la supervisión de su ejecución. La duración total de la propuesta fue de 12 semanas, con una sesión semanal de trabajo de una hora de duración, entre mediados de septiembre y principios de diciembre de 2021. Para algunas entregas la dedicación en número de sesiones previas será mayor, al tratarse de labores que requieren de una mayor orientación por parte del profesorado. Un buen ejemplo de esto es la elaboración del guion de contenidos, que ha de contener todo el discurso minutado, incluyendo quién locutará cada fragmento y su duración, así como los efectos sonoros y la música.

El proyecto se ha llevado a cabo a través de una sucesión de 11 sesiones prácticas de trabajo guiado, a las que se añadió una sesión final de reflexión compartida sobre el proyecto (12 horas lectivas en total). A estas se suman las horas de trabajo autónomo estimadas, que son 30 y que, igualmente, se reparten en función de la dificultad de cada tarea (Figura 1). En total, la actividad supone una inversión de 42 horas por parte del alumnado. Debido a las circunstancias sanitarias durante el primer semestre del curso 2020-21, todas fueron desarrolladas *online* recurriendo a

dos sistemas: el Campus Virtual soportado por la plataforma de aprendizaje Moodle, usando recursos como compartir archivos, URLs, contenido web, cuestionarios y encuestas. Y el espacio de trabajo Teams ofrecido por Microsoft. También se usaron otras aplicaciones para la grabar y compartir pantalla, como Loom, una extensión de Chrome.

Figura 1. Las cinco tareas a través de las que se estructura el desarrollo del proyecto Geocast.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Objetivos y estructura de cada una de las sesiones.

	OBJETIVOS	FUNCIONES
S.1	Dar a conocer el proyecto de innovación y el contexto en el que se desarrolla. Introducir al concepto de "podcast". Mencionar las tareas que tendrán que realizar, e informar sobre las fechas de entrega. Comunicar los criterios de evaluación general del proyecto.	Introductoria Motivacional
S.2	Explicar la primera entrega (podcast breve editado). Facilitar los recursos necesarios para su desarrollo. Dar a conocer los criterios de evaluación de esta entrega (muestra y comentario detallado de rúbrica).	Explicativa Solución de dudas
S.3	Explicar la segunda entrega (propuesta de tema, título, definición de audiencia y objetivos). Mostrar los recursos necesarios para su desarrollo.	Explicativa Solución de dudas
S.4	Comentar la corrección de la primera entrega. Ofrecer los criterios de evaluación de la segunda entrega (muestra y comentario detallado de rúbrica).	Retroaliment. Explicativa Solución de dudas
S.5	Explicar la tercera entrega (guion de contenidos). Facilitar los recursos necesarios para su desarrollo.	Explicativa Solución de dudas
S.6	Comentar la corrección de la segunda entrega. Detallar la elaboración de la tercera entrega (guion de contenidos).	Retroaliment. Solución de dudas
S.7	Explicar los criterios de evaluación de la tercera entrega (muestra y comentario detallado de rúbrica).	Explicativa Solución de dudas

	OBJETIVOS	FUNCIONES
S.8	Exponer la cuarta entrega (selección de una imagen, unas palabras clave y elaboración de un test sobre los contenidos del podcast). Ofrecer los recursos necesarios para su desarrollo.	Explicativa Solución de dudas
S.9	Mostrar la corrección de la tercera entrega. Dar los criterios de evaluación de la cuarta entrega (muestra y comentario detallado de rúbrica).	Retroaliment. Explicativa Solución de dudas
S.10	Explicar la quinta entrega (podcast definitivo). Mostrar los criterios de evaluación de la quinta entrega (muestra y comentario detallado de rúbrica).	Explicativa Solución de dudas
S.11	Comentar la corrección de la cuarta entrega. Informar sobre la encuesta de valoración del proyecto de innovación docente a cumplimentar por parte del alumnado.	Retroaliment. Informativa
S.12	Comentar la corrección de la quinta y última entrega (podcast definitivo). Poner en común los resultados de la encuesta.	Retroaliment. Cierre del proyecto

Fuente: Elaboración propia.

Tras una primera sesión de carácter introductorio y motivacional, las clases intermedias se han dividido entre la explicación de las tareas a entregar, añadiendo información específica sobre recursos de apoyo (como, por ejemplo, repositorios de música y audio, aplicaciones para elaboración y edición de podcast, test *online*, repositorios de información y artículos científicos), y la exposición de los criterios concretos de evaluación de cada entrega, siempre a través de rúbricas (Figura 2) para guiar el desarrollo de las tareas que integran el proyecto. Cada rúbrica fue mostrada al alumnado durante la sesión correspondiente (ver Tabla 1), y posteriormente compartida como archivo en el Campus Virtual de la asignatura. Aunque cada rúbrica se adapta a las características de la tarea concreta que evalúa, en todas ellas se valora especialmente la originalidad, claridad, la capacidad de síntesis y el potencial didáctico.

Figura 2. Rúbricas utilizadas para la evaluación de las tareas intermedias del proyecto Geocast, tal como fueron presentadas al alumnado.

ENTREGA 1	ENTREGA 2
¿SE CUMPLE CON EL PROTOCOLO DE CONTENIDOS? (0= en absoluto; 4= totalmente) ¿SE REALIZAN LOS EFECTOS DE SONIDO? (0= ninguno o de forma incorrecta; 4= todos y de forma correcta) ¿SE HA REALIZADO UN GUIÓN DE CONTENIDOS? (0= claros defectos en el guion; 4= guion detallado). ¿CALIDAD FINAL DEL PRODUCTO? (0= notables defectos en la grabación, el sonido, la edición y la vocalización; 4= ningún defecto).	¿SE CUBREN TODOS LOS APARTADOS? (0= ninguno o se cubren de forma incorrecta; 4= todos y de forma correcta) ¿SE ADAPTAN LOS OBJETIVOS Y EL ENFOQUE A LA AUDIENCIA? (0= los objetivos y enfoque resultan incongruentes con el nivel y conocimientos geográficos del alumnado; 4= total congruencia) ¿SE CUMPLE CON EL PROTOCOLO DE PRESENTACIÓN? (0= en absoluto; 4= totalmente).
ENTREGA 3	ENTREGA 4
¿EL GUIÓN ESTÁ CENTRADO EN ASPECTOS GEOGRÁFICOS? (0= abundante información no relevante para comprender el fenómeno geográfico; 4= centrado en aspectos geográficos) ¿EXISTE COHERENCIA ENTRE EL TÍTULO Y EL TEMA? (0= el contenido se desvía del tema planteado, o los objetivos son tan dispares y el tema tan amplio que no se logra transmitir una idea clara; 4= contenido centrado en el tema al que alude el título) ¿ES ORIGINAL? (0= el contenido, el título o la estructura replican en gran medida los planteamientos seguidos en trabajos ajenos, no se aporta nada nuevo y el podcast tiene poco valor añadido; 4= totalmente original en sus planteamientos, desarrollo y estructura). El plagio será evaluado mediante la herramienta URKUND ¿ES RIGUROSO? (0= el tema se aborda de manera superficial, incurriendo en numerosas afirmaciones no respaldadas por argumentos ni por datos fiables; 4= las afirmaciones se basan en conocimientos bien asentados o en datos de fuentes fiables) ¿SE CUMPLE CON EL PROTOCOLO DE CONTENIDOS? (0= en absoluto; 4= totalmente) ¿SE CUMPLE CON EL PROTOCOLO ESTABLECIDO DE ESTRUCTURA? (0= no existe un desarrollo central ni se establecen unas conclusiones finales; 4= el esquema sigue fielmente y de forma equilibrada la clásica estructura de introducción, nudo y desenlace)	¿LA ENTREGA CUENTA CON TODOS LOS ELEMENTOS? (0= faltan elementos de la plantilla facilitada; 4= se incluyen todos) ORIGINALIDAD Y PERTINENCIA DE LAS IMÁGENES (0= no resultan originales, ni hay relación con el tema empleado; 4= resultan expresivas, originales y novedosas) ¿LA IMAGEN SE CITA CORRECTAMENTE? (0= no se aclara la fuente ni se explica el contenido; 4= se aclara la fuente y el contenido se explica correctamente) PALABRAS CLAVE (0= no resumen el contenido, temas ni campos con los que se relaciona el podcast; 4= los resumen bien) ¿EL TEST SE PLANTEA DE FORMA ADECUADA? (0= las preguntas son confusas, faltan alternativas o se centran solamente en algunos temas, faltan preguntas; 4= aparecen todas las preguntas, se plantean de forma clara y permiten poner a prueba los conocimientos en relación a todos los elementos planteados en el podcast) ¿SE RESPETA EL FORMATO? (0= no se respeta el formato en ningún aspecto; 4= se respeta completamente el formato)

Fuente: Elaboración propia.

En cinco de las sesiones, una parte de la clase estuvo también dedicada a la retroalimentación mediante comentarios sobre las tareas ya corregidas, a través de una puesta en común: ¿Qué fallos se cometieron más a menudo? ¿Dónde estuvieron en general los defectos en las entregas? ¿Qué trabajos han destacado por su excelencia y por haber sabido cumplir exactamente con las instrucciones de elaboración y entrega? Estas sesiones de retroalimentación han tenido un protagonismo especial en el proceso de implicación y mejora continua del alumnado. Hay que hacer constar que la tercera entrega, el guion de contenidos, se escaneó con la herramienta para la detección de plagio de la que dispone la Universidad de Oviedo, URKUND, y de ello se advirtió al alumnado desde la explicación inicial de la tarea.

La Tabla 2 detalla los indicadores utilizados para valorar el proyecto, mostrando a su vez el modo de evaluación, los instrumentos utilizados para recoger dicha información, así como los rangos de mejora fijados y obtenidos. El grado de satisfacción de las personas que participaron en el proyecto se ha evaluado a través de un cuestionario incluido en el Campus Virtual, junto al resto de recursos y contenidos de apoyo para el desarrollo de la práctica. Este cuestionario aseguraba el anonimato de todas las respuestas de modo que el alumnado pudiera contestar a las mismas con total libertad, y combinaba preguntas abiertas y cerradas, de tipo multi-opción. Algunas preguntas fueron diseñadas para puntuar la satisfacción en función de una escala de Likert (del 1 al 10), para indagar en diferentes aspectos relacionados con la naturaleza, el desarrollo y resultados de aprendizaje de la propuesta.

Tabla 2. Indicadores propuestos para la evaluación del proyecto.

INDICADORES	MODO DE EVALUACIÓN	RANGOS FIJADOS
Porcentaje de aprobados en primera convocatoria en relación al alumnado matriculado	Se toma como indicador el número de aprobados de la asignatura en el acta de la convocatoria ordinaria	<50% (Bajo) 50-70% (Aceptable) >70% (Bueno)
Porcentaje de estudiantes que aprueban la actividad práctica en relación al alumnado matriculado	Se toma como indicador el número de aprobados en la parte práctica de la asignatura	<50% (Bajo) 50-70% (Aceptable) >70% (Bueno)
Encuesta de satisfacción del alumnado en la que se puntúa la actividad realizada de 0 (nada satisfactoria) a 10 (muy satisfactoria)	Se toma como indicador el número porcentual de encuestas en las que la satisfacción del alumnado es igual o superior a 6	<50% (Bajo) 50-70% (Aceptable) >70% (Bueno)

Fuente: Elaboración propia.

En la última sesión el proyecto se cerró con una puesta en común de los resultados de las encuestas, comentando en grupo las principales ventajas de la aplicación del mismo, los resultados de su aprendizaje y las dificultades en su desarrollo. Una vez elaborados los audios definitivos, estos se han integrado en un banco de podcast consultable para el público en general, incluyendo los centros de EP (cuyo profesorado y alumnado podrá recurrir a ellos como recurso complementario en el transcurso de sus clases). Dicho repositorio forma parte de los resultados del trabajo, por lo que el enlace se muestra en la sección correspondiente.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Valoración de los indicadores planteados para la evaluación del proyecto

A continuación, la Tabla 3 detalla los resultados de la aplicación de los indicadores anteriormente mencionados para valorar el proyecto, tanto en lo que se refiere al aspecto puramente académico, como al de la percepción del alumnado participante. En cuanto al número de aprobados en el conjunto de la asignatura, los resultados son aceptables en función de los rangos marcados en la Tabla 3 pues se alcanza el 70% de aprobados. Aunque no se han producido cambios significativos respecto a otras convocatorias en la evaluación final de la asignatura, que incluye la media entre la teoría y la práctica, sí se han dado claramente en la evaluación de la parte práctica. El indicador que atañe al número de aprobados en la actividad práctica en su conjunto, parte en la que se integraba la propuesta, resulta mucho más claro, pues no solamente supera ampliamente el porcentaje del 70% necesario para alcanzar un buen resultado según el rango inicialmente propuesto (ver Tablas 2 y 3), sino que los resultados mejoran notablemente los obtenidos en años anteriores. Mientras en el curso 19-20 aprobó la parte práctica el 75% de la matrícula, en este curso la aprobó el 85%. Además, y al margen de dichos indicadores, la calificación media de las prácticas en 2021 ha sido mucho mayor que el año anterior (8,9 frente a 7,1), dado que la implicación en las prácticas también aumentó considerablemente.

Tabla 3. Valoración de indicadores.

INDICADORES	RANGOS OBTENIDOS
Porcentaje de aprobados de la asignatura en relación al alumnado matriculado en el acta de la convocatoria ordinaria	70% (Aceptable)
Porcentaje de estudiantes que aprueban la actividad práctica en relación al alumnado matriculado	85% (Bueno)
Porcentaje de estudiantes que en la encuesta de satisfacción otorgan a la actividad una puntuación mínima de 6	78% (Bueno)

Fuente: Elaboración propia.

Igualmente, la Tabla 4 muestra las preguntas y respuestas incluidas en el cuestionario realizado, que fue contestado por 78 estudiantes. Al margen de los datos recabados a través de las respuestas a preguntas cerradas, las cuales facilitan el análisis de los resultados del cuestionario, el alumnado ha podido también responder a preguntas abiertas (sugerencias para la mejora del proyecto), cuyas respuestas ofrecen una información más profunda y amplia.

Tabla 4. Preguntas del cuestionario realizado para indagar en la satisfacción y opiniones del alumnado sobre el proyecto de innovación, y respuestas obtenidas

PREGUNTAS	RESPUESTAS Y PUNTUACIONES
¿Consideras que la realización del podcast ha ayudado a reforzar tus conocimientos teóricos?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Me ha ayudado a asimilar los conocimientos teóricos en general (21%)</li> <li>• Me ha ayudado a asimilar mejor los conocimientos teóricos sobre el tema específico que he seleccionado para mi podcast (69%)</li> <li>• No me ha ayudado a asimilar conocimientos teóricos (10%)</li> </ul>
Valora del 1 al 10 cómo has aumentado tus conocimientos sobre lo que es la Geografía (sus principales especialidades, temas de investigación, salidas profesionales y posibilidades de aportar conocimientos a nuestra sociedad)	<p>Puntuación media: 6,2</p> <p>Puntuación igual o mayor que 6: 68%</p>

PREGUNTAS	RESPUESTAS Y PUNTUACIONES
Como futura/o docente... ¿Consideras que esta práctica de Geografía tiene más interés al centrarse en la elaboración de materiales didácticos para el alumnado de EP?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sí, la práctica ha sido más interesante gracias a centrarse en la elaboración de materiales didácticos (93%)</li> <li>• Creo que ese aspecto no ha influido en mi interés en la práctica (3%)</li> <li>• La práctica ha sido menos interesante por centrarse en la elaboración de materiales didácticos (3%)</li> </ul>
Después de tu experiencia como alumna/o... ¿Crees que el podcast tiene potencial como material complementario en el proceso de enseñanza-aprendizaje? ¿Podrías llegar a usarlo con tu futuro alumnado? Valora del 1 al 10 su potencial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puntuación media: 7,4</li> <li>• Puntuación igual o mayor que 6: 77%</li> </ul>
Es evidente que cualquier tipo de experiencia docente mejora en un contexto de presencialidad. Sin embargo, y en comparación con otras posibles actividades prácticas... ¿Crees que una experiencia como la del proyecto Geocast es apropiada para desarrollarse en un contexto de educación a distancia? Valora del 1 al 10 su idoneidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puntuación media: 6,8</li> <li>• Puntuación igual o mayor que 6: 79%</li> </ul>
Si has otorgado a la pregunta anterior un valor menor a 5, y por tanto crees que el proyecto no es muy adecuado para ser llevado a cabo de forma no presencial u <i>online</i> , ofrece una breve explicación sobre el porqué de tu respuesta (si has puntuado un 5 o más, no escribas nada aquí):	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitaciones en la transmisión de información y en la comunicación en el grupo (4 respuestas)</li> <li>• Problemas para el reparto de ciertas tareas en el grupo (5 respuestas)</li> </ul>
Al margen de los conocimientos... ¿Qué competencia crees que contribuye a poner en práctica una experiencia como esta?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo en grupo (28%)</li> <li>• Capacidad de síntesis (21%)</li> <li>• Organizar las ideas (17%)</li> <li>• Relacionar las ideas (17%)</li> <li>• La búsqueda de información (14%)</li> <li>• Ninguna en concreto (3%)</li> </ul>
Las tareas del proyecto, en conjunto, han supuesto una carga de trabajo...	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la media de otras asignaturas (48%)</li> <li>• Asumible, aunque mayor que en otras asignaturas (28%)</li> <li>• Menor que en otras asignaturas (14%)</li> <li>• La carga de trabajo ha sido muy superior a otras asignaturas (10%)</li> </ul>
Las principales dificultades que has tenido que vencer a lo largo del proyecto han estado relacionadas con... (puedes marcar hasta dos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso de programas y la necesidad de familiarizarnos con ellos (32%)</li> <li>• La necesidad de cumplir con unos formatos y protocolos exactos de presentación (18%)</li> <li>• La necesidad de buscar información sobre temas desconocidos (15%)</li> <li>• La necesidad de sintetizar gran cantidad de información (10%)</li> <li>• Gestionar el trabajo en equipo (desequilibrio en la carga de trabajo) (10%)</li> <li>• La necesidad de organizar las ideas (6%)</li> <li>• Gestionar el trabajo en equipo (falta de coordinación) (5%)</li> <li>• La falta de motivación (3%)</li> <li>• Ninguna de las anteriores (2%)</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos arrojados por la encuesta.

Resulta llamativo que, a pesar de que el 79% ha considerado que una experiencia como la del proyecto es apropiada para desarrollarse en un contexto de educación a distancia, la mayor parte de las sugerencias de mejora realizadas por el alumnado hacían referencia a las posibilidades que se pierden en un contexto *online* (comunicación, contacto directo con los docentes y con sus compañeras y compañeros en clase), y especialmente en la mejora que hubiera experimentado el resultado final. A continuación, se exponen algunos de los comentarios literales en este sentido: “Con presencialidad habrían surgido trabajos de mayor calidad sin duda, pero no ha podido ser, una pena...”; “El principal problema lo he encontrado en la necesidad de grabar nuestras voces no pudiendo estar juntos”.

Otros comentarios han hecho referencia a las dificultades a la hora de abordar un trabajo de este tipo y adecuarlo a las necesidades de primaria (“...en mi caso me encontré un poco desorientada

en el cómo y de qué manera llegar a los niños con nuestras locuciones”), o bien al deseo de enfocar el trabajo de forma más personal, y menos constreñida por las decisiones adoptadas por el resto del grupo (“Igual parece egoísta, pero me hubiese gustado la posibilidad de hacer un Geocast a nivel individual”; “Me gustaría haberlo hecho todo desde un punto de vista más práctico”; “Mis compañeras se fijaban más en aspectos teóricos y yo prefería dar ejemplos y situaciones cercanas. Muchas gracias por mostrarnos esta gran herramienta divulgadora”).

### ***3.2. Qué puede aportar la utilización de un recurso como el podcast en el proceso de enseñanza-aprendizaje en una clase de Geografía***

El potencial del podcast como material complementario en el proceso de enseñanza-aprendizaje ha sido positivamente valorado entre el alumnado, que en un 78% considera que tiene interés como herramienta didáctica. En este sentido, hay que considerar que se trata de una tecnología de uso creciente entre la población más joven, lo cual constituye uno de sus principales atributos para la Educación Superior (Solano Fernández y Sánchez Vera, 2010). Además, tienen la ventaja de proporcionar al alumnado, incluyendo a aquellas personas que no pertenecen a las generaciones más jóvenes, la posibilidad de revisar repetidamente los contenidos (Ebner et al., 2007), así como oportunidades interesantes para la colaboración y la interacción más allá de los límites que impone el espacio físico (Baird y Fisher, 2005). El alumnado universitario suele acoger especialmente bien aquellas metodologías que les permiten tener un papel más activo en el proceso de aprendizaje (Beldarrain, 2006; Mckeachie y Svinicki, 2006), y la grabación de sus propios podcasts didácticos, de algún modo, convierte al estudiante de Geografía en un agente educativo, y todo ello a través de la creación y edición de contenidos multimedia, un tipo de producto especialmente valorado como material educativo (Solano Fernández y Amat Muñoz, 2008).

Pero, esta observación, también se hace extensible al profesorado del proyecto, que ha pasado a valorar este recurso por lo que implica como posible vía para la difusión del conocimiento geográfico, mostrándose como una herramienta muy adaptable al contexto educativo concreto en el que se ha implementado, pero también por lo que aporta la práctica consistente en su elaboración. En cuanto a lo primero, son numerosos los estudios que han puesto de relieve la flexibilidad de este recurso, al permitir dirigirse a diferentes tipos de alumnado y superar fronteras impuestas por la edad, las diferencias culturales, la distancia espacial y el tiempo (Skiba, 2006; Solano Fernández y Amat-Muñoz, 2008; Solano Fernández y Sánchez Vera, 2010).

En cuanto a lo segundo, desde su planteamiento inicial se preveía que el proyecto contribuyese a la adquisición de conocimientos específicos y al afianzamiento de ciertas nociones fundamentales sobre la ciencia geográfica, pero también que colaborase sobre todo al desarrollo de las competencias básicas y transversales citadas en la metodología. Dentro del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), las competencias actúan como guía del proceso de enseñanza-aprendizaje, siendo necesaria una modificación tanto de la metodología empleada para la docencia como de los sistemas de evaluación. A través de la formación en competencias, se pretende que el alumnado adquiera destrezas que permitan un mejor desempeño personal y profesional.

Las respuestas del alumnado, mostradas en la Tabla 4, demuestran que hay dos competencias que el alumnado considera que han resultado más desarrolladas. Estas fueron la competencia de trabajar en grupo, y la de sintetizar la información recabada. El profesorado implicado ha destacado, asimismo, la capacidad de sintetizar la información, como aquella en la que el alumnado ha experimentado una mejora más notable a través de las tutorías y entregas sucesivas. No en vano,

se trata de un área de trabajo de mayor complejidad, que requiere la implicación de muchas otras tareas y procesos cognitivos intermedios, empezando por la propia selección de información, su organización, su análisis o descomposición en otras ideas usando determinados criterios, y finalmente la integración de todo ello en una nueva unidad con significado (Meza de Vernet, 2009). Sin estos pasos intermedios no se puede considerar que se alcance una verdadera creación propia, y en eso consiste la actividad planteada. Esta capacidad de crear un producto nuevo y original, se plasmará especialmente en la elaboración del guion de contenidos, razón por la que dicha entrega fue la más dificultosa para el alumnado en el presente proyecto. En este sentido la propuesta arroja resultados en línea con los de otros estudios recientes sobre la utilización didáctica de podcast en el campo de la Geografía: escribir el guion es la tarea clave y en general más complicada para el alumnado en la creación del podcast, y no se observan diferencias si este procede de Geografía o de otras disciplinas (Kemp et al., 2013).

Una de las principales potencialidades del podcast es que permite desarrollar estilos de aprendizaje que no son fácilmente ofrecidos por otras tecnologías o materiales educativos (Schnackenberg et al., 2009). La teoría de las inteligencias múltiples, de Howard Gardner, recurre a diferentes tipos de inteligencia a partir de los cuales establecer estilos de aprendizaje (Gardner, 1983, 2006). Estos, a su vez, pueden ser vinculados a determinadas TIC que, por sus características, pueden reforzar ciertas capacidades y generar procesos de aprendizaje flexible, motivante y compartido. Algunas investigaciones ofrecen evidencias del interés de aprovechar las relaciones existentes entre los estilos de aprendizaje del alumnado y el uso de ciertas tecnologías, por su impacto positivo en el ámbito académico (Saeed, Yang y Sinnappan, 2009).

Concretamente, estudios como el de Baird y Fisher (2005) han relacionado la elaboración de podcast con el estilo de aprendizaje vinculado a la inteligencia lingüístico-verbal (relacionada con la capacidad de comprensión del orden y significado de las palabras, tanto a nivel escrito como hablado), con la musical-auditiva (relacionada con la capacidad de reconocer y reproducir sonidos), con la intrapersonal (capacidad de cada persona para conocerse y autorregularse), así como con la naturalista (inclinación a comprender el funcionamiento de los procesos naturales). En relación a la inteligencia lingüístico verbal y la musical auditiva, investigaciones como la de Kinkaid, Emard y Senanayake (2020) muestran que, la capacidad de comunicar contenidos geográficos de un podcast, mejora gracias a la posibilidad de introducir el elemento emocional a través de la modulación de la voz. En relación a esto, ha sido apreciable el esfuerzo realizado por el alumnado de Fundamentos de Geografía, creando en algunos casos productos que ganan capacidad didáctica gracias a ese factor. Sin embargo, y aunque el trabajo en todas estas áreas es del máximo interés para el desarrollo formativo de las futuras generaciones docentes, podemos considerar la última (inteligencia naturalista) un área fundamental. Sobre todo, para comprender y posteriormente impartir aspectos relacionados con la Geografía, pues el interés por los procesos que explican el funcionamiento del mundo que nos rodea, es uno de los principales motores que hacen avanzar la ciencia geográfica.

### ***3.3. Repercusiones del proyecto en el proceso de aprendizaje del alumnado de Geografía en el contexto de un Grado de Ciencias de la Educación***

A través del cuestionario, el alumnado de la asignatura “Fundamentos de la Geografía” ha dado a entender que su participación en el proyecto les ha permitido aumentar sus conocimientos sobre lo que es la Geografía (sus principales especialidades, temas de investigación, salidas profesionales y posibilidades de aportar conocimientos a nuestra sociedad), pues el 68% ha dado un 6 o más

de puntuación a ese apartado. De este modo, también se ha contribuido a la asimilación y refuerzo de los conocimientos teóricos adquiridos en las clases presenciales, y si bien no se puede considerar que los resultados académicos generales respalden totalmente esa idea, pues no ha habido cambios significativos en las calificaciones finales de la asignatura en primera convocatoria, sí la respaldan parcialmente, pues el porcentaje del alumnado que ha aprobado la actividad práctica no solamente ha sido superior al rango marcado para poder ser considerado un buen resultado, sino que lo ha superado ampliamente (85%). Todo ello en un contexto de no presencialidad impuesta por las circunstancias sanitarias ligadas a la pandemia Covid-19, lo cual exige una mayor implicación tanto por parte del profesorado como del alumnado.

Todo lo anterior, se ha hecho mediante la realización de una actividad aplicada a la elaboración de materiales didácticos dirigidos al alumnado real de EP. Así, se ha logrado dar a esta práctica un sesgo profesionalizante que, a juzgar por los resultados del cuestionario, ha sido muy bienvenido, ya que el 93% del alumnado estimó que esta práctica de Geografía ganaba interés al centrarse en la elaboración de materiales didácticos. El desarrollo de este tipo de prácticas les ofrece la posibilidad de buscar formas propias de conexión con el alumnado, dando un giro a los conocimientos adquiridos y ya procesados por el profesorado. Por otro lado, este tipo de experiencias en conexión con la adquisición de competencias directamente vinculadas a su futuro laboral les ofrecen oportunidades de aprendizaje activo, fórmulas que propician un aprendizaje significativo y son muy aceptadas por las futuras maestras y maestros en su etapa de formación universitaria (Cañabate-Ortiz *et al.*, 2014), más aún cuando involucran la utilización de recursos digitales (Molina Torres, 2020).

Por otra parte, actividades como la propuesta cubren una necesidad que ha sido puesta de relieve en estudios recientes (Marcano, Íñigo y Sánchez, 2017; Marín *et al.*, 2019; Sánchez-Vera y Solano Fernández, 2013); la de abordar la formación en competencias digitales del alumnado que estudia carreras dirigidas a la formación de profesorado, tanto de forma específica como transversal, para que este pueda integrar adecuadamente y de forma espontánea los recursos tecnológicos en los procesos educativos.

### ***3.4. Principales retos en el desarrollo del proyecto: la adaptabilidad al contexto no presencial y la necesidad de profundizar en la tecnología empleada***

Recordemos que, inicialmente, estaba previsto desarrollar el proyecto en un contexto de presencialidad, pero que, debido a las circunstancias sobrevenidas como consecuencia de la crisis Covid-19, todo el proceso se ha desarrollado de forma no presencial. Si bien tanto el profesorado como el alumnado (79%) valoran positivamente la adaptabilidad del proyecto al contexto puramente *online*, hay que reconocer que algunas de las mayores dificultades apreciadas por ambos colectivos, y especialmente por el alumnado, se relacionan precisamente con esto. Sobre todo, por la imposibilidad de mantener un contacto más estrecho y directo con el resto de integrantes de cada grupo.

La conclusión del equipo docente es que los obstáculos se han conseguido salvar gracias a una organización muy cuidadosa y a una planificación muy detallada. Esta ha afectado a las actividades a cumplimentar por parte del alumnado (exigencias estrictas en cuanto a contenido, criterios formales, fechas y formato de entrega) y también por parte del profesorado (reuniones periódicas *online*, debate y seguimiento estricto de rúbricas). En definitiva, todo ello ha exigido una implicación muy elevada. En cuanto al equipo docente, a los obstáculos propios de trabajar

exclusivamente en un contexto virtual (derivadas de una mayor complejidad en la naturaleza de las conexiones, tanto entre las personas como entre los diferentes sistemas usados para la comunicación), debemos añadir la dificultad impuesta por la necesidad de una inmersión auténtica en la tecnología que se encontraba en el centro de la propuesta.

Al margen de cuestiones generacionales, si hay algo que caracterice al estudiantado universitario actual son sus expectativas respecto al proceso de enseñanza-aprendizaje, muy superiores a las observadas en décadas previas. De este modo, es frecuente que el alumnado adopte un rol de consumidor de contenidos educativos, dispuesto a demandar y exigir mejoras por parte de la institución y, a menudo, las universidades afrontan esta circunstancia incrementando el uso de las TIC, y promocionando su utilización por parte del profesorado universitario (Fisher, Exley y Ciobanu, 2014). Sin embargo, no es suficiente usar una tecnología para sacarle partido en el contexto de una asignatura. Utilizar el tiempo de clase en la escucha de podcasts, por ejemplo, podría resultar totalmente inútil y carente de sentido si dicha actividad no se encuentra perfectamente enmarcada en una estrategia educativa concreta.

No es suficiente saber sin más lo que es un podcast para convertirlo en el núcleo de un proceso de aprendizaje. Se requiere de un conocimiento lo suficientemente profundo y de una reflexión suficiente acerca del mismo, sus posibilidades, sus peculiaridades, sus posibles inconvenientes y sus mayores ventajas, como para poder visualizar un modo de aprender a partir de su utilización. En este sentido, en la última década existe una tendencia creciente de uso de las tecnologías del aprendizaje y del conocimiento o TAC, resultado de la aplicación a contextos formativos de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), buscando en definitiva poner el peso en el método y no solamente en el dominio de la herramienta (Gómez-Trigueros *et al.*, 2018). La experiencia y resultados de este proyecto confirman la idea de que la introducción de las TIC en el sistema educativo exige de un proceso de reorganización de todos los procesos involucrados, e incluso de nuestros objetivos iniciales (Llorens Largo, 2015). El estímulo de la creatividad, del deseo de interacción y del gusto por el trabajo bien hecho, y la mejora de la capacidad de expresión, son algunos de los principales logros educativos alcanzados en experiencias previas con esta herramienta (Hollandsworth, 2007; Morales y Moses, 2006; Schnackenberg *et al.*, 2009). Pero no sería posible lograr que la elaboración de un podcast de lugar realmente a esos efectos sin tener en cuenta lo anterior.

La planificación de las actividades que han formado parte de este proyecto ha requerido de una desestructuración previa del concepto podcast, para identificar todas y cada una de las tareas implicadas en su ejecución. También se ha precisado una valoración de las dificultades que entraña cada paso, a las que había que adelantarse para poder graduar las exigencias y acomodarlas a la evaluación, el tiempo dedicado y los periodos de entrega. En definitiva, como señalan autores como Cabero (2006), el uso de las TIC en el aula debe estar integrado en un contexto específico y lo suficientemente estudiado para lograr transmitir motivación al alumnado. Y esto es lo que se ha tratado de hacer en el proyecto de innovación Geocast. Aunque se debe hacer constar que no se ha conseguido sino a base de un gran esfuerzo e implicación, tanto de forma previa como durante el proyecto, por parte del profesorado participante.

Respecto al alumnado cabe señalar que, a pesar de lo anterior, las tareas involucradas en el proyecto no parecen haber representado una carga mayor que la parte práctica de otras asignaturas. De hecho, un 48% considera que la carga de trabajo estuvo en la media, y otro 28% que ha sido asumible a pesar de haber sido un poco mayor.

Otra de las cuestiones que limitó parcialmente los resultados del proyecto fue el tiempo del que se dispuso para las sesiones lectivas (las horas prácticas de un semestre, en total 12). Con más tiempo se hubieran podido dedicar varias sesiones al debate de las ideas de cada grupo, a su exposición, a su discusión con el equipo docente y el resto del alumnado en sesiones conjuntas. De este modo se hubiera aprovechado la inercia de cada podcast para generar ideas en los demás, y el propio proyecto en sí mismo hubiera adoptado un carácter de producción colectiva. Este factor se ha mostrado crítico a la hora de mejorar los resultados de experiencias de podcasting aplicado a la generación de conocimiento geográfico (Kinkaid et al., 2020).

Finalmente, el modo *online* en que se ha planteado el proceso, ha contribuido a mostrar la utilidad de otras herramientas y recursos de apoyo para llevar a cabo las actividades en este contexto, los cuales han permitido conducir la docencia con normalidad. Por ejemplo, se le ha sacado el máximo partido al Campus Virtual, trabajando, al margen de los recursos más habituales, muchas de las actividades con las que el alumnado no está tan familiarizado, así como a otras plataformas para la grabación y para compartir pantalla. Comprobar el soporte que ofrecen estas herramientas ha sido especialmente instructivo, sobre todo cuando lo habitual es que el alumnado perciba este tipo de entornos, cuyo uso por parte del profesorado universitario español se ha venido generalizando, únicamente como repositorios de objetos que no facilitan la interacción ni la comunicación de la comunidad académica (Area Moreira, San Nicolás Santos y Sanabria Mesa, 2018).

Al margen de las dificultades ya comentadas, que se relacionan con la imposibilidad de mantener el contacto más estrecho que ofrece la presencialidad (dificultades que han pesado sobre el alumnado y el profesorado), hay que mencionar otras derivadas de la propia complejidad de algunas de las tareas implicadas. El 32% del alumnado destaca la necesidad de familiarizarse con programas y aplicaciones específicas, el 18% la de cumplir con unos protocolos exactos de presentación y formatos, y el 15% la de buscar información sobre aspectos o temas desconocidos (Tabla 4). Resulta llamativo que solamente un 10% haya señalado como dificultad importante los problemas para gestionar el trabajo en equipo, pues algunos de los comentarios en las respuestas abiertas atienden a esta cuestión.

Ciertamente, el manejo de algunas herramientas, como el editor de audio o los procesadores de documentos integrales, y la necesidad de búsqueda constante de recursos en repositorios virtuales y en páginas web para encontrar música libre, efectos de sonido, y contenidos científicos, resulta un reto especialmente complicado para aquellas personas que no tienen excesiva inclinación hacia el trabajo con recursos web y aplicaciones. En definitiva, para quienes sienten menor interés por las tecnologías de la información y de la comunicación. Respecto a estas cuestiones, debemos reconocer que, si se dispusiese de datos sobre el sexo, edad, perfil socioeconómico e intereses personales de quienes respondieron a la encuesta voluntaria, datos que no se recabaron precisamente para preservar al máximo el anonimato del alumnado, esto probablemente nos hubiera permitido extraer algunas conclusiones complementarias a las obtenidas. De hecho, la mayor parte de las investigaciones que se han realizado en este sentido destacan la importancia de la competencia digital previa a la hora de acoger la introducción de este tipo de herramientas en el proceso educativo, algo que, a menudo, se ha relacionado con la edad, tanto del alumnado, como del profesorado (Fernández-Cruz y Fernández-Díaz, 2016; Flores-Lueg y Roig-Vila, 2016). Sin embargo, al margen de condicionantes previos, la propia esencia capacitadora del proceso educativo acaba por mejorar la disposición hacia el uso de las TIC, tanto de uno como de otro colectivo. Aunque esto solamente se consigue cuando la tecnología se usa realmente para promover

la comunicación, la interacción, y el análisis de la información (Fernández-Cruz y Fernández-Díaz, 2016; Islas-Torres, 2018; Marín, Vidal, Peirats y San Martín, 2019).

La dificultad percibida a la hora de cumplir con unos protocolos exactos de presentación y entrega, debemos relacionarla con la planificación exhaustiva de cada una de las etapas del proyecto. Las exigencias de contenido, criterios formales, fechas y formato de entrega no han sido distintas o superiores a las que se hubieran dado en un contexto de presencialidad, pero sí han exigido un cumplimiento más estricto. Esto, sin embargo, también debemos darlo por bien empleado, ya que, gracias a ese control estricto y a la retroalimentación en las correcciones, el equipo docente del proyecto observó una evolución positiva en la capacidad del alumnado de atender a las exigencias concretas planteadas, algo que beneficia a cada estudiante en particular al mejorar sus posibilidades de éxito académico en futuras asignaturas, y en su futuro profesional más allá de la universidad.

### ***3.5. Resultados en abierto: parte esencial de la función divulgativa de cualquier proyecto docente***

Finalmente, uno de los principales resultados del proyecto ha sido la creación de un repositorio virtual de acceso libre y para cuya consulta no se requiere de un registro previo (<https://sites.google.com/view/geocastproyecto/inicio>). En él, se informa sobre los objetivos del proyecto y se ponen los podcasts al alcance de cualquier persona interesada en la Geografía y en su enseñanza.

Al margen de las posibilidades que ofrece el podcast como recurso didáctico, también debemos considerar su valor como vía para compartir el conocimiento científico entre la sociedad (Harris y Park, 2008; Turner, 2020). Estudios recientes sobre la aplicación de este recurso en el ámbito de la Geografía, destacan la accesibilidad que ofrece este método para difundir el conocimiento geográfico entre grupos sociales que suelen mantenerse ajenos a él (Kemp et al., 2013), y en particular para dar a conocer aspectos geográficos que influyen en dilemas sociales y ambientales de actualidad (Kinkaid et al., 2020). Esta difusión de aspectos geográficos de interés, además, tiene un doble uso formativo que puede llegar a adquirir matices de especialización profesional e investigadora (Caldis, 2018). A través de la presente experiencia se ha recurrido al carácter formativo de la aplicación del método, pero también se ha atendido al aspecto de la difusión a través de la creación de un repositorio de podcast. De este modo, la propuesta contribuye, por un lado, a la formación específica del alumnado de grados que desempeñan una importante labor en la transmisión de las primeras nociones geográficas que recibe la ciudadanía. Por otro lado, también ayuda a la difusión del conocimiento geográfico generado en la universidad entre la sociedad en general, y entre la comunidad educativa en particular. Más allá de esto, exponemos los resultados de una iniciativa que posteriormente puede repetirse, con fines idénticos o distintos, en otros contextos educativos en el ámbito de la Geografía universitaria.

## **4. Conclusiones**

Este estudio ha presentado la metodología y resultados de la aplicación de una propuesta docente aplicada en el curso lectivo 2020-2021, basada en la utilización de podcast educativos para el aprendizaje y la difusión del conocimiento geográfico. En esta experiencia han participado 102 estudiantes de la asignatura “Fundamentos de la Geografía”, impartida en el segundo curso del

Grado de Maestra/o en Educación Primaria de la Universidad de Oviedo, y cuatro docentes vinculados al Departamento de Geografía de dicha universidad.

Un 77% del alumnado valoró positivamente el potencial del podcast como material complementario en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Geografía. Esta observación se hace extensible al equipo docente, que, en línea con lo evidenciado en estudios previos, ha valorado la flexibilidad temática, de estilos comunicativos, de enfoques didácticos y divulgativos de este recurso. El alumnado ha destacado de esta actividad, por encima de otras competencias básicas y transversales involucradas, la capacidad de potenciar el trabajo en equipo, de organizar y relacionar las ideas, y de sintetizar la información. De todas las tareas implicadas en la elaboración del podcast, la confección del guion de contenidos representó el mayor reto para el alumnado. Un producto nuevo y original a partir de ideas que previamente deben haber sido seleccionadas, organizadas, analizadas y relacionadas. En esta parte resulta vital el apoyo del profesorado, que puede hacer de guía en un proceso especialmente difícil, al margen de la falta de conocimientos específicos sobre la materia tratada. Asimismo, el alumnado también ha apreciado el sesgo profesionalizante de una práctica que, pese a estar centrada en la adquisición de conocimientos geográficos, favorece competencias directamente relacionadas con su futuro profesional, al enfocarse en la elaboración de materiales didácticos.

Se ha constatado una mejora clara en las calificaciones obtenidas en la parte práctica de la asignatura, con un porcentaje de aprobados del 85% y una calificación media de 8,9, muy superiores a las obtenidas en el curso anterior. El podcast se ha mostrado especialmente útil para mejorar la adquisición de conocimientos específicos, respecto a los temas seleccionados por cada grupo. Sin embargo, un 68% del alumnado considera que su participación en el proyecto también les ha permitido aumentar sus conocimientos sobre lo que es la Geografía en general: sus especialidades, temas de investigación, salidas profesionales y posibilidades de resolver problemas y aportar conocimientos valiosos. Consideramos vital la labor divulgativa sobre una disciplina que, en general, resulta desconocida para gran parte de la sociedad, especialmente entre quienes en el futuro guiarán a la ciudadanía en sus primeras etapas formativas. Con este objetivo, se ha creado un repositorio virtual en el que se ponen los podcasts elaborados por el alumnado al alcance de cualquier persona interesada en la Geografía y en su didáctica (<https://sites.google.com/view/geocastproyecto/inicio>).

Sin embargo, se ha comprobado que la utilización de este recurso plantea ciertos obstáculos. Debido a las circunstancias sobrevenidas como consecuencia de la crisis Covid-19, todo el proceso se ha desarrollado de forma no presencial. La adaptación de la actividad al contexto *online* ha requerido un esfuerzo extra y una planificación muy detallada por parte del equipo docente, que ha sido bien valorada por el 79% del alumnado, aunque de esta circunstancia también derivaron algunas de las mayores dificultades por la falta de comunicación personal, siendo tal vez más adecuado el planteamiento individual bajo este tipo de circunstancias. Otra de las conclusiones a las que ha llegado el equipo docente de este proyecto es la necesidad de reservar el mayor tiempo posible a la puesta en común de las ideas y planteamientos del alumnado, para fomentar el debate con el profesorado y entre el propio alumnado. Así, se hubiera aprovechado la inercia del proceso constructivo de cada podcast para suscitar dudas y generar ideas en los demás, y los podcasts elaborados hubieran adoptado un carácter de producción colectiva.

Sin embargo, tal vez la mayor dificultad ha radicado en la necesidad de reorganizar todo el proceso educativo, a través de una auténtica inmersión en la tecnología que se encontraba en el centro

de la propuesta. Solo de este modo se han podido identificar las tareas, detectar las dificultades y graduar las exigencias, estimando las necesidades de trabajo apoyado y autónomo. En definitiva, esta propuesta no ha implicado hacer lo mismo de siempre pero incluyendo el uso las TIC, sino que ha demandado la adopción de puntos de vista distintos sobre el modo en que enseñamos y el alumnado aprende, a través de una auténtica salida de la zona de confort docente.

## Agradecimientos

El presente proyecto pertenece a la convocatoria de Proyectos Docentes de la Universidad de Oviedo 2020, siendo identificado con el código PINN-20-A-30.

## Contribución de autorías

Cristina García Hernández ha diseñado la investigación, coordinado el proyecto y participado en las fases de elaboración de resultados y discusión, redacción y revisión del artículo.

Jesús Ruiz Fernández ha participado en el desarrollo de las tareas docentes del proyecto, elaboración de resultados y discusión, redacción y revisión del artículo.

Marta Herrán Alonso ha participado en el desarrollo de las tareas docentes del proyecto, redacción y revisión del artículo.

David Gallinar Cañedo ha participado en el desarrollo de las tareas docentes del proyecto, redacción y revisión del artículo.

## Financiación

El proyecto pertenece a la convocatoria de proyectos de innovación docente de la Universidad de Oviedo (Convocatoria 2020 Código PINN-20-A-30)

## Conflicto de intereses

Las autoras y autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de interés al respecto de la elaboración de la presente investigación.

## Referencias

- Anderson, L.W. & Krathwohl, D.R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Longman.
- Araya Palacios, F. & Souza Cavalcanti, L. (2018). Desarrollo del pensamiento geográfico: un desafío para la formación docente en Geografía. *Revista de Geografía Norte Grande*, (70), 51-69. doi: 10.4067/S0718-34022018000200051
- Area Moreira, M., San Nicolás Santos, M. B. & Sanabria Mesa, A. L. (2018). Las aulas virtuales en la docencia de una universidad presencial: la visión del alumnado. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 21(2), 179-198. doi: 10.5944/ried.21.2.20666
- Arenas, A., Fernández, H. & Pérez, P. (2016). *Una Educación Geográfica para Chile*. Santiago de Chile: Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas.
- Baird, D. E. & Fisher, M. (2005). Neomillennial user experience design strategies: Utilizing social networking media to support "always on" learning styles. *Journal of Educational Technology Systems*, 34(1), 5-32. doi: 10.2190/6WMW-47L0-M81Q-12G1
- Beldarrain, Y. (2006). Distance education trends: Integrating new technologies to foster student interaction and collaboration. *Distance Education*, 27(2), 139-153. doi: 10.1080/01587910600789498
- Brown, L. (2011). Podcasting and vodcasting to BSc geography students. *Planet*, 24(1), 62-67. doi: 10.11120/plan.2011.00240062

- Cabero, J. (2006). Comunidades virtuales para el aprendizaje. Su utilización en la enseñanza. *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (20), a053. doi: 10.21556/edutec.2006.20.510
- Cالدis, S. (2018). Using podcasts and journal articles as a tool of professional learning and a tool of instruction in the Stage 6 Geography classroom. *Geography Bulletin*, (1), 26-32. Recuperado de <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.861599981520227>
- Cañabate Ortiz, D., Aymerich Andreu, M., Falgás Isern, M. & Gras Pérez, M. E. (2014). Metodologías docentes. Motivación y aprendizaje percibidos por los estudiantes universitarios. *Educar*, 50(2), 427-441. doi: 10.5565/rev/educar.664
- De Miguel González, R. & Donert, K. (Eds.). (2014). *Innovative learning geography in Europe: new challenges for the 21st century*. Cambridge: Scholars Publishing.
- De Miguel, R. & De Lázaro, M. L. (2016). Educating geographers in Spain: Geography teaching renewal by implementing the European Higher Education Area. *Journal of Geography in Higher Education*, 40(2), 267-283. doi: 10.1080/03098265.2016.1139556
- Ebner, M., Fickert, L., Nagler, W. & Stöckler Penz, C. (2007). Lifelong learning and Doctoral Studies–Facilitation with Podcasting Techniques. *Computers in Education, Proceeding Vol. IV, 30th MIPRO Conference 2007*, 280-283. doi:10.1.1/460.7608
- Fernández Agüero, M. F. (2005). Propuesta de modelo para la enseñanza de didáctica de la lengua extranjera en otras especialidades de magisterio. *Indivisa. Boletín de Estudios e Investigación*, (6), 25-36. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77100603>
- Fernández Cruz, F. J. & Fernández Díaz, M. J. (2016). Los docentes de la Generación Z y sus competencias digitales. *Comunicar: Revista Científica Iberoamericana de Comunicación y Educación*, 46(1), 97-105. doi: 10.3916/C46-2016-10
- Fisher, A., Exley, K. & Ciobanu, D. (2014). *Using technology to support learning and teaching*. Routledge.
- Flores Lueg, C. & Roig Vila, R. (2016). Factores personales de estudiantes de pedagogía que inciden en su formación social, ética y legal del uso de TIC. *Revista Hipótesis, Itapetiniga*, 3(3), 3-25. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10045/62650>
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York: Basic Books.
- Gardner, H. (2006). *Multiple intelligences: New horizons*. New York: Basic Books.
- Gómez Trigueros, I. M., Ruiz Bañuls, M., Ortega Sánchez, D., Gómez Rico, M. L., Rovira Collado, M., Trestini, M., Segrelles Serrano, J. A., Binimelis, J., Ordinas Garau, A. & Formosinho, M. D. (2018). El uso de las TIC y las TAC en diversos contextos docentes: Modelos educativos innovadores enmarcados en el modelo TPACK. En R. Roig Vila (Coord.), *Memorias del Programa de Redes-I3CE de calidad, innovación e investigación en docencia universitaria* (pp. 2511-2525). Alicante: Instituto de Ciencias de la Educación (ICE). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10045/90705>
- González, M. C., Álvarez, P. R., Cabrera, L. & Bethencourt, J. T. (2007). El abandono de los estudios universitarios: Factores determinantes y medidas preventivas. *Revista Española de Pedagogía*, 65(236), 71-88. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/23766003>
- Granados Sánchez, J. (2019). Definición y justificación de un marco conceptual para la didáctica de la Geografía. En M. João, A. Dias & N. Alba (Eds.), *Enseñar y aprender didáctica de las Ciencias Sociales: la formación del profesorado desde una perspectiva sociocrítica* (pp. 40-49). Lisboa: Ediciones Escola Superior de Educação.
- Harris, H. & Park, S. (2008). Educational usages of podcasting. *British Journal of Educational Technology*, 39(3), 548-551. doi: 10.1111/j.1467-8535.2007.00788.x
- Hollandsworth, R. J. (2007). Managing the podcast lecture: A hybrid approach for inline lectures in the business classroom. *Tech Trends*, 51(4), 39-44. doi: 10.1007/s11528-007-0054-4
- Islas Torres, C. (2018). Implicación de las TIC en el aprendizaje de los universitarios: una explicación sistémicoconectivista. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, (52), 199-215. doi: 10.12795/pixelbit.2018.i52.14
- Kemp, J., Kotter, R., Mellor, A., Oosthoek, J. W. & White, C. (2013). Diversifying assessment across the Two Cultures: student-produced podcasts in Geography. *Planet*, 27(1), 2-7. doi: 10.11120/plan.2013.27010002
- Kinkaid, E., Emard, K. & Senanayake, N. (2020). The podcast-as-method?: Critical reflections on using podcasts to produce geographic knowledge. *Geographical Review*, 110(1-2), 78-91. doi: 10.1111/ger.12354
- Llorens Largo, F. (2015). Campus virtuales: de gestores de contenidos a gestores de metodologías. *Revista De Educación a Distancia (RED)*, 42, 1-12. Recuperado de <https://revistas.um.es/red/article/view/236561>

- Llorente Adán, J. A. (2020). Conocimientos que los alumnos del Grado en Primaria de la Universidad de La Rioja (España) tienen sobre su pueblo de origen: propuesta didáctica. *STUDIUM EDUCATIONIS-Rivista quadrimestrale per le professioni educative*, (1), 99-110. doi: 10.7346/SE-012020-08
- Marcano, B., Íñigo, V. & Sánchez J. M. (2017). Percepción personal de una actividad de creación de contenido colaborativo de estudiantes del Máster de Formación del Profesorado. *EDMETIC*, 6(2), 168-184. doi: 10.21071/edmetic.v6i2.6932
- Marín, D., Vidal, M. I., Peirats, J. & San Martín, Á. (2019). Competencia digital transversal en la formación del profesorado, análisis de una experiencia Transversal. *Innoeduca. International Journal of Technology and Educational Innovation*, 5(1), 4-12. doi: 10.24310/innoeduca.2019.v5i1.4890
- Mattos Medina, B., Prados Megías, E. & Padua Arcos, D. (2013). La voz del alumnado: Una investigación narrativa acerca de lo que siente, piensa, dice y hace el alumnado de Magisterio de Educación Física en su formación inicial. *Movimento*, 19(4), 251-269. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=115328881012>
- McKeachie, W. J. & Svinicki, M. (2006). *McKeachie's teaching tips: Strategies, research, and theory for college and university teachers*. Boston: Houghton-Mifflin.
- Meza de Vernet, I. (2009). Procesos cognitivos básicos, material de apoyo. *Cuadernos Unimetanos*, (20), 34-36. Recuperado de <http://openjournal.unimet.edu.ve/index.php/Cuadernos-Unimetanos/article/view/231>
- Molina Torres, M. P. (2020). La competencia digital en la formación de los estudiantes del Grado de Educación Primaria. En A. M. De Vicente & J. Sierra (Coord.), *Aproximación periodística y educomunicativa al fenómeno de las redes sociales* (pp. 765-778). McGrawHill. Recuperado de <https://www.academia.edu/44648570>
- Morales, C. & Moses, J. S. (2006). Podcasting: Recording, managing, and delivering the classroom experience. *EDUCAUSE Evolving Technologies Committee*. Recuperado de <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.455.5970&rep=rep1&type=pdf>
- Moura, A. & Carvalho, A. A. (2006). Podcast: potencialidades na educação. *Prisma*, (3), 88-110. Recuperado de <https://ojs.letras.up.pt/index.php/prismacom/article/view/2112>
- Pádua Franco, A., Sabino, A. L. & Rezende de Faria, E. (2015). O Censo Demográfico de 2010: telefones celulares na construção de podcasts geográficos. *Revista de Geografia do Colégio Pedro II*, 2(3), 97-104. doi: 10.33025/grgcp2.v2i3.206
- Perona Páez, J. J. & Barbeito Veloso, M. (2007). Modalidades educativas de la radio en la era digital. *ICONO 14, Revista de comunicación y tecnologías emergentes*, 5(1), 225-251. doi: 10.7195/ri14.v5i1.378
- Piñeiro Otero, T. & Costa Sánchez, C. (2011). Potencialidades del Podcast como herramienta educativa para la enseñanza universitaria. *Etic@net*, 9(11), 124-136. doi: 10.30827/eticanet.v1i10.16809
- Ponzán-Frisa, C. (2019). El absentismo en la Universidad de Zaragoza. Grado en Magisterio y Relaciones Laborales y Recursos Humanos. Informe sobre el absentismo en la Universidad de Zaragoza 2018/2019. Lasiera Esteban, J. M. (dir.), Trabajo Fin de Grado, Universidad de Zaragoza. Recuperado de <https://zaguan.unizar.es/record/85043?ln=es>
- Reyes Torres, C., Pérez Alcántara, B. & Carreto Bernal, F. (2012). Evolución de la función social o desempeño profesional de los egresados de la licenciatura. En Geografía de la UAEM. En B. Pérez Alcántara, I. Araya Ramírez & F. Carreto Bernal (Eds.), *La función social de la Geografía* (pp. 176-193). Editorial Académica Española.
- Saeed, N., Yang, Y. & Sinnappan, S. (2009). Emerging web technologies in higher education: A case of incorporating blogs, podcasts and social bookmarks in a web programming course based on students' learning styles and technology preferences. *Journal of Educational Technology & Society*, 12(4), 98-109. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.12.4.98>
- Sánchez, R. (2012). Estrategias didácticas blended learning para la enseñanza de la Geografía Económica en el bachillerato. *Revista educación y tecnología*, (1), 123-149. Recuperado de <http://revistas.umce.cl/index.php/edytec/article/view/40>
- Sánchez Vera, M. & Solano Fernández, I. M. (2013). El uso de recursos multimedia para la renovación metodológica: una experiencia en futuros maestros de Educación Infantil. *EDUTECH 2013*. Conferencia llevada a cabo en el XVI Congreso EDUTECH 2013, Costa Rica. Recuperado de [https://www.uned.ac.cr/academica/edutech/memoria/ponencias/sanchez\\_solano\\_151.pdf](https://www.uned.ac.cr/academica/edutech/memoria/ponencias/sanchez_solano_151.pdf)
- Schnackenberg, H. L., Vega, E. S. & Relation, D. H. (2009). Podcasting and Vodcasting: Legal Issues and Ethical Dilemmas. *Journal of Law, Ethics & Intellectual Property*, 2(1), 361-367. doi:10.1.1/515.5857
- Skiba, D.A. (2006). The 2005 word of the year: podcast. *Nursing Education Perspectives*, 27(1), 54-5. Recuperado de [https://journals.lww.com/neponline/Citation/2006/01000/The\\_2005\\_Word\\_of\\_the\\_Year\\_\\_Podcast.18.aspx](https://journals.lww.com/neponline/Citation/2006/01000/The_2005_Word_of_the_Year__Podcast.18.aspx)

- Solano Fernández, I. M. & Amat Muñoz, L. (2008). *Integración de podcast en contextos de enseñanza: criterios para el diseño de actividades*. Universidad de Murcia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10201/14623>
- Solano Fernández, I. M. & Sánchez Vera, M. M. (2010). Aprendiendo en cualquier lugar: el podcast educativo. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, (36), 125-139. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36815128010>
- Souto González, X. M. (2013). Didáctica de la Geografía y currículo escolar. En R. De Miguel González, M. L. De Lázaro Torres & M. J. Marrón Gaité (Eds.), *La educación geográfica digital* (pp. 73-92). Asociación Española de Geografía, Grupo de Didáctica de la Geografía (AGE). Recuperado de [https://ifc.dpz.es/recursos/publicaciones/33/36/\\_ebook.pdf#page=118](https://ifc.dpz.es/recursos/publicaciones/33/36/_ebook.pdf#page=118)
- Souto González, X. M. & García Monteagudo, D. (2016). La geografía escolar ante el espejo de su representación social. *Didáctica Geográfica*, (17), 177-201. Recuperado de <https://didacticageografica.age-geografia.es/index.php/didacticageografica/article/view/365>
- Turner, M. W. (2020). Podcasting: Spaces for Connection and Development. En P. Clements, A. Krause & R. Gentry (Eds.), *Teacher efficacy, learner agency* (p. 32). Tokyo. doi: 10.37546/JALTPCP2019-05

# Factor bioconcentración en *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. Análisis preliminar

## Bioconcentration factor in *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. Preliminary analysis

MARIO CORRAL RIBERA<sup>1</sup>  0000-0001-9349-4051

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Madrid, DPTO. Geografía. España.

### Resumen

El ailanto (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) es una de las especies exóticas invasoras más extendida a escala global. Su principal distribución está relacionada con ambientes antropizados, donde las concentraciones en suelo de elementos (metales pesados o elementos traza) pueden ser tóxicas para otros organismos vegetales. El ailanto tiene la capacidad de bioacumular estos contaminantes en sus tejidos vegetales (hojas). Se ha empleado esta especie para analizar el factor bioconcentración en diferentes ambientes antropizados (escombreras, vías de comunicación y zonas verdes) así como espacios naturalizados en la región de Madrid. También se han analizado las estrategias de *Ailanthus altissima* para los diferentes compuestos analizados en suelo. Los resultados indican que *Ailanthus altissima* absorbe del suelo una gran cantidad de elementos tóxicos de procedencia antrópica. En este sentido, la especie podría emplearse como fitorremediadora de espacios con suelos contaminados, como sucede en regiones de China.

Palabras clave: Factor bioconcentración (FBC); *Ailanthus altissima*; fitorremediación; metales pesados; toxicidad.

### Fechas • Dates

Recibido: 2021.04.05  
Aceptado: 2021.05.12  
Publicado: 2022.03.07

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Mario Corral Ribera  
[mario.corral@uam.es](mailto:mario.corral@uam.es)

## Abstract

Ailanto (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) is one of the most widespread invasive alien species on a global scale. Its main distribution is related to anthropized environments, where soil concentrations of elements (heavy metals or trace elements) can be toxic to other plant organisms. Ailanto has the ability to bioaccumulate these pollutants in its plant tissues (leaves). Thus, this species has been used to analyze the Bioconcentration factor in different anthropized environments (dumps, roads and green areas) as well as naturalized spaces in the Madrid region. The strategies of *Ailanthus altissima* were also analyzed for the different compounds analyzed in soil. The results indicated that *Ailanthus altissima* absorbs a large quantity of toxic elements of anthropic origin from the soil. In this sense, the species could be used as a phytoremediator of spaces with contaminated soils, as is the case in regions of China.

Keywords: Bioconcentration factor (BCF); *Ailanthus altissima*; phytoremediation, heavy metals; toxicity.

## 1. Introducción

Las últimas centurias se caracterizan por la intensificación de diferentes actividades antrópicas que han alterado significativamente la composición y estructura del medio. Estas modificaciones se traducen en el incremento (tanto en ambientes antropizados como en espacios naturales periféricos o adyacentes) de elementos nocivos, tales como metales pesados y/o el aumento en las concentraciones de elementos traza que pueden ser tóxicos y causar daños irreversibles sobre organismos vegetales (Kumar, 2013; Kleckerova & Dočekalová, 2014). La contaminación de los suelos puede haberse producido tanto por acciones antrópicas físicas (deforestación, ganadería o circulación de vehículos) como químicas -plaguicidas, fertilizantes, fluidos de diversa procedencia como aceites de motor, entre otros- (Yang *et al.*, 2012; Szolnoki *et al.*, 2013; Gulan *et al.*, 2017). Así, su degradación (erosión, pérdida de materia orgánica, contaminación, impermeabilidad, sellado, compactación, salinización, etc.) está estrechamente relacionado con su uso intensificado por parte de diferentes actividades antrópicas (Garbisu *et al.*, 2007; Shukla *et al.*, 2010).

En el contexto de contaminación de los suelos, los organismos vegetales juegan un papel principal como fitorremediadores y bioacumuladores de sustancias químicas, al transferir elementos nocivos del entorno abiótico a sus tejidos vegetales (Alcoba *et al.*, 2014; Martínez-López *et al.*, 2014). Es importante definir el concepto de especie bioacumuladora como aquel organismo que almacena metales pesados u otros contaminantes ambientales (como pesticidas) en sus tejidos. Dichos contaminantes, son absorbidos del medio cuando las especies realizan algunas de sus funciones biológicas. Y el concepto de fitorremediación como la técnica empleada en la recuperación de la calidad (reducción, degradación o eliminación de contaminantes) de suelos, aire, sedimentos o agua por medio de especies vegetales. Se basa en las capacidades fisiológicas y bioquímicas que presentan algunas especies vegetales para asimilar, metabolizar, detoxificar o acumular compuestos o contaminantes (metales pesados, compuestos orgánicos, partículas en suspensión del aire o disueltas en medio acuoso) de su entorno (Arthur *et al.*, 2005; Carpena & Bernal, 2007; García & Reyes, 2009; Lee, 2013).

Las estrategias de los organismos vegetales frente a los contaminantes en suelo pueden dividirse en dos tipos: i) estrategia de exclusión; aquellas que impiden la asimilación del elemento, restringen el transporte del mismo hacia la propia planta, la producción de exudados por las raíces y/o la reducción de la concentración del elemento aprovechando la caída de la hoja, y ii) estrategias de acumulación; cuando distintas especies poseen mecanismos que permiten tener un exceso de

elemento tóxico que queda almacenado en las hojas, en las vacuolas, o ligados a la membrana plasmática (Baker & Walter, 1990; Verkleij & Schat, 1990). Los niveles de tolerancia dependen del elemento y del organismo vegetal. Sin embargo, determinadas plantas, son capaces de permitir la absorción de más de un elemento tóxico. De esta forma, se han identificado relaciones positivas entre la deposición de metales pesados en suelo y las concentraciones de metales pesados en las plantas (Ugulu *et al.*, 2012) y muchas especies vegetales son capaces de absorber y acumular cantidades significativas de sustancias potencialmente tóxicas (Piczak *et al.*, 2003). Por tanto, el análisis de las hojas de organismos vegetales como acumuladores de la contaminación de elementos nocivos tienen una gran importancia biogeográfica y ecológica (Tomašević *et al.*, 2004). En efecto, los árboles y arbustos desempeñan un papel importante en el filtrado y eliminación de metales pesados y otros elementos nocivos presentes en el suelo (Dzierżanowski *et al.*, 2011, McDonald *et al.*, 2007). Igualmente, diferentes organismos vegetales son a menudo utilizados para investigar la calidad ambiental y los posibles impactos sobre el medio (Nowak *et al.*, 2006, Piczak *et al.*, 2003).

Así, se pueden distinguir entre tres tipos de plantas en función de su comportamiento al incremento de concentración en el suelo (Baker, 1981). Plantas acumuladoras: Son aquellas en las que el elemento (metal) es concentrado en el tallo y las hojas. Dentro de este grupo destacan aquellas que tienen la capacidad de crecer en ambientes con altas concentraciones de elementos tóxicos y, además, acumular gran concentración de ellos en sus tejidos. Estas plantas son denominadas como hiperacumuladoras. Plantas indicadoras: Son aquellas donde la absorción y el transporte del metal, están regulados en la manera en que las concentraciones en la planta se reflejan en la parte aérea de esta (hojas, yemas o frutos). Plantas excluyentes: Aquellas en las que la concentración del elemento (metal) en tallo y hojas son constantes. Esto sucede siempre que la concentración del metal en suelo no supere los límites de tolerancia por la planta.

En este sentido, el conocimiento y empleo de especies vegetales tolerantes a los entornos antropizados, es esencial en el diseño de medidas correctoras que permitan reducir la contaminación de los suelos (Dzierżanowski *et al.*, 2011). También, estudiar las variabilidades en las composiciones químicas entre plantas de entornos naturales y contaminados es una forma de identificar la influencia de las fuentes de contaminación (Piczak *et al.*, 2003). Es de interés evaluar por un lado el potencial de las especies vegetales para eliminar los contaminantes de las matrices ambientales y, por otro, estudiar el factor bioconcentración de sustancias nocivas procedentes del suelo en organismos vegetales.

*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle es una de las especies exóticas invasoras más extendidas a escala global. Pese a su capacidad invasiva son muchos los estudios que determinan la importancia de emplear esta especie como indicadora y bioacumuladora de elementos metálicos en ambientes perturbados. Destaca la investigación de Hu *et al.*, (2014) donde se determina que en la ciudad de Yan'an (meseta de Loess, China) el ailanto actúa como especie significativamente bioacumuladora de plomo, cobre y cadmio. En menor proporción, también tiene capacidad de almacenar, en su parte aérea, cromo y zinc. Para el estudio de Hu *et al.*, (2014) *Ailanthus altissima* mostró un 3,06 en el índice de acumulación de metales (tercera especie que acumula mayor cantidad de elementos tóxicos, después de *Sabina chinensis* y *Juniperus formosana*). Por su parte, Lin *et al.*, (2017) fundamentan que, en diferentes espacios dentro de la ciudad de Beijing, el *A. altissima* (junto con *Fraxinus chinensis* Roxb y *Salix matsudana* Koidz) absorbe gran cantidad de elementos tóxicos (destacando metales) en su superficie foliar. A diferencia del trabajo de Hu *et al.*, (2014), aquí se establece que la mayor parte de los elementos han llegado a las hojas como partículas en suspensión a través del aire, no tanto absorbidas desde el suelo. Otra aportación significativa es

la de Ashraf *et al.*, (2017) describiendo la simbiosis entre diferentes bacterias PGP (*Plant Growth Promoting*) que favorecen el crecimiento de los organismos vegetales (entre ellos *A. altissima*). La relación simbiótica reside en que estas bacterias inoculan los elementos (metales) en los tejidos vegetales de la planta. De esta forma, los elementos del suelo son absorbidos por los vegetales y trasferidos a su parte aérea. En el contexto actual estas investigaciones ponen de manifiesto la trascendencia que puede tener el empleo de *Ailanthus altissima* como especie remediadora de los suelos contaminados.

Con esta aproximación, la presente investigación centra su base en el análisis preliminar de la transferencia suelo-hoja de diferentes elementos químicos en parajes específicos de la región de Madrid, empleando para ello, una de las especies exóticas invasoras más extendidas en ambientes antropizados, *A. altissima*.

Específicamente, el propósito de este estudio es: i) evaluar las concentraciones de ciertos elementos tóxicos o que en concentraciones elevadas pueden ser tóxicos (Pb, Cu, Cd, Cr, Zn, Sn, B, Sr, Mn) en las hojas de *Ailanthus altissima*, ii) analizar la transferencia suelo-hoja y como resultado el factor bioconcentración (FBC) para los diferentes ambientes seleccionados, iii) clasificar las estrategias de *A. altissima* y así proporcionar datos experimentados para investigaciones posteriores de la capacidad acumulativa de la especie.

## 2. Metodología

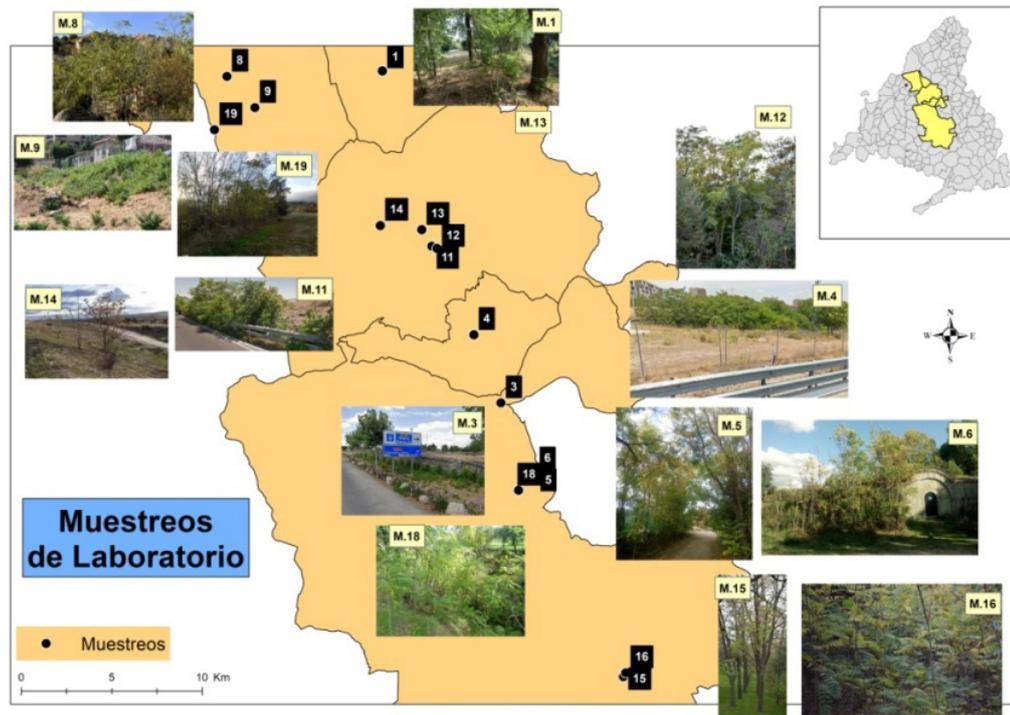
### 2.1. Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en diferentes ámbitos de la Comunidad de Madrid (España). La variabilidad de componentes físico-ambientales de la región obliga a definir un área de estudio lo suficientemente extensa y con rasgos diferenciados que permita llegar a los objetivos planteados.

Así se seleccionaron zonas diferenciadas (figura 1) que se incluyen en los términos municipales de Manzanares del Real, Soto del Real, Colmenar Viejo, Tres Cantos y Madrid.

Todos ellos recogen la inmensa mayoría de los caracteres físicos (unidades fisiográficas, litológicas y edáficas) y altitudinales que configuran la Comunidad de Madrid. También comprende desde zonas al norte con elevada precipitación anual (1490 mm) y bajas temperaturas medias (9,6°C) a zonas xéricas y cálidas del sur (360mm y 14,4 °C). Asimismo incluyen todos los diferentes usos y aprovechamientos. Además de diferentes rasgos demográficos y contiene las principales arterias de comunicación.

Figura 1. Mapa del área de estudio



Elaboración propia

## 2.2. Muestreo

Las sucesivas campañas de campo se llevaron a cabo entre los meses de marzo a octubre de los años 2019 y 2020. Se seleccionaron estos meses por el estado óptimo del crecimiento foliar y floración de la especie; finalizando justo antes del inicio de la otoñada y pérdida de la hoja (Sæbø *et al.*, 2012). Se tomaron muestras en cuatro ambientes diferenciados con presencia de *A. altissima* (escombrera, espacio natural, vía de comunicación y zona verde urbana) (tabla 1).

Tabla 1. Localización y características del área de muestreo

LOCALIZACIÓN	ID	X	Y	Z	Características
Tres Cantos	3	440320,69	4492283,68	748	Escombrera
Tres Cantos	4	438815,25	4496092,36	735	Escombrera
Valdelatas	5	442229,2	4488462,36	699	Escombrera
Colmenar Viejo	12	436776,81	4500910,36	828	Escombrera
Colmenar Viejo	13	435926,83	4501954,39	859	Escombrera
Madrid	16	447211,91	4477230,18	660	Escombrera
Valdelatas	6	442185,33	4488312,01	697	Espacio natural
Pedriz del Manzanares	8	425168,66	4510503,36	974	Espacio natural
Valdelatas	18	441298,61	4487408,85	719	Espacio natural
Colmenar Viejo	11	436492,06	4501024,37	823	Vía de comunicación
Colmenar Viejo	14	433645,21	4502183,1	895	Vía de comunicación
Manzanares del Real	19	424474,79	4507518,89	903	Vía de comunicación
Soto del Real	1	433761,28	4510813,22	903	Zona verde
Manzanares del Real	9	426708,29	4508763,00	906	Zona verde
Madrid	15	447092,07	4477009,18	673	Zona verde

ID: Identificador; X: latitud; Y longitud; Z: altitud

Dentro de las masas de ailanto localizadas, se seleccionaron aleatoriamente 10 individuos, recogiendo para el conjunto de ejemplares un total de 500g de hojas a una altura de entre 0,6 a 3m (dependiendo del porte de la planta) por encima del nivel del suelo desde cada dirección (W, E, S y N con respecto al troco del árbol). Todas las plantas analizadas habían estado creciendo en los lugares seleccionados durante varios años y estaban en buenas condiciones (Dzierżanowski *et al.*, 2011, Sæbø *et al.*, 2012, Hu *et al.*, 2014).

Las hojas fueron colocadas en bolsas de papel, etiquetadas y acopiadas en una instalación (laboratorio) de almacenamiento limpio a temperatura ambiente hasta su análisis (Dzierżanowski *et al.*, 2011, Serbula *et al.*, 2012).

### 2.3. Análisis de laboratorio

El periodo establecido para el análisis de laboratorio fue posterior al mes de octubre (tras la recogida de las muestras en campo y su secado). Para obtener la composición química de las hojas, se molieron 0,5g de muestra hasta conseguir un tamaño fino inferior a 20µm. En vaso de teflón, se empleó ácido fluorhídrico (5 cc) para atacar la muestra en placa calefactora hasta sequedad y ácido nítrico (5 cc) hasta aparición de humos. Tras el cese de esta primera acción química (desaparición de humos) se adicionan 10 ml de ácido clorhídrico hasta que, de nuevo, cesan los humos. Enrasado con agua destilada en un matraz aforado de 25 ml. Posteriormente, el contenido del matraz fue depositado en un bote de plástico, numerado acorde a la nomenclatura utilizada. Por último, se lleva a cabo un análisis semicuantitativo elemental de las muestras, que engloba la gran mayoría de la tabla periódica, a excepción de gases nobles y otros elementos, tales como el carbono (C), el hidrógeno (H) y varios haluros.

La determinación química fue realizada mediante espectroscopía de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS) con llama de argón. El espectrómetro empleado ha sido ICP-MS Elan 6000 Perkin Elmer Sciex con autosampler AS91. Este análisis se repitió en 5 ocasiones y se calculó la media.

Para realizar la curva de calibrado se toman los valores 0,1, 1 y 10 mg/l, excepto para el caso del Na, Mg y Ca que se usaron valores 0,1, 1, 10 y 100. La medición de Na y K se ha realizado mediante fotometría de llama por emisión, con un equipo Perkin Elmer 2280.

### 2.4. Análisis de datos

Para estimar la tolerancia que tienen las plantas frente a los metales del suelo se deben tener en cuenta, tanto relaciones que empleen respuestas físicas al tratamiento con metales (fragilidad en la hoja, clorosis, necrosis, cambio en la tonalidad, u otros derivados de fitotoxicidades) como parámetros químicos que reflejen el efecto provocado por los metales (Alcoba *et al.*, 2014). Siguiendo el modelo de Alcoba *et al.*, (2014) para la relación entre las concentraciones de metal en las partes subterráneas de la planta y el suelo se calculó el factor bio-concentración (FBC = concentración de metal en la raíz / concentración de metal en el suelo). El coeficiente determina la transferencia de metal del suelo a la planta. Un valor >1, significa que existen mecanismos que concentran el elemento en las hojas. Por su parte, se calculó el factor transferencia FT= (concentración de metal en la hoja / concentración de metal en la raíz) para indicar el tipo de respuesta (acumulación, indicador, excluyente) de la planta al metal (Abreu *et al.*, 2012). El coeficiente establece que, si la relación <1 existe una restricción del transporte del metal entre raíz y hoja. De esta

forma, el elemento queda inmóvil en la parte subsuperficial de la planta. Si es  $>1$ , el metal es transferido a la parte aérea del organismo vegetal. Por su parte, atendiendo al trabajo de Kabata (2001) Bravo *et al.*, (2014) diferenció entre tres niveles de bioconcentración: Nivel de bioconcentración bajo: Valores inferiores a 0,1, Nivel de bioconcentración medio: Valores entre 0,1 y 1, Nivel de bioconcentración alto: Valores superiores a 1. Para la investigación se carece de muestras de raíz de *A. altissima*, sin embargo, diversos estudios emplean el factor de bio-acumulación (BAF) como la relación entre las concentraciones de metal en la planta (genérico, sin diferenciar entre parte aérea o subterránea) y el suelo (Kabata 2001; Ma *et al.*, 2001; Bu-Olayan & Thomas, 2009; Bravo *et al.*, 2014; Mishra & Pandey, 2019).

### 3. Resultados

#### 3.1. Concentración de elementos en las hojas

Los elementos químicos menores presentes en las hojas de *A. altissima* en una concentración superior a 0,5ppm (promedio) son los reflejados en la tabla 2.

Tabla 2. Concentraciones ( $>0,5$  ppm) de los elementos en hojas

Elemento	Concentración promedio (ppm)	Desviación estándar ( $\sigma$ )
B	174	223,16
Sr	108	28,25
Mn	102	79,86
Sn	41	20,70
Ba	40	25,38
Zn	31	20,97
Cu	22	23,84
Rb	10	5,29
Zr	7	8,51
Ni	6	4,39
Ce	4	4,45
Cr	4	4,79
Li	3	5,64
V	3	4,78
La	2	2,04
Nd	2	1,81
Pb	2	2,03
W	2	3,16
Y	2	1,50
As	1	1,22
Ga	1	2,44
Nb	1	0,99
Pr	1	0,62
Sc	1	0,98
Th	1	0,88
U	1	1,18

Elaboración propia.

Entre todos ellos, resultan de interés los datos del boro (B) tercer elemento en abundancia media con 174ppm y una desviación estándar de 223ppm. El manganeso (Mn) tiene valor medio de concentración 102ppm  $\pm$  79,86ppm de desviación estándar. La concentración media de estaño (Sn) es de 41ppm y una desviación estándar de 20,70ppm. El bario (Ba) tiene una concentración promedio en las hojas de ailanto de 40ppm con una  $\sigma$  de 25,38ppm. En menor proporción se encuentra el vanadio (V) con 3ppm de promedio y 4,78ppm de desviación estándar. El wolframio (W) con 2ppm promedio y  $\sigma$  de 3,16ppm. Por último, el uranio (U) está en concentración promedio de 1ppm y su desviación estándar de 1,18ppm.

Por su parte, dentro de los considerados como metales pesados, destacan la concentración en las hojas de zinc (Zn) 31ppm y su  $\sigma$  de 20,97ppm, de cobre (Cu) 22ppm y  $\sigma$  de 23,84ppm. Por su parte, el níquel (Ni) tiene una concentración promedio en las hojas de ailanto de 6ppm y su desviación estándar es de 4,39ppm. El cromo (Cr) se distribuye en proporciones medias de 4ppm y la  $\sigma$  es de 4,79ppm. El plomo (Pb) tiene una concentración promedio de 2ppm y su desviación de 2,03ppm. Por último, el arsénico (As) aparece en 1ppm y su  $\sigma$  es de 1,22ppm.

### 3.2. Análisis del factor bioconcentración

Para el conjunto de ambientes, según la bibliografía consultada (Ma *et al.*, 2001; Bu-Olayan & Thomas, 2009; Mishra & Pandey, 2019) el B, Cu, Sn y Sr son los elementos menores que pueden ser considerados bioacumulados por las hojas de *A. altissima* dado que su factor de bioconcentración (FBC) es superior a la unidad ( $FBC \geq 1$ ). Además de los elementos antes mencionados, se pueden considerar que otros compuestos como Cu y Ni tienen cierto carácter acumulativo, pues su factor de bioconcentración es  $\geq 0,5$  (tabla 3).

Tabla 3. Valores del factor bioconcentración (FBC).

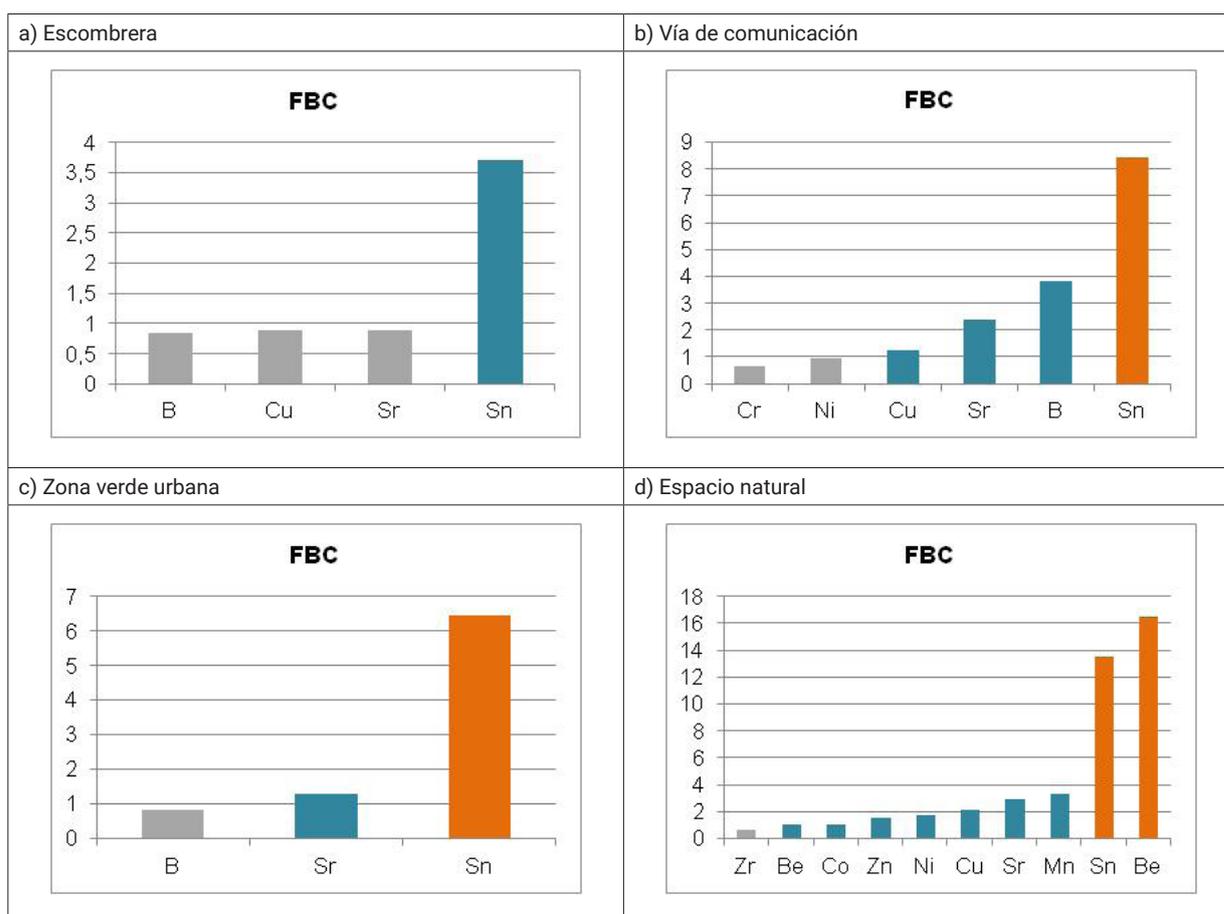
Elemento	Concentración promedio en hojas (ppm)	Concentración promedio en suelo (ppm)	FBC
Sn	41	8	5,06
B	174	148	1,18
Sr	108	92	1,17
Cu	22	24	0,92
Ni	6	12	0,51
Mn	102	213	0,48
Zn	31	70	0,45
Cr	4	11	0,34
Ce	4	16	0,25
Sc	1	3	0,25
Zr	7	39	0,18
As	1	8	0,12
Ba	40	375	0,11
V	3	30	0,11
Ga	1	14	0,09
Rb	10	127	0,08
Li	3	51	0,07
Pb	2	39	0,06

Elaboración propia.

Se han diferenciado: i) Elementos no acumulados en las hojas (sin color): Presentan factor de bioconcentración inferior a 0,5 ( $FBC \leq 0,5$ ). Entre estos elementos se encuentran As, Ba, Ce, Cr, Ga, Li, Mn, Pb, Rb, Sc, Zn y Zr; ii) Posibles elementos bioacumulados (color gris): Son aquellos que presentan un factor de bioconcentración ( $FBC \geq 0,5$ ). Cu y Ni; iii) Elementos bioacumulados (color azul): Aquellos cuyo factor de bioconcentración es igual o superior a la unidad ( $FBC \geq 1$ ). B y Sr; iv) Elementos potencialmente acumulados (color naranja): Aquellos elementos cuya concentración en las hojas es significativamente superior que en suelos. En la investigación, el único elemento con esta característica es el Sn ( $FBC > 5$ ).

Teniendo en consideración cada uno de los ambientes analizados se determina: i) en las escombreras (figura 2a) el B, Cu, Sr son posibles elementos acumulados; y el Sn elemento encontrado en las hojas; ii) para las vías de comunicación (figura 2b) el Sn es potencialmente acumulado, mientras que B, Sr, Cu están presentes en los tejidos vegetales de la parte aérea del árbol; iii) en las zonas verdes urbanas (figura 2c) el Sn es potencialmente bioacumulado; por último, iv) en los espacios considerados como naturalizados (figura 2d) las hojas de ailanto acumulan Be, Co, Zn, Ni, Cu, Sr y Mn; mientras que Sn y B son elementos potencialmente bioacumulados

Figura 2. Factor Bioconcentración (FBC) para cada ambiente analizado



Elaboración propia.

### 3.3. Estrategias de *Ailanthus altissima*

A la vista de los resultados obtenidos y en relación con las investigaciones de Baker (1981), Kabata (2001), Alcoba *et al.*, (2014), y Bravo *et al.*, (2014), se han clasificado las estrategias de *A. altissima* frente a los diferentes elementos (tabla 4).

Aplicando el modelo de Baker (1981) y Alcoba *et al.*, (2014), puede comprobarse que, del conjunto de elementos presentes tanto en hojas de *A. altissima* como en suelos (un total de 19), 13 compuestos (68,42% de los elementos) tienen una concentración significativamente baja en las hojas, y su proporción en suelo no supera los límites de tolerancia de la planta. Por consiguiente, su FBC es inferior a 0,5 (ver tabla 4)

Tabla 4. Factor de Bioconcentración (FBC) y estrategia de *A. altissima*

ELEMENTO	Serie	FBC	ESTRATEGIAS	
			Baker (1981) Alcoba et al., (2014)	Kabata (2001) Bravo et al., (2014)
Pb	Metal pesado	0,06	Excluyente	Bajo nivel de bioconcentración
Li	Metal alcalino	0,07	Excluyente	Bajo nivel de bioconcentración
Rb	Metal alcalino	0,08	Excluyente	Bajo nivel de bioconcentración
Ga	Metal bloque P	0,09	Excluyente	Bajo nivel de bioconcentración
Ba	Metal alcalinotérreo	0,11	Excluyente	Nivel medio de bioconcentración
V	Metal de transición	0,11	Excluyente	Nivel medio de bioconcentración
As	Metal pesado	0,12	Excluyente	Nivel medio de bioconcentración
Zr	Metal de transición	0,18	Excluyente	Nivel medio de bioconcentración
Ce	Lantánido	0,25	Excluyente	Nivel medio de bioconcentración
Sc	Metal de transición	0,25	Excluyente	Nivel medio de bioconcentración
Cr	Metal pesado	0,45	Excluyente	Nivel medio de bioconcentración
Zn	Metal pesado	0,45	Excluyente	Nivel medio de bioconcentración
Mn	Metal de transición	0,48	Excluyente	Nivel medio de bioconcentración
Ni	Metal de transición	0,51	Posible indicadora	Nivel medio de bioconcentración
Cu	Metal pesado	0,92	Posible indicadora	Nivel medio de bioconcentración
Sr	Metal alcalinotérreo	1,17	Indicadora	Alto nivel de bioconcentración
B	Metaloides	1,18	Indicadora	Alto nivel de bioconcentración
Sn	Metal bloque P	5,06	Acumuladora	Alto nivel de bioconcentración

Elaboración propia

En estos casos el *A. altissima* actúa como excluyente, es decir, el elemento no es transmitido a la parte aérea del árbol. Entre los elementos excluyentes se destacan: metales pesados como el Pb, As, Zn; metales de transición como Sc, Mn, Co, V; metales alcalinos como Li, Rb. Por su parte, para la investigación, el *A. altissima* actúa como planta indicadora de Sr, B. La concentración de estos elementos queda reflejada en la parte aérea del individuo, siendo su factor de bioconcentración próximo a 1. Así, el ailanto es indicador del 14% de los elementos encontrados. Por último, se destaca el Sn como elemento potencialmente acumulado en las hojas de *A. altissima* (FBC = 5,06). Además, se ha observado también que el ailanto puede ser una especie indicadora de Ni y Cu presentando un factor de bioconcentración entre 0,5 y 1.

Empleando el modelo de Kabata (2001) y Bravo *et al.*, (2014) se comprueba que todos los elementos, con independencia de su FBC, son bioacumulados en las hojas de *A. altissima*, diferenciando: i) elementos con bajo nivel de bioconcentración: A este grupo pertenecen 4 de los 19 elementos encontrados en las hojas de ailanto (21% del conjunto). Destaca el metal pesado Pb, 2 metales alcalinos Li y Rb y un metal del bloque P (Ga); ii) elementos con nivel medio de bioconcentración: Este grupo representa el 63,15% de los compuestos. Destacan los metales pesados (As, Cr, Zn, Cu), y iii) compuestos químicos con alto nivel de bioconcentración: Representado por 3 elementos (15,8% del conjunto). Pertenecen el Sr, B y Sn.

Para los resultados obtenidos las hojas de *A. altissima* contienen un gran número elementos indispensables, pero en proporciones significativamente elevadas. Destacan, por encima del resto, las concentraciones de B (174 ppm), Sr (108 ppm), Mn (102 ppm). En menor proporción Zn (31 ppm), Cu (22 ppm), Ni (6 ppm), V (3 ppm), Pb (2 ppm).

Pese a esta afirmación, la desviación estándar del B ( $\sigma=223$  ppm) y Mn ( $\sigma=79,85$  ppm), establecen que, las concentraciones de estos elementos en la parte aérea del *A. altissima* depende, en gran medida, del ambiente en el que se encuentre. Para otros elementos, como Sr ( $\sigma=28,25$  ppm), Zn ( $\sigma=20,97$ ), Ni ( $\sigma=4,39$ ) las diferencias entre muestras (y por tanto entre ambientes) no son tan relevantes. Otros elementos, entre los que destaca el Cu ( $\sigma=23,84$  ppm), V ( $\sigma=4,78$  ppm) o Pb ( $\sigma=2,03$ ), tienen una desviación estándar superior a su promedio. Por consiguiente, la concentración de estos elementos es diferentemente significativa por cada muestra.

#### 4. Discusión

Los procesos de industrialización, desarrollo urbanístico, cambios en los usos del suelo y el resto de acciones antrópicas que se dan en el Antropoceno, contribuyen al incremento de la concentración de sustancias químicas (metales pesados o elementos traza) que pueden ser perjudiciales para los organismos vegetales. La toxicidad de los metales en las plantas depende de la tolerancia de cada especie, el elemento químico en cuestión y/o las características físico-químicas del suelo. Así, ciertos metales son considerados como esenciales para el crecimiento y desarrollo de organismos vegetales, como el Cu y Zn que activan las reacciones enzimáticas y participan en las reacciones Redox de las plantas. O el Cu que actúa en el proceso fotosintético (Mahmood & Islam, 2006; Chatterjee *et al.*, 2006). El Zn que es esencial para los ribosomas. O el Co que es elemento indispensable para la vitamina B12 (Nagajyoti *et al.*, 2010). En el suelo de ambientes antropizados es habitual encontrar elementos no esenciales y que son considerados como tóxicos para los organismos vegetales como Hg, Ag, Pb, Ni. Además, en los espacios antropizados, los elementos traza como el Fe, Cu, Zn, Mn o el Co, entre otros, suelen presentarse en concentraciones elevadas, nocivas para el desarrollo de la mayor parte de las especies vegetales (Nagajyoti *et*

*al.*, 2010). Sin embargo, especies como *A. altissima* tienen la capacidad de desarrollarse en suelos con concentraciones tóxicas de estos elementos metales, como se ha corroborado en el presente análisis preliminar.

Esta especie muestra una clara y marcada expansión en hábitats significativamente perturbados por acciones antrópicas. Así, la especie, ha sido considerada como una de las más tolerantes a la contaminación atmosférica. Siendo altamente resistente a  $\text{SO}_2$  y otros compuestos nocivos para la mayoría de los organismos vegetales. Esta tolerancia se debe, entre otros caracteres, a la alta capacidad antioxidante que tienen sus hojas. Además, presenta una gran capacidad de desintoxicación de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (Kovacs *et al.*, 1982).

*A. altissima* posee la capacidad de desarrollarse en suelos con concentraciones de elementos químicos (traza) elevadas (Hu *et al.*, 2014; Lin *et al.*, 2017; Ashraf *et al.*, 2017). En ocasiones, los elementos están presentes en la naturaleza y son indispensables para el correcto desarrollo de los organismos vegetales (como el Boro, Manganeso, Níquel, Cobre, Magnesio o Silicio, entre otros). El problema reside cuando la proporción de estos elementos es significativamente superior a la que pueden tolerar las plantas, convirtiéndose en elementos tóxicos (Alcoba *et al.*, 2014). Mientras, otros compuestos no desempeñan ninguna función biológica y resultan altamente tóxicos, como el Cd, Hg o el Pb. En este contexto, diferentes especies vegetales, entre las que destaca *A. altissima*, han sido empleadas como bio-acumuladoras y fitorremediadoras de entornos contaminados (Hu *et al.*, 2014; Ashraf *et al.*, 2017; Lin *et al.*, 2017). Los resultados del factor bioconcentración obtenidos en la presente investigación, corroboran esta capacidad adaptativa del ailanto y sugieren la presencia de otros rasgos adaptativos de la especie, que permiten su desarrollo en suelos con concentraciones elevadas de elementos químicos (mayores y traza) nocivas para otros organismos vegetales.

Según Alcoba *et al.*, (2014), los organismos vegetales pueden ser empleados como indicadores de la disponibilidad de elementos a diferentes profundidades edáficas. Para que los diferentes compuestos (presentes en el suelo), lleguen a las hojas del árbol, éstos deben ser accesibles para la misma. Por consiguiente, la procedencia del elemento influye elocuentemente sobre su biodisponibilidad, siendo los compuestos de origen antrópico los que tienen mayor movilidad y, por tanto, más facilidad para ser absorbidos por la planta. Con estas consideraciones, se ha planteado el estudio de la transferencia suelo-hoja para cada uno de los cuatro ambientes establecidos (escombreras, vías de comunicación, zona verde urbana y espacios más naturalizados). El fin de esta diferenciación entre biotopos es determinar la presencia o inexistencia de un entorno favorable donde el ailanto bio-acumula mayor cantidad de elementos. Para ello, se recurre al cálculo del Factor Bioconcentración (FBC) siguiendo el modelo de Baker (1981) y Alcoba *et al.*, (2014).

A la vista de los valores de las desviaciones estándar se puede establecer que, la mayor parte de las concentraciones de los elementos analizados en las hojas de ailanto, dependen del ambiente en el que se encuentre la planta. Destacan, por ejemplo, los valores de la desviación de B, Mn, Sn, Ba, Zn y Cu. Para los metales pesados aparecen diferencias en las respectivas desviaciones, agrupando Zn y Cu y el resto Ni, Cr, Pb y As. Así, mientras que las dos primeras tienen  $\sigma$  aproximado de 20ppm, el resto  $\sigma < 5\text{ppm}$ . Por tanto, aunque la concentración conjunta de metales pesados en hojas de *A. altissima* no parece presentar una fuerte desviación (se diferencia con otros elementos), sí se aprecia que las concentraciones de Ni, Cr, Pb y As son más homogéneas para el conjunto de muestras. El análisis del modelo de transferencia suelo-hoja, establece que los elementos bioacumulados en las hojas de *A. altissima* son Estroncio, Boro, Calcio y potencialmente acumulado

el Estaño. Sin embargo, la fuerte dependencia de la concentración de elementos en suelo para el cálculo del FBC, dificulta establecer en qué entorno el ailanto acumula mayor proporción de metales en sus hojas.

Queda probado que *A. altissima* posee la capacidad de bioacumular en sus tejidos vegetales diferentes elementos tóxicos para otros organismos. En este contexto, las investigaciones de Hu *et al.*, (2014), Lin *et al.*, (2017), Ashraf *et al.*, (2017), Abbaslou & Bakhtiari (2017) entre otras, determinan que *A. altissima* puede ser empleada como especie fitorremediadora de ambientes perturbados, acumulando en su parte aérea, diferentes compuestos (tabla 5). La mayoría de las investigaciones tienen como objeto de estudio la bioconcentración de metales pesados, destacando Pb, Cd, Cu, Zn, Cr. A estos elementos se suman Mn, Ni.

Tabla 5. Investigaciones que determinan *A. altissima* como bioacumulador y los compuestos bioacumulados.

AUTOR/ES Y AÑO	ELEMENTOS ACUMULADOS
Porter (1968)	Fe, Cu, Zn, Ti, K, Cl
Hu <i>et al.</i> , (2014)	Pb, Cu, Cr, Zn,
Filippou <i>et al.</i> , (2014)	SnO
Ranieri & Gikas (2014).	Cr
Lin <i>et al.</i> , (2017)	Partículas en suspensión (PM1, PM2,5, PM10)
Ashraf <i>et al.</i> , (2017)	Cr
Abbaslou & Bakhtiari (2017)	Cu, Mn, Fe, Zn, Cd, Pb
Nabi <i>et al.</i> , (2019)	NO, SnO
Roy <i>et al.</i> , (2020)	Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn
Corral (2021)	Ni, Cu, Sr, B, Sn

Elaboración propia a partir de los datos obtenidos y diversas fuentes bibliográficas.

En los resultados obtenidos del Factor de Bioconcentración (FBC), se han aplicado dos modelos para así poder comprobar qué elementos son significativamente bioacumulados por la parte aérea de *A. altissima*.

Por un lado, aplicando el modelo de Baker (1981) y Alcoba *et al.*, (2014), se ha comprobado que, del conjunto de elementos presentes, tanto en hojas de *A. altissima* como en suelos (un total de 19), 13 compuestos (68,42% de los elementos) tienen una concentración significativamente baja en las hojas, y su proporción en suelo no supera los límites de tolerancia de la planta. Por consiguiente, su FBC es inferior a 0,5. En estos casos *A. altissima* actúa como excluyente, es decir, el elemento no es transmitido a la parte aérea del árbol.

Entre los elementos excluyentes se destacan los siguientes: i) metales pesados como el Pb, As y el Zn; ii) metales de transición como Sc, Mn, Co, V; iii) metales alcalinos como Li, Rb.

Por su parte, para la investigación, *A. altissima* actúa como planta indicadora de Sr, B. La concentración de estos elementos queda reflejada en la parte aérea del individuo, siendo su factor de bioconcentración próximo a 1. Por último, se destaca el Sn como elemento potencialmente acumulado en las hojas de *A. altissima* (FBC = 5,06). Además, se ha observado que el ailanto puede ser una especie indicadora de Ni y Cu presentando un factor de bioconcentración entre 0,5 y 1.

Por otro lado, empleando el modelo de Kabata (2001) y Bravo *et al.*, (2014) se comprueba que todos los elementos, con independencia de su FBC, son bioacumulados en las hojas de *A. altissima*, diferenciando: i) elementos con bajo nivel de bioconcentración donde destaca el metal pesado Pb, 2 metales alcalinos Li y Rb y un metal del bloque P (Ga); ii) elementos con nivel medio de bioconcentración (As, Cr, Zn, Cu); iii) elementos con alto nivel de bioconcentración como el Sr, B y Sn.

Comparando los resultados obtenidos con la bibliografía consultada se han observado la inexistencia de Cd, NO y Cl en las hojas de *A. altissima*. El Pb tiene un factor de bioconcentración de 0,06 por tanto, es considerado como excluyente. El Cr y Zn presentan FBC de 0,45 según Kabata (2001) & Bravo *et al.*, (2014) tienen un nivel medio de bioconcentración. Siguiendo el modelo de Baker (1981) y Alcoba *et al.*, (2014) el ailanto excluye a estos elementos, por tanto, no se acumulan en la parte aérea del árbol. El Mn presenta FBC de 0,48 que según Kabata (2001) & Bravo *et al.*, (2014) tiene un nivel medio de bioconcentración. Siguiendo el modelo de Baker (1981) y Alcoba *et al.*, (2014) el ailanto excluye a este elemento. El Ni tiene aparece con un valor de 0,51 que según Kabata (2001) & Bravo *et al.*, (2014) tiene un nivel medio de bioconcentración. Siguiendo el modelo de Baker (1981) y Alcoba *et al.*, (2014) el ailanto podría acumular este elemento en las hojas, por consiguiente *A. altissima* puede indicar la presencia de Ni en suelo. El Cu tiene un factor de 0,91 que según Kabata (2001) & Bravo *et al.*, (2014) tiene un nivel medio de bioconcentración. Siguiendo el modelo de Baker (1981) y Alcoba *et al.*, 2014 *A. altissima* puede indicar la presencia de Cu en suelo. Sn es el elemento con mayor tasa de bioconcentración (FBC = 5,06) que según Kabata (2001) & Bravo *et al.*, (2014) tiene un nivel alto de bioconcentración. Siguiendo el modelo de Baker (1981) y Alcoba *et al.*, (2014) el ailanto acumula significativamente este elemento en las hojas. Este valor, puede deberse a la capacidad que tiene el *A. altissima* a generar SnO en periodos de sequía (Nabiet *al.*, 2019).

## 5. Conclusiones

En este análisis preliminar se ha analizado la capacidad bioacumuladora de la especie vegetal *Ailanthus altissima* de ciertos elementos químicos que, en concentraciones elevadas, pueden ser tóxicos para los organismos vegetales, (Pb, Li, Rb, Ga, Ba, V, As, Zr, Ce, Sc, Cr, Zn, Mn, Ni, Cu, Sr, B y Sn). Se ha puesto de manifiesto que la existencia o grado de concentración de ciertas sustancias químicas en suelos, está estrechamente relacionada con la proliferación de *Ailanthus altissima*. Así, el análisis de la elevada concentración media de Ni, Cu, Sr, B y Sn en la transferencia suelo-hoja establece la capacidad de la especie de invadir ambientes perturbados por acción antrópica.

Mientras que se ha avanzado en las investigaciones que establecen que los árboles y los bosques son importantes sumideros de contaminantes (Fowler *et al.*, 1989) el análisis del papel que desempeñan los organismos vegetales como filtros de contaminantes de los suelos en los núcleos urbanos y/o espacios antropizados es escaso y hay pocas oportunidades para implementar programas de ecología urbana con especies arbóreas (Speak *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos tienen aplicaciones para futuros ensayos que tengan como finalidad el análisis de otras especies, capaces de almacenar contaminantes en su parte aérea. Aunque emplear especies exóticas invasoras, como *Ailanthus altissima*, para la bioacumulación o fitorremediación no es el modelo adecuado, es interesante buscar los beneficios que pudieran tener estos organismos una vez se han instalado. Por ejemplo, las plantas que pueden tolerar altas concentraciones de metales, como el caso del ailanto, tienen tasas de crecimiento rápidas y su elevada

biomasa aérea puede implicar una alta capacidad de absorción de contaminantes (Laidlaw *et al.*, 2012, Mok *et al.*, 2013, Sæbø *et al.*, 2012). De esta forma, las plantas también deben considerarse por su idoneidad para crecer en entornos urbanos (Yang *et al.*, 2005). Con ello, desde el punto de vista de la gestión de espacios verdes, es de interés analizar aquellos organismos vegetales que posean alta tolerancia y capacidad de absorber componentes nocivos de los suelos urbanos (Craul, 1994), también implantar aquellas especies capaces de sobrevivir y crecer sin un riego constante (Whitlow *et al.*, 1992), que sean sostenibles y perturben lo menos posible los espacios naturales (Nowak *et al.*, 2002) y emplear especies sin riesgo de futuras invasiones.

## Financiación

No existefinanciación para la investigación y publicación del trabajo.

## Conflicto de intereses

El autore este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Abbaslou, H. & Bakhtiari, S. (2017). Phytoremediation potential of heavy metals by two native pasture plants (*Eucalyptus grandis* and *Ailanthus altissima*) assisted with AMF and fibrous minerals in contaminated mining regions. *Pollution*, 3 (3) 471-486. doi: 10.7508/pj.2017.03.0 12
- Abreu, M. M., Santos, E. S., Ferreira, M. & Magalhães, M. C. F. (2012). *Cistus salviifolius* a promising species for mine wastes remediation. *Journal of Geochemical Exploration*, 113, 86-93. doi: 10.1016/j.gexplo.2011.03.007
- Alcoba, P., González, E., Martínez, S., Martínez, L., Pérez, V., Martínez, M.J., Pérez, C. (2014). "Transferencia de elementos traza suelo-planta en suelos con influencia salina". Actas del 12º Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA). Madrid, 24 a 27 de noviembre de 2014. Recuperado de/ Retrieved from: <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2014/CT%202014/1896711457.pdf>
- Arthur, E. L., Rice, P. J., Rice, P. J., Anderson, T. A., Baladi, S. M., Henderson, K. L. D. & Coats, J. R. (2005). Phytoremediation - An overview. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24 (2), 109-122. doi: 10.1080/07352680590952496
- Ashraf, M. A., Hussain, I., Rasheed, R., Iqbal, M., Riaz, M. & Arif, M. S. (2017). Advances in microbe-assisted reclamation of heavy metal contaminated soils over the last decade: a review. *Journal of environmental management*, 198, 132-143. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.04.060
- Baker, A. J. & Walker, P. L. (1990). Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. *Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects*, 2, 155-165.
- Baker, A.J.M. 1981. Accumulators and excluders - strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of plant nutrition*. 3(1-4):643-654. doi: 10.1080/01904168109362867
- Bravo, S., Amorós, J. A., Higuera, P. L., García, F. J., Pérez-de los Reyes, C. & Sánchez, M. (2014). Estroncio (Sr) acumulado en hojas de viña (*Vitis vinifera* L.) en Castilla-La Mancha. In *I Jornada del Grupo de Viticultura y Enología: Comunicaciones, Logroño, 19 y 20 de noviembre, 2014* (pp. 200-206). SECH (Sociedad Española de Ciencias Hortícolas).
- Bu-Olayan, A. H. & Thomas, B. V. (2009). Translocation and bioaccumulation of trace metals in desert plants of Kuwait Governorates. *Research Journal of Environmental Sciences*, 3(5), 581-587. doi: 10.3923/rjes.2009.581.587
- Carpena, R. O. & Bernal, M. P. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Revista Ecosistemas*, 16(2), 1-13. Recuperado de/Retrieved from <http://digital.csic.es/bitstream/10261/16683/1/eco.pdf>
- Chatterjee, C., Gopal, R. & Dube, B. K. (2006). Physiological and biochemical responses of French bean to excess cobalt. *Journal of Plant Nutrition*, 29 (1), 127-136. doi: 10.1080/01904160500416513
- Corral, M. (2021). "Especies Exóticas Invasoras. Caso de *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle en el Centro de la Península Ibérica". Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- Craul, P. J. (1994). Soil compaction on heavily used sites. *Journal of Arboriculture*, 20(2), 69-74.

- Dzierżanowski, K., Popek, R., Gawrońska, H., Sæbø, A. & Gawroński, S. W. (2011). Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *International Journal of Phytoremediation*, 13 (10), 1037-1046. doi: 10.1080/15226514.2011.552929
- Filippou, P., Bouchagier, P., Skotti, E. & Fotopoulos, V. (2014). Proline and reactive oxygen/nitrogen species metabolism is involved in the tolerant response of the invasive plant species *Ailanthus altissima* to drought and salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 97, 1-10. doi: 10.1016/j.envexpbot.2013.09.010
- Fowler, D., Cape, J. N. & Unsworth, M. H. (1989). Deposition of atmospheric pollutants on forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 324(1223), 247-265.
- Garbisu, C., Becerril, J., Epelde, L. & Alkorta, L. (2007). Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. *Ecosistemas*, 16(2). doi: 10.7818/ECOS.127
- García, R. B., & Reyes, A. S. (2009). Fitorremediación de metales pesados y microorganismos. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, (16), 1-6. Recuperado de/Retrieved from <http://ama.redciencia.cu/articulos/16.02.pdf>
- Gulan, L., Milenkovic, B., Zeremski, T., Milic, G. & Vuckovic, B. (2017). Persistent organic pollutants, heavy metals and radioactivity in the urban soil of Priština City, Kosovo and Metohija. *Chemosphere*, 171, 415-426. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.12.064
- Hu, Y., Wang, D., Wei, L. & Song, B. (2014). Heavy metal contamination of urban topsoils in a typical region of Loess Plateau, China. *Journal of soils and sediments*, 14(5), 928-935. doi: 10.1007/s11368-013-0820-1.
- Kabata, A. (2001). *Trace elements in soils and plants*. 3ed. CRC. press.
- Kleckerova, A. & Docekalová, H. (2014). Dandelion plants as a biomonitor of urban area contamination by heavy metals. *International Journal of Environmental Research* (8), 157-164.
- Kovacs, M., Opauszky, I., Klincsek, P.K. & Podani, J. (1982). The leaves of city trees as accumulation indicators. In: Steubing, L.S., Jäger, H.J. (Eds.), *Monitoring of Air Pollutants by Plants. Methods and Problems*. Dr. W. Junk, The Hague, 149-153.
- Kumar, S. (2013). Appraisal of heavy metal concentration in selected vegetables exposed to different degrees of pollution in Agra, India. *Environmental monitoring and assessment*, 185(3), 2683-2690. doi: 10.1007/s10661-012-2739-1
- Laidlaw, W. S., Arndt, S. K., Huynh, T. T., Gregory, D. & Baker, A. J. M. (2012). Phytoextraction of heavy metals by willows growing in biosolids under field conditions. *Journal of environmental quality*, 41(1), 134-143. doi: 10.2134/jeq2011.0241
- Lee, J.H. (2013). An overview of phytoremediation as a potentially promising technology for environmental pollution control. *Biotechnol Bioproc Engineering*, (18) 431-439. doi: 10.1007/s12257-013-0193-8
- Lin, L., Yan, J., Ma, K., Zhou, W., Chen, G., Tang, R. & Zhang, Y. (2017). Characterization of particulate matter deposited on urban tree foliage: A landscape analysis approach. *Atmospheric Environment*, 171, 59-69. doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.09.012
- Ma, L. Q., Komar, K. M., Tu, C., Zhang, W., Cai, Y. & Kennelley, E. D. (2001). A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature*, 409(6820), 579-579. doi: 10.1038/35054664
- Mahmood, T. & Islam, K. R. (2006). Response of rice seedlings to copper toxicity and acidity. *Journal of plant nutrition*, 29(5), 943-957. doi: 10.1080/01904160600651704
- Martínez-López, S., Martínez-Sánchez, M. J., Pérez-Sirvent, C., Bech, J., Martínez, M. D. C. G. & García-Fernández, A. J. (2014). Screening of wild plants for use in the phytoremediation of mining-influenced soils containing arsenic in semiarid environments. *Journal of Soils and Sediments*, 14(4), 794-809. doi: 10.1007/s11368-013-0836-6
- McDonald, A. G., Bealey, W. J., Fowler, D., Dragosits, U., Skiba, U., Smith, R. I. & Nemitz, E. (2007). Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM10 in two UK conurbations. *Atmospheric Environment*, 41 (38), 8455-8467. doi: 10.1016/j.chemosphere.2006.03.016
- Mishra, T. & Pandey, V. C. (2019). Phytoremediation of Red Mud Deposits Through Natural Succession. In *Phytomanagement of Polluted Sites*, 409-424. doi: 10.1016/B978-0-12-813912-7.00016-8
- Mok, H. F., Majumder, R., Laidlaw, W. S., Gregory, D., Baker, A. J. & Arndt, S. K. (2013). Native Australian species are effective in extracting multiple heavy metals from biosolids. *International Journal of Phytoremediation*, 15(7), 615-632.

- Nabi, R. B. S., Tayade, R., Hussain, A., Kulkarni, K. P., Imran, Q. M., Mun, B. G. & Yun, B. W. (2019). Nitric oxide regulates plant responses to drought, salinity, and heavy metal stress. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 120-133. doi: 10.1016/j.envexpbot.2019.02.003
- Nagajyoti, P.C., Lee, K.D. & Sreekanth, T.V.M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters* (8), 199–216. doi: 10.1007/s10311-010-0297-8
- Nowak, D. J., Civerolo, K. L., Rao, S. T., Sistla, G., Luley, C. J. & Crane, D. E. (2000). A modeling study of the impact of urban trees on ozone. *Atmospheric Environment*, 34(10), 1601-1613. doi: 10.1016/S1352-2310(99)00394-5
- Nowak, D. J., Crane, D. E. & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(3-4), 115-123. doi: 10.1016/j.ufug.2006.01.007
- Piczak, K., Leśniewicz, A. & Żyrnicki, W. (2003). Metal concentrations in deciduous tree leaves from urban areas in Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 86(3), 273-287. doi:10.1023/A:1024076504099
- Porter, J. R. (1986). Evaluation of washing procedures for pollution analysis of *Ailanthus altissima* leaves. *Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical*, 12(3), 195-202. doi: 10.1016/0143-148X(86)90009-1
- Ranieri, E. & Gikas, P. (2014). Effects of plants for reduction and removal of hexavalent chromium from a contaminated soil. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(6), 1981. doi: 10.1007/s11270-014-1981-2
- Roy, A., Bhattacharya, T. & Kumari, M. (2020). Air pollution tolerance, metal accumulation and dust capturing capacity of common tropical trees in commercial and industrial sites. *Science of The Total Environment*, 137622. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137622.
- Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H. M., Gawronska, H. & Gawronski, S. W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*, 427, 347-354. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.03.084
- Serbula, S. M., Miljkovic, D. D., Kovacevic, R. M. & Ilic, A. A. (2012). Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 76, 209-214. doi: 10.1016/j.ecoenv.2011.10.009
- Shukla, K. P., Singh, N. K. & Sharma, S. (2010). Bioremediation: developments, current practices and perspectives. *Genetic Engineering and Biotechnology Journal*, 3, 1-20.
- Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J. & Smith, C. L. (2012). Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*, 61, 283-293. doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.07.043
- Szolnoki, Z. S., Farsang, A. & Puskás, I. (2013). Cumulative impacts of human activities on urban garden soils: origin and accumulation of metals. *Environmental Pollution*, (177), 106-115. doi: 10.1016/j.envpol.2013.02.007
- Tomašević, M., Rajšić, S., Đorđević, D., Tasić, M., Krstić, J. & Novaković, V. (2004). Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas. *Environmental Chemistry Letters*, 2(3), 151-154. doi: 10.1007/s10311-004-0081-8
- Ugulu, I., Dogan, Y., Baslar, S. & Varol, O. (2012). Biomonitoring of trace element accumulation in plants growing at Murat Mountain. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 9(3), 527-534. doi:10.1007/s13762-012-0056-4
- Verkleij, J. A. C. & Schat, H. (1990). Mechanisms of metal tolerance in higher plants. *Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects*, 179-194.
- Whitlow, T. H., Bassuk, N. L. & Reichert, D. L. (1992). A 3-year study of water relations of urban street trees. *Journal of Applied Ecology*, 436-450. doi: 10.2307/2404512
- Yang, J., McBride, J., Zhou, J. & Sun, Z. (2005). The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry & Urban Greening*, 3(2), 65-78. doi: 10.1016/j.ufug.2004.09.001
- Yang, L., Xia, X. & Hu, L. (2012). Distribution and Health Risk Assessment of HCHs in Urban Soils of Beijing, China. *Environmental Monitoring and Assessment* (184), 2377–2387. doi: 10.1007/s10661-011-2124-5

# De praderas a sembrados: transformación histórica de la explotación del territorio de la Hacienda de San José Puruagua (México)

From meadows to crops: historical transformation of  
the exploitation of the territory of the Hacienda de San  
José Puruagua (Mexico)

ERIK NÚÑEZ CASTRO<sup>1</sup>  0000-0002-2822-559X

KARINE LEFEBVRE<sup>2</sup>  0000-0003-1466-4935

LILIANA J. VIZCAÍNO MONROY<sup>3</sup>  0000-0002-0748-1973

<sup>1</sup>Posgrado en geografía, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>3</sup>Posgrado en geografía, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México

## Resumen

Este trabajo analiza la relación sociedad-ambiente a una escala micro, en el territorio de la hacienda de San José Puruagua, Guanajuato (México). Se enfoca en los procesos de colonización, ocupación y explotación de los llamados « territorios septentrionales » entre el principio del siglo XVI y finales del XIX. Para ello, hemos realizado un estudio minucioso y la confrontación sistemática de fuentes cartográficas, de documentos administrativos y de informaciones de campo. Los datos colectados se integraron en un Sistema de Información Geográfica Histórico para crear interpretaciones cartográficas, que demostraron las influencias mutuas que ejercen las sociedades humanas y el medio ambiente. Durante el siglo XVI, la baja densidad humana favoreció el reparto de tierras a los colonos españoles. La presencia de grandes extensiones de pastizales y de salinas, así como la ausencia de estructuras agrícolas facilitó el desarrollo de la ganadería. Esta actividad continuó hasta finales del siglo XVII-principios del XVIII, cuando las llanuras se cubrieron con obras hidráulicas para fomentar el cultivo de cereales. Al mismo tiempo, las fuentes atestiguan la explotación de los recursos maderables de la sierra de Puruagua por lo menos desde el siglo XVIII, con una intensificación durante el siglo XIX.

Palabras clave: hacienda; ambiente; colonización agropecuaria; recursos; territorio.

### Fechas • Dates

Recibido: 2021.03.03  
Aceptado: 2021.06.05  
Publicado: 2022.03.10

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Karine Lefebvre  
klefebvre@ciga.unam.mx

## Abstract

This paper analyzes the society-environment relationship on a micro scale, in the territory of the San José Puruagua hacienda, Guanajuato (Mexico). It focuses on the processes of colonization, occupation and exploitation of the so-called « northern territories » between the beginning of the 16th century and the end of the 19th century. For this purpose, we have carried out a thorough study and systematic comparison of cartographic sources, administrative documents and field information. The collected data were integrated into a Historical Geographic Information System to create cartographic interpretations, which demonstrated the mutual influences exerted by human societies and the environment. During the 16th century, low human density favoured the distribution of land to Spanish settlers. The presence of large expanses of grassland and salt marshes, as well as the absence of agricultural structures, favoured the development of livestock farming. This activity continued until the end of the 17th and beginning of the 18th centuries, when the plains were covered with hydraulic works to encourage the cultivation of cereals. At the same time, the sources attest to the exploitation of the timber resources of the Puruagua mountain range from at least the 18th century, with an intensification during the 19th century.

---

Keywords: hacienda; environment; agricultural colonisation; resources; territory.

---

## 1. Introducción

La llegada de los colonos españoles al continente americano fue el origen de una importante transformación de los paisajes. Lo anterior se debe principalmente al hecho de que los colonos europeos tenían una visión distinta del ambiente y de los recursos a la de las sociedades prehispánicas. Morales-Jasso define los recursos como « [...] aquellos componentes de la naturaleza que no son alterados por parte del ser humano pero al requerirlos, pueden ser utilizados y transformados a través de la mediación del trabajo » (2016, p. 143). Así como lo menciona el autor, un elemento sólo se convierte en un recurso cuando es identificado y valorado como tal por una sociedad y explotado para servir sus intereses. Por consiguiente, la noción de recurso no es natural, sino socialmente construida, y resulta de la apropiación material de un componente específico del ambiente por un determinado grupo. Esta característica implica que los recursos han cambiado a lo largo de la historia, en función de tres requisitos: el conocimiento, la necesidad, y la tecnología adecuada para poder explotarlos. Entonces, cada sociedad plantea como recurso los componentes ambientales requeridos por su cultura, y la forma e intensidad de su explotación provocará cambios en el paisaje.

Los colonos europeos importaron con ellos nuevas especies de plantas y animales, así como técnicas y patrones de organización agropecuaria, diferentes de los utilizados por las sociedades prehispánicas. Desde luego, algunos componentes de los paisajes, hasta entonces en desuso, se volvieron más valiosos. Los paisajes marcaron un importante punto de inflexión, caracterizado por la reorganización del patrón de asentamiento y de la forma de explotar los territorios. Varios estudios han analizado las degradaciones del ambiente vinculadas a las actividades agropecuarias novohispanas (Butzer y Butzer, 1993; Melville, 1994; Sluyter, 1996; Hunter, 2009, entre otros), pero pocos estudiaron cómo la configuración de los paisajes y sus transformaciones influyeron en las políticas socioeconómicas de las poblaciones que vivieron en ellos.

El presente estudio propone analizar la relación sociedad-ambiente a una escala micro, en el territorio de la hacienda de San José Puruagua, Guanajuato (México), entre el principio del siglo XVI y finales del XIX. Esta área, de 190 km<sup>2</sup>, se encuentra en el valle del Lerma, en su orilla norte. His-

tóricamente este sector correspondió a la frontera de Mesoamérica y Aridoamérica, por lo tanto, presenta una situación y un contexto sociocultural particularmente interesante para entender la influencia mutua que ejercieron la sociedad y el entorno.

Las fuentes sobre el patrón de asentamiento y de la explotación económica de la zona de Puruagua entre los siglos XVI y XIX son numerosas y variadas. Para llevar a cabo esta investigación, pudimos contar con tres tipos principales de información. En primer lugar, están los datos escritos, que provienen principalmente de los ramos de Mercedes, Tierras e Indios del AGN (Archivo General de la Nación), así como de los archivos particulares del padre Efrén Cervantes, quien fue sacerdote de la Parroquia de San José Obrero en la localidad de Puruagua, Guanajuato, de 1982 a 1991. En segundo lugar, se analizaron documentos cartográficos conservados en el AGN y en el archivo particular de la ex hacienda de Puruagua. Este acervo cartográfico se compone de seis mapas producidos entre 1614 y 1868, en los que se muestra todo el territorio de la hacienda o, en otras ocasiones, zonas específicas que fueron objeto de litigio. Finalmente, el espacio geográfico siendo el contenedor de relaciones sociales, políticas y económicas, se realizaron salidas a campo con el apoyo de informantes locales, con el fin de encontrar y ubicar infraestructura de la hacienda, topónimos y recursos estratégicos, mismos que fueron registrados por medio de un GPS. Los datos colectados fueron integrados a un Sistema de Información Geográfica Histórico (SIG-H) para crear interpretaciones cartográficas de la ubicación de las tierras que antecedieron a la hacienda; el uso que se les dio; los conflictos entre los colonos españoles y los pueblos de indios; y el aprovechamiento de recursos explotados por la hacienda. La incorporación de la información histórica siguió varios procesos en función de la naturaleza del documento, la minuciosidad de la descripción, la permanencia de los elementos, entre otros factores. Por ejemplo, el mapa más reciente, producido en 1868, pudo ser georreferenciado de manera « tradicional », lo que permitió ubicar y registrar los distintos componentes del paisaje con una precisión alta (alcanzando los 30 m en las planicies y lomeríos). En cambio, para los mapas más antiguos, de los siglos XVII y XVIII, así como para el amplio acervo escrito que comprende un periodo del siglo XVI al XVIII, se implementó una metodología diferente. Esta se basó en el análisis detallado de la cartografía y de la narración, la extracción de los datos y su integración « manual » en un SIG histórico (SIG-H), siguiendo el proceso establecido por Lefebvre (2017). En numerosas ocasiones, la localización de los elementos estuvo facilitada por los trabajos de campo, que permitieron ubicar vestigios arquitectónicos, identificar características geográficas relatadas o figuradas en los registros históricos y ubicar topónimos antiguos. Este método permitió obtener una precisión alta y un grado de error estimado entre 0 y 150 m, según los componentes del paisaje.

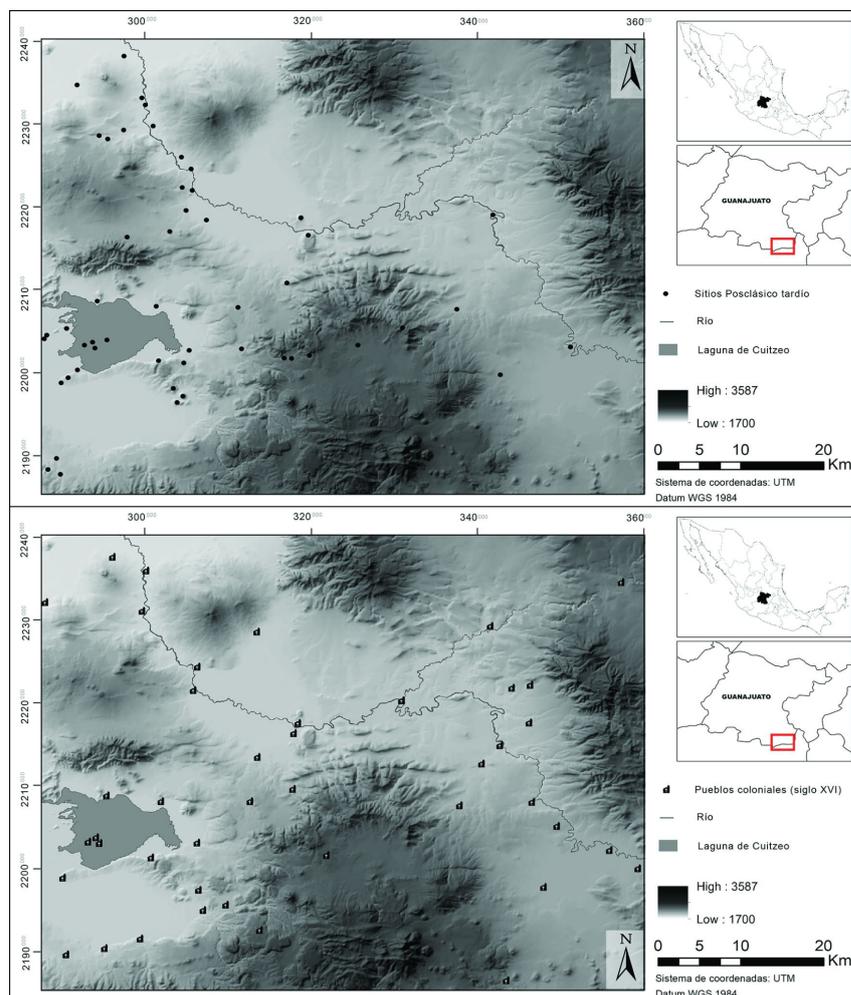
A partir del ejemplo concreto del territorio de la hacienda de San José Puruagua, se analizó el proceso de colonización, ocupación y explotación de los territorios septentrionales. Se buscará entender: ¿Cuáles fueron los factores que favorecieron o limitaron la ocupación humana (establecimiento de pueblos) y la colonización económica?, ¿Cuáles fueron los recursos naturales contemplados por los colonos españoles a lo largo de la época colonial y cómo evolucionó su explotación?, ¿Cuál fue el impacto de la presencia española y de los distintos usos de suelo sobre los paisajes de la zona?

## 2. Conquista española de la frontera del territorio tarasco

Para entender los procesos de la colonización española en el área de estudio, es necesario conocer el contexto local al momento de la llegada de los conquistadores. A mediados del siglo XV, la ex-

pansión territorial llevada a cabo por los tarascos y sus aliados se cristalizó a nivel del río Lerma, frente a sus enemigos mexicas al este y a las poblaciones de cazadores recolectores seminómadas (comúnmente denominadas chichimecas) al norte. Los recorridos de superficie realizados en el marco del proyecto arqueológico Chupícuaro, durante la década de 2000, permitieron analizar el patrón de asentamiento de la región en vísperas de la Conquista española. A este respecto, destacan tres elementos clave (Lefebvre, 2011). En primer lugar, durante la ocupación tarasca (1440-1521), los asentamientos sedentarios se concentraban en la orilla sur, aunque algunos pocos (cinco en total) fueron localizados en la orilla norte, nunca a más de 800 m del río Lerma (figura 1a). La pauta de asentamiento se caracterizó por la existencia de pequeños pueblos dispersos, generalmente establecidos en las alturas (cimas y pendientes de los cerros). En segundo lugar, no se han registrado sitios arqueológicos posteriores al Epiclásico (600–900 d.C.) en los territorios septentrionales (al norte del río Lerma). Por lo tanto, se ha identificado este sector como un espacio despoblado que fungía como una zona tapón, que separó a los sedentarios tarascos al sur de las poblaciones seminómadas al norte. Finalmente, en tercer lugar, aunque el Lerma no debe considerarse un obstáculo o una barrera natural infranqueable, es un marcador geográfico y simbólico de la frontera tarasco-chichimeca en esta región. Si bien esta situación se remonta a la época prehispánica, es importante comentarla, porque tuvo un impacto sobre la fisonomía de los paisajes de la orilla norte y, desde entonces, sobre los procesos de difusión y de explotación de los territorios y de sus poblaciones por parte de los españoles.

Figura 1: Patrón de asentamiento de la región de Acámbaro durante el Posclásico tardío (a) y el siglo XVI (b) (Elaboración: Karine Lefebvre y Erik Núñez-Castro).



La orilla sur, ocupada de manera permanente y explotada intensamente por las poblaciones prehispánicas que la habitaban, fue rápidamente conquistada y colonizada por los españoles (figura 1b). Su presencia se manifestó desde los años 1520 a través de la concesión de las encomiendas y del establecimiento de los conventos franciscanos de Acámbaro y de Zinapécuaro (Beaumont, 1932, vol. 2, p. 156), y luego a finales de los años 1530 – principios de los años 1540, de manera más marcada, con la llegada de los primeros terratenientes europeos (Lefebvre, 2018).

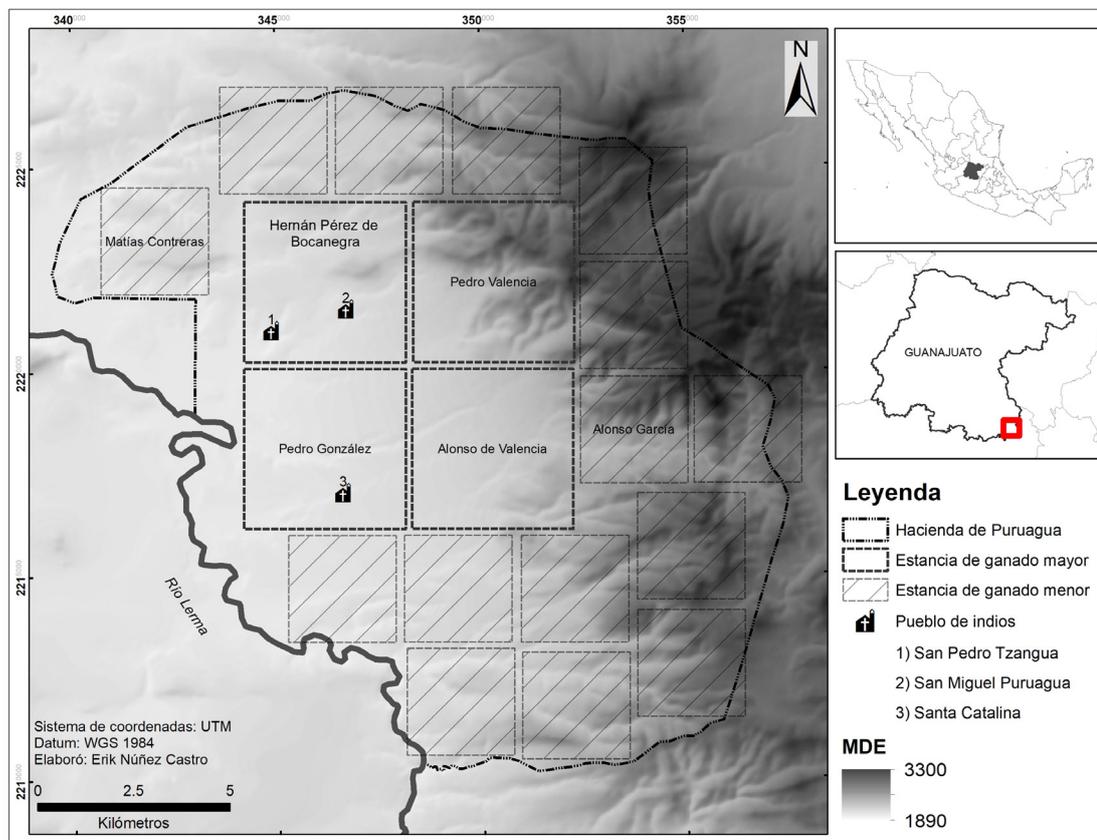
En esta zona meridional, la llegada de los europeos fue acompañada de una política de reestructuración del patrón de asentamiento. Esta consistió inicialmente en el desplazamiento de los pueblos (pueblos viejos) establecidos en los sectores altos hacia los valles y planicies cercanas, y fue realizado por los religiosos durante las primeras décadas del siglo XVI (Castro-Gutiérrez, 2004). Desde entonces, asistimos a la re-fundación de los asentamientos (pueblos nuevos) según los cánones renacentistas traídos desde Europa (Fernández-Christlieb y García-Zambrano, 2006). Luego, a lo largo del siglo XVI, el patrón de asentamiento sufrió otras dos importantes fases de cambios, denominadas congregaciones: la primera entre 1550 y 1564, y la segunda a finales del siglo XVI y principios del siglo XVII. Estas políticas, llevadas a cabo en todo el territorio de Nueva España, consistieron en agrupar a los habitantes de pueblos pequeños y alejados o de los que habían sido despoblados a causa de las epidemias o del trabajo forzoso (servicio personal), en asentamientos más grandes. La reorganización debía facilitar el control de las poblaciones, su evangelización y la recaudación del tributo. Esta situación observable al sur del Lerma corresponde al patrón general que se implementó en los territorios ocupados por poblaciones sedentarias. Sin embargo, en la orilla norte del Lerma, los procesos de asentamiento fueron diferentes, puesto que tenían que adaptarse a un contexto distinto en todos los aspectos. La ausencia de pueblos perennes, la falta de mano de obra, el « abandono » del terruño desde por lo menos tres siglos y la desactivación y aniquilación progresiva de los acondicionamientos agrícolas, son otros tantos factores que impidieron la aplicación de las políticas de colonización establecidas en el sur.

Desde entonces, en el sector septentrional, el avance español se caracterizó por la fundación de pueblos nuevos, creados ex nihilo, resultando del desplazamiento de poblaciones otomíes ya sometidas, para ocupar las « nuevas tierras ». Es en este marco que se inscribe el área de Puruagua, zona limítrofe de los antiguos territorios tarascos y eslabón del avance hispánico hacia el norte.

La documentación escrita registrada permitió identificar seis asentamientos pioneros establecidos durante el siglo XVI al norte del río Lerma: Jerécuaro, Coroneo, Puriancúaro, San Miguel Puruagua, San Pedro Tzangua y Santa Catalina, de los cuales los tres últimos se encontraban en el área que conformó después la hacienda de San José Puruagua. Todos tenían el estatus administrativo de « pueblo sujeto » y fueron anexados a la cabecera más cercana: Acámbaro. Con el fin de entender mejor la relación sociedad – ambiente, pondremos mayor atención en los tres pueblos que se asentaron en el futuro territorio ocupado por la hacienda San José Puruagua, y su devenir entre el siglo XVI y el XVIII (figura 2).

La fecha de creación de estos tres nuevos poblados es desconocida, puesto que no existen documentos escritos que atesten de su fundación, pero las primeras evocaciones de Santa Catalina, San Pedro Tzangua y San Miguel Puruagua, ubicados cerca del río Lerma, son bastante tempranas. Los tres asentamientos no están documentados de manera homogénea.

Figura 2: Estancias y pueblos que antecedieron a la hacienda de San José Puruagua entre los siglos XVI y XVII (Elaboración: Erik Núñez-Castro)



El primer pueblo, Santa Catalina, es muy poco mencionado en el acervo histórico. Un escrito conservado en el ramo Mercedes del AGN indica que en 1595 se otorgaron, en esta zona, dos estancias de ganado mayor a beneficio de Pedro González<sup>1</sup>. Para facilitar la ubicación de estas tierras, se especifica que se encuentran al margen izquierdo y derecho del río Lerma « cerca del pueblo abandonado de Santa Catalina y de las tierras de Antón Sánchez y de Diego Vázquez »<sup>2</sup>. Este asentamiento pudo ser localizado gracias a un plano topográfico de la hacienda de San José Puruagua, fechado de 1868, donde figura un potrero denominado « Santa Catarina » ubicado en la orilla derecha del río Lerma y dentro del territorio de la hacienda. A pesar de la ligera evolución del topónimo, la situación geográfica concuerda con la referencia escrita. Si bien no sabemos cuándo se fundó este pueblo, queda claro que este no sobrevivió al primer siglo de la colonización.

El segundo pueblo, San Pedro Tzangua, está referido en el marco de un litigio territorial que opuso su población al estanciero Juan Contreras acerca de los límites de sus parcelas respectivas. Este documento lo ubica « junto al salitre y ojo de agua caliente »<sup>3</sup> y señala que « la tierra que está alrededor del ojo de agua caliente es ciénega »<sup>4</sup>. El trabajo de campo y una encuesta oral llevada ante informantes locales permitieron identificar estos tres elementos. Aunque la ciénega ha sido desecada, esta característica del paisaje ha quedado registrada por la toponimia, de modo que hoy en día, una parcela ubicada a proximidad de la fuente de agua termal de « Las Abejitas » y

1. AGN, Mercedes, vol. 20, fs. 71v-72, 1595

2. AGN, Mercedes, vol. 20, fs. 71v-72, 1595

3. AGN, Tierras, vol. 183, fs. 388, 1615

4. AGN, Tierras, vol. 183, fs. 483, 1615

del salitre se conoce todavía como « el potrero de la ciénega ». Una parcela que domina el ojo de agua en su costado poniente reveló una concentración de materiales cerámicos compuesta principalmente de tepalcates vidriados característicos de la época colonial temprana (finales del siglo XVI-principio del XVII), así como una alta densidad de piedras de construcción escuadradas que presentaban alineaciones claras. Por su ubicación espacial y temporal, estos vestigios podrían estar asociados al pueblo de indios de San Pedro Tzangua (Núñez-Castro, 2020). En cuanto a la fecha de su creación, las declaraciones se contradicen. Los testigos indios proporcionan las fechas más antiguas, datando la fundación del pueblo entre 1535 y 1545, mientras que estancieros españoles y frailes dicen conocerlo desde los años 1575-1587. Es probable que las respuestas de estos últimos refirieron al tiempo que llevaban conociendo al poblado y no a su creación, por lo que podemos pensar que este último se originó durante la primera mitad del siglo XVI.

El tercer pueblo presente en las tierras en donde se fundó la hacienda es el de San Miguel Puruagua. En el marco del conflicto territorial anteriormente evocado, también se hace referencia a Puruagua. En 1615, un testigo por parte de los indios, Fray Pedro de Jerez, fraile franciscano del convento de Acámbaro, indicó conocer a los pueblos de San Pedro Tzangua y San Miguel Puruagua, y a sus iglesias respectivas desde hace 35 años<sup>5</sup>. Según su declaración los dos poblados eran distantes de media legua (aproximadamente 2,5 km). No se pudo determinar la ubicación del asentamiento, pero se pueden proponer hipótesis. El topónimo de Puruagua proviene del vocablo tarasco puruani, el cual está vinculado al agua y se refiere al verbo hervir (Villegas-Molina, 2017). Dos ojos de agua fueron localizados a una distancia aproximada de 2,5 km del sitio de San Pedro Tzangua; ambos se encuentran dentro del territorio de la hacienda. El primero se nombra Patejé, este vocablo otomí también hace referencia al agua caliente y es sinónimo de la palabra purépecha Puruagua (Villegas-Molina, 2017, p. 359), aunque es importante mencionar que este no es un manantial de agua caliente. La existencia de un topónimo otomí en este sector donde predominan los nombres de lugar de origen hispánico o purépecha, apoya la hipótesis de la presencia de poblaciones de esta etnia, desplazadas para favorecer la colonización de los territorios septentrionales. La segunda hipótesis corresponde a un ojo de agua, hoy desecado, en la actual localidad de Puruagüita Nuevo (Núñez-Castro, 2020). Desafortunadamente, la ausencia de vestigios de superficie fechados del siglo XVI en estos sectores impide zanjar entre estas dos hipótesis.

Como parte del pleito evocado, otro testigo, Juan Sánchez, menciona que conoció un « pueblecillo de pocos indios llamado Puruagua el cual se acabó hace muchos años [y que] aquel se bajó así mismo a la población de San Pedro Tzangua »<sup>6</sup>. A partir de la poca información proporcionada por este documento, se entiende que entre finales del siglo XVI y principios del XVII, probablemente en razón de la poca población que en él vivía, el pueblo de San Miguel Puruagua desapareció, y su población fue transferida a San Pedro Tzangua. Este evento dio lugar a la fusión de los topónimos: se mantuvo el hagiopónimo de San Pedro, y el nombre indígena de Puruagua reemplazó el de Tzangua<sup>7</sup> (Núñez-Castro, 2020).

La creación de estos tres asentamientos en un territorio previamente « abandonado » es el origen de una primera fase de transformación del paisaje, esta se produjo de forma muy localizada en los alrededores cercanos de los pueblos y al parecer desde las primeras décadas de la colonización española. Los tres asentamientos fueron establecidos a proximidad de cuerpos de agua, ya sea de un río (río Lerma), en el caso de Santa Catalina, o de un manantial y arroyos (para San Miguel

5. AGN, Tierras, vol. 183, fs. 461-462, 1615

6. AGN, Tierras, vol. 183, fs. 466-467, 1615

7. AGN, Indios, vol. 29, fs. 95v-96-r, 1685

Puruagua y San Pedro Tzangua). Este recurso era de primera importancia no sólo para el consumo de la población, sino también para el desarrollo de la actividad agrícola. Desde el principio de la colonización española, se instauraron ordenanzas para regir la organización de los pueblos de indios y sus relaciones espaciales con las unidades agropecuarias, lo anterior con el fin de asegurar la protección de sus tierras y su subsistencia (von Wobeser, 1989). Así en 1567, el virrey Gas-tón Peralta especificó que serían « unidades poblacionales de 300 a 400 vecinos y en un espacio de 500 varas - que serían 'tierras para vivir y sembrar' [...] las 500 varas serían contadas por los cuatro vientos y desde el centro del pueblo » (de Solano, 1991, p. 84). Esta extensión de tierra, luego denominada « fundo legal », debía permitir a los pueblos de indios obtener « derecho legal sobre las tierras, aguas, montes y demás recursos naturales » (von Wobeser, 1989, p. 16). Tenemos muy pocas informaciones sobre el manejo de estas tierras por parte de los indios durante el primer siglo de colonización, pero varios mapas coloniales del siglo XVI indican la habilitación de parcelas agrícolas en las inmediaciones de los pueblos. Por lo tanto, podemos suponer que cuando era posible los cuerpos de agua fueron utilizados para establecer un sistema de riego. Para 1615, San Pedro Tzangua (después San Pedro Puruagua) disponía de este tipo de infraestructuras, así en el marco del litigio ya mencionado, se señala que « recibirán muy grande daño y perjuicio los d[ic]hos indios por los daños que les harán [los ganados de la estancia] en sus sementeras de riego y de temporal que [h]acen »<sup>8</sup>.

Por consiguiente, antes de mediados del siglo XVI, determinadas zonas -las áreas donde se construyeron los pueblos de indios y sus cercanías- sufrieron importantes transformaciones, siendo los terruños « reactivados » en torno a los nuevos centros de vida. Pero, a pesar de su creación temprana y planificada, en una zona en proceso de colonización, la significativa inestabilidad de la pauta de asentamiento es notable. Al decir de los testigos, el abandono de los poblados se debía a una densidad humana muy baja (probablemente debido a las epidemias que se sucedieron a lo largo del primer siglo de la colonización) que provocó la congregación de su población, tal y como se aplicó para los asentamientos dispersos y poco poblados de la orilla sur. En paralelo del desarrollo de estos cambios locales impulsados por una transformación del patrón de asentamiento, otro factor produjo cambios probablemente más generalizados y profundos: la colonización agropecuaria y el surgimiento de las haciendas.

### 3. La colonización agropecuaria del siglo XVI

La colonización de la franja norte del río Lerma no solo implicó el establecimiento de pueblos de indios o de villas españolas, sino también el desarrollo de la explotación económica de esta. En Nueva España, la implantación de los colonos fue facilitada mediante la concesión de tierras destinadas a realizar actividades económicas específicas. En 1493, a raíz de los « descubrimientos » geográficos realizados por los españoles, las bulas pontificias concedidas por el papa Alejandro VI confirieron a la Corona de Castilla « el dominio de las tierras descubiertas y por descubrir » (de Solano, 1991, p. 15). Esto condujo a una importante transformación del sistema de tenencia de la tierra indígena. A este respecto, Jalpa-Flores (2008, p. 112) indica que « muchas de las [tierras] de carácter público [las de uso común, las destinadas al funcionamiento de los templos, las de los « funcionarios públicos » y las del Estado] se declararon realengas y otras se incorporaron como patrimonio de los cacicazgos ». Pero, quedaron fuera las tierras « que poseían y trabajaban los indígenas » (de Solano, 1991, p. 16), entre ellas se encontraban las tierras de los caciques (quienes

8. AGN, Tierras, vol. 183, fs. 436, 1615

conservaban sus derechos hereditarios), las de los pueblos de indios y, por fin, la propiedad individual (patrimonio familiar) (Jalpa-Flores, 2008). De esta manera, un importante territorio cayó en manos de la Corona y fue aprovechado para fomentar la implantación de sujetos españoles.

Desde las primeras décadas, las tierras realengas fueron otorgadas a colonos españoles (principalmente) y, en menor medida, a los caciques y a los pueblos de indios, por medio de mercedes. Estas tierras podían corresponder a estancias de ganado mayor (bovinos y caballos) o menor (cabras y ovejas), caballerías de tierra (destinadas a la agricultura), tierras para la construcción de molinos, ventas, ingenios, concesiones de aguas, etc. Las tierras concedidas tenían una función determinada y, dependiendo de esta, una superficie específica. Por último, cabe mencionar que el cambio de uso implicaba un largo proceso administrativo ante las autoridades virreinales.

En los territorios septentrionales, la ausencia de pueblos perennes previamente a la Conquista facilitó la distribución de las mercedes al permitir una mayor libertad en cuanto al reparto de las tierras y limitar los conflictos con las poblaciones indígenas. En Nueva España, este proceso inició a finales de los años 1530 – principios de los años 1540, aunque el registro formal empezó en 1542, y continuó hasta principios del siglo XVII. En la zona de estudio hubo un total de 14 mercedes de tierra concedidas entre 1540 y 1613, que, mediante posteriores procesos de herencias, compraventas y usurpación, dieron lugar a la hacienda de San José Puruagua. Estas mercedes no fueron otorgadas a un ritmo constante, sino por el contrario se pueden identificar tres fases en el proceso de colonización de este sector. Para entender la particularidad del avance español en esta área y su impacto sobre el paisaje, es necesario ponerlo en paralelo de la situación regional.

Las dos primeras tierras se otorgaron en 1540, ambas a Hernán Pérez de Bocanegra. Este español no era cualquiera, ya que fue el segundo encomendero de Acámbaro. Es interesante notar que este ilustre personaje fue el primero en obtener mercedes en la orilla norte. No se tienen registros oficiales de estas primeras tierras, sin embargo se encuentran huellas de ellas en un documento fechado de 1615, referente a un pleito territorial. Una de ellas era una estancia de ganado mayor y la otra parece haber sido una caballería de tierra (figura 2), y ambas se ubicaron a proximidad del río Lerma.

A pesar de la precocidad de estas primeras mercedes de tierra, el avance español se detuvo por los veinte años siguientes. Ninguna otra tierra fue otorgada en este sector (territorio de la hacienda de San José Puruagua) hasta los años 1560, así como en lo demás de la orilla norte del río. Sin embargo, cabe notar que un esquema similar sucedió en los territorios ubicados al sur del Lerma, en donde después de algunas pocas concesiones otorgadas entre 1542 y 1550, estas últimas se detuvieron hasta la década de los 60.

Una segunda fase se extiende de 1562 a 1565. Durante este corto periodo, se otorgaron dos mercedes: la primera fecha de 1562, de la cual no se tiene registro del tipo de tierra ni a quién se le concedía; la segunda data de 1565 y otorgaba una estancia de ganado menor a Francisco Pacheco, el sexto hijo de Hernán Pérez de Bocanegra (Escobar-Olmedo, 1984). Es de notar que el decenio de 1560 marcó para toda la región el primer « auge de reparto de las tierras » (Lefebvre, 2018). Al sur del Lerma, las concesiones de tierra se vieron favorecidas por las políticas de reorganización del patrón de asentamiento, puesto que esta fase sucede al final de la primera etapa de congregación de las poblaciones indígenas (1550-1564). Aunque las leyes novohispanas protegían las tierras indígenas, los indios se encontraban alejados de estas, a veces hasta varios kilómetros, lo que provocaba el abandono de sectores agrícolas enteros, que rápidamente fueron acaparados por los colonos españoles. Al norte, en el contexto de colonización de un territorio considerado

« vacío », se registraron 10 mercedes (incluyendo las dos que integraron el territorio de la futura hacienda de San José Puruagua). Desde entonces, este sector septentrional estuvo marcado por el impulso de la política de avance de la colonización hacia el norte.

Después de esta etapa de colonización aún discreta, ninguna donación de tierra está registrada entre 1565 y 1590. Durante estos 25 años, 43 mercedes fueron repartidas en el territorio de Acámbaro: la mitad en la orilla sur, la otra en las antiguas tierras chichimecas. Pero, se otorgaron principalmente propiedades en el límite de la jurisdicción de Acámbaro y de Apaseo, apoyando el avance hispánico y la creación de nuevos asentamientos tales como Tarimoro (1563) o Zalaya (Celaya, 1570). Como resultado, los sectores ubicados directamente al norte del río Lerma, tal como es el caso de la zona de Puruagua, quedaron fuera de esta fase de distribución.

Finalmente, de manera general, las donaciones de tierra se hicieron más numerosas a partir de 1580, probablemente en respuesta a la importante caída demográfica que afectó el centro y occidente de la Nueva España y al incremento de los colonos españoles (Lefebvre, 2018). Pero en el área de Puruagua, no fue hasta 1590 que las tierras se volvieron a repartir. En la última década del siglo XVI y hasta 1613, se concedieron 10 mercedes que permitieron cubrir la totalidad del área.

Habiendo visto la evolución temporal de la conquista agropecuaria en la zona de Puruagua, es necesario examinar el desarrollo espacial de este proceso. Con este fin, se realizó un análisis riguroso de los actos de mercedes para espacializar estas tierras utilizando los puntos de referencia geográficos proporcionados por los manuscritos (Núñez-Castro, 2020). Seis de ellas pudieron ser localizadas con precisión, permitiéndonos plantear hipótesis preliminares (figura 2).

De las dos primeras tierras que se otorgaron en 1540 a Hernán Pérez de Bocanegra, una pudo ser identificada como una estancia de ganado mayor, ubicada a proximidad del río Lerma, del ojo de agua de Las Abejitas, de las salinas y del pueblo de San Pedro Tzangua (luego San Pedro Puruagua).

Las tierras concedidas durante la segunda fase (años 1560) no pudieron ser localizadas. En cambio, se pudo ubicar a cinco para la tercera etapa de distribución. Las tres primeras corresponden a dos estancias de ganado mayor concedidas a Pedro Valencia (1590) y a Pedro González (1595), y una de ganado menor otorgada a Matías Contreras (1592). Es de notar que estas tres tierras se encontraban a proximidad de un cuerpo de agua, ya sea el río Lerma o el arroyo de la Estancia. Estas concesiones se enfocan principalmente en el « sector bajo »: en las planicies contiguas al valle del Lerma (estancia de Pedro González) y en los lomeríos (estancia de Matías Contreras). El terreno de Pedro Valencia, por su parte, se extiende entre los lomeríos y la zona más abrupta de la montaña (en la Sierra de Puruagua), proporcionando así un doble ambiente para el ganado. Finalmente, ha sido posible localizar dos de las tierras otorgadas a principio del siglo XVII. La primera corresponde a una estancia de ganado mayor entregada en 1609 a Alonso de Valencia y está situada en los lomeríos al pie de la Sierra de Puruagua; la segunda es una estancia de ganado menor concedida en 1613 a Alonso García y está ubicada en la serranía. Durante esta misma fase, se entregaron la mayoría de las estancias asignadas a la cría de cabras y ovejas, en particular 12 fueron concedidas en una sola merced realizada a favor de Francisco G. Negrete en 1608. Las extensiones de tierras destinadas al ganado menor están principalmente localizadas en el sector montañoso.

Sobre la base de estos pocos datos espaciales, podemos concluir que la colonización ganadera de la zona se produjo de oeste a este, es decir, comenzando por las zonas más bajas cerca del río

Lerma (a partir de la década de 1540), con una progresión gradual hacia las zonas más altas y escarpadas de la Sierra de Puruagua. Este avance también puede leerse desde las zonas antropizadas (cerca de los antiguos territorios mesoamericanos) hasta los que fueron « abandonados » siglos antes.

#### 4. La preponderancia ganadera

Para comprender mejor el impacto de la colonización europea en los paisajes de la zona de Puruagua, es necesario examinar las particularidades económicas y las estrategias desarrolladas para su explotación.

Las 14 mercedes otorgadas en este sector corresponden a 26 ½ estancias y 6 caballerías de tierras. Esta distribución muestra una clara preponderancia de la actividad ganadera, no sólo en cuanto al número de tierras concedidas, sino también por la superficie que representan, puesto que los pastizales cubrían 21,354 ha, es decir 98,5 % de la extensión de la hacienda cuando se estableció como latifundio en 1643. La pauta de repartición de las actividades agropecuarias es muy desequilibrada, pero corresponde al patrón generalmente observado en los territorios septentrionales durante el siglo XVI y XVII, como lo demuestra una revisión del libro *El obispado de Michoacán en el siglo XVII*, que reúne informaciones sobre los pueblos, hospitales, capillas, haciendas y otras tierras productivas en 1631 (López-Lara, 1973). Las descripciones<sup>9</sup> ponen de manifiesto el predominio de la actividad ganadera (principalmente el ganado mayor) en el Bajío, a pesar de la existencia de tierras agrícolas (dedicadas en su mayoría al cultivo del maíz y, en menor medida, del frijol, el chile y el trigo).

Desde entonces, ¿cómo explicar la preponderancia de la ganadería en este sector? Las razones de este predominio se encuentran en las estrategias implementadas para introducir la tradición agropecuaria europea en los territorios recién conquistados y en la distribución de la ocupación humana en la región.

La crianza era una actividad muy limitada en Mesoamérica, y concernía principalmente dos especies: el perro (*Canis familiaris*) y el guajolote (*Meleagris gallopavo*) (Manin y Lefèvre, 2016). Motivados por la voluntad de conservar sus hábitos alimenticios, una de las primeras medidas tomadas por los españoles fue la introducción de especies animales y vegetales de origen europeo o mediterráneo en los territorios recién sometidos. Después de los caballos que acompañaban a los conquistadores, los primeros animales introducidos fueron los puercos, por su facilidad en transportarse y en reproducirse. Su presencia se atestigua en Michoacán desde 1521 (Alcalá, 2000, p. 660). En este mismo año, llegaron los primeros becerros a México (Doolittle, 1987; Sluyter, 1996), así como las cabras y las ovejas (Crosby, 2003). Si bien la difusión de estos animales fue rápida en toda Nueva España, el desarrollo de la ganadería fue notable en los territorios septentrionales, en particular gracias al impulso del virrey Antonio de Mendoza, quien a su vez era propietario de tierras en la región (Ruiz-Medrano, 1991). Junto a este apoyo político, dos factores favorecieron la adaptación del ganado. En primer lugar, la ausencia de competencia. Este elemento crucial permitió a los animales gozar amplias superficies de pastizales, no utilizados por las poblaciones prehispánicas. Como lo subraya Melville (1997), durante la época prehispánica, la hierba era utilizada en el marco de algunas actividades artesanales como la producción de adobe

9. Se consultaron en particular, las descripciones de Llanos de Silao, Marfil, Irapuato, Santa Fe de Guanajuato, Salamanca, Villa de Salaya, Chamacuero, Apaseo y Villa de León.

o de bajareque. Además, era un elemento constitutivo de nichos ecológicos aprovechados por animales salvajes (venados y conejos, entre otros) que podían entrar en la dieta de las poblaciones indígenas. En cambio, para los europeos, los pastizales se convirtieron en un recurso muy valioso, necesario para el sustento del ganado. La deserción de los territorios septentrionales por parte de las poblaciones sedentarias, por lo menos desde el Posclásico temprano (900 - 1250 d.C.), provocó el abandono progresivo de los terruños, el cual causó la aniquilación de las infraestructuras agrícolas preexistentes. Por lo tanto, al momento de su llegada, los colonos encontraron grandes extensiones, que consideraron como « vacías », y sobre todo que se caracterizaban por la presencia de amplias extensiones de pastos. Estas características del paisaje tuvieron una influencia mayor sobre la repartición de los terrenos. La ausencia de inversión agrícola notable, la carencia de infraestructuras (en particular de sistemas de riego) y la falta de labranza de las tierras, perjudicaron el avance de la agricultura durante el primer siglo de la Colonia; porque implicaba para los colonos el enorme trabajo de abrir nuevas tierras de cultivo, y aún más en un contexto en donde no podían aprovechar de una mano de obra numerosa. Pero en cambio, estas tierras fueron favorables a la actividad ganadera, que permitía el avance rápido de la colonización, junto con un esfuerzo menor.

El segundo factor, muy vinculado al primero, fue la casi ausencia de poblados. El ganado europeo tuvo que hacerse lugar en un paisaje agrícola ya construido. En las regiones ocupadas por poblaciones sedentarias, como la orilla sur del río Lerma, este nuevo « componente » del paisaje fue fuente de muchos conflictos. En la región, los primeros litigios se registraron en 1542, es decir, veinte años después de la llegada de los españoles. Este tipo de pleitos se va a multiplicar hasta la década de 1560, a medida que aumenten las concesiones de tierras ganaderas. A partir de entonces, se observó un apaciguamiento de la situación debido a una separación de las áreas de actividades (Lefebvre, 2018). Así, las tierras agrícolas se situaron principalmente en los sectores más bajos, a proximidad de los pueblos de indios y de los cuerpos de agua, mientras que los pastizales se distribuyeron mayoritariamente en los cerros y serranías. Por otro lado, en los territorios septentrionales la baja presencia de asentamientos indígenas permitió una mayor libertad en la repartición de las mercedes (aprovechando todas las formas del terreno), y limitó los conflictos que oponían a pueblos de indios y a estancieros.

En el área de Puruagua, se identificó sólo un litigio, el cual implicaba al pueblo de San Pedro Tzangua y al doctor Juan Contreras, dueño de una estancia de ganado mayor, que había sido originalmente dotada a Hernán Pérez de Bocanegra (en 1540)<sup>10</sup>. Este conflicto se originó en 1614 en consecuencia de los perjuicios imputables a las manadas que pisaban las sementeras de los indios, destruyendo las cosechas. El español pidió medir y amojonar la estancia con pretexto de que « [...] se han entrado algunas personas quitando el pasto de sus ganados con las labores que [v]an fundando y para que no se le [h]aga agravio y cada uno goce de lo que tiene suyo [...] »<sup>11</sup>. En defensa de estas acusaciones, el 17 de febrero de 1615, Jerónimo López, alcalde del pueblo de San Pedro Tzangua solicitó al teniente Cristóbal de Ribera que resolviera las irregularidades con la estancia de Juan Contreras, subrayando que « Damián González mayordomo del do[c]tor Contreras [h]a comenzado a labrar y [h]acer unas casas dentro del mismo pueblo y tierras pertenencia sin título ni consentimiento nuestro »<sup>12</sup>. En el presente caso, el conflicto no se debe al hecho de que el ganado andaba suelto, sino más bien a una inconformidad acerca de los límites territoriales. Durante el mes de abril de 1615, Cristóbal de Ribera, teniente de la villa de Celaya reunió testigos

10. AGN, Tierras, vol. 183, fs. 389, 1579

11. AGN, Tierras, vol. 183, fs. 388, 1614

12. AGN, Tierras, vol. 183, fs. 432, 1615

de los dos partidos para proceder al deslinde de las propiedades. Sin embargo, no pudo solventar el litigio, ya que la estancia llegaba « a una esquina de las espaldas de la iglesia del d[ic]ho pu[eb]l o quedando incluidas las casas de los naturales del d[ic]ho pu[eb]l o dentro de la d[ic]ha medida de estancia [...] »<sup>13</sup>. Pero, los indios presentaron un documento atestando la ubicación del pueblo, mientras que Juan Contreras no pudo comprobar la posesión de su estancia de ganado mayor. Resultante de eso, el 17 de abril de 1616, se concluyó el conflicto a favor de los indios de San Pedro Tzangua; donde se mandó « confirmar esta medida y que se amo[j]one »<sup>14</sup>.

En el año de 1658, el pueblo de San Pedro volvió a entrar en conflicto, esta vez contra la hacienda de San José Puruagua, misma que se había conformado desde 1643. Esta segunda confrontación se dio entre Bernardo de Villaseñor, segundo dueño de la hacienda de Puruagua, y los naturales del pueblo. Estos últimos solicitaron un amparo debido a que « don Bernardo de Villaseñor dueño de la hacienda de labor y ganado mayor [de Puruagua], a título de decir ser suyas las tierras y aguas que poseen [los indios] se les había entrado en ellas quitándoles el beneficio de ellas [im-] pidiéndoles el riego con el agua que tienen cercando el manantial de ella con q[ue] se habían mal molestado y en suma necesidad por no tener tierras en que sembrar y tener frutos para su sustento y pago de tributos por lo cual me pidió y suplicó que se les despachase para que amparase a sus partes en las d[ic]has sus tierras y aguas »<sup>15</sup>. El breve documento sólo menciona las acciones llevadas a cabo en contra del pueblo de indios de Puruagua y no la resolución del litigio. Sin embargo, se puede pensar que los naturales lograron conservar sus tierras, puesto que en 1685 un documento menciona que el asentamiento siguió localizado a proximidad del ojo de agua caliente. El pueblo realizó un intercambio de estas tierras con el dueño de la hacienda Puruagua, Francisco de Chavarría, lo cual dio fin al largo conflicto en torno a las tierras del salitre. Esta permuta resultó de una petición realizada por el pueblo de San Pedro Puruagua ante el Virrey Tomás Antonio de la Cerda, el 14 de octubre de 1685, porque eran « sumam[en]te oprimidos en d[ic]ho [pueblo] sin tener tierras no solo para pastar sus ganados y sembrar algunas semillas para su sustento sino también para fabricar sus casillas por el aum[en]to que tienen los naturales »<sup>16</sup>. Con el fin de poner fin a un conflicto que había ocurrido durante casi 70 años, « [...] el cap[itá]n Francisco de Chavarría dueño de la hacienda de ganado m[ayo]r nombrada San José Puruagua les hace de darles tierras suficientísimas y muy poca distancia de d[ic]ho rancho en que podrán dilatar su pueblo por tener de distancia las que les da tres mil varas por largo y por la cantidad de mil trescientas cincuenta por [b]anda en q[ue] podrán sembrar y pastar sus ganados añadiéndoles las vertientes de las aguas de q[ue] se podrán valer para el riego de sus tierras en cambio y permuta de las d[ic]has 100 varas en cuadro que se les estén asignadas »<sup>17</sup>. Este intercambio suministró a los indios las tierras necesarias a su subsistencia pero sobre todo permitió a la hacienda de Puruagua obtener las tierras del salitre.

Desde luego, es interesante preguntarse ¿por qué al mando de un amplio territorio, los dueños sucesivos de la hacienda siguieron en disputa con el pueblo de indios por esta pequeña franja de tierra? El expediente del litigio permite entender el origen de las presiones que se ejercieron sobre esta zona. Recordemos que San Pedro se ubicaba a proximidades de un salitre. El cloruro de sodio es un recurso esencial, e incluso podríamos decir estratégico. Además de su uso gustativo y para la conservación de los alimentos, la sal se integraba en varias actividades domésticas, pecuarias e industriales durante la Colonia (Williams, 2003). Fue utilizada en la minería de plata,

13. AGN, Tierras, vol. 183, fs. 397, 1615

14. AGN, Tierras, vol. 183, fs. 498, 1616

15. AGN, Tierras, vol. 2975, fs. 344, 1658

16. AGN, Indios, vol. 29, fs. 95v-96-r, 1685

17. AGN, Indios, vol. 29, fs. 95v-96-r, 1685

la orfebrería, la curtiduría, la producción de vidrio, la alfarería, la fabricación de pólvora, aplicaciones medicinales y los textiles (Castellón, 2017). Asimismo, un aspecto a menudo subestimado fue su papel en el desarrollo de la actividad ganadera, puesto que es un elemento esencial para la nutrición y el desarrollo de los procesos fisiológicos de los animales: estimula su apetito, evita su deshidratación, favorece su digestión y asimilación de alimentos y permite la lactación. La cantidad de sal que ingieren los animales cotidianamente en condiciones óptimas es alta: 5-10 gr por un caprino, 40-50 gr por un bovino, 40-60 gr por un caballo, por lo que podemos estimar un consumo aproximado de 15 kg diario para una estancia de ganado menor y de 100 kg para una de ganado mayor. Sin embargo, paralelamente a esta necesidad, las zonas de extracción de sal a gran escala son poco numerosas. En el occidente de Nueva España, se encuentran la costa del océano Pacífico, la laguna de Sayula y la de Cuitzeo. También se encontraban pequeños yacimientos puntuales cuya producción era destinada a un mercado más local, en particular es el caso de las salinas de Puruagua. Su existencia está vinculada a la presencia de aguas termales y a los suelos salitrosos que los circundan. Los documentos relativos subrayan que durante el siglo XVI-principios del XVII, los indios del pueblo de San Pedro Tzangua (luego denominado San Pedro Puruagua) producían sal a partir del ojo de agua caliente de Puruao (hoy conocido como Las Abejitas)<sup>18</sup> y distribuían su producción en un mercado local, para los frailes franciscanos del convento de Acámbaro y para el ganado de un estanciero local, Mateo Lorenzo<sup>19</sup>. La presión ejercida por el ganado cada vez más numeroso, convirtió a la sal en un recurso crucial.

De esta manera, la baja explotación de esta zona, la casi ausencia de poblados sedentarios y la presencia de salinas, favorecieron el desarrollo de la actividad ganadera. Como consecuencia, se han llevado a cabo modificaciones relativamente limitadas en el territorio, con el fin de adaptar los paisajes prehispánicos a esta nueva ocupación, en donde se privilegió el aprovechamiento de amplias zonas de pasto. En este sentido, las actividades pecuarias marcaron de forma duradera la toponimia del área de Puruagua a través de nombres como el Arroyo de La Estancia, Arroyo del Salitre, Cerro del Puerco, Cerro de las Cabras y La Mesa de las Vacas.

## 5. El giro agrícola

La explotación de las tierras de labranza marcó un giro en el transcurso del siglo XVIII. Para entenderlo, primero hay que recordar el lugar de esta actividad durante los primeros siglos de la Colonia. Aunque desde la primera mitad del siglo XVI la agricultura fue una práctica recurrente entre los pueblos de indios que se ubicaron a proximidad del río Lerma, no se observaron indicios de intensificación en esta actividad durante los dos primeros siglos de la época virreinal. Las áreas labradas tuvieron dos funciones principales. En primer lugar, el sustento de las poblaciones indígenas establecidas en el sector, tal es el caso de los pueblos de Santa Catalina, San Miguel Puruagua y San Pedro Tzangua (luego San Pedro Puruagua). Como lo mencionamos anteriormente, estos asentamientos disponían de un fundo legal, en el cual se encontraban milpas, a veces asociadas a un sistema de riego. Otro destino se pudo identificar para las producciones agrícolas del siglo XVI. El análisis de la documentación histórica puso de manifiesto el estrecho vínculo uniendo algunas caballerías de tierra con las tierras ganaderas. Por ejemplo, en 1563, Lope Zendejas recibió por medio de merced una estancia de ganado mayor asociada a tierras agrícolas. El acto especificó que se le otorgaba « [...] un sitio de estancia para ganado mayor con caballería y

18. AGN, Tierras, vol. 183, fs. 464, 1615

19. AGN, Tierras, vol. 183, fs. 460-464, 1615

media de tierra para el sustento della [...] »<sup>20</sup>. Esta concesión no se realiza en el sector de Puruagua, sino más al norte en la Chichimeca, pero este esquema parece repetirse en nuestra zona de estudio, en donde se identificaron tres casos similares. En 1592, Matías Contreras obtuvo una estancia de ganado menor y dos caballerías de tierra<sup>21</sup>. En 1592, Diego Velázquez recibió una dotación equivalente<sup>22</sup>. Finalmente, en 1608, Francisco G. Negrete consiguió 12 sitios de ganado menor y solamente dos caballerías de tierra<sup>23</sup>. Aunque no lo especifiquen los documentos, por lo menos una parte de las tierras pudo destinarse a producir alimento en beneficio de los animales de las estancias. Por consiguiente, las pocas referencias que tenemos no muestran un fuerte desarrollo agrícola.

Durante el siglo XVII, se mantuvo una pauta similar para la distribución de las tierras destinadas a la ganadería y a la agricultura en la zona de Puruagua. Hacia 1631, García del Castillo Villaseñor ya había adquirido la mayoría de las tierras que conformaron la hacienda, las cuales para ese momento incluían « [su] estancia [...] [que] hierra quinientos becerros, coge 400 fanegas de maíz; yeguas y mulas treinta de cría [y] coge de trescientas a cuatrocientas fanegas de trigo » (López-Lara, 1973, p. 168). Aunque se desconoce la ubicación exacta de las tierras mencionadas, se infiere que algunas de estas tenían algún tipo de sistema de riego o estaban cerca de algún cuerpo de agua importante, ya que de esto dependía la producción de trigo. En efecto, el ciclo de crecimiento de este cereal, aunque adaptado al Viejo Mundo, no coincide con el ciclo de lluvias que presentaban estas tierras.

Las composiciones de tierras colectivas llevadas a cabo en 1643 en la jurisdicción de Celaya, que permitieron la conformación de la Hacienda de San José Puruagua, no sólo reafirmaron el dominio sobre la tierra, sino que también incluyeron las aguas en cuyo uso y posesión se hallaban en ese momento (Zamarroni-Arroyo, 1959, p. 103 en Murphy, 1986, p. 180). El documento de composición de la hacienda de Puruagua es muy general, sin embargo especifica que tiene 15 sitios de ganado menor y 6 de ganado mayor, y aclara que todos los sitios incluyen caballerías de tierra, de las cuales se desconoce si eran de temporal o de riego<sup>24</sup>.

Los trabajos de Sánchez-Rodríguez sobre el desarrollo de los sistemas de riego y la administración de los recursos hidráulicos en el Bajío mexicano, muestran que el caso de la hacienda de Puruagua se inscribe en un patrón general. Durante los dos primeros siglos de la colonización, el agua de riego procedía principalmente de « pequeños escurrimientos permanentes de ríos, arroyos y manantiales, o de ciénegas » (Sánchez, 2005, p. 51). Estas aguas perennes, relativamente fáciles de explotar, permitieron aprovechar las tierras fértiles y por lo tanto el avance de la frontera agrícola hacia el norte.

Durante el siglo XVIII, el Bajío experimentó un crecimiento demográfico acelerado principalmente en las ciudades de Celaya, León, Irapuato y Silao (Fernández-Tejedo, 2012). Esto estuvo estrechamente relacionado con la recuperación de la población indígena y el auge de la minería en Guanajuato. Esta situación dio lugar a « una demanda importante de productos agrícolas y manufactureros que trajo como consecuencia la expansión del sector productivo y una creciente intensificación de las formas de producción » (Fernández-Tejedo, 2012, p. 107). El incremento de la agricultura, mediante la ampliación de las tierras de riego, fue posible gracias a las mejoras

20. AGN, Mercedes, vol. 7, fs. 266, 1563

21. AGN, Mercedes, vol. 17, fs. 189v-190, 1592

22. AGN, Mercedes, vol. 22, fs. 48-50, 1596

23. Archivo particular del padre Efrén Cervantes, fs. 2, 1988

24. Archivo particular del padre Efrén Cervantes, fs. 7, 1988

tecnológicas y a la creación de nuevos acondicionamientos. En concreto, se aprovecharon las aguas torrenciales, a través de la construcción de diques y sobre todo de bordos, presas y cajas de agua, que no sólo aumentaron la superficie de los regadíos, sino que también permitieron utilizar el agua fuera de la temporada de lluvias (Sánchez-Rodríguez, 2005; Sánchez-Rodríguez y Eling, 2007). Desde entonces, los paisajes se transformaron por el importante cambio de uso de suelo y el gran número de obras hidráulicas construidas en la región, « tanto las de carácter simple como las de compleja ingeniería, con sus necesarios sistemas de presas, bordos, acequias, desviación de corrientes, y encharcamientos prolongados » (Fernández-Tejedo, 2012, p. 107). El progreso tecnológico y el mejor aprovechamiento del agua, con la construcción de sistemas de riego extensivos, han estado estrechamente ligados al crecimiento de la producción de trigo. Murphy (1986) precisa que durante el siglo XVIII, alrededor del 90% de las tierras se utilizaron para la siembra de trigo. Este cereal siempre tuvo un mejor precio que el maíz durante la Colonia, y su valor es también más estable que el de otros cultivos. Desde entonces, tanto la causa como el efecto de estos cambios económicos, las haciendas sufrieron profundas transformaciones. La construcción de infraestructuras de riego, así como la producción y demanda de trigo durante el siglo XVIII, tuvieron un gran impacto en las actividades económicas de las haciendas, a tal grado de que « muchos hacendados, cuando pudieron, dejaron la ganadería a la que estuvieron afiliados durante décadas [para dedicarse al] cultivo de cereales » (Fernández, 2012, p. 120). Esto condujo a una importante presión sobre las fuentes de agua, ya que « los hacendados que contaban con el capital invirtieron grandes cantidades de dinero en la mejora de sistemas hidráulicos, asegurando con ello mejores rendimientos y acrecentando el valor de sus propiedades » (Brading, 1978, p. 108 en Fernández, 2012, p. 120). Durante el siglo XVIII, un sistema de irrigación eficiente podía aumentar el valor de la tierra en el Bajío alrededor de 7 u 8 veces (Murphy, 1986).

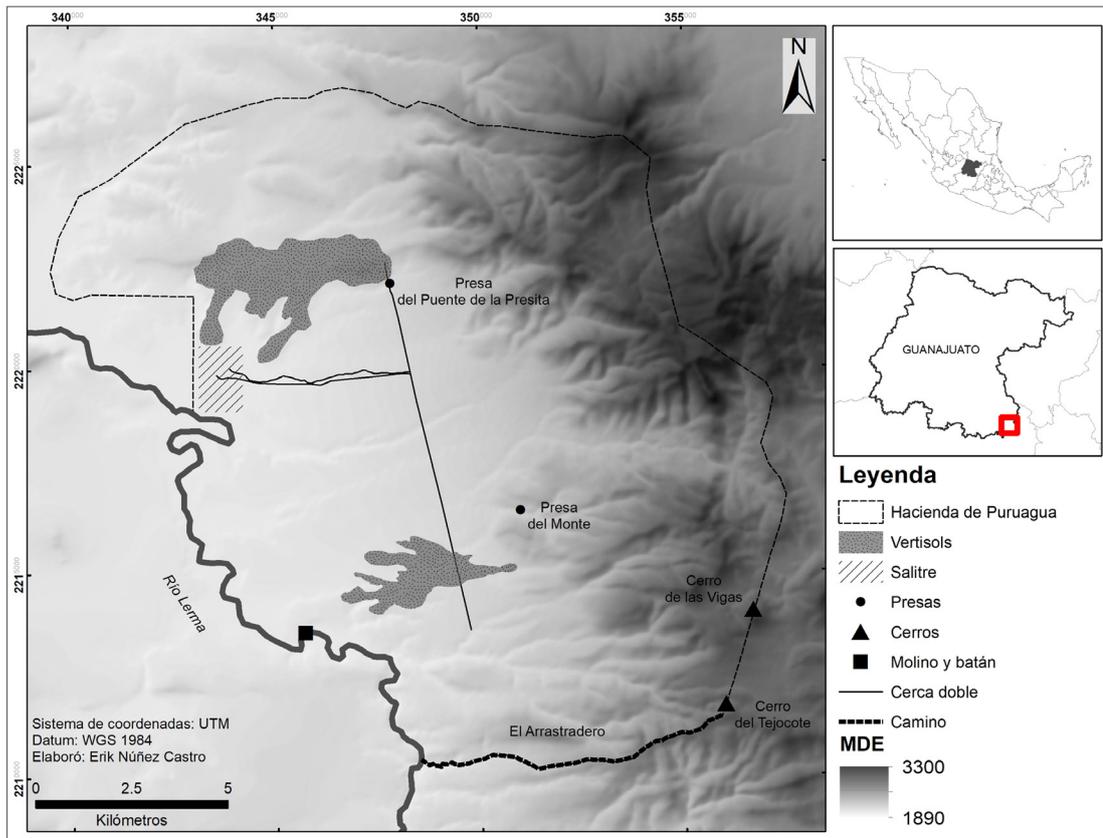
El valle de Acámbaro no se ha librado del desarrollo de la actividad agrícola. El auge de la producción agrícola, durante el siglo XVIII, se reflejó en profundos cambios en los paisajes, y en la construcción de infraestructura hidráulica para satisfacer las necesidades de la economía novohispana. Desde el primer cuarto del siglo XVIII, ha habido cada vez más evidencias de irrigación con agua del río Lerma en las fincas de los alrededores, y una producción de trigo que fluctuaba alrededor de 12,000 fanegas, esto para la zona de Acámbaro (AGN, Tierras, vol. 570, exp. 1, fs. 38-41, 1730; AGN, Mercedes, vol. 75, f. 179, 1756; ACM, leg. 815, exp 283, 1778 en Murphy, 1986, p. 42).

Para el caso específico de la hacienda de Puruagua, son evidentes las adaptaciones hidráulicas durante este siglo. Un documento, conservado en el AGN y fechado de 1746, menciona que la hacienda contaba con tierras de riego y de temporal<sup>25</sup>. Además, varios elementos persisten en el paisaje, en particular se pueden registrar dos presas de mampostería de piedra en su territorio (figura 3). Sus características arquitectónicas permiten fecharlas del siglo XVIII. La tecnología y los materiales de construcción utilizados en la arquitectura del agua son generalmente regionales: piedra, adobe y madera. Al comparar las diferentes presas construidas en el Bajío (por ejemplo, la hacienda de Jalpa de Cánovas y con una periodicidad del siglo XVIII), se puede identificar que son de mampostería; la estereotomía o corte de piedras de fábrica presentan formas regulares e irregulares (Aguirre-Anaya y Quispe-Pastrana, 2019). Por lo general, aprovechan la topografía del terreno, donde es posible tener un almacenamiento masivo y donde los suelos están adaptados al escurrimiento y son impermeables para contener el agua. Así, las presas han permitido la acumulación de agua de lluvia y de escorrentía que bajaban por las cañadas. De esta manera, tras

25. AGN, Judicial, vol. 23. Fs. 60, 1746

las sequías que azotaron la región en 1739, 1746 y 1747, cada hacienda buscó la forma de almacenar agua para sus actividades productivas. Es importante mencionar que hasta ahora, no se ha realizado ninguna investigación sobre la arquitectura del agua<sup>26</sup>, como la denomina Icaza-Lomelí (2013), en la región específica de Puruagua. Esta etapa será indispensable a futuro, puesto que a partir de la arquitectura y la arqueología histórica es posible datar e identificar con más detalle los sistemas constructivos y las formas de las obras.

Figura 3: Aprovechamiento de los recursos naturales en la hacienda de San José Puruagua durante el siglo XVIII (Elaboración: Erik Núñez-Castro)



La primera presa antigua se encuentra en la localidad de Puruagua. Esta es una pequeña construcción localmente llamada el Puente de la Presita, localizada al sureste del cerro del Varal. Esta presa se utilizó para almacenar el agua proveniente del arroyo del Varal. Es importante mencionar que esta estructura permitió regar una zona que se caracteriza por la presencia de vertisoles, los cuales son suelos muy ricos en arcilla y que tienen una gran retención de humedad; y que, por lo general, se asociaron a la siembra del trigo en el Bajío (Murphy, 1986). Finalmente, la segunda presa fue ubicada en la localidad de Las Pilas y es conocida como la Presa del Monte, ubicada entre el cerro Redondo (al noreste) y el cerro de las Cabras (al suroeste), en una cañada que es afluente del arroyo del Fresno. Más abajo, a unos 500 metros al suroeste de la presa, se encuentran suelos con propiedades vérticas, que podrían corresponder a zonas de riego debido a que

26. Se entiende por arquitectura del agua el tipo de construcción o sistema que permite el control, la captación, la sustracción, la elevación, el almacenamiento, la conducción y la distribución del agua para el funcionamiento de las actividades productivas o para el abastecimiento de la población. La forma, el trazo, la técnica y los materiales utilizados están determinados por varios factores como el tipo de fuente de abastecimiento (pluvial, fluvial, manantial, embalse o manantial subterráneo), el marco legal (de la época de construcción y de explotación), el uso para el que se había construido (Granero-Martín, 2003; Icaza-Lomelí, 2007, 2013), a los que podemos añadir la cultura.

esta presa tiene la particularidad de contar con un acueducto, el cual seguramente fungió como infraestructura para regar esas tierras.

Además de incrementar la producción de las fincas y por lo tanto su valor, el hecho de contar con una infraestructura de riego dentro de las haciendas proporcionaba una « protección contra eventos climáticos » (Murphy, 1986, p. 131). Para enfrentar los periodos de sequías o de inundaciones, estas infraestructuras fueron completadas por la construcción de graneros de almacenamiento (Murphy, 1986). Para el siglo XVIII, la hacienda de Puruagua ya contaba con unas trojes, cuya fecha de construcción y ubicación se desconocen<sup>27</sup>. Por lo tanto, la hacienda de Puruagua se inscribe perfectamente en un esquema de desarrollo regional, característico del Bajío.

Por último, otros dos elementos se asocian a los cambios derivados del desarrollo de la agricultura. En primer lugar, se registró la construcción de una « cerca doble » que atraviesa el territorio de la hacienda de norte a sur. Esta « cerca doble » está construida con piedras en seco, bien acomodadas. A la mitad de la cerca, interseca el arroyo del Salitre, que corre de este a oeste, y paralelo al arroyo corre otra cerca (figura 3). Entre el arroyo y la cerca se forma un camino que llega hasta el ojo de agua caliente de Las Cazuelejas y al salitre, por lo que este carril se conoce como el callejón del Salitre. Estas estructuras aparecen en el plano de 1868, pero su edificación remota al momento de auge agrícola del siglo XVIII. Tenía por función separar y proteger las tierras agrícolas localizadas en las partes bajas (al oeste de la hacienda) de las tierras dedicadas a la ganadería correspondientes a la sierra de Puruagua (al este de la hacienda). Lo anterior demuestra una disociación de las áreas de actividades, permitiendo un mejor aprovechamiento del entorno. De esta manera, una vez habilitados los sectores bajos para la práctica de una actividad agrícola extensiva, el ganado fue relegado en las montañas, para evitar que pisara y destruyera las cosechas. Sin embargo, la presencia de las salinas y de numerosos puntos de agua en la extremidad oeste de la hacienda, implicaba constantes desplazamientos de los animales en los sectores bajos y el establecimiento de acondicionamientos para canalizarlo.

En segundo lugar, se identificó la presencia de un molino de pan moler otorgado en merced junto con un batán a Juan de Llano y Valle, dueño de la hacienda de Puruagua en 1720. Este último también obtuvo el derecho de usar el agua del río<sup>28</sup>. Aunque el documento presenta información muy general, por medio del ya referido plano topográfico de la hacienda de 1868, se ubicó una zona nombrada como el Batán, mismo que se encontró en la porción suroeste de la hacienda, en el cauce del Lerma. Este topónimo permaneció hasta la actualidad. Una visita en este sector permitió identificar unas bases de muro que podrían corresponder al batán o al molino mencionados en la merced de 1720.

Aunque los testimonios (escritos y materiales) encontrados no permiten estimar la superficie de tierras dedicadas al trabajo agrícola, atestiguan de este uso en distintos sectores de la parte baja. Con este giro económico, la construcción de infraestructuras y el cambio de uso de suelo en el sector bajo, el siglo XVIII es probablemente el que marca el cambio más fuerte en el paisaje.

27. AGN, Judicial, vol. 23. Fs. 60, 1746

28. Archivo particular del padre Efrén Cervantes, fs. 7, 1988

## 6. El aprovechamiento forestal

Finalmente, otro recurso -la madera- tuvo gran importancia durante la Colonia, ya que permitió el desarrollo de diversas actividades económicas, tales como la producción minera, la construcción y la ganadería, además de las labores de corte, acarreo de madera, elaboración de leña y carbón, las cuales eran practicadas exclusivamente por los indios (Lira, 1990). Estas nuevas formas de aprovechamiento forestal en Nueva España condujeron a la sobreexplotación de este recurso, situación que comenzó a hacerse visible en las primeras décadas del siglo XVI, lo cual despertó el interés de la Corona por la conservación de los bosques (Lira, 1990).

En la zona de Acámbaro, la importante diferencia de altitud entre los sectores más bajos (1900 msnm aproximadamente) y las zonas montañosas (que alcanzan 3300 msnm), ha favorecido la presencia de una gran variedad de especímenes vegetales « [ya que] [...] en las llanuras se desarrolla principalmente una cubierta vegetal baja [mientras que] las cimas se caracterizan por bosques mixtos compuestos de robles y pinos » (Lefebvre, 2017, p. 209). Los recursos maderables de la zona se concentran en tres serranías que circundan Acámbaro: la sierra de Ucareo, la sierra de Puruagua, y la sierra de los Agustinos. Uno de los registros más antiguos de aprovechamiento forestal llevado a cabo en estas serranías, fue identificado en la Relación Geográfica de Acámbaro de 1580, que hace referencia a los « montes de robles y pinos, de donde se sacan maderas para edificios » (Acuña, 1987, p. 66). Un documento conservado en el ramo Congregaciones del AGN también menciona que los pueblos de Santa Ana, San Ildefonso y Los Carpinteros, ubicados en la Sierra de Ucareo, argumentaron « tener allí cerca la comodidad del monte [...] donde hay gran demanda y salida para los tejamaniles que hacen lo cual vale mucho dinero », para rechazar su desplazamiento en el pueblo de Ucareo<sup>29</sup>.

Las informaciones referentes a la explotación de los recursos maderables de la sierra de Puruagua son mucho menos extensas y generalmente corresponden a siglos posteriores. No se ha encontrado ningún rastro de explotación forestal en los siglos XVI y XVII, pero este recurso fue ciertamente muy útil para la construcción de la infraestructura de la hacienda desde el inicio, para el casco, las trojes, las presas, el molino y el batán, por mencionar algunos. Pudo haber sido usada para la estructura y las vigas, pero también como combustible en la preparación de la cal empleada en los morteros para los aplanados en muros y cubiertas.

El único indicio que se tiene sobre la explotación del bosque en la hacienda se encuentra en dos topónimos: el cerro de las Vigas y el camino del Arrastradero, los cuales fungieron como linderos del latifundio hacia 1747. Ambos topónimos se encuentran en la porción sureste de la hacienda, en la sierra. El cerro de las Vigas, como su nombre lo indica, está directamente asociado a la explotación de este recurso. Se encuentra muy cerca del camino del Arrastradero mencionado anteriormente. El nombre de Arrastradero, según la Real Academia Española, se refiere al camino que se hace a partir del arrastre de la madera. Debido a la coincidencia del campo semántico de estos nombres, y a la cercanía de estos lugares, se piensa que ambos sitios estuvieron vinculados con la tala de árboles.

Sin embargo, la mayor explotación de los recursos forestales ocurrió después. Encuestas orales realizadas ante informantes locales<sup>30</sup> revelaron que la hacienda de Puruagua explotó de manera

29. AGN, Congregaciones, vol. único, exp. 164, fs. 87v-88

30. El mapeo se realizó con el apoyo de varios informantes locales, entre ellos Reynaldo Castro, Daniel Castro (de más de 50 años) y Alfredo Aguilar (mayor de 80 años). Ellos, como sus padres antes que ellos, residen en las localidades del Agostadero y de Las Canoas, que pertenecían a la hacienda de Puruagua pero como ranchos, y son ejidatarios en los ejidos de Puruagua y Las Canoas, ambos situados en la Sierra de Puruagua.

significativa los bosques a finales del siglo XIX y principios del XX, para producir carbón. En ese momento, la hacienda estaba en manos de la familia Gómez de Parada. Esta actividad tomó importancia tras la llegada del ferrocarril a Tarandacuao en 1883 (García-Ríos, 2010). Los dueños de la hacienda fomentaron el desarrollo de este medio de transporte, donando árboles de su propiedad para ser utilizados como durmientes para las vías del tren. Esta contribución fue para servir sus intereses, puesto que el establecimiento del ferrocarril debía incrementar su actividad económica, abriendo los mercados más alejados para sus productos agrícolas y forestales. En particular favoreció la producción y exportación de carbón vegetal. Esta actividad ha dejado su huella en forma de un topónimo: La Carbonera, que se supone fue el centro de acopio del carbón que se producía en las montañas, y desde allí se transportaba a la estación del ferrocarril en Tarandacuao.

Aunque los datos sobre la explotación de los bosques son escasos, esta actividad ha provocado sin duda grandes cambios en el paisaje, pasando de un monte « abandonado » desde ya varios siglos a un recurso en pleno derecho, usado como materia prima (para la confección de vigas o de carbón), pero también talado para abrir zonas de pastizales para el ganado o para agricultura.

## 7. Conclusión

Este estudio preliminar nos permite observar la compleja y cambiante relación que une a las sociedades humanas y el ambiente, y las influencias mutuas que ejercen uno sobre el otro: los paisajes influenciaron las actividades económicas que se desarrollaron en la zona de Puruagua y, simultáneamente, la explotación de los distintos recursos transformó de manera profunda los paisajes.

La orilla norte del río Lerma, abandonada por las poblaciones sedentarias al menos desde el Posclásico temprano, sirvió como zona tapón en víspera de la Conquista. Desde entonces, se desarrollaron dos contextos socioculturales muy distintos: al sur del río Lerma, se encontraban poblaciones de agricultores sedentarios bajo la dominación tarasca, y al norte, poblaciones de cazadores recolectores seminómadas. Como consecuencia, se formaron paisajes diferentes. La casi ausencia de asentamientos perennes al norte del Lerma condujo al abandono de las infraestructuras agrícolas y desde luego de los terruños prehispánicos.

La situación previa a la llegada de los españoles tuvo consecuencias sobre las estrategias de colonización. En la orilla norte, la poca densidad humana favoreció la repartición de las tierras a los colonos peninsulares. La hacienda de San José Puruagua tuvo su origen en 14 mercedes reales dotadas entre 1540 y 1613. La presencia de amplias extensiones de pastizales y la ausencia de estructuras agrarias (terrazas o sistema de riego) fomentaron la instauración de una economía basada en la ganadería, la cual requirió menos mano de obra y pocos acondicionamientos. Además, esta actividad fue facilitada por la presencia de salinas, recurso indispensable para el buen estado de salud de los animales. El aprovechamiento de los pastizales para el ganado mayor y menor permitió la colonización rápida de esta zona e implicó cambios significativos en el paisaje.

Esta explotación se persiguió hasta finales del siglo XVII-principios del XVIII, cuando la economía del Bajío está marcada por un profundo giro. Entonces, los sectores bajos se cubrieron

---

Aunque los informantes no vivieron el período en cuestión, están muy familiarizados con la zona, su historia reciente relacionada con el aprovechamiento de los recursos forestales y la (micro)toponimia local. También pudieron contar historias, anécdotas e informaciones que habían escuchado de sus padres y abuelos, que eran trabajadores de la hacienda.

de obras hidráulicas - presas, acueductos, sistemas de riego - destinados a mejorar el aprovechamiento del agua y de los suelos fértiles, para fomentar el cultivo de cereales, y en particular del trigo. Al mismo tiempo, también se explotará el sector oriental de la hacienda, ocupado por la imponente sierra de Puruagua. Durante el siglo XVIII, la habilitación de campos en los sectores bajos provocó el reagrupamiento del ganado en las zonas más escarpadas, lo que dio origen a numerosos nombres de lugares relacionados con la actividad ganadera. Por ello, las zonas más bajas se han desarrollado de forma que el ganado (principalmente el vacuno) pueda seguir beneficiándose de las salinas sin dispersarse en las zonas cultivadas. Esto se consiguió, entre otras cosas, mediante la construcción de la cerca doble. Lo anterior permitió a los propietarios mantener esta actividad, separándola claramente de las zonas agrícolas y aprovechando los sectores con pendientes pronunciadas y, por tanto, menos fáciles de explotar.

Por último, a partir del siglo XVIII aparecieron los primeros indicios de la explotación maderables. Aunque es posible que la tala de árboles comenzara antes, los topónimos relacionados con esta actividad aparecen por primera vez en los registros cartográficos de este periodo.

El análisis de la explotación del territorio de la hacienda de San José Puruagua y de los distintos recursos de que dispuso, ha demostrado cómo la transformación del paisaje, el aumento de la mano de obra y el mejoramiento de los equipos y herramientas de explotación han abierto nuevas posibilidades de explotación del territorio y de los componentes de la naturaleza considerados como recursos, cada vez más numerosos, intensos, y por supuesto rentables. En consecuencia, se observa un movimiento constante entre la aparición de nuevas actividades económicas y las transformaciones que ha sufrido el paisaje.

## Agradecimientos

Agradecemos al padre Efrén Cervantes por las facilidades para revisar su archivo particular, así como a Javier Quijano por el acceso sin restricciones al archivo particular de la ex hacienda de Puruagua. Ambos archivos fueron indispensables para llevar a cabo esta investigación. Agradecemos también a Pedro Lombana, Emanuel Schmidt, Alfredo Aguilar, Reynaldo Castro, Ricardo Almaraz, Diego Camacho, Rafael Álvarez López y Nicolás Alejandro Rosas Rangel por el apoyo brindado durante el trabajo de campo. Dedicamos este artículo, a la memoria de Javier Castro Peñaloza, por su valiosa colaboración en los recorridos de campo y en la interpretación de documentos cartográficos relacionados con la hacienda de Puruagua. Una mención especial para Margarita Castro Peñaloza y Magdalena Castro Peñaloza por su apoyo incondicional durante la investigación.

## Contribución de autorías

El artículo es producto de un trabajo colectivo entre los autores. La concepción y diseño de la investigación estuvieron a cargo de Erik Núñez-Castro y Karine Lefebvre. Los tres autores participaron en el trabajo de campo y la revisión bibliográfica. La coordinación de los talleres participativos, el registro de los topónimos, la recopilación de la documentación histórica (escrita y cartográfica) y su análisis estuvieron a cargo de Erik Núñez-Castro. La georreferenciación de la información obtenida y su interpretación cartográfica fueron realizados por Erik Núñez-Castro, con el apoyo de Karine Lefebvre y Liliana Vizcaíno-Monroy. Todos los autores participaron en la redacción del artículo. El análisis del patrón de asentamiento regional durante el Posclásico tardío y el siglo XVI estuvo principalmente a cargo de Karine Lefebvre; la colonización agropecuaria del siglo XVI a cargo de Karine Lefebvre y Erik Núñez-Castro; el análisis de la preponderancia ganadera y del aprovechamiento forestal fue principalmente a cargo de Erik Núñez-Castro. El estudio del giro agrícola estuvo principalmente a cargo de Erik Núñez-Castro y Liliana Vizcaíno-Monroy.

## Financiación

Esta investigación recibió el apoyo del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM (PAPIIT-DGAPA IA400718) “Los procesos de la colonización española en el medio rural: impactos sobre la sociedad y el paisaje”.

## Conflicto de intereses

Los autores de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Acuña, R. (1987). *Relaciones geográficas del siglo XVI: Michoacán*. México: UNAM.
- Aguirre-Anaya, J. & Quispe-Pastrana, E. (2019). Arqueología histórica de los sistemas hidráulicos de la hacienda Jalpa de Cánovas, Guanajuato, México, y su relación con el sistema-mundo, siglos XVIII-XIX. *Teoría y Práctica de la Arqueología Histórica Latinoamericana*, 8, 125-141. DOI: <https://doi.org/10.35305/tpahl.v8i0.11>
- Alcalá, J. de. (2000). *Relación de Michoacán*. Franco Mendoza M. (coord.), México: El colegio de Michoacán, Gobierno del Estado de Michoacán.
- Beaumont, P. (1932). *Crónica de Michoacán, México*. México: Publicaciones del AGN, Talleres Gráficos de la Nación.
- Basalengué, D. (1985). *Los agustinos, aquellos misioneros hacendados*. México: Secretaría de Educación Pública.
- Brading, D. A. (1988). *Hacienda y ranchos del Bajío, León 1700-1860*. México: ed. Grijalbo.
- Butzer, K. W. & Butzer, E. K. (1993). The sixteenth-century environment of the central Mexican Bajío: Archival reconstruction from colonial landgrants and the question of Spanish ecological impact. *Geoscience and Man*, (32), 80-124.
- Castro-Gutiérrez, F. (2004). *Los tarascos y el imperio español, 1600 - 1740*. México: UNAM, UMSNH.
- Castellón, B. (2017). Aportaciones recientes en el estudio de las tecnologías salinas tradicionales en México y Centroamérica. *De Re Metallica*, 28, 85-96.
- Crosby, A. W. (2003). *The Columbian Exchange. Biological and cultural consequences of 1492*, Westport: Praeger.
- De Solano, F. (1991). *Cedulario de tierras: compilación de legislación agraria colonial (1497-1820)*. México: UNAM.
- Doolittle, W. E. (1987). Las Marismas to Pánuco to Texas: The transfer of open range cattle ranching from Iberia through northeastern Mexico. *Conference of Latin Americanist Geographers Yearbook*, 13, 3-11.
- Escobar-Olmedo, A. (1984). Las encomiendas en la cuenca lacustre de Cuitzeo, En C. S. Paredes Martínez, M. Irías Piñón Flores, A. M. Escobar Olmedo y M. T. Pulido Solís (coords.) *Michoacán en el siglo XVI* (pp. 191-295), Morelia: Fimax publicistas.
- Fernández-Christlieb, F. & García-Zambrano, Á. J. (2006). *Territorialidad y paisaje en el Altepetl del siglo XVI*, México: Fondo de Cultura Económica.
- Fernández-Tejedo, I. (2012). Fragilidad de un espacio productivo: cambio climático e inundaciones en el Bajío, siglo XVIII. *Tzintzun*, 55, 107-156.
- García-Ríos, J. (2010). *Tarandacua. Historia de un Pueblo Michoacano Guanajuatense*. México: Gobierno del Estado de Guanajuato.
- Granero-Martín, F. (2003). *Agua y territorio: arquitectura y paisaje (Vol. 26)*. Sevilla. Universidad de Sevilla. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción.
- Hunter, R. (2009). *People, sheep, and landscape change in colonial Mexico: The sixteenth-century transformation of the Valle del Mezquital*. Phd diss./Louisiana State University.
- Icaza-Lomelí, L. (2007). De agua y arquitectura novohispana. *Bitácora Arquitectura*, (16), 52-61. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/fa.14058901p.2007.16.36252>
- Icaza-Lomelí, L. (2013). *Tecnología hidráulica de las haciendas de Tlaxcala*. México: INAH.
- Jalpa-Flores, T. (2008). *La apropiación del suelo en la región de Chalco durante los siglos XV-XVII*. México: INAH.
- Lefebvre, K. (2011). Acámbaro, en los confines del reino tarasco: una aculturación discreta (1440- 1521 d. C.), *Trace*, 59, 74-89. DOI: <http://dx.doi.org/10.22134/trace.59.2011.321>

- Lefebvre, K. (2012). *L'occupation du sol dans la région d'Acámbaro entre le Postclassique récent et le XVI<sup>e</sup> siècle*, Phd diss. /Université de Paris I, Panthéon - Sorbonne, 2 vol.
- Lefebvre, K. (2017). De lo efímero a lo perdurable, el sello de la religión cristiana en el paisaje: el sistema constructivo de los edificios religiosos primitivos en la región de Acámbaro. *Relaciones. Estudios de Historia y Sociedad*, 159, 179-215. DOI: <https://doi.org/10.24901/rehs.v38i152.358>
- Lefebvre, K. (2018). Los procesos de colonización agropecuaria de la región de Acámbaro- Maravatío durante el siglo XVI, *Estudios de Historia Novohispana*, (58), 31-71. DOI: <https://doi.org/10.24486922e.2018.58.63061>.
- Lira, A. (1990). Los bosques en el virreinato: apuntes sobre la visión política de un problema. *Relaciones, Estudios de Historia y Sociedad*, (11), 117-127.
- López-Lara, R. (1973). *El Obispado de Michoacán en el Siglo XVII. Informe inédito de beneficios, pueblos y lenguas*. Morelia: FIMAX publicistas.
- Manin, A. & Lefèvre, C. (2016). The use of animals in Northern Mesoamerica, between the Classic and the Conquest (200-1521 AD). An attempt at regional synthesis in central Mexico. *Anthropozoologica*, 51(2), 127-147 DOI: 10.5252/az2016n2a5
- Melville, E. (1994). *A Plague of Sheep: Environmental Consequences of the Conquest of Mexico*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Morales-Jasso, G. (2016). La apropiación de la naturaleza como recurso. Una mirada reflexiva. *Gestión y Ambiente*, 19(1), 141-154.
- Murphy, M. (1986). *Irrigation in the Bajío Region of Colonial Mexico*. Boulder: Wetview Press.
- Núñez-Castro, E. (2020). *Conformación de la hacienda de San José, Puruagua. 1540-1746* (Tesis de licenciatura). ENES-UNAM, Morelia.
- Olvera-Calvo, M. (2004). Materiales de construcción en la ciudad de México durante la época virreinal: «Sobre el uso y abuso que se hace de la madera para la construcción». *Boletín de Monumentos Históricos*, (1), 93-102.
- Ruiz-Medrano, E. (1991) *Gobierno y sociedad en Nueva España: segunda audiencia y Antonio de Mendoza*, Zamora: Colegio de Michoacán, Gobierno del Estado de Michoacán.
- Sánchez-Rodríguez, M. (2005). "El mejor de los títulos" Riego, organización social y administración de recursos hidráulicos en el Bajío mexicano, Zamora: Colegio de Michoacán, Gobierno del Estado de Guanajuato, Comisión Estatal del Agua.
- Sánchez-Rodríguez, M. y H. H. Eling Jr. (2007). *Cartografía Hidráulica de Guanajuato*. Zamora: Colegio de Michoacán, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato.
- Sluyter, A. (1996). The ecological origins and consequences of cattle ranching in sixteenth-century New Spain. *Geographical Review*, 86 (2), 161-177. DOI: <https://doi.org/10.2307/215954>
- Villegas-Molina, M. (2017). Toponimia en región otomí, siglo XVI. Una revisión semántica. En K. Lefebvre y C. Paredes (coords), *La memoria de los nombres. La toponimia en la conformación histórica del territorio. De Mesoamérica a México* (pp. 353-362). México: CIGA- UNAM.
- Von Wobeser, G. (1989). *La formación de la hacienda en la época colonial. El uso de la tierra y el agua*. México: UNAM.
- Williams, E. (2003). *La sal de la tierra*. Zamora: Colegio de Michoacán, Secretaría de Cultura del Estado de Jalisco.
- Zamarroni-Arroyo, R. (1959). *Narraciones y leyendas de Celaya y de El Bajío*. México: Editora Mexicana de Periódicos, Libros y Revistas.

# Buenas prácticas en el manejo y gestión del agua pluvial. Casos de estudio en la comarca del Bajo Segura

Good practices in the handling and management of rainwater. Case studies in the Bajo Segura region

ESTHER SÁNCHEZ ALMODÓVAR<sup>1</sup>  0000-0003-4201-0779

JORGE OLCINA CANTOS<sup>2</sup>  0000-0002-4846-8126

JAVIER MARTÍ TALAVERA<sup>1</sup>  0000-0002-1624-2843

<sup>1</sup>Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante

<sup>2</sup>Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad de Alicante

## Resumen

La escorrentía urbana y sus consecuencias se han convertido en uno de los grandes problemas de las ciudades del sureste peninsular. Su gestión ha sufrido en los últimos años un cambio de paradigma, apostando cada vez más por los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN). Algunos de los últimos ejemplos desarrollados han sido ejecutados en varios municipios de la comarca alicantina del Bajo Segura, como Rojales, Daya Nueva y San Fulgencio, que han utilizado diversas metodologías integradas en espacios o zonas verdes. Con esta investigación se pretende dar a conocer estas infraestructuras y su funcionamiento, a partir de las entrevistas y salidas de campo realizadas con el personal encargado de la ejecución de estos proyectos. Su entrada en funcionamiento supone una apuesta por una gestión hídrica más eficiente y respetuosa con el medio ambiente basada en la reutilización del agua.

Palabras clave: ordenación territorial; riesgos naturales; sostenibilidad urbana; reutilización del agua; gestión hídrica.

### Fechas • Dates

Recibido: 2021.04.28  
Aceptado: 2021.07.30  
Publicado: 2022.03.14

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Esther Sánchez Almodóvar  
[esther.sanchez@ua.es](mailto:esther.sanchez@ua.es)

## Abstract

Urban runoff and its consequences have become one of the major problems in the cities of the southeast of the peninsula. Its management has undergone a paradigm shift in recent years, with an increasing focus on Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) and Nature-Based Solutions (NBS). Some of the latest examples developed have been implemented in several municipalities in the Bajo Segura region of Alicante, such as Rojales, Daya Nueva and San Fulgencio, which have used various methodologies integrated into green spaces or areas. The aim of this research is to provide information on these infrastructures and how they work, based on interviews and field trips carried out with the personnel responsible for the execution of these projects. Their entry into operation represents a commitment to more efficient and environmentally friendly water management based on the reuse of water.

Keywords: land-use planning; natural hazards; urban sustainability; water reuse; water management.

## 1. Introducción

El aprovechamiento del agua pluvial se ha convertido en una acción básica para la adaptación al cambio climático, especialmente en territorios con escasez de recursos naturales de agua. La necesidad de planificación del agua y del territorio bajo los supuestos de la economía circular, en el marco del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (en adelante ODS), convierte a la gestión del agua pluvial en una acción de importante desarrollo durante las próximas décadas. En España, los Sistemas Urbanos de Desarrollo Sostenible (en adelante SUDS) han experimentado un impulso significativo en los últimos años debido a diferentes factores: a) el desarrollo de eventos extremos de precipitación importantes (2015, 2017, 2019, 2020) en el litoral mediterráneo, con una elevada intensidad horaria de las lluvias, evidenciando los efectos ya presentes en este espacio geográfico del calentamiento global (Olcina Cantos y Biener Camacho, 2020); b) la escasa adaptación de los entornos urbanos a este tipo de precipitaciones cada vez más frecuente, con sistemas de alcantarillado sin capacidad para evacuar lluvias intensas y sin implantación de colectores específicos para agua pluvial; c) la puesta en marcha de iniciativas europeas, con importantes ayudas económicas, para la adaptación al cambio climático de los territorios; d) la publicación de un manual oficial para la construcción de este tipo de infraestructuras con adaptación a las normativas europeas y españolas existentes, especialmente por lo que respecta al posible uso posterior de las aguas almacenadas (Ministerio de Agricultura, 2014) y e) la elaboración de estrategias para el desarrollo de infraestructura verde en Europa y España. Todo ello ha favorecido el desarrollo de actuaciones de drenaje sostenible que han dado lugar a la existencia de 470 depósitos de tormenta en toda España (Pérez Zabaleta et al., 2019) de los cuales una cuarta parte se localizan en el territorio del sureste ibérico (provincias de Alicante, Murcia y Almería), con tipología y dimensiones variadas (Arahetes y Olcina Cantos, 2019).

Una de las principales consecuencias derivada del proceso de expansión y densificación de los espacios urbanos, es la problemática gestión de las escorrentías generadas en áreas urbanas cuando acontece un episodio de precipitación con elevada intensidad horaria. Esta dificultad se incrementa cuando la escorrentía urbana es causante de la contaminación de los cuerpos de agua receptores (Woods-Ballard et al., 2015). El informe ESPON refiere que las inundaciones se han convertido en un problema cada vez mayor para los entornos edificados e incide sobre las consecuencias que provoca el aumento del sellado del suelo, que conduce a un incremento del riesgo de inundación, al quedar considerablemente mermada la retención natural en el suelo por in-

filtración (ESPON, 2006, p. 33). Los efectos derivados del crecimiento urbanístico y la afección, cada vez mayor, del cambio climático en áreas urbanas, ocasiona un gran impacto en el drenaje de las aguas pluviales, provocando la insuficiencia de la red de saneamiento para drenar grandes volúmenes de escorrentía urbana (Jato-Espino, Sillanpää, Andrés-Doménech, y Rodríguez-Hernández, 2018). La gestión de los sistemas de drenaje convencional es un desafío constante que tienen planteado las ciudades del siglo XXI. La afección que presentan las redes de saneamiento, en su mayoría redes unitarias, se debe a que el diseño de las mismas no contaba con las ampliaciones de las áreas urbanas, la pérdida de la cobertura vegetal y los efectos del cambio climático (Perales-Momparler *et al.*, 2017).

Es en la década de los noventa del siglo pasado cuando surge un nuevo enfoque de pensamiento, de la mano de la Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA), que centra su interés en las fuentes de recursos no convencionales como la depuración, desalación y aprovechamiento de pluviales (FNCA, s. f.), regulados por la Directiva Europea 91/271 y el marco normativo nacional en materia de calidad ambiental y drenaje urbano, el Real Decreto 1290/2012. En el marco de las directivas europeas, la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, recoge entre sus objetivos que la protección de las aguas, “contribuya a paliar los efectos de las inundaciones” (Parlamento Europeo. El Consejo de la Unión Europea, 2000, p. 5). La gestión tradicional del agua pluvial ha consistido en captar la escorrentía por las redes de alcantarillado convencionales, hacia las estaciones depuradoras de aguas residuales o a entornos acuáticos (Castro-Fresno, Andrés-Valeri, Sañudo-Fontaneda, y Rodríguez-Hernández, 2013), pero desde hace unos años este enfoque está cambiando, apostando por una gestión más sostenible del agua pluvial con la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (en adelante SBN) y SUDS, que, mediante procesos naturales, imitan el ciclo natural del agua y contribuyen a reducir los niveles de escorrentía superficial, mejorando así la calidad de las aguas (Perales-Momparler *et al.*, 2017). Para ello, se desarrolló de forma específica la Directiva 2007/60/CEE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. Dicha directiva se traspuso al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación (España. Ministerio de la Presidencia, 2010). Con el Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, se produce un cambio de paradigma en el patrón del drenaje urbano en España, migrando desde el enfoque convencional hacia las soluciones basadas en la naturaleza (España. Ministerio de Agricultura y Pesca, 2016).

El problema de la gestión de la escorrentía urbana recobra mayor interés si cabe ante el contexto actual de cambio climático en la cuenca del mediterráneo occidental, donde el efecto del calentamiento global incide de manera directa en el aumento de los extremos atmosféricos, como se deriva de diversos estudios que indican el aumento de la torrencialidad de las precipitaciones y el incremento de la intensidad horaria de las mismas (IPCC, 2014, 2018, 2019; Olcina Cantos, 2017; Olcina Cantos y Biener Camacho, 2020; Olcina Cantos y Vera-Rebollo, 2016). Este cambio de modalidad de la precipitación es una de las causas por la cual se produce el anegamiento de los medios urbanos y el colapso de las redes de saneamiento y evacuación de pluviales (Olcina Cantos *et al.*, 2018). Con base en lo indicado, y dentro de una escala regional, el Plan de Acción Territorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA 2015), hace referencia en su art. 23.1, a la importancia de incluir la Infraestructura Verde como medida para reducir y mitigar el impacto del riesgo de inundación. Y en su art. 23.9 fomenta el uso de los SUDS y alude a que todos los municipios de la Comunidad Valenciana deben promover su uso (Generalitat Valenciana. Conselleria d’Habitatge, 2015).

El estudio de los SUDS ha experimentado un interés creciente en los últimos años en España, en el marco del contexto actual de cambio climático y desarrollo de extremos de precipitación cada vez más frecuentes. Bajo la premisa común del análisis de soluciones hidroeficientes y sostenibles para la reducción del riesgo de extremos hídricos en la escala local, los trabajos han analizado estos sistemas: a) según sus tipologías: colectores y depósitos pluviales, parques inundables (Fernández Rodríguez, Trapote Jaume, y Fernández Mejuto, 2020; Fresno, Bayón, Hernández, y Muñoz, 2005; Morote Seguido y Hernández Hernández, 2016, 2017; S. Perales Momparler, 2008); b) según la finalidad de su implantación en áreas urbanas: reutilización de aguas, reducción de escorrentías urbanas (Andrés-Doménech, Hernández-Crespo, Martín, y Andrés-Valeri, 2018; Castro-Fresno et al., 2013; Perales-Momparler et al., 2014; S. Perales Momparler y Andrés-Doménech, 2008; Trapote Jaume, 2020) y c) según la “filosofía” de su concepción estructural: obras de infraestructura duras, obras blandas, obras mixtas (Perales, Andrés, y Escalante, 2008; Soto-Fernández y Perales-Momparler, 2017) en su origen, era limpia. Este hecho conlleva la necesidad de afrontar la gestión de las aguas pluviales desde una perspectiva que combine aspectos hidrológicos, medioambientales y sociales, dando así cabida a los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

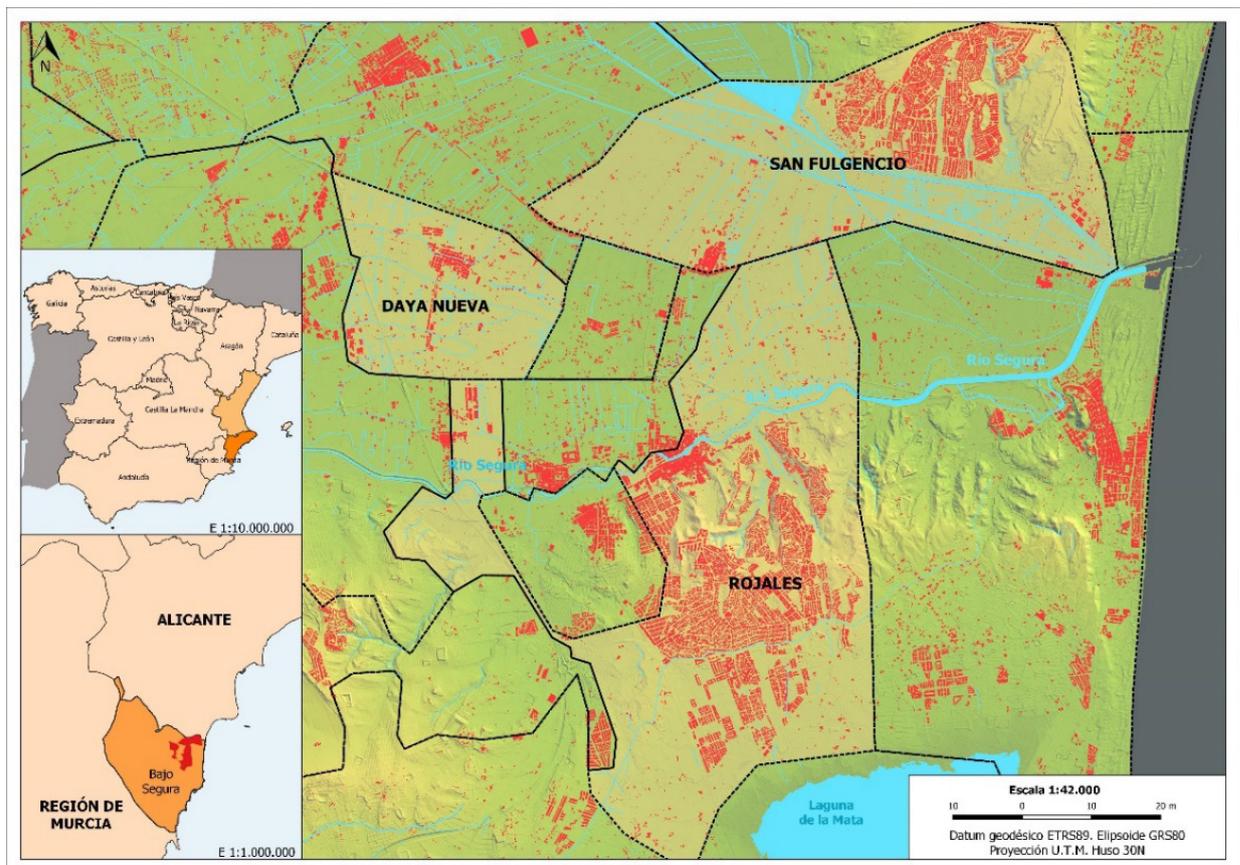
### 1.1. Área de estudio

Los municipios de Daya Nueva, Rojales y San Fulgencio se localizan en la comarca del Bajo Segura o Vega Baja, situada en el extremo meridional de la provincia de Alicante (Figura 1), ocupando una superficie total de 54.4 Km<sup>2</sup>, de los cuales 7.09 Km<sup>2</sup> pertenecen a Daya Nueva, 27.6 Km<sup>2</sup> a Rojales y 19.75 Km<sup>2</sup> a San Fulgencio. Estos municipios ubicados en la llanura aluvial del río Segura conformaban, en origen, el antiguo *Sinus Illicitanus*, un *área subsidente y húmeda* colmatada de forma paulatina por los aportes sedimentarios de los ríos Vinalopó, Segura y barrancos de los relieves periféricos (Box Amorós, 1985, pp. 678-682). Sería a partir de las obras de colonización llevadas a cabo por el Cardenal Belluga, cuando se procedió a la evacuación y drenaje de las aguas, con el fin de desecar el humedal para posteriormente ser utilizado para el aprovechamiento agrícola (Gil Olcina y Canales Martínez, 1989; Giménez-Font, 2008).

Estos municipios experimentaron una gran transformación social, territorial y económica a partir de los años cincuenta y sesenta de la centuria pasada. El desarrollo socioeconómico estuvo acompañado del auge de la actividad turística y del sector inmobiliario que potenció el fenómeno denominado, desde los años setenta, como “turismo residencial” (Morote y Hernández, 2016). Este proceso ha ocasionado un cambio en el modelo urbano, que ha provocado intensas transformaciones territoriales en los municipios de la comarca del Bajo Segura considerados en este análisis, tales como Rojales, San Fulgencio y Daya Nueva. En este caso hay que destacar la presencia en el ámbito de estudio de las lagunas de La Mata y Torrevieja que, en numerosas ocasiones, se han visto afectadas por las escorrentías urbanas procedentes de las urbanizaciones ubicadas al sur del término municipal de Rojales. El núcleo original de este municipio se ubica sobre los depósitos fluviales del río Segura, mientras que Daya Nueva y San Fulgencio se localizan a apenas unos dos kilómetros al norte de la margen derecha de este curso fluvial. Desde la óptica demográfica Rojales y San Fulgencio comparten un escenario común, caracterizado por un incremento muy significativo de su población entre los años 2000 y 2010. El primero, amplió sus efectivos de población de 7,321 (2000) a 20,953 habitantes (2010). San Fulgencio, por su parte tuvo un incremento más pronunciado, pasando de 3,706 (2000) a 12,144 habitantes (2010). Fuera de esta dinámica se encuentra Daya Nueva que, a pesar de su crecimiento demográfico no ha desarrollado una política urbanística como los casos anteriores, de ahí que, en la actualidad, su

número de habitantes actual sea 1,737. Este crecimiento demográfico se ve reflejado en el parque de viviendas de los municipios que sufrieron el *boom* urbanístico que, con menor énfasis, aún se mantiene, sobre todo en Rojasles. Según la antigüedad de los inmuebles proporcionada por el Ministerio de Hacienda, se aprecia cómo el 50.5% de los inmuebles de Rojasles se construyeron entre los años 2000 y 2010. La expansión urbana de este municipio se ha producido hacia el sur, entre la elevación montañosa de la Atalaya y la Laguna Salada de La Mata, donde se han construido numerosas urbanizaciones. En el caso de San Fulgencio, prácticamente el 47% de los inmuebles se construyeron en dicha década pero, a diferencia del anterior municipio, esta actividad urbanizadora no se dio en las cercanías del núcleo original, desarrollando en mayor o menor medida una continuidad edificatoria, sino que se produjo a 2 kilómetros al noreste del casco urbano, en plena Sierra del Molar. Daya Nueva por su parte también tuvo su particular expansión urbanística durante la década de los años 2000-2010, construyéndose cerca del 40% de los inmuebles, pero sin el vigor del resto de ejemplos. En esta localidad la construcción de viviendas se desarrolló hacia el oeste, pero siguiendo en gran medida una continuidad edificatoria. Destaca, como en los dos primeros ejemplos, los procesos de expansión urbana en áreas con elevadas pendientes, y en el caso de San Fulgencio, destaca que no se ha ocupado el espacio de huerta (Figura 1). El aumento de la urbanización ha producido un considerable aumento de la superficie impermeable debido a la edificación y el sellado del suelo, además de una gran transformación territorial por el desmonte y ocupación de los relieves próximos, provocando graves problemas en la gestión de la escorrentía.

Figura 1. Localización de los municipios objetivo de estudio



Fuente: PNOA/ICV. Elaboración propia.

## 1.2. Justificación y objetivos

La presente investigación se centra en analizar las actuaciones de distinta naturaleza realizadas en localidades del Bajo Segura, que tienen como objetivo mejorar la gestión de la escorrentía pluvial y mitigar el riesgo de inundación. Además, se pone en relieve la utilización de recursos hídricos no convencionales (agua depurada y pluviales) ante el cambio de paradigma en la planificación y gestión integrada de los recursos hídricos. Entre las medidas estructurales y no estructurales analizadas en los diferentes casos de estudio, destacan las SBN y los SUDS, como medidas blandas que intentan mitigar los problemas producidos por la urbanización, tales como, la interceptación, evapotranspiración, infiltración y laminación de la escorrentía urbana (Andrés-Doménech, 2017). Estos sistemas han mostrado ser eficaces en diferentes localizaciones en la fachada mediterránea, siendo verdaderas apuestas por la sostenibilidad y la planificación territorial.

Estas actuaciones están tomando mayor valor, si cabe, tras el episodio de lluvias torrenciales acontecido el pasado septiembre de 2019, donde se vio afectada toda la comarca del Bajo Segura. Por tanto, las administraciones locales están apostando por este tipo de medidas, para que de forma conjunta con medidas convencionales se mitiguen los efectos de las lluvias torrenciales. En esta tónica, se plantea el Plan Vega Renhace (2020), con la implementación de medidas rígidas y blandas, que estén del lado de la sostenibilidad y ayuden a mitigar el problema de la inundación en los medios urbanos, generando territorios más resilientes. Estas iniciativas están tomando protagonismo desde las administraciones locales y las entidades responsables de la gestión de los recursos hídricos, como es, en este caso, *Hidraqua Gestión Integral De Aguas De Levante S.A* (García de Consuegra Priego, 2020).

A tenor de lo señalado en los párrafos anteriores, los objetivos de esta investigación son: a) analizar las actuaciones llevadas a cabo en los últimos años en municipios de la comarca del Bajo Segura para mejorar la gestión de la escorrentía; b) poner de relieve la implantación de SBN y SUDS como medidas potenciales para mitigar la afección de la escorrentía y controlar la cantidad y calidad de la misma; c) valorar la eficiencia de las actuaciones desarrolladas; y d) potenciar las SBN y los SUDS como medidas eficientes para gestionar la escorrentía de forma sostenible y la acción por el clima, cumpliendo con los ODS.

## 2. Metodología

La metodología empleada para el desarrollo de esta investigación, se ha iniciado con la búsqueda bibliográfica relacionada con la temática para establecer las bases teóricas de la investigación. Para analizar los diferentes casos de estudio, se han realizado varias salidas de campo a los municipios seleccionados para el estudio de las medidas allí adoptadas. Se llevaron a cabo diferentes entrevistas en septiembre y noviembre de 2020 con los técnicos de ayuntamientos y de la empresa concesionaria de los servicios de abastecimiento y alcantarillado, *Hidraqua Gestión Integral De Aguas De Levante S.A.* De esta manera, se ha podido recopilar información cualitativa sobre las medidas implementadas para la gestión de la escorrentía hasta la actualidad, sus ventajas e inconvenientes, además de proyectos o ideas de futuro en torno a la gestión de este recurso en dichos municipios. Las entrevistas se completaron con la visita al Parque Forestal de “El Recorral”, las EDAR “Lo Pepín” y “Doña Pepa” en Rojales. En el municipio de Daya Nueva, se visitó el “Parque Europa” y en San Fulgencio, el estanque inundable anexo a la zona deportiva municipal.

Tabla 1. Actuaciones analizadas en los casos de estudio

Actuación	Localización	Fecha finalización	Entidad de gestión
Parque El Recorral	Rojales	Mayo 2019	<i>Hidraqua Gestión Integral De Aguas De Levante S.A</i>
Remodelación EDAR Lo Pepín	Rojales	Noviembre 2019	
Tanque anti-DSU Doña Pepa	Rojales	Enero 2021	
Parque Europa (zanja filtrante)	Daya Nueva	Noviembre 2020	
Estanque inundable	San Fulgencio	Diciembre 2019	

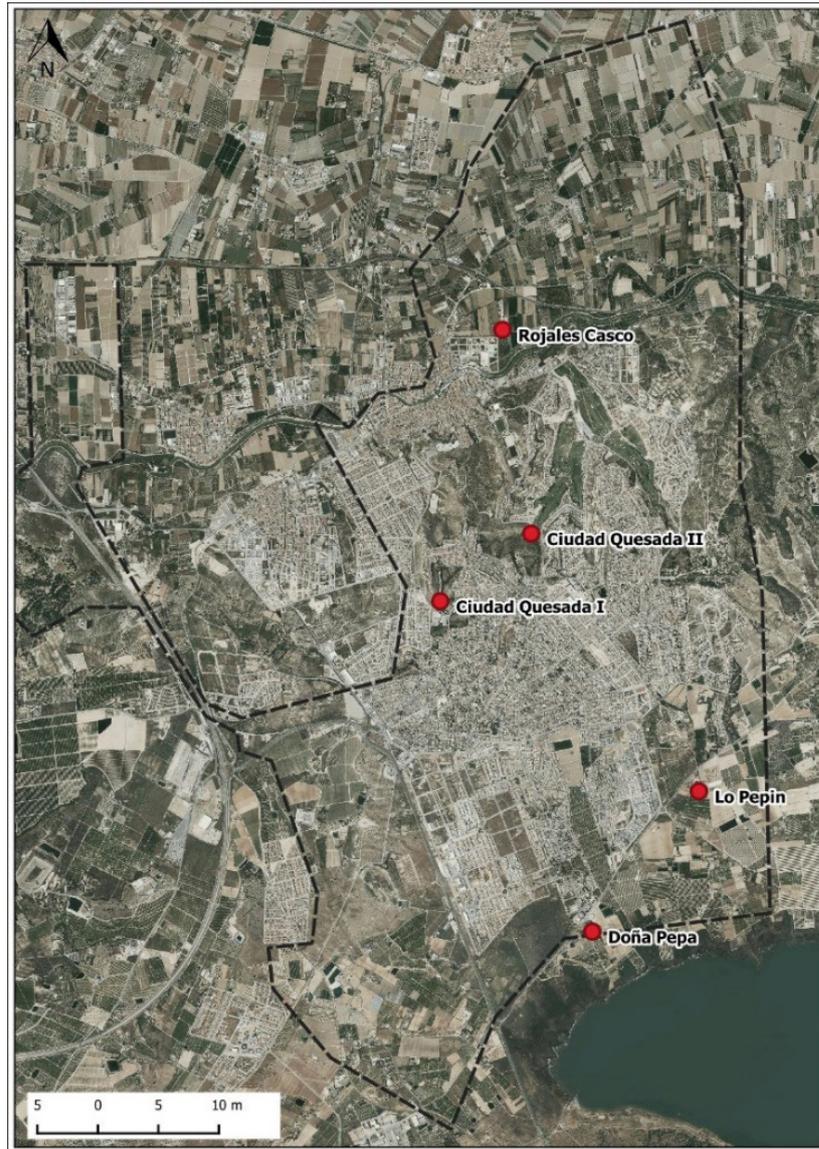
Fuente: Hidraqua Gestión Integral de Aguas de Levante S.A. Elaboración propia.

### 3. Resultados

#### 3.1. Rojales

El primer análisis corresponde al municipio de Rojales en el que las actuaciones conjuntas del ayuntamiento y la empresa Hidraqua, se han realizado con objetivos diferentes. En primer lugar, dar solución a los vertidos no autorizados que se producen desde las EDAR en la mitad sur del municipio, principalmente, la EDAR Lo Pepín y la de Doña Pepa, para así evitar las sanciones impuestas por la Confederación Hidrográfica del Segura (en adelante CHS). En segundo lugar, captar los primeros caudales de aguas residuales y pluviales con alta carga contaminante, mediante depósitos anti-DSU (depósito anti-descargas del sistema unitario al medio receptor) a la entrada de las EDAR antes indicadas. Por último, destinar el agua regenerada y almacenada en la EDAR Lo Pepín para el riego de zonas verdes como el Parque de “El Recorral”, donde se autoriza el punto de vertido de agua regenerada a un cauce público por parte de la CHS. En el municipio de Rojales, el sistema de depuración de agua residual está compuesto por 5 depuradoras (Figura 2): EDAR Rojales Casco, ubicada en la vertiente norte, explotada en la actualidad por la empresa Global Omnium Medio Ambiente, mientras que en la vertiente sur se localizan 4 depuradoras, EDAR Ciudad Quesada I y II, EDAR Lo Pepín y EDAR Doña Pepa, explotadas por la empresa Hidraqua. Hay que comentar que la actual EDAR Lo Pepín, es una integración de las antiguas Lo Pepín I (siempre activa) y Lo Pepín II (fuera de servicio desde su instalación en 2008 hasta 2016 con su remodelación y puesta en marcha), localizadas en su ubicación actual. La problemática gestión del agua residual depurada ha sido una constante a lo largo de los últimos años, debido a la falta de autorización de vertido de las cuatro depuradoras existentes en la vertiente sur del término municipal. Esta situación ha derivado en múltiples expedientes sancionadores por parte de la CHS y multas económicas para la administración local.

Figura 2. Localización de las EDAR en el término municipal de Rojasles



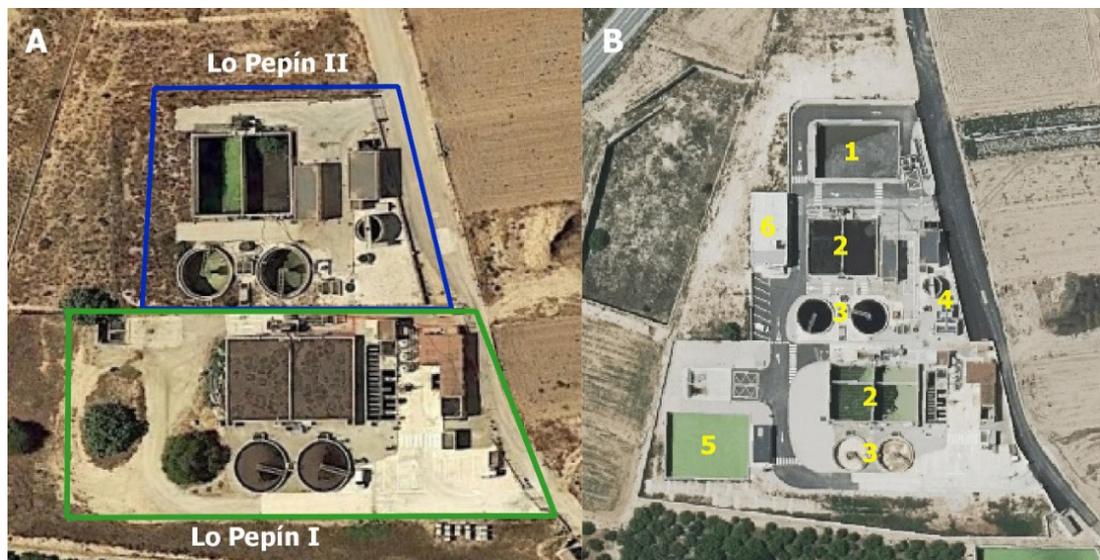
Fuente: EPSAR, ICV. Elaboración propia.

El principal problema se producía en las EDAR Lo Pepín y Doña Pepa, ya que sus instalaciones se ubican en la parte más meridional del término, a 24 y 11 metros de altitud respectivamente, por tanto, cuando acontecen episodios de precipitación de fuerte intensidad horaria, los caudales circulantes por los colectores de la red de saneamiento unitaria discurren por gravedad hacia ambas depuradoras. A ello hay que añadir que la vertiente sur del término presenta una pendiente con disposición norte-sur que favorece la generación de grandes cantidades de escorrentía superficial que circula hacia la zona de menor altitud, siendo avenida en multitud de ocasiones hacia el Parque Natural de las Lagunas de La Mata y Torrevieja. En episodios de lluvias torrenciales, el aporte extraordinario de caudales de aguas residuales y pluviales superaba el caudal de diseño de ambas instalaciones, lo que ocasionaba el alivio de aguas sin depurar a la red de acequias de la zona, llegando el vertido a las Lagunas de La Mata y Torrevieja, declarada «zona sensible» por la Secretaría de Estado de Aguas y Costas el 25 de mayo de 1998 (Ministerio de Medio Ambiente, 1998). Ante dicha problemática, el Ayuntamiento de Rojasles en colaboración con Hidraqua, contemplan una serie de medidas que se exponen a continuación.

### a. Adecuación y remodelación de la EDAR Lo Pepín

En esta depuradora se acometen varias actuaciones que van a mejorar la gestión de las aguas residuales y pluviales, además de potenciar el uso de agua regenerada. En primer lugar, se adecua y pone en marcha la EDAR Lo Pepín II, de la cual se revisan, reparan y reponen todos los componentes mecánicos de los equipos que estaban deteriorados, debido a su inactividad desde su instalación en 2008. Se acomete la integración de las parcelas que albergan ambas depuradoras (Figura 3. A), conformando una única parcela con viales donde se establecen los elementos de seguridad y se construye el edificio de control y servicios, albergando, almacén, taller, vestuario, oficinas, laboratorio, etc., además de llevar a cabo el control de los procesos con el telemando y telecontrol de las instalaciones (Figura 3. B).

Figura 3. (A) EDAR Lo Pepín I y II antes de la adecuación e integración de las parcelas. (B) EDAR Lo Pepín tras la integración y adecuación de las parcelas



Leyenda: Elementos que conforman el proceso de depuración. (1) Depósito anti-DSU, (2) Reactores biológicos, (3) Decantadores, (4) Tratamiento terciario, (5) Depósito de agua regenerada, (6) Edificio de control.

Fuente: (A) Google Earth (7/06/2018); (B) ICV (2020). Elaboración propia.

La puesta en funcionamiento de la EDAR Lo Pepín II, permite el reparto de caudales entre las dos líneas que conforman la actual EDAR Lo Pepín, favoreciendo el correcto tratamiento biológico, mediante fangos activados, con eliminación del nitrógeno, para mejorar la calidad del efluente, al tiempo que se amplía el tratamiento terciario para cumplir los estándares de calidad 2.1 fijados en el Real Decreto 1620/2007 por el que se regula la reutilización de las aguas depuradas (España. Ministerio de la Presidencia, 2007).

### b. Ejecución de un depósito anti-DSU y depósito de agua tratada en la EDAR Lo Pepín

Entre las medidas con mayor eficiencia en las estaciones de depuración, ante eventos de lluvias intensas, para la gestión del agua residual y pluvial, son los depósitos anti-DSU encargados de almacenar los primeros caudales unitarios que llegan a la depuradora con altos niveles de contaminación. En este caso, se construye un depósito enterrado anti-DSU con un volumen útil de almacenamiento de 1,200 m<sup>3</sup>. El objetivo principal de esta infraestructura es evitar que se produzca el alivio de los caudales unitarios sin depurar al Parque Natural de las Lagunas de La Mata y

Torre vieja. De igual manera, se pretende soslayar los vertidos artificiales de agua residual bruta a la red de riego y/o al ecosistema natural, en caso de avería. En cuanto al depósito de agua tratada, con un volumen útil de 1,400 m<sup>3</sup>, también es un elemento de gran importancia, ya que permite una mejora en el manejo del agua regenerada, siendo almacenada hasta su posterior reutilización en el riego de parques y jardines o en el campo de golf La Marquesa. Este depósito ha sido dotado de un sistema de bombeo, con una longitud de 2,600 m aproximadamente, con punto de vertido en el parque forestal “El Recorral”, provisto de cinco lagunas artificiales, donde se ha generado un nuevo ecosistema gracias a la disponibilidad de este recurso hídrico no convencional.

### c. Parque Forestal “El Recorral”

La idea de crear un sistema lagunar en el parque “El Recorral”, un entorno forestal, surge, por un lado, con el propósito de reutilizar toda el agua regenerada y, de otro lado, obtener por parte de la CHS la autorización de un punto de vertido del agua residual depurada en este espacio. La situación de depuración de agua residual y pluvial antes de poner en marcha la creación del sistema lagunar en el parque forestal (Tabla 2), ocasionaba vertidos incontrolados no autorizados por la CHS.

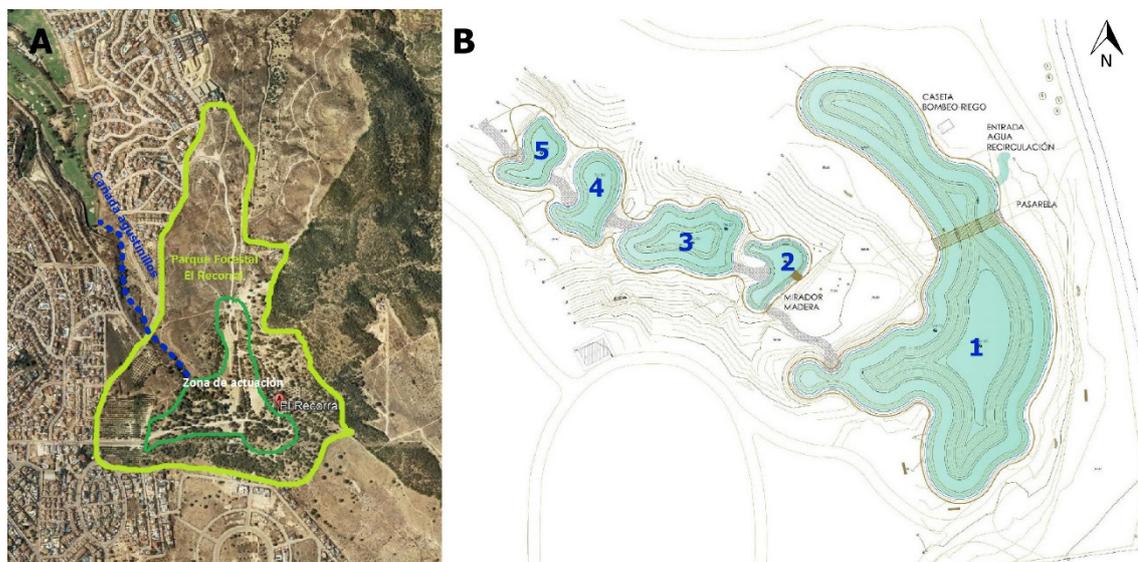
Tabla 2. Reutilización de agua regenerada anterior a la implantación de las medidas

AGUA REGENERADA EN LA CUENCA SUR DEL T.M DE ROJALES	
AGUA REGENERADA EDAR (m <sup>3</sup> /día)	
Lo Pepín	921
Doña Pepa	223
Ciudad Quesada II	85
Total (m <sup>3</sup> /día)	1,229
Total (m <sup>3</sup> /año)	448,585
CONCESIONES (m <sup>3</sup> /año)	
Campo de golf La Marquesa	275,000
Regantes	17,710
Comunidad de Regantes	23,395
Total	320,395
<b>Excedente agua regenerada sin reutilización</b>	<b>128,480</b>

Fuente: Hidraqua Gestión Integral de Aguas de Levante S.A., 2016. Elaboración propia.

Para cumplir con el objetivo propuesto de reutilización total del agua regenerada proveniente de la EDAR Lo Pepín, se construyen cinco lagunas artificiales. El emplazamiento de las mismas se encuentra al este de la urbanización Ciudad Quesada, donde se localiza el parque forestal “El Recorral” (Figura 4), que se corresponde con una de las mayores zonas de esparcimiento y recreo del municipio de Rojales.

Figura 4. (A) Perímetro del Parque Forestal y zona de actuación donde se ubican las lagunas. (B) Sistema lagunar del Parque El Recorral



Fuente: Hidraqua Gestión Integral de Aguas de Levante S.A., 2016. Elaboración propia.

Esta actuación se plantea teniendo en consideración la orografía del terreno, ya que el objetivo es que las lagunas se integren en el entorno y sean la zona de recepción de las aguas de escorrentía que se generan en la cuenca vertiente del parque. También se modifican las pendientes del terreno en algunas zonas para favorecer la retención de las aguas pluviales y su filtración. Para ello, la primera laguna, la de mayor capacidad ( $4,652 \text{ m}^3$ ) se ubica en la zona más llana y, aprovechando la vaguada colindante a esta primera, se disponen las cuatro lagunas posteriores con los siguientes volúmenes: 82, 313, 149 y  $108 \text{ m}^3$ , respectivamente, descendiendo de forma escalonada hacia el cauce natural de la cañada de los Agustiniños, donde se autoriza el punto de vertido (Figura 4). El diseño de las lagunas favorece el desarrollo sostenible, ya que no producen cambios en el entorno y la disposición de los lagos se integra con la vegetación existente. Las lagunas se alimentan con agua regenerada procedente de la EDAR Lo Pepín, así como del agua de escorrentía en tiempo de lluvia, dado que su ubicación se ha realizado siguiendo el recorrido de la misma. La función principal de este sistema lagunar es recibir el efluente de agua tratada y adecuar un punto de vertido en este entorno. Además del uso recreativo y ornamental del agua en el mismo, existen otras necesidades, como es el riego las zonas verdes del propio parque y la red contraincendios con un volumen de  $107,245 \text{ m}^3$  y  $30,600 \text{ m}^3$  respectivamente. También se contempla el aprovechamiento del agua depurada por parte del ayuntamiento, para cubrir la demanda de agua para usos urbanos de baldeo de calles con  $18,750 \text{ m}^3$ . Por lo tanto, la concesión de agua para cubrir las demandas por parte del Ayuntamiento de Rojales es de  $163,000 \text{ m}^3$ . El Recorral, es un claro ejemplo de solución basada en la naturaleza, ya que surge con el objetivo de dar respuesta al problema de la gestión de la escorrentía pluvial y dotar de utilidad a los caudales depurados. De esta forma, se produce la reutilización de los recursos hídricos no convencionales, que aumenta el valor medioambiental y paisajístico del entorno y da solución a años de vertidos descontrolados en los humedales costeros de La Mata y Torrevieja.

#### d. Transformación EDAR Doña Pepa a depósito anti-DSU

La remodelación de la EDAR Lo Pepín y el aumento de su capacidad de tratamiento, tuvo como resultado que la EDAR Doña Pepa perdiera funcionalidad por su reducida capacidad y carencia

de punto de vertido autorizado (Figura 6). Con el objetivo de aumentar la operatividad de las instalaciones existentes, se centraliza el tratamiento de los caudales de agua residual en la EDAR Lo Pepín y se plantea la transformación de la EDAR Doña Pepa en un tanque anti-DSU con una capacidad útil de 1,200 m<sup>3</sup>. El tanque anti-DSU de Doña Pepa, tiene como función principal recoger los caudales procedentes de las urbanizaciones de Pueblo Bravo y Doña Pepa a través de un aliviadero (por gravedad) existente en la EBAR Lo Pepín. Estos caudales son almacenados en el tanque anti-DSU, tanto en periodos lluviosos como en caso de avería de la EBAR Lo Pepín. Tras el episodio de lluvias, los caudales almacenados se bombean a la EDAR Lo Pepín para su tratamiento. En situación de lluvias de fuerte intensidad, una vez llenado el tanque de Doña Pepa, se activa el alivio de los caudales con alto nivel de dilución para no dañar el medio receptor. Los depósitos anti-DSU (Lo Pepín y Doña Pepa) permitirán la recogida de las puntas de caudal en épocas lluviosas para su posterior tratamiento en la EDAR Lo Pepín.

Figura 6. (A) EDAR Doña Pepa antes de su transformación. (B) EDAR Doña Pepa después de la remodelación a depósito anti-DSU

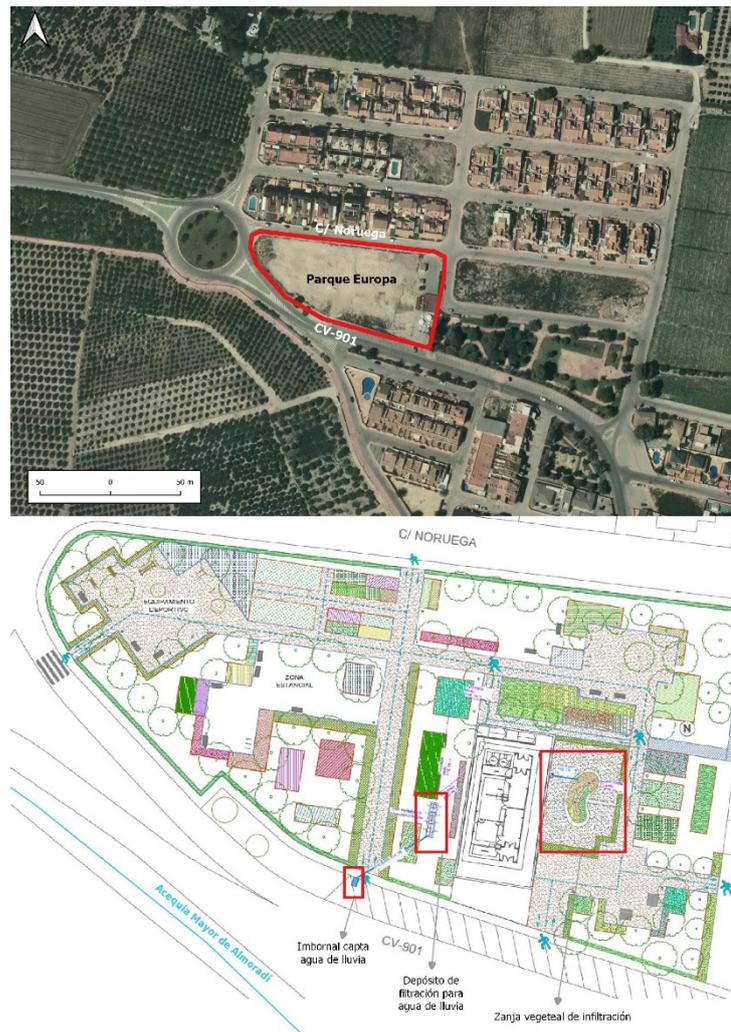


Fuente: (A) Google Earth (7/06/2018); (B) Hidraqua Gestión Integral de Aguas de Levante S.A., 2021 Elaboración propia.

### 3.3. *Daya Nueva*

El segundo caso de estudio corresponde al municipio de Daya Nueva, donde la empresa Hidraqua en colaboración con el ayuntamiento, adecuan de manera sostenible la urbanización de una parcela para uso municipal. Se plantea para ello, la creación del Parque Europa (Figura 7), con el objetivo de dotar de una zona verde a la parcela municipal donde se había previsto la construcción de un centro médico.

Figura 7. Ubicación del Parque Europa antes de la actuación y diseño del Parque Europa en Daya Nueva



Fuente: ICV y Hidraqua Gestión Integral de Aguas de Levante S.A., 2019. Elaboración propia.

El núcleo urbano de Daya Nueva, y en concreto el emplazamiento de la actuación, presenta un terreno de escasa o nula pendiente, que dificulta el avenamiento de la escorrentía que antaño era gestionada, en gran parte, por el sistema de acequias y azarbes que dominaba, y en parte domina, en la comarca del Bajo Segura. En este caso hay que resaltar la presencia, al sur del Parque Europa por la carretera CV-901, de la Acequia Mayor de Almoradí que interviene en la gestión del agua pluvial de la zona, y por tanto en la actuación.

En el Parque Europa se proyecta la construcción de un depósito permeable para infiltración de agua de lluvia, una zanja vegetal de infiltración y zonas ajardinadas provistas de vegetación (Figura 8). En primer lugar, antes de poner en marcha la ejecución de las obras, se rellenó la parcela con arenas y gravas sobrantes de obras adyacentes para incrementar la cota altimétrica de la parcela y disponer de mayor volumen para acumular agua, ya que la altitud de la parcela se encontraba entre 0,8 – 1 m por debajo del nivel de la carretera. Seguidamente, se puso en marcha la construcción del depósito permeable para la infiltración de agua de lluvia (o pozo filtrante), para el cual, ingenieros de Hidraqua realizaron un ensayo para obtener el valor del coeficiente de permeabilidad para diseñar la estructura. Este ensayo se realizó *in situ* en el emplazamiento del depósito, según el método que recoge la publicación británica *BRE Digest 365, 'Soakaway Design'*. El ensayo

consiste en llenar con agua la excavación prevista para construir la estructura filtrante y realizar mediciones de la evolución, en tiempo real, del nivel de la lámina de agua hasta su total filtración. La función principal del pozo filtrante es captar el agua pluvial derivada por el imbornal desde la calzada y favorecer la infiltración al terreno de los caudales filtrados. En el supuesto de que la zona de filtración se colapse, el agua sería derivada desde el imbornal a la Acequia Mayor de Almoradí (Figura 8). Esta actuación no contempla la reutilización del agua filtrada, ya que su objetivo principal es favorecer la infiltración al terreno, y dicha acción supondría la realización de colectores y bombeos que aumentarían el coste económico del proyecto. Además, el vacío legal existente sobre la reutilización de aguas pluviales filtradas entorpece cualquier propuesta de reutilización posterior sin previa depuración. En segundo lugar, la zanja de vegetación ubicada en la zona delantera del edificio recibe el drenaje de pluviales de dicha infraestructura que está provisto de un tubo dren, un tubo microperforado recubierto con un geotextil y grava para evitar la filtración de finos.

Figura 8. Zanja vegetal de infiltración y depósito de filtración para agua de lluvia



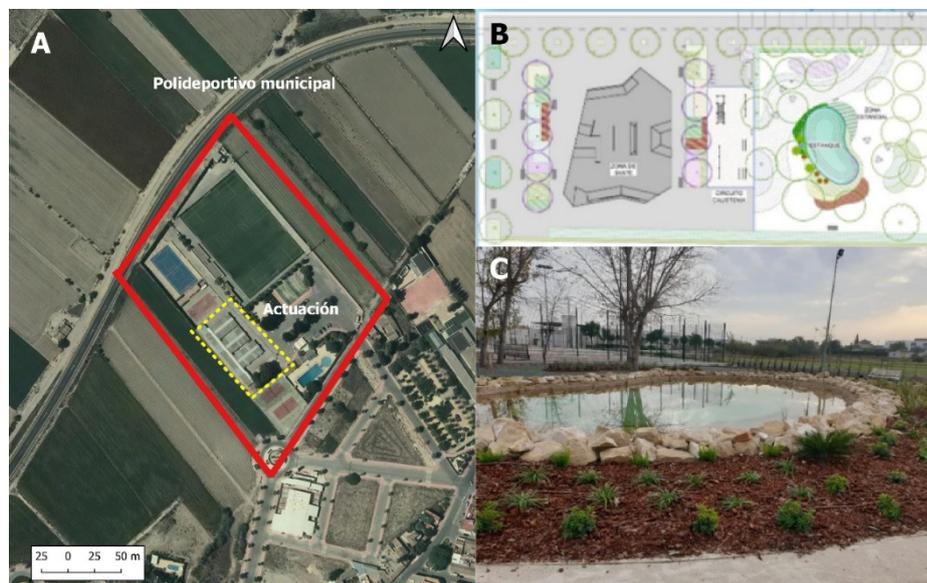
Fuente: Fotografías de los autores (3/11/2020).

### 3.4. San Fulgencio

El tercer caso de estudio es el que corresponde al estanque inundable anexo al Polideportivo Municipal de San Fulgencio (Figura 9). El objetivo principal de esta actuación es, por un lado, dotar

a este espacio de una zona verde, y de otro lado potenciar el uso del agua regenerada procedente de la EDAR de San Fulgencio – Dayas.

Figura 9. (A) Ubicación Polideportivo municipal de San Fulgencio; (B) Diseño de las instalaciones hidráulicas anexas al polideportivo municipal; (C) Estanque inundable.



Fuente: PNOA, ICV y García de Consuegra Priego, 2020, p. 582. Elaboración propia.

De esta forma, se continuaría con el Plan Municipal de Utilización de Agua procedente de la depuradora, que iniciaron de forma conjunta el ayuntamiento de San Fulgencio e Hidraqua en el año 2017, ya que, hasta ese momento, el agua regenerada en la planta depuradora, unos 800,000 m<sup>3</sup>, era vertida al mar. Es a partir de este momento cuando se empieza a apostar por el uso del agua residual depurada para el riego en el municipio de San Fulgencio (Diario Información, 2017). No obstante, con la construcción del estanque, se incrementa la superficie de zonas verdes, en las cuales se fomenta el uso de agua regenerada tanto para su función ornamental, como para el riego de la vegetación, evitando así el vertido de este recurso hídrico no convencional al mar. Es necesario considerar que la existencia de esta actuación permite que este entorno se adapte y gestione de forma adecuada las aguas de escorrentía en dicho espacio. El estanque está dotado con un sistema de telemando que regula el nivel del agua y, en tiempo de lluvias, el nivel de la lámina de agua se reduce para poder captar la escorrentía. Además, en las inmediaciones del lago hay dispuestas unas zanjas de vegetación de biorretención, provistas de un material filtrante, y una capa de geotextil para filtrar los materiales más pesados diluidos en el agua. Estas zanjas están pensadas para que el agua de escorrentía generada en la superficie se dirija hacia ellas y favorecer la retención de la misma en el lugar de origen. Tanto los imbornales como las zanjas filtrantes tienen como objetivo captar la escorrentía superficial generada, filtrarla y transportarla mediante tubos dren hacia la arqueta rebosadero que vierte las aguas a la red de azarbes.

#### 4. Discusión

El aumento de la recurrencia de episodios de precipitación caracterizados por una alta intensidad y el incremento de las superficies impermeables a causa de la urbanización desmedida, ha propiciado un incremento de áreas afectadas por inundaciones en los medios urbanos. Ante este

hecho, se está produciendo un cambio de paradigma a la hora de abordar y solucionar esta problemática, apostando por las SBN y los SUDS. Sin embargo, el agua pluvial debe de ser considerada como un recurso potencial que, a través de estos sistemas alternativos, permita la creación y el mantenimiento de zonas verdes, reduciendo el uso de recursos convencionales para este fin. Es por ello que, cada vez más, las aguas pluviales y regeneradas, están teniendo una mayor importancia en las ciudades a la hora de ser integradas dentro del ciclo hídrico urbano, ya que se trata también de una posible solución para mejorar la calidad de las aguas, antes de ser depuradas y regeneradas, a través de tratamientos físicos y biológicos.

Con este análisis se ponen de relieve las medidas implementadas en los municipios de Rojales, San Fulgencio y Daya Nueva, pioneros en la ejecución de este tipo de actuaciones en el Bajo Segura. Estos sistemas, aunque planteados dentro de un marco sostenible y de gestión integral del agua, presentan, no obstante, pequeñas deficiencias que tienen que ver con el carácter estructural de las medidas. El caso de Rojales destaca por su envergadura y la gran capacidad de adaptación de un territorio muy modificado. La infraestructura desarrollada en el parque forestal El Recorral, finalizada en mayo de 2019, ha transformado este espacio en una zona lúdica que, además de poseer un carácter ornamental y recreativo, se distingue por su particular función en la gestión del ciclo hidrológico, potenciando su finalidad en la mitigación del riesgo de inundación y fomentando el aprovechamiento de los recursos hídricos no convencionales. Dicha reutilización hídrica ha sido posible tras la remodelación de la EDAR Lo Pepín y el tanque anti-DSU de Doña Pepa, concluidas en noviembre de 2019 y enero de 2021, respectivamente. La actuación efectuada en noviembre de 2020 en el Parque Europa de Daya Nueva presenta un buen planteamiento en cuanto a la gestión de la escorrentía se refiere, que, con sistemas de drenaje sostenible mediante zanjas filtrantes pretenden controlar la escorrentía en origen, su calidad y favorecer la infiltración en el terreno. El estanque inundable de San Fulgencio ultimado en diciembre de 2019, potencia la gestión de la escorrentía de la zona, aunque la topografía del entrono dificulta el desempeño de dicha función, debido a la escasa pendiente del terreno. Estas iniciativas, proyectadas a escala local, son el resultado del trabajo conjunto que han desempeñado las administraciones locales con la entidad Hidraqua. Los ayuntamientos son los que deben aprobar estos proyectos y otorgar los permisos correspondientes para su ejecución. Por tanto, existe una colaboración estrecha entre los consistorios municipales, en los cuales se han llevado a cabo estas actuaciones, y la empresa concesionaria de agua que ha desarrollado las infraestructuras que las componen. En cuanto a la efectividad de las mismas, el balance resulta positivo, ya que las actuaciones proyectadas para mitigar los efectos de la escorrentía en localizaciones concretas a escala local, funcionan como estaba previsto. Si bien es cierto que dichas obras se finalizaron, en su mayor parte, con posterioridad al evento de precipitación de 2019, en el cual el entorno del Parque El Recorral se vio afectado.

Siguiendo esta dinámica, existen otras tipologías o metodologías de gestión de la escorrentía en medios urbanos en distintas localidades a lo largo de la fachada mediterránea. Las actuaciones más conocidas en la provincia de Alicante son el Parque Inundable de La Marjal y el Tanque Anticontaminación Ingeniero José Manuel Obrero Díez, estudiados y analizados por Hernández Hernández *et al.* (2016), Morote Seguido y Hernández Hernández (2016 y 2017) y Olcina Cantos *et al.* (2018) autores que destacan la importancia de este tipo de actuaciones, que, por un lado, permiten incrementar la oferta de agua para determinados usos, disminuyendo el uso de agua potable, y por otro lado, mejoran la gestión del riesgo de inundación y reducen la carga contaminante de la escorrentía pluvial.

Siguiendo la misma línea, Casal-Campos *et al.* (2012), Perales Momparler (2015) y Perales-Momparler *et al.* (2014, 2015, 2017), centran su investigación en la provincia de Valencia, donde analizan las actuaciones en materia de drenaje sostenible en las localidades de Xàtiva y Benaguasil, avalando la implantación de SUDS como medidas flexibles para la gestión de las escorrentías en medios urbanos y la mitigación y adaptación al cambio climático. Para la gestión eficiente de la escorrentía en medios urbanos, es de vital importancia tener en cuenta el factor de la contaminación en las superficies impermeables, en esta vertiente Andrés-Doménech *et al.* (2018) caracterizan la escorrentía, para la zona urbana del campus de la Universidad Politécnica de Valencia, considerando su cantidad y calidad, al mismo tiempo que evalúan la influencia de la variable meteorológica en el lavado de los contaminantes por la escorrentía urbana.

Las aguas pluviales se han convertido en una fuente potencial de recursos hídricos, ya que su aprovechamiento supone un beneficio en el ciclo hidro-social de los entornos urbanos. Según el estudio realizado por Domènech y Vallès (2014) un ejemplo de que el agua pluvial es una fuente alternativa, se encuentra en la región metropolitana de Barcelona, donde desde 2002 se han aprobado ordenanzas para el ahorro de agua mediante la instalación en las nuevas edificaciones de sistemas de recolección de agua de lluvia o de reutilización de aguas grises (Domènech y Vallès, 2014). Un caso paradigmático de esta región, es el estudiado por Domènech y Saurí (2011) en el municipio de San Cugat del Vallès, donde se ha incorporado este tipo de recursos hídricos al ciclo hidro-social del agua como implementación de su Plan Municipal de Adaptación al Cambio Climático. En este sentido, el aprovechamiento potencial del agua de lluvia en la región mediterránea está adquiriendo una importancia creciente, así en los estudios realizados por Villar-Navascués *et al.* (2018, 2020) para la provincia de Alicante, se propone la captación de agua de lluvia para consumo doméstico como alternativa a los recursos convencionales y como una medida de adaptación al cambio climático.

La puesta en marcha del Plan Vega Renhace (Generalitat Valenciana, 2020) para la mejora de la resiliencia en la comarca de la Vega Baja del Segura afectada por eventos atmosféricos extremos (inundaciones y sequías, principalmente) puede suponer un impulso importante para el desarrollo de actuaciones municipales de aprovechamiento de agua pluvial. Se trata de un plan estratégico que integra 28 actuaciones prioritarias a desarrollar en los próximos años para la recuperación socio-económica de este territorio y la adaptación a los extremos atmosféricos. Entre estas medidas se incluyen: a) la renovación de todas las EDAR de la comarca (sistemas terciarios y desalación), para alcanzar un nivel de reutilización de aguas residuales del 100% (actuación nº 10) en uno de los territorios más afectados por la escasez natural de recursos hídricos, en la región climática seca del sureste ibérico; y b) la implantación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en los municipios de la comarca, bajo la fórmula de cooperación público-privada, con las empresas concesionarias del agua potable. Los SUDS son un equipamiento infraestructural idóneo para la reducción del riesgo de inundaciones en zonas urbanas que complementa la eficacia de las obras hidráulicas tradicionales. Frente a éstas, los SUDS permiten el aprovechamiento de las aguas pluviales almacenadas en depósitos o embalses ajardinados para diferentes usos. Además, por su concepción, como equipamientos adaptados a la naturaleza, tienen un diseño de menor impacto que los encauzamientos fluviales tradicionales.

En cuanto a la gestión del riesgo de inundación, las propuestas deben contemplarse como medidas complementarias a las medidas estructurales rígidas. En el municipio de Oliva, en su Plan de Acción Local contra el Riesgo de Inundación (PAMRI) contemplan medidas no estructurales para la reducción del riesgo de inundación, como el drenaje urbano sostenible (Porta-Sancho,

Castillo-Rodríguez, Escuder-Bueno, y Perales-Momparler, 2016). En este sentido va encaminado el Plan Vega Baja RenHace, con la implementación de medidas rígidas y blandas, que estén del lado de la sostenibilidad, para 18 municipios de los 27 que componen la comarca del Bajo Segura.

## 5. Conclusiones

Esta investigación expone un análisis general de las medidas implementadas en algunos municipios del Bajo Segura, donde se ha apostado por el aprovechamiento del agua pluvial y residual regenerada. Con este análisis quedan justificadas dichas medidas, que han resultado ser una buena gestión en materia hídrica, ya que el uso de los caudales pluviales y residuales han fomentado la creación de nuevas zonas verdes, incrementándose así las superficies permeables y, por otro lado, estas nuevas zonas permitirán la reducción del riesgo de inundación, al disminuir volúmenes acumulados tras precipitaciones intensas.

En este sentido, las tres actuaciones descritas han resultado beneficiosas. En el caso de Rojales, se ha podido incrementar la oferta de agua residual depurada para usos urbanos con 163,000 m<sup>3</sup>, ahora el caudal depurado es totalmente reutilizado y se han eliminado los vertidos a las lagunas saladas de La Mata y Torrevieja. En Daya Nueva, se apuesta por el drenaje sostenible, gestionando la escorrentía en origen y favoreciendo la infiltración al terreno, mientras que, en San Fulgencio, el lago inundable, además de recibir agua depurada, gestiona las escorrentías que se producen en la zona, vertiendo el agua filtrada a la red de azarbes.

A este respecto, hay que destacar el interés que muestra la empresa *Hidraqua Gestión Integral de Aguas de Levante S.A.*, concesionaria de servicios medioambientales y del ciclo integral del agua, dentro del grupo Suez, que con estas actuaciones da cuenta de que persigue objetivos de desarrollo sostenible, para crear ciudades más resilientes que puedan adaptarse al cambio climático. Por ello, bajo el principio de responsabilidad social dentro del marco de la gestión integral del agua, apuesta por alternativas hidroeeficientes que favorecen la reutilización del agua, a la vez que mejora la gestión de la escorrentía urbana en espacios problemáticos. Como resultado, la creación de zonas verdes generadoras de biodiversidad y capaces de amortiguar los efectos de las escorrentías, reduciendo su cantidad y mejorando su calidad, en las cuales se aprovecha el agua residual depurada para uso ornamental y de riego en detrimento del agua potable.

El interés por la gestión de las aguas pluviales ha aumentado en las últimas décadas al ser consideradas como un recurso importante dentro del ciclo integral del agua. A tenor de ello, las SBN y los SUDS se están consolidando como una herramienta para afrontar la gestión de las aguas pluviales, actuando, principalmente, en la reducción de la escorrentía circulante y en la mejora de la calidad de las aguas. Aunque estas actuaciones presentan múltiples beneficios, los costes de las infraestructuras son uno de los factores que dificulta la ejecución de las mismas en el ámbito local. Por tanto, es necesario incorporar estos sistemas a la planificación territorial y proporcionar ayudas y subvenciones para materializar su implementación a las infraestructuras ya existentes (Arahuetes y Olcina Cantos, 2019). Por otro lado, es necesario realizar Planes Municipales de Adaptación al Cambio Climático, que aboguen por el cumplimiento del Objetivo 6 Agua limpia y saneamiento y Objetivo 13 Acción por el clima, propuestos en la Agenda 2030 para la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La implementación de medidas sostenibles para la gestión del agua de escorrentía, está adquiriendo gran importancia en el ciclo integral del agua, ya que suponen una adaptación frente a los

efectos de las inundaciones y la sequía, contribuyendo a la creación de ciudades más resilientes. Por ello, y ante la existencia limitada de evidencia científica sobre la función de estos sistemas en el sureste español, la divulgación de estas experiencias es fundamental para el conocimiento y educación ambiental de la sociedad, ya que dichas soluciones precisan de la responsabilidad social para su mantenimiento y efectividad, para hacer frente a los retos sociales del siglo XXI (European Commission, 2015).

En relación con las medidas antes descritas, en un futuro, se debería evaluar el grado de efectividad de las mismas y continuar describiendo otras infraestructuras ya ejecutadas o proyectadas en el futuro, dentro del marco del Plan Vega Baja RenHace, en la comarca del Bajo Segura.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los técnicos de la empresa Hidraqua Gestión Integral de Aguas de Levante SA. su colaboración y la información proporcionada. También queremos agradecer a los técnicos del Ayuntamiento de Rojales su atención y la información facilitada. Agradecemos a los revisores sus consideraciones y apartaciones para dotar de mayor calidad a esta investigación.

## Contribución de autorías

Esther Sánchez Almodóvar es la responsable de la recopilación de información, análisis de los estudios de caso, redacción y revisión. Jorge Olcina Cantos y Javier Martí Talavera contribuyeron en el análisis de resultados, la redacción y revisión de manuscritos.

## Financiación

Esta investigación es resultado de la obtención de una beca de formación de profesorado universitario (FPU) de la que la primera autora es beneficiaria, (FPUA2019-54) por parte del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Alicante, y se inserta en el proyecto de investigación “Cambio climático y agua: los recursos no convencionales como estrategia adaptativa para incrementar la resiliencia de los usos agrícolas y urbano-turísticos en el litoral de Alicante” (AICO/2020/253) financiado por la Generalitat Valenciana.

## Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Andrés-Doménech, I. (2017). Una apuesta decidida por el drenaje urbano sostenible. *El economista*, (46), 20-21.
- Andrés-Doménech, I., Hernández-Crespo, C., Martín, M., & Andrés-Valeri, V. C. (2018). Characterization of wash-off from urban impervious surfaces and SuDS design criteria for source control under semi-arid conditions. *Science of the Total Environment*, 612, 1320-1328. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.011>
- Arahuetes, A. & Olcina Cantos, J. (2019). The potential of sustainable urban drainage systems (SuDS) as an adaptive strategy to climate change in the Spanish Mediterranean. *International Journal of Environmental Studies*, 76(5), 764-779. <https://doi.org/10.1080/00207233.2019.1634927>
- Box Amorós, M. (1985). *Las zonas húmedas de la provincia de Alicante y los procesos de intervención antrópica* (Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física). Universidad de Alicante, Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10045/3323>
- Casal-Campos, A., Jefferies, C., & Perales Momparler, S. (2012). Selecting SUDS in the Valencia Region of Spain. *Water Practice and Technology*, 7(1). <https://doi.org/10.2166/wpt.2012.001>

- Castro-Fresno, D., Andrés-Valeri, V. C., Sañudo-Fontaneda, L. A., & Rodríguez-Hernandez, J. (2013). Sustainable drainage practices in Spain, specially focused on pervious pavements. *Water (Switzerland)*, 5(1), 67-93. <https://doi.org/10.3390/w5010067>
- Diario Información. (2017). San Fulgencio regará con agua regenerada. *Diario Información*. Recuperado de <https://www.informacion.es/vega-baja/2017/09/26/san-fulgencio-regara-agua-regenerada-5879270.html>
- Domènech, L. & Saurí, D. (2011). A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner Production*, 19(6-7), 598-608. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.010>
- Domènech, L. & Vallès, M. (2014). Local regulations on alternative water sources: greywater and rainwater use in the Metropolitan Region of Barcelona. *Investigaciones Geográficas*, (61), 87-96. <https://doi.org/10.14198/ingeo2014.61.06>
- España. Ministerio de Agricultura y Pesca, A. y M. A. (2016). Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de. *Boletín Oficial del Estado*, (314, 29 de diciembre), 91133-91175.
- España. Ministerio de la Presidencia. (2007). Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. *Boletín Oficial del Estado*, (294, 8 de diciembre), 50639-50661.
- España. Ministerio de la Presidencia. (2010). Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación. *Boletín Oficial del Estado*, (171, 15 de julio), 61954-61967. Recuperado de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2010/07/09/903>
- ESPON. (2006). *The Spatial Effects and Management of Natural and Technological Hazards in Europe* (P. Schmidt-Thomé, Ed.). [https://doi.org/10.1016/S0264-410X\(12\)01439-9](https://doi.org/10.1016/S0264-410X(12)01439-9)
- European Commission. (2015). *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions and re-naturing cities. Final Report of the Horizon 2020 expert group on nature-based solutions and re-naturing cities (fill version)*. Brussels. <https://doi.org/10.2777/765301>
- Fernández Rodríguez, H., Trapote Jaume, A., & Fernández Mejuto, M. (2020). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Tipos y objetivos. En M. I. López Ortiz & J. Mergarejo Moreno (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes* (pp. 773-786). Orihuela: Universidad de Alicante. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10045/109017>
- FNCA. (s. f.). Fundación Nueva Cultura del Agua. Recuperado 2 de julio de 2021, de <https://fnca.eu/en/>
- Fresno, D. C., Bayón, J. R., Hernández, J. R., & Muñoz, F. B. (2005). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. (SUDS). *Interciencia*, 30(5), 1-25. Recuperado de <http://www.caminospaisvasco.com/Profesion/Publicaciones-de-nuestros-colegiados/suds>
- García de Consuegra Priego, M. E. (2020). Experiencias y propuestas para aumentar la resiliencia urbana frente a inundaciones. En M. I. López Ortiz & J. Mergarejo Moreno (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes* (pp. 569-589). Orihuela: Universidad de Alicante. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10045/109017>
- Generalitat Valenciana. Conselleria d'Habitatge, O. P. y V. del T. (2015). *Plan de Acció Territorial sobre Prevenció del Riesgo de inundación en la Comunitat Valenciana (PATRICOVA)* [Normativa]. Valencia. Recuperado de <http://politicaterritorial.gva.es/documents/20551069/162377494/02+Normativa/5d2bca03-0f7f-4774-b602-4447cfb8d-ce7>
- Generalitat Valenciana. (2020). *Plan Vega Renhace. Una estrategia integral para la resiliencia de la comarca de la Vega Baja del Segura*. Valencia. Recuperado de <http://www.presidencia.gva.es/es/web/vega-renhace>
- Gil Olcina, A. & Canales Martínez, G. (1989). Creación, disolución y parcelación del señorío alfonsino de Daya Vieja. *Investigaciones Geográficas*, (7), 31-50. <https://doi.org/10.14198/INGEO1989.07.04>
- Giménez-Font, P. (2008). *Las transformaciones del paisaje valenciano en el siglo XVIII. Una perspectiva geográfica* (Institució Alfons el Magnànim. Diputació de València, Ed.). Valencia.
- Hidraqua Gestión Integral de Aguas de Levante S.A. (2016). *Proyecto básico para la reutilización y autorización de vertido del agua depurada en la cuenca sur del T.M. de Rojales* (p. 111). p. 111. Rojales: Hidraqua; Ayuntamiento de Rojales.

- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (E. principal de Redacción, R. K. Pachauri, & L. A. Meyer, Eds.). Ginebra, Suiza.
- IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*, ( and T. W. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, Ed.).
- IPCC. (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*.
- Jato-Espino, D., Sillanpää, N., Andrés-Doménech, I., & Rodríguez-Hernández, J. (2018). Flood risk assessment in urban catchments using multiple regression analysis. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000874](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000874)
- Ministerio de Agricultura, A. y M. A. (2014). *Manual Nacional de Recomendaciones para el Diseño de Tanques de Tormenta*. Madrid: MAGRAMA. Recuperado de [https://www.asoaeas.com/sites/default/files/Documentos/Manual\\_Tanques\\_Tormenta\\_MAGRAMA.pdf](https://www.asoaeas.com/sites/default/files/Documentos/Manual_Tanques_Tormenta_MAGRAMA.pdf)
- Ministerio de Medio Ambiente. (1998). RESOLUCIÓN de 25 de mayo de 1998, de la Secretaria de Estado de Aguas y Costas, por la que se declaran las «zona sensible» en las cuencas hidrográficas intercomunitarias. *Boletín Oficial del Estado*, (155, 30 de junio), 34635-34636.
- Morote, Á. F. & Hernández, M. (2016). Población extranjera y turismo residencial en el litoral de Alicante (1960-2011): Repercusiones territoriales. *Eure*, 42(126), 55-76. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612016000200003>
- Morote Seguido, Á. F. & Hernández Hernández, M. (2016). El uso de aguas pluviales y de tormenta en la ciudad de Alicante. De riesgo a recurso hídrico alternativo. En R. García Marín, F. Alonso Sarría, F. Belmonte Serrato, & D. Moreno Muñoz (Eds.), *XV Coloquio Ibérico de Geografía. Retos y tendencias de la Geografía Ibérica. Murcia, España, 7-9 noviembre 2016* (pp. 1008-1015). Murcia: Universidad de Murcia -Asociación de Geógrafos Españoles-APG.
- Morote Seguido, Á. F. & Hernández Hernández, M. (2017). El uso de aguas pluviales en la ciudad de Alicante. De viejas ideas a nuevos enfoques. *Papeles de Geografía*, (Número monográfico del XV Coloquio Ibérico de Geografía), 7-25. <https://doi.org/https://doi.org/10.6018/geografia/2017/279451>
- Olcina Cantos, J. (2017). Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante. *Sémata: Ciencias Sociais e Humanidades*, 29, 143-163. <https://doi.org/10.15304/s.29.4213>
- Olcina Cantos, J. & Biener Camacho, S. (2020). Evidencias del proceso de calentamiento térmico planetario en el litoral mediterráneo español. En *Aportación Española al 34º Congreso de la UGI. España, puente entre continentes* (pp. 155-166). Estambul. <https://doi.org/10.7419/162.10.2020>
- Olcina Cantos, J., Campos Rosique, A., Casals del Busto, I., Ayanz López-Cuervo, J., Rodríguez Mateos, M., & Martínez Puentes, M. (2018). Resiliencia en el ciclo urbano del agua. Extremos pluviométricos y adaptación al cambio climático en el ámbito mediterráneo. *Universidad de Alicante*, (8). Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/76370>
- Olcina Cantos, J. & Vera-Rebollo, J. F. (2016). Adaptación del sector turístico al cambio climático en España. La importancia de las acciones a escala local y en empresas turísticas. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 36(2), 321-352. <https://doi.org/10.5209/AGUC.53588>
- Parlamento Europeo. El Consejo de la Unión Europea. (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. *Diario Oficial de la Unión Europea. Serie L*, 43(327, 23 de octubre), 72. Recuperado de <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj>
- Perales-Momparler, S., Andrés-Doménech, I., Hernández-Crespo, C., Vallés-Morán, F., Martín, M., Escuder-Bueno, I., & Andreu, J. (2017). The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain. *Journal of Cleaner Production*, (163), S113-S124. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.153>
- Perales-Momparler, S., Hernández-Crespo, C., Vallés-Morán, F., Martín, M., Andrés-Doménech, I., Andreu Álvarez, J., & Jefferies, C. (2014). SuDS efficiency during the start-up period under mediterranean climatic conditions. *Clean - Soil, Air, Water*, 42(2), 178-186. <https://doi.org/10.1002/clen.201300164>

- Perales Momparler, C. S. (2015). *A regenerative urban stormwater management methodology. The Role of SUDS construction and monitoring in the transition of a mediterranean city*. Universitat Politècnica de València.
- Perales Momparler, S. (2008). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). *Expo Zaragoza 2008. Agua y Servicios de Abastecimiento y Saneamiento*, 11. Recuperado de <http://www.zaragoza.mobi/contenidos/medioambiente/cajaAzul/33S8-P3-SaraPeralesACC.pdf>
- Perales Momparler, S. & Andrés-Doménech, I. (2008). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia. *Retema: Revista técnica de medio ambiente*, 21(124), 92-104.
- Perales, S., Andrés, I., & Escalante, E. (2008). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en la hidrogeología urbana. *IX Simposio de Hidrogeología. AEH-IGME*, (1), 1-12. Elche. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/265057760%0A>Los
- Pérez Zabaleta, A., Gracia de Rentería, P., Ballesterero Olza, M., Pérez Foguet, A., Ezbakhe, F., & Guerra-Librero Castilla, A. (2019). *Análisis de las Necesidades de inversión en renovación de las infraestructuras del ciclo urbano del agua* (U. N. de E. a Distancia, Ed.). Madrid: Fundación Aequae. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29292.51844>
- Porta-Sancho, J. R., Castillo-Rodríguez, J. T., Escuder-Bueno, I., & Perales-Momparler, S. (2016). The need for municipal action planning against flood risk: the risk-informed journey of the municipality of Oliva (Spain). *VI-TRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, 1(2), 67. <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2016.6849>
- Soto-Fernández, R. & Perales-Momparler, S. (2017). El camino del agua en el paisaje urbano, barrio de Bon Pastor, Barcelona. *V Water Engineering Conference, 24-26 de Octubre. A Coruña*, 9.
- Trapote Jaume, A. (2020). Influencia de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el diseño de colectores y en el riesgo de inundación. En M. I. López Ortiz & J. Mergarejo Moreno (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes* (pp. 787-797). Orihuela: Universidad de Alicante. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10045/109017>
- Villar-Navascués, R., Pérez-Morales, A., & Gil-Guirado, S. (2018). Evaluación del potencial de captación de aguas pluviales en tejados en Alicante. En M. J. López García, P. Carmona, J. Saom, & J. M. Albertos (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: perspectivas multidisciplinares en la sociedad del conocimiento* (pp. 433-443). Universidad de València.
- Villar Navascués, R., Pérez Morales, A., & Gil Guirado, S. (2020). Assessment of rainwater harvesting potential from roof catchments through clustering analysis. *Water*, 12(9), 14. <https://doi.org/10.3390/W12092623>
- Woods-Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual*. London: CIRIA.

# Cambios en las dinámicas del sistema de asentamientos en el oriente de Cuba. 2002 – 2018

Changes in the dynamics of the settlement system in eastern Cuba. 2002 - 2018

RIDER HERNÁNDEZ MÁRQUEZ<sup>1</sup>  0000-0003-0154-2357

<sup>1</sup>Posgrado en Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México. México

## Resumen

Cuba se encuentra inmersa en la reestructuración de su sistema económico con un conjunto de políticas dirigidas a un ordenamiento financiero, modificación en la distribución de los ingresos de la población en lo referido a salarios, pensiones, prestaciones de asistencia social, y la eliminación paulatina de subsidios que subvencionan programas de corte social. Estas apuestas pretenden potenciar el desarrollo de las fuerzas productivas, las estructuras locales de gobierno y otorgarles mayor autonomía de cara a una mejor gestión de su desarrollo. En este escenario, se precisa comprender los procesos de asimilación histórica del espacio rural, por lo que se analizan las dinámicas de población y poblamiento en el oriente de Cuba, mostrando resultados poco favorables a partir de los movimientos emigratorios, requiriéndose políticas con enfoque territorial diferenciadas y efectivas. Tradicionalmente se ha asociado el medio rural como oposición a lo urbano y las políticas sectoriales han centrado su accionar en las actividades agropecuarias (por lo general con poco valor añadido) como sinónimo de desarrollo rural. Varias de las investigaciones que se han realizado en el país, refuerzan la necesidad de trascender esta mirada y hacer propuestas innovadoras que contribuyan a un nuevo paradigma del desarrollo rural.

Palabras clave: Dinámicas rurales; sistema de asentamientos; poblamiento, desarrollo territorial.

### Fechas • Dates

Recibido: 2021.03.11  
Aceptado: 2021.05.09  
Publicado: 2022.03.14

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Rider Hernández Márquez  
[rhm1980@comunidad.unam.mx](mailto:rhm1980@comunidad.unam.mx)

## Abstract

Cuba is immersed in the restructuring of its economic system with a set of policies aimed at a financial order, modification in the distribution of the population's income about wages, pensions, social assistance benefits, and the gradual elimination of subsidies that subsidize social programs. These bets are intended to promote the development of the productive forces, the local government structures and grant them greater autonomy to better manage their development. In this scenario, it is necessary to understand the processes of historical assimilation of the rural space, for which the dynamics of population and settlement in eastern Cuba are analyzed, showing unfavorable results from emigration movements, requiring policies with a differentiated territorial approach and effective. Traditionally, the rural environment has been associated as opposition to the urban environment, and sectoral policies have focused their actions on agricultural activities (generally with little added value) as a synonym for rural development. Several of the investigations that have been carried out in the country, reinforce the need to transcend this perspective and make innovative proposals that contribute to a new paradigm of rural development.

---

Keywords: Rural dynamics; settlement system; settlement, territorial development.

---

## 1. Introducción

Por su importancia en el nuevo ordenamiento rural en construcción, se necesita profundizar y trabajar sobre el conocimiento de las dinámicas territoriales rurales emergentes en Cuba y los efectos de las políticas públicas que afectan no solamente a la estructura agraria, sino que se manifiestan con particular intensidad en las estructuras organizativas y de dirección que durante casi cuatro décadas tuvieron bajo su responsabilidad el desenvolvimiento del sector agrario en el país, como principal renglón del desarrollo rural.

Una de las debilidades en los estudios y/o apuestas hacia el medio rural cubano, es la escasa presencia de enfoques territoriales y diferenciados con predominio de las políticas sectoriales. Se exceptúan los ingentes esfuerzos realizados por el sistema de planificación física del país, aunque muy constreñido a la localización de objetivos de la infraestructura económica decidida por dichos sectores e instancias gubernamentales de los niveles nacionales.

Entender los cambios que se producen en las dinámicas socioeconómicas y de otra índole en los territorios, es una cuestión de base para cualquier intervención o definición de políticas públicas que se quieran implementar. Por ello, el presente artículo forma parte de una investigación en curso, cuya finalidad es profundizar en los cambios en el medio rural en el oriente de Cuba desde dos perspectivas esenciales: la primera, análisis de indicadores sociodemográficos y económicos seleccionados de los 54 municipios de la región objeto de estudio, así como la dinámica del sistema de asentamientos (sobre este aspecto se centrarán los resultados que aquí se exponen); y la segunda, estudio de caso en el municipio Bartolomé Masó de la provincia Granma, donde se hace énfasis a partir de técnicas cualitativas, en las causas explicativas de los procesos territoriales rurales desde la perspectiva de diversos actores sociales en el medio rural y la forma en la que se verifican los procesos de apropiación social del territorio.

## 2. Discusión y metodología

Los procesos de asimilación del espacio rural en Cuba son el resultado de diferentes momentos del acontecer político, económico y social. La imposición de mecanismos de dominación colonial (con la conquista y colonización por parte de España) y capitalista (con el denominado período neocolonial con la fuerte presencia de los Estados Unidos de América), transformaron el campo cubano y lo convirtieron en un mosaico de problemas agudos y desequilibrios territoriales entre el oriente y el occidente. Con posterioridad a 1959, en un contexto marcado por transformaciones políticas, económicas y sociales inherentes a la construcción del socialismo, la manifiesta conflictividad socioterritorial heredada centra la atención de las acciones del nuevo gobierno. No obstante, a pesar de los ingentes esfuerzos en materia de servicios sociales básicos, en la redistribución del ingreso, así como en la construcción de una sociedad igualitaria, la debacle del campo socialista en 1990 puso en evidencia las debilidades de una economía dependiente con creces del sector externo y del monocultivo de la caña de azúcar.

El país no fue una excepción en el entramado de las corrientes latinoamericanas a favor de la intensificación de la urbanización como sinónimo de desarrollo. Por su parte, la diversificación del empleo rural se orientó hacia sectores no productivos (servicios de salud y educación), se produjo un proceso de descampesinización a partir de la aparición del trabajador o empleado agrícola y la estatalización de los medios de producción como forma dominante de la política económica.

De acuerdo con Valdés (2009) el cubano, es la evolución de un modelo básico de inspiración leninista, que se caracteriza por una concentración y centralización de poderes, una creciente mediación burocrática, una alta legitimidad, una permanente movilización de masas y su dirección suprema por un partido político de vanguardia. La dirección del sistema se rige, en general, por los principios del centralismo democrático, los cuales establecen que, tras el debate de opiniones, la minoría se subordina a la mayoría y cada colectivo a su instancia de dirección.

Producto a ese modelo, las intervenciones en el ámbito rural en su esencia, han tenido un carácter sectorial, fragmentado y no han logrado desplegar el potencial, sobre todo el humano, que ha formado el país a lo largo de 60 años de construcción del socialismo. El territorio ha quedado relegado al soporte físico de las actividades económicas y humanas, limitando así adecuados enfoques integrales que superen la mirada parcelada de los fenómenos rurales y su relación con un imaginario de atraso o netamente de actividades primarias.

En este sentido, en algunos estudios consultados sobre las problemáticas que afronta el medio rural en Cuba, los enfoques territoriales no han sido suficientemente abordados. Por lo general, tienen un sesgo sectorial o temático. No obstante, es de resaltar la actividad del Instituto de Planificación Física en su labor de profundizar en las dinámicas de los ámbitos territoriales en el país, aunque en no pocas ocasiones, priorizaron en sus trabajos el desarrollo de las fuerzas productivas con programas de inversiones, asignando a la población la función pasiva de abastecedores de fuerza de trabajo, subestimando su potencial creativo de participación en la conducción de los procesos productivos y confiando en su demostrada adhesión política al proyecto social, que por otra parte, daba prueba diariamente de su carácter popular con las medidas y decisiones concretas que asumía a favor de las grandes masas (Baroni, 1998).

Otros estudios que se acercan a la problemática territorial o espacial se han desarrollado desde la geografía (Íñiguez, 2002; González, 2003; Oliveros, 2006; Mateo, 2015 y otros), haciendo énfasis en la cuestión territorial, con una perspectiva dirigida a los comportamientos desiguales de pro-

cesos socio económicos y demográficos en su esencia. Enfatizaron en los cambios en la estructura y distribución de la población y el poblamiento, así como en las modificaciones en los patrones de uso, tenencia y gestión de la tierra, con inclinación hacia los procesos agrarios como sinónimo de desarrollo rural y al análisis de su heterogeneidad territorial.

Arias y Leyva (2017), destacan que diversos estudios realizados desde la sociología y otras disciplinas, han centrado su énfasis en dimensiones cuantitativas, analizando procesos de estratificación social, de diferencias en ingresos, características del empleo rural, procesos de campesinización y cooperativización, impactos en el reordenamiento de la agroindustria azucarera de los años 2000, las transformaciones en las formas de tenencia de la tierra, juventud rural, entre otros, descuidándose los cambios en la funcionalidad de los valores y símbolos de la cultura como indicador básico en los análisis de la organicidad de los cambios de la sociedad rural. Plantean además que, a inicios de la Revolución, la atención a las cuestiones rurales se centraba en su esencia en el monitoreo de las Reformas Agrarias, y con posterioridad comenzó una preocupación por el cooperativismo, la estructura interna del campesinado y los empleos rurales.

De lo anterior se deriva que, tanto para el mundo académico, como para los gestores de las políticas públicas, y a lo largo de la historia rural en la etapa revolucionaria cubana, lo rural y la actividad agropecuaria han ido de la mano. En un primer momento, era expresión de un modelo de concentración de la propiedad en formas estatales y de grandes planes regionales, reflejo de un “gigantismo” al estilo de lo acontecido en la otrora Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, con tendencia a una descampesinización y en detrimento de la cantidad de los trabajadores agrícolas. Con posterioridad al llamado período especial, que transcurre desde inicios de la década de los años 90 y que conllevó a la descapitalización del sector agropecuario, se puso en marcha un proceso de cambio en la correlación de las formas de gestión de la tierra, con predominio de la gestión no estatal en detrimento de la estatal, aunque esta última, dicta las pautas en la cadena de producción agropecuaria, al regir en sus eslabones claves de dirección. También se ha dado una transformación de un modelo extensivo a formas autogestionadas, surgiendo otras corrientes que tratan lo agrario como agrosistemas; así como el desarrollo de la agroecología y la apuesta hacia el autoabastecimiento de alimentos en la escala local, donde toma fuerza la agricultura urbana y suburbana (periurbana).

### **2.1. Lo rural y su delimitación conceptual**

Tanto en Cuba como en diversas experiencias internacionales, la delimitación conceptual de lo rural con respecto a lo urbano es cada vez más difícil de definir, más aún con el avance de los procesos descritos por Santos (2000:159) como de “unicidad técnica, unicidad del tiempo (con la convergencia de los momentos) y unicidad del motor de la vida económica y social”, que conducen al acercamiento de las distancias y formas de los vínculos entre espacios y territorios. Dentro de este marco, asociado sobre todo a las teorías del desarrollo, lo rural se ha erigido en países del contexto latinoamericano, en un espacio de marcada vulnerabilidad producto a diversos factores, tales como: pérdida del sustento de la vida de las poblaciones de ese entorno, deterioro de las condiciones ambientales, y políticas públicas que privilegian en gran medida los designios del capital global, entre otros factores.

La evolución de los enfoques de lo rural a partir del surgimiento de las teorías del desarrollo ha sido diversa en dependencia de variables de análisis y del posicionamiento de sus autores, jus-

tificando o criticando los diferentes efectos positivos o negativos de la implementación de los diferentes modelos (Gómez, 2002; Schejman y Berdegú, 2004; Ramírez y López, 2015).

En el contexto cubano, aun cuando existe el debate acerca de diversas corrientes (entre ellas la nueva ruralidad), autores como González y Herrera (2017 en Arias y Leyva, 2017) e Íñiguez (2002), comentan que lo rural trasciende a la actividad tradicional agrícola, pero al existir un predominio de la oposición rural – urbana en las definiciones oficiales y censales, condiciona cualquier apuesta práctica para entender procesos y dinámicas rurales desde otras perspectivas. Por ende, dicha definición tiene su máxima expresión en términos estadísticos (mediante un sistema vertical de agregación de datos), al ser una forma operativa de analizar el sistema de asentamientos humanos y sus características. Al respecto, en los momentos censales más recientes (2002 y 2012) lo rural queda definido de la siguiente forma (Oliveros, 2006):

- Asentamiento humano urbano: Todos los asentamientos que cumplieran una función político-administrativa, es decir, que fueran cabecera municipal. Los asentamientos poblacionales que tuvieran 2000 o más residentes permanentes, siempre que cumplieran con las siguientes nueve características que identificaban las condiciones de vida urbana: a) Trazado de calle y ordenamiento de las edificaciones. b) Presencia de espacios públicos representados por parques, plazas, paseos peatonales con posibilidades para el descanso, el esparcimiento y el intercambio social permanente. c) Alumbrado público representado por un sistema de luminarias que den servicio como mínimo a las vías y espacios públicos principales del asentamiento. d) Presencia de acueducto que sirva a las viviendas de forma interna o extradomiciliaria. e) Sistema de tratamiento de residuales representado por la existencia de alcantarillado o fosas que permitieran la evacuación de los residuales que lo componen. f) Servicio médico asistencial representado por hospital, policlínicos o cobertura brindada por la institución del médico de la familia. g) Servicio de educación a través de la presencia de los centros educacionales. h) Servicios gastronómicos y comerciales. i) Presencia de servicios de telefonía pública, correos y telégrafos, así como señales de radio y televisión.
- Asentamiento humano rural: todos los lugares con población residente de forma permanente que no clasificaron como urbanos, los que en función del número y distancia que separaba las viviendas que lo componían, podían ser concentrados o dispersos.

## 2.2. Metodología.

### 2.2.1. Selección de la zona de estudio

La zona de estudio está compuesta por 54 municipios y cinco provincias (Figura 1). En sentido general, esta región y en particular su entorno rural, ha sido no en pocas ocasiones foco de atención en diferentes escenarios. Dentro del imaginario popular (sobre todo en la zona occidental) se asocia con atraso, empleando algunas veces términos peyorativos para llamar a las personas migrantes de esta región.

Figura 1. Zona de estudio.



Fuente: Elaboración Propia. Base cartográfica de Open Street Maps, 2020.

La crisis de los años 90 del pasado siglo produjo un impacto severo en la vida cotidiana de la población cubana. El sector agrario y rural se descapitalizó casi en su totalidad, al perder el 80% del mercado a los que se destinaban las exportaciones cubanas, así como los suministros de insumos y medios necesarios para el desarrollo de la actividad agropecuaria. En este período se acentuó el éxodo de población, tanto rural como urbana, del oriente del país hacia el occidente (sobre todo hacia la capital) y una migración importante hacia otros países.

Varios estudios realizados en aquel entonces sobre condiciones de vulnerabilidad, mostraban que numerosos municipios de la zona oriental, estaban entre los más críticos, por ejemplo, en 1997, en un estudio sobre vulnerabilidad alimentaria en Cuba coordinado por el Instituto de Planificación Física (IPF) mostró que el 61 % de los municipios de esta zona eran muy vulnerables, el 20 % vulnerables y alrededor del 19 % poco vulnerables, lo que denotaba que el 81 % de los municipios, estaban en condiciones de vulnerabilidad alimentaria (Programa Nacional de Alimentos en Cuba, 2001).

La base fundamental del desarrollo económico de estos territorios ha sido la actividad agropecuaria y la agroindustria azucarera, con algunas zonas localizadas en la vertiente norte para el desarrollo turístico y minero – metalúrgico. Las actividades económicas que están presentes se caracterizan mayormente por su poco dinamismo económico y escasa diversidad estructural y productiva.

Otro de los aspectos por lo cual se ha decidido este tipo de investigación, ha tenido como punto de partida, la aproximación empírica con la que se han atendido las demandas crecientes de los gobiernos municipales para impulsar procesos de cambios gestionados desde sus estructuras, replicando en muchos casos, la cultura paternalista de los entes públicos sobre la sociedad y los enfoques sectoriales. Todo ello, y la revisión de un sinnúmero de planes de desarrollo local, planes generales de ordenamiento territorial, programas sectoriales de agricultura, vivienda etc., ha

validado la necesidad imperiosa de comprender las problemáticas y procesos desde un enfoque territorial como plataforma de actuación que garantice una integralidad en las acciones.

Por ello, el presente artículo, forma parte de un trabajo de investigación que se sustenta en la necesidad de comprender la evolución (en lo que va de siglo XXI) del desarrollo rural en las provincias del oriente del país, teniendo en cuenta los efectos producidos por las reformas económicas y sociales de los últimos diez años. Esta aproximación es importante valorarla con el empleo de las categorías geográficas (espacio, región, territorio, lugar), con la finalidad de poder realizar un acercamiento integral y su repercusión en el territorio como “ente vivo” del desarrollo nacional.

La dinámica del poblamiento es una variable importante para comprender las principales tendencias en esta región. Las fuentes fundamentales empleadas son los Censos de Población y Viviendas de 2002 y 2012, este último con una actualización de los estimados de población y unidades de alojamiento en 2018. Para la definición de los asentamientos rurales se parte de la clasificación de los censos de 2002 y 2012 de la Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI).

Desde el punto de vista de la expresión física del poblamiento se conforma espacialmente de dos maneras: concentrado o disperso (ONEI, 2017). Asentamientos concentrados, los que agrupan 15 viviendas o más, separadas entre sí hasta 50 metros y dispersos por oposición. Los primeros, en el Censo de 2012 se ordenan de acuerdo con lo siguiente: a) Ciudad, asentamiento humano urbano de 20 000 y más habitantes que se caracteriza por su gran diversidad, especialización económica y desarrollo social y cultural, que ejerce generalmente una determinada influencia territorial (Ciudad Capital: 500 000 y más habitantes; ciudad de primer orden: desde 100 000 hasta 499 999; ciudad 2do orden: 50 000 hasta 99 999; ciudad de 3er orden: 20 000 a 49 999). b) Pueblo, son los asentamientos humanos concentrados cuya población residente oscila entre 2 000 y 19 999 habitantes. Se pueden distinguir los pueblos urbanos y los pueblos rurales; pueblo de 1er orden: de 10 000 a 19 999 habitantes; pueblo de 2do orden: 5000 a 9 999; pueblo 3er orden: 2 000 a 4 999. c) Poblado, son los asentamientos humanos concentrados cuya población residente oscila entre 200 y 1999 habitantes. También en esta categoría se pueden distinguir los poblados urbanos y los poblados rurales; poblado de 1er orden: 1 000 a 1 999 habitantes; poblado de 2do orden: 500 a 999; poblado de 3er orden: 200 a 499. d) Caserío: Son todos los asentamientos de población concentrada menores de 200 habitantes e) Población dispersa.

Las técnicas fundamentales para el análisis de la información se centran en el análisis espacial a partir del empleo del software ArcGis Desktop 10.4. Se realizan dos métodos de interpolación de distancia inversa (IDW por sus siglas en inglés), el cual permite mediante capas de puntos (en este caso los asentamientos), obtener la variación del fenómeno analizado (cantidad de población), dando mayor peso y prioridad a las distancias menores a dichos puntos. Por otra parte, se realizan resúmenes de casos a partir de salidas gráficas con el empleo de la plataforma Excel.

### 3. Resultados

La configuración del escenario rural del Oriente de Cuba no es el resultado solamente de los procesos más recientes, sino atestigua rasgos distintivos desde su asimilación histórica ocurrida durante la conquista y colonización del país. Desde esta etapa, el poblamiento en Cuba tuvo un origen y evolución con patrones urbanos bastante marcados, pues el proceso tuvo su génesis en la extinción de los aborígenes que habitaban en la época prehispanica, en la infructuosa búsqueda de importantes yacimientos de metales preciosos y en la posterior construcción de las siete

primeras villas, concentradas en el oriente y centro del país, mientras que en el occidente, solo la Villa de San Cristóbal de La Habana.

La región oriental del país fue la zona original de asentamiento de la colonización, por una parte, por la proximidad a La Española (hoy Haití y República Dominicana), centro administrativo y político del nuevo imperio y a las óptimas condiciones geográficas que ofrecía, mientras que por otra, por las posibilidades del aprovechamiento de la población, por confluir importantes asentamientos aborígenes como mano de obra esclava para la minería de metales preciosos (Centro de Estudios Demográficos, 1978).

A finales del siglo XIX y refrendado en 1902, Cuba dejó de ser colonia de España. Sin embargo, no sólo en lo económico, sino incluso en lo jurídico, se convirtió en neocolonia de Estados Unidos. Comenzó una historia de dependencia económica y política, donde el proceso de modernización y concentración generados en la industria azucarera y el cultivo de la caña de azúcar por capitales mayormente norteamericanos planteó nuevas necesidades de fuerza de trabajo, incapaces de ser aportadas por la población del país, se recurrió a la inmigración masiva.

El crecimiento de la población cubana y los cambios en su estructura estuvieron matizados por dos grandes corrientes inmigratorias, que indudablemente repercutieron sobre sus patrones demográficos. La primera tuvo lugar a principios del siglo XIX, donde los esclavos africanos tuvieron el peso fundamental. La segunda corriente ocurrió a lo largo de las tres primeras décadas del siglo XX, integrada básicamente por españoles y antillanos.

En ese sentido, las zonas norte y suroeste de la entonces provincia de Oriente y el sur de Camagüey, serían las que recibirían la mayor parte de los migrantes durante la expansión azucarera. En ellas se realizaron las mayores inversiones norteamericanas en el renglón agrícola y la industria azucarera.

La configuración rural en la época de la neocolonia desde 1902 a 1958 (aunque no fue homogéneo en cada uno de los años), se caracterizó por la persistencia de problemas sociales agudos provocados por los bajos ingresos, escasa asistencia y seguridad social, bajos niveles educacionales y culturales, servicios de salud precarios y poco accesibles para los estratos sociales más pobres, problemas serios en la vivienda con un fuerte déficit habitacional. Se constaban diferencias marcadas en el salario básico de los obreros urbanos y rurales y el prolongado período del tiempo muerto (período entre zafra azucarera), promovía intensamente la migración estacional, casi siempre definitiva, hacia la ciudad. Por otra parte, existió un predominio de una agricultura extensiva con grandes latifundios y miseria casi absoluta en el sector campesino. El 10 % aproximadamente de los tenentes dedicados a la explotación agrícola (ya sean empresas o campesinos ricos, terratenientes y burgueses agrarios) poseía casi el 75% de área nacional en 1958 (Rodríguez, 1979).

Estas cuestiones socioterritoriales heredadas de gobiernos anteriores a 1959, ya habían configurado un poblamiento en la zona oriental con características singulares, teniendo en cuenta la jerarquía que representaron ciudades como Santiago de Cuba y Holguín, las más importantes de la época, aunque la mayor parte de las inversiones se concentraron en el occidente, sobre todo en La Habana. La década de los años 60 marca el inicio de las acciones encaminadas al diseño de políticas de desarrollo territorial más allá de los límites de la capital. En lo referido al sistema de asentamientos, hubo importantes programas en cobertura de servicios básicos y otros, y se construyeron comunidades rurales dotadas de los mismos que contribuyeron a mejorar la calidad de vida de la población rural.

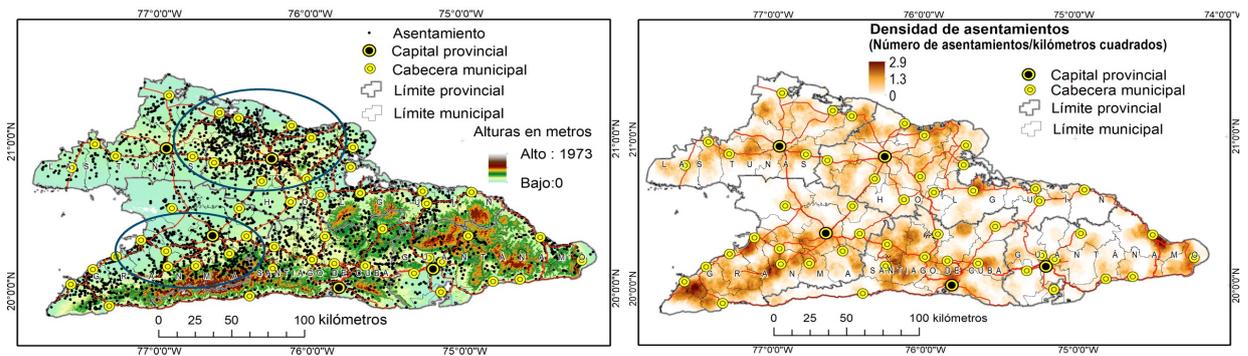
Por otra parte, la zona de estudio tiene unas características desde el punto de vista físico – geográfico bastante distintivas. Está compuesta por dos de los grandes macizos montañosos del país: Sierra Maestra y Nipe-Sagua-Baracoa, los cuales están separados por una depresión inter montañosa. Ello da lugar, según Mateo (2015), a la división de la macro región en tres grandes distritos: las montañas de la Sierra Maestra, las montañas del nordeste de oriente, y la depresión de Cauto – Guantánamo.

Las principales actividades económicas se verifican en la zona inter montañosa. Su desarrollo experimenta la influencia de dos factores limitantes: la existencia de paisajes zonales secos y semi secos, y la interacción entre las aguas oceánicas y marinas y las aguas terrestres. Por ende, el proceso de asimilación del territorio, así como la morfología del paisaje y distribución de los recursos naturales en esta región del país, ha conformado una red de asentamientos humanos principalmente en la premontaña y las extensas llanuras que cubren la mayor parte de la región (Mateo, 2015).

### 3.1. Principales cambios en el sistema de asentamientos humanos en el período 2002-2018

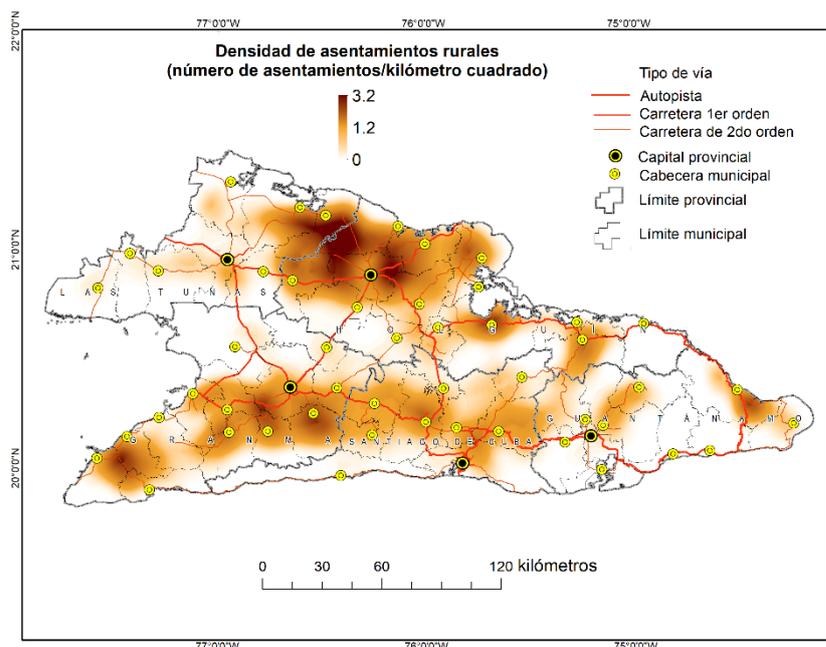
En el período analizado, no hay cambios significativos entre la aparición o desaparición de asentamientos humanos, por tanto, no ha sido una de las dinámicas sobresaliente en los últimos años. Este proceso fue más importante posterior a la década de los años 70 del pasado siglo por las políticas territoriales implementadas y por el proceso de cooperativización en la actividad agropecuaria. Como se aprecia en la Figura 2, desde el punto de vista espacial, la concentración mayor tiene su máxima expresión en la parte este de la provincia Las Tunas y centro-norte de Holguín, también en el centro-este de la provincia Granma.

Figura 2: Distribución espacial de los asentamientos humanos en el área de estudio, año 2018.



Fuente: Elaboración propia a partir de Censo de Población y Vivienda, 2012 (actualizado para 2018).

Figura 3: Distribución espacial de los asentamientos humanos rurales en el área de estudio.

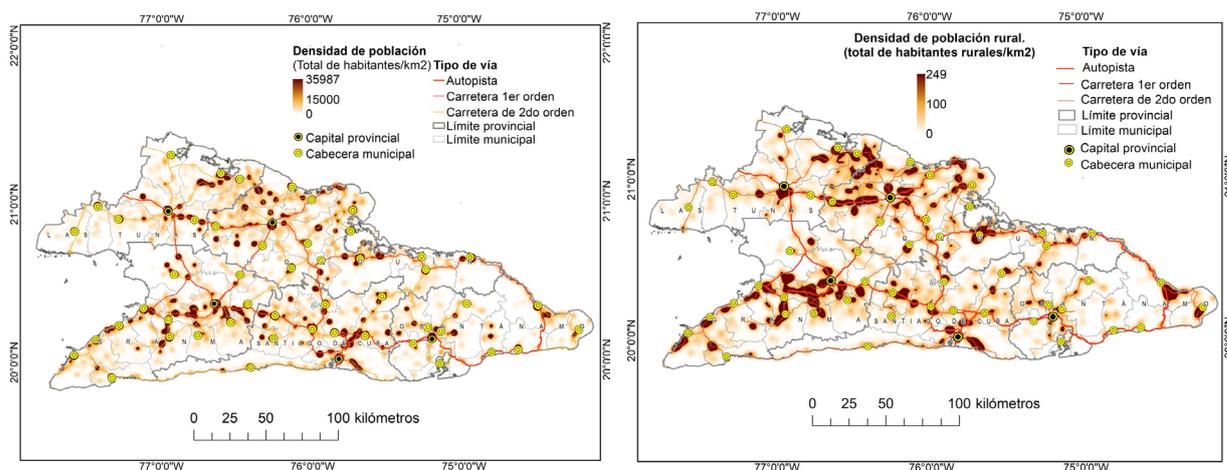


Fuente: Elaboración propia a partir de Censo de Población y Vivienda, 2012 (actualizado para 2018).

Es preciso agregar que la distribución de los asentamientos se corresponde con un continuo alrededor de las principales vías de comunicación. En cuanto a la densidad de asentamientos humanos con categoría rural (Figura 3), la distribución es más o menos similar, aunque llama la atención que las manchas más oscuras y por ende donde hay mayor densidad, se encuentran cercanas a los principales asentamientos urbanos, ya sea capitales de provincia y algunas cabeceras municipales. Este proceso puede estar asociado a las políticas de urbanización y a programas recientes de fortalecer la producción de alimentos cercanos a los enclaves urbanos dentro del Programa de Agricultura Urbana y Suburbana promovidos por el gobierno.

Desde el punto de vista de la distribución espacial (Figura 4) de la población en el área de estudio, las mayores densidades se verifican alrededor de las ciudades principales, también de las cabeceras municipales y manchas que siguen las principales vías de comunicación del territorio. Los vacíos mayores se pueden apreciar en las provincias Santiago de Cuba y Guantánamo, aunque hay una alta concentración en las ciudades principales. Por otra parte, se aprecian zonas con menor densidad de población en los macizos montañosos y zonas más cercanas a la costa, principalmente zonas bajas o cubiertas con vegetación costera. No se compara con información del año 2002, porque los cambios vistos espacialmente con este método de análisis no reflejan grandes variaciones en su distribución espacial.

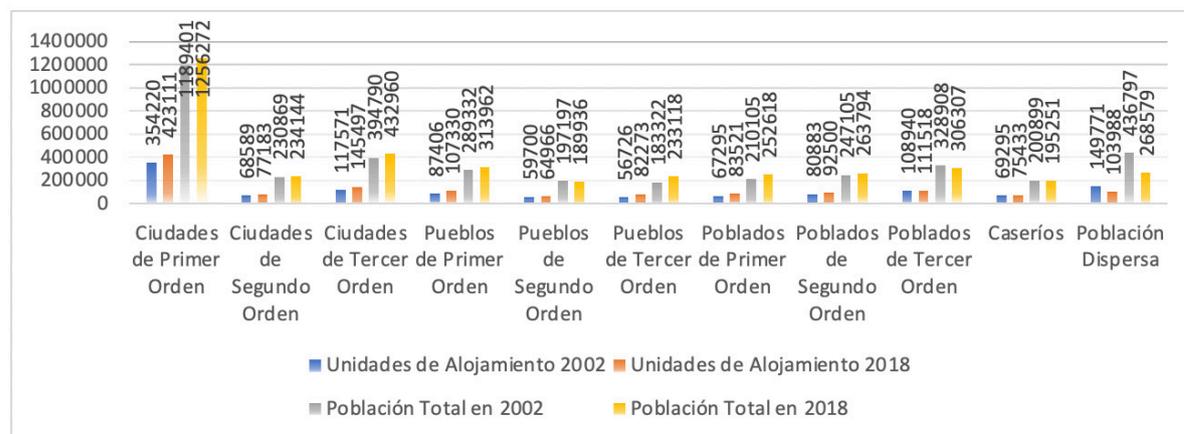
Figura 4: Distribución espacial de la población a partir de los asentamientos humanos. 2018.



Fuente: Elaboración propia a partir de Censo de Población y Vivienda, 2012 (actualizado para 2018).

Las principales tendencias y cambios en población y poblamiento (2002 y 2018) revelan que la tercera parte de la población se concentraba en las Ciudades de Primer Orden (ver Figura 5), con un crecimiento de 1,4 % en el 2018 con respecto al 2002. En términos de población total, la tendencia fue al crecimiento de las categorías de asentamientos urbanos, resultando el mayor incremento en los Pueblos de Tercer Orden (27 %), mientras que, en el caso contrario de estas categorías urbanas, se encuentran los Pueblos de Segundo Orden cuyo decrecimiento fue de un 3,7 %. En cuanto a los asentamientos con categorías rurales, llama la atención el incremento de población en los Poblados de Primer Orden (con alrededor de 20 %), ligero incremento en los de Segundo y disminución en el resto (Poblados de Tercer Orden con decrecimiento de casi 7 %, Caseríos de 3 % y rural Dispersa con disminución significativa de casi un 38 %). Lo que resulta llamativo que las categorías rurales de menor tamaño poblacional son las que mayor porcentaje de población han perdido.

Figura 5: Población total y unidades de alojamiento según categorías de asentamientos en la zona de estudio (2002-2018)

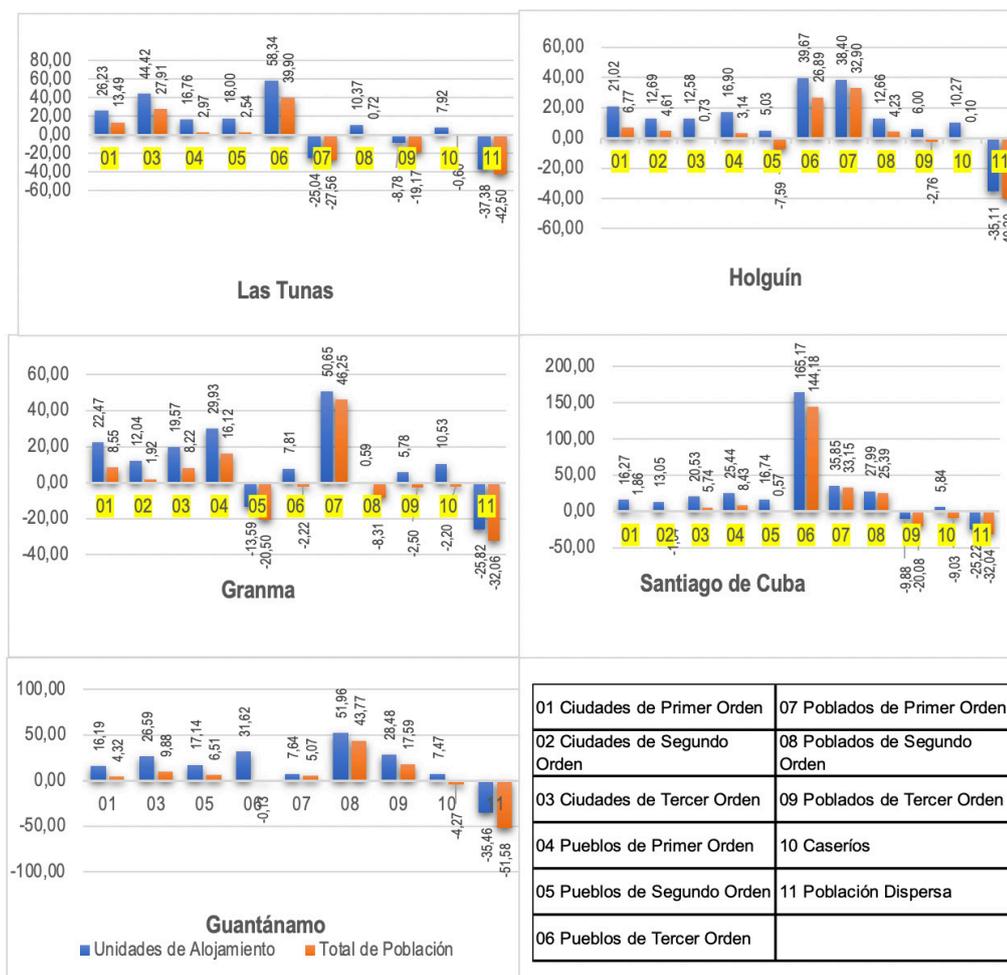


Fuente: Elaboración propia a partir de Censo de Población y Vivienda, 2012 (actualizado para 2018).

En cuanto a las unidades de alojamiento, entre ambos años de referencia, la tendencia es hacia el aumento, con incremento de alrededor de un 45 % en los Pueblos de Tercer Orden, oscilando el resto de las categorías entre un 8 y 23 % de aumento, a excepción de las existentes en la población rural dispersa, que tuvo un decrecimiento relevante con poco más del 30 %, lo que se corresponde con la variación de la cantidad de población entre ambos años.

En cuanto al comportamiento por provincias (Figura 6), las principales tendencias y cambios destacan el crecimiento de las unidades de alojamiento con una magnitud mayor que el de la población, a excepción de las categorías rurales de menores números de habitantes, y esto último puede estar dado a que en no pocas veces, las viviendas son de tipologías constructivas con materiales menos resistentes, las cuales pueden ser transportadas cuando una familia migra y se traslada a otro sitio. Otro aspecto esencial, es que, en la mayoría de las provincias, excepto Guantánamo, los mayores crecimientos de población se verifican en las categorías 6 y 7. Mientras que, en esta última provincia, el decrecimiento de la población rural dispersa superó poco más de la mitad registrada en el Censo de Población y Vivienda (CPV) del 2002. Como ya se analizó de forma general, las categorías rurales con menor población son las que experimentaron un decrecimiento, mientras que la mayoría de las urbanas crecieron, aunque tampoco a un ritmo relativo significativo.

Figura 6: Porcentaje de crecimiento por categoría de asentamientos, de los totales de unidades de alojamiento y población, 2002 y 2018.

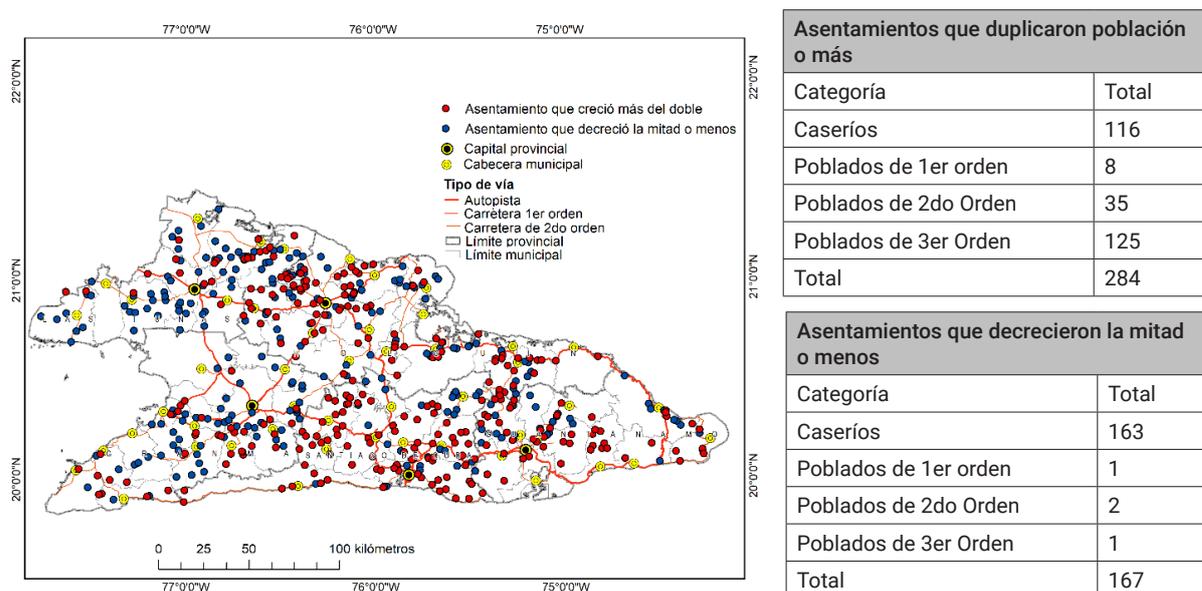


Fuente: Elaboración propia a partir de Censo de Población y Vivienda, 2012 (actualizado para 2018).

La población se concentra en mayores valores porcentuales en las cinco capitales provinciales (Ciudades de Primer Orden), aunque no de forma homogénea. En la provincia Granma (a tono con la mayor densidad de asentamientos humanos), este parámetro representó un 17 % en 2002 y 19 % en 2018. Mientras que en iguales períodos, Holguín y Las Tunas han tenido 27,3 %; 31 % y 26,4 %; 28 % respectivamente. Los casos más llamativos son los de Santiago de Cuba y Guantánamo, donde este fenómeno en ambos períodos, sobrepasan el 40 % de concentración de la población con respecto al total de cada provincia. Las provincias Las Tunas y Guantánamo no cuentan con Ciudades de Segundo Orden, mientras que esta última tampoco con Pueblos de Primer Orden.

Una valoración de la distribución espacial de los asentamientos que han experimentado los mayores valores de crecimiento o los menores de decrecimiento (Figura 7), revela que los caseríos son los más representativos en cantidad, esto se debe a que presentan menor cantidad de población, por lo que están propensos a que los movimientos sean más dinámicos, y por ende los valores relativos tiendan a crecer o decrecer en cada extremo. También se encuentra el resto de las categorías poblacionales rurales. En este sentido, cabe destacar que no son pocos los asentamientos que han decrecido en población a menos de la mitad y tampoco los que han duplicado sus valores, en este último aspecto, además de los caseríos, los poblados de tercer orden se encuentran en un número significativo.

Figura 7: Asentamientos que experimentaron mayores y menores cifras de crecimiento: 2002-2018.

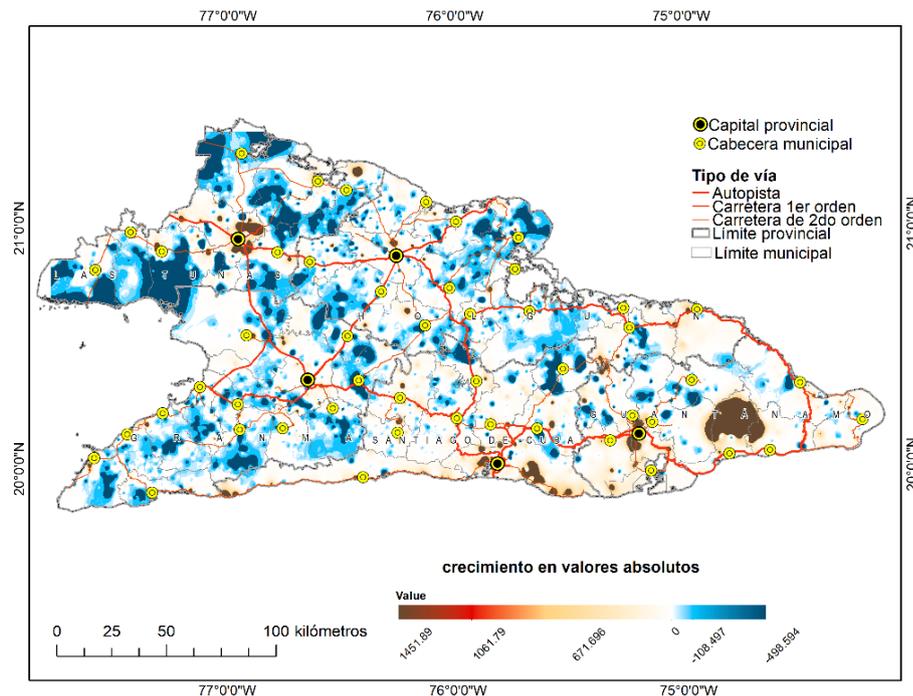


Fuente: Elaboración propia a partir de Censo de Población y Vivienda, 2012 (actualizado para 2018).

En cuanto a la distribución espacial, los asentamientos que más han decrecido están por regla general, más alejados de las cabeceras municipales y de las principales vías de comunicación terrestre, mientras que lo contrario ocurre en los que han duplicado población, por tanto, el factor de localización juega un papel fundamental a la hora de los movimientos o desplazamientos de la población.

La Figura 8 muestra el comportamiento espacial del crecimiento de la población a partir de los cambios en el sistema de asentamiento. Resulta llamativo que la zona que más crece está localizada en la zona este, en la provincia Guantánamo. Este espacio corresponde al Valle de Caujerí, uno de los polos que ha recibido en los últimos años inversiones en la producción y procesamiento de alimentos. No obstante, este proceso, al igual que al sur de la provincia Santiago de Cuba, se debe en lo fundamental a la disminución significativa de la población rural dispersa y a la pérdida de población en las zonas montañosas adyacentes, lo cual ha propiciado un movimiento migratorio interno hacia esas áreas especificadas. También alrededor de la ciudad de Las Tunas, se observa una de las áreas de mayor crecimiento en la cantidad de población.

Figura 8: Distribución espacial del crecimiento de la población en el período analizado.



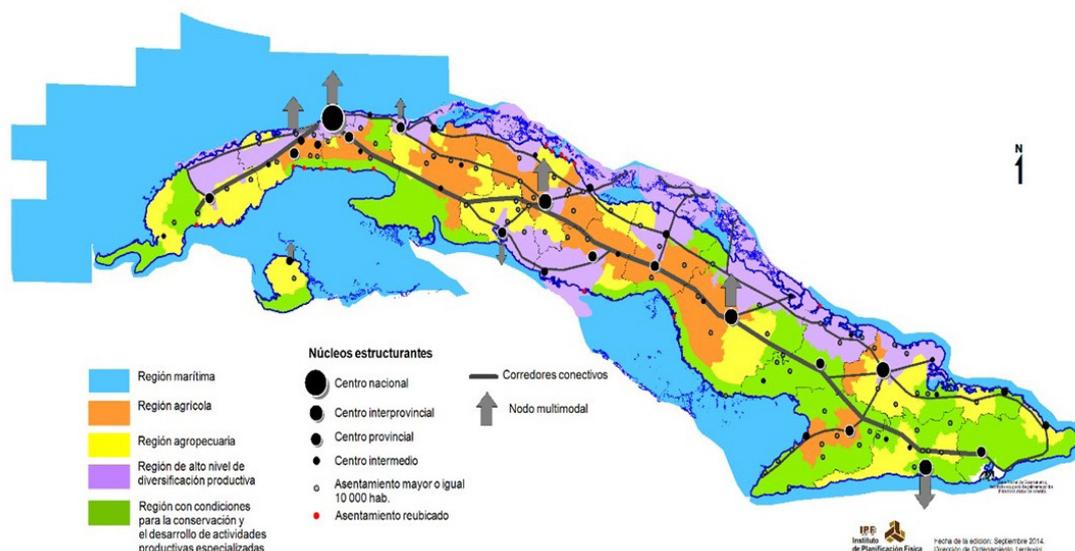
Fuente: Elaboración propia a partir de Censo de Población y Vivienda, 2012 (actualizado para 2018).

En sentido contrario, es una generalidad las zonas donde la población ha decrecido, sobre todo en la provincia Granma y más fuertemente en el norte y sur de Las Tunas. Como parte del estudio en marcha, se corrobora que el mayor flujo migratorio de esta región se da hacia las provincias occidentales, sobre todo La Habana, Artemisa, Mayabeque y Matanzas.

A este proceso debe prestarse especial atención, pues consultando el modelo de estructuración del territorio (Figura 9) del Esquema Nacional de Ordenamiento Territorial (Instituto Nacional de Planificación Física, 2020) en sus proyecciones hasta 2030, se considera la zona norte de las provincias Holguín y Las Tunas con un alto potencial de diversificación productiva, sobre todo por lo relevante del desarrollo de actividad turística, asociada a las posibilidades del fomento de la modalidad de turismo de sol y playa. Sin embargo, la realidad evidencia que se está dando un proceso de éxodo de la población, lo cual resulta contradictorio, cuestión que plantea un reto fundamental ante las futuras apuestas en materia de desarrollo territorial y rural. El resto del territorio oriental se considera con aptitudes para el fomento de actividades agropecuarias, silvopastoriles, y algunas zonas, derivadas de las condiciones físico – geográficas que presenta, con

menos condiciones para la diversificación productiva, de conservación de la biodiversidad, lo que demuestra la complejidad de las políticas de fomento económico y desarrollo social a aplicar en esta región.

Figura 9: Modelo de estructuración del territorio a 2030. Regiones



Fuente: Instituto de Planificación Física (2020).

De los aspectos más importantes a señalar con respecto a los cambios en el total de población y la estructura del sistema de asentamientos humanos en el período analizado para el oriente del país, se encuentran los siguientes:

1. En primer lugar, que la población rural dispersa decrece en casi un 40 %.
2. Si bien, en cada una de las provincias el crecimiento de la población rural ha tenido diversos comportamientos, hay coincidencia en el crecimiento de la población urbana, dándose un interesante salto en la categoría 6 en las provincias de Las Tunas, Holguín y Santiago de Cuba, también el crecimiento de la categoría rural 7 en estas provincias y de forma más significativa en Granma, mientras que en Guantánamo tuvo un incremento significativo en poblados de segundo orden.
3. En sentido general, en las categorías rurales con menor cantidad de población, la tendencia es a decrecer en el total de población por la ocurrencia de fenómenos migratorios y disminución de la natalidad.

Estos procesos se producen fundamentalmente por el deterioro de las condiciones de vida en los asentamientos, asociados principalmente a la crisis económica y alimentaria aguda que afecta al país desde el año 1990, que se ha incrementado en la última década por el recrudecimiento de la política hostil del gobierno de los Estados Unidos, teniendo una repercusión negativa en la economía nacional. Otras cuestiones, están asociadas a las políticas de concentración de servicios asistenciales y educativos en zonas urbanas, teniendo en cuenta la racionalidad económica, lo cual ha provocado que los asentamientos con categorías rurales de menos habitantes hayan sido los más afectados. Por ejemplo, en el período analizado han desaparecido una cifra total de 1304 escuelas primarias (Tabla 1), 50 de enseñanza secundaria, mientras que los preuniversitarios han

crecido por cambiar de la modalidad de escuelas internas de carácter regional, a que cada cabecera municipal cuente con alguno de ellos, también las sedes universitarias han decrecido. Esta tendencia marca una concentración en las enseñanzas desde secundaria básica en adelante, en las zonas urbanas con mayor población. La afectación en las zonas montañosas ha tenido un mayor impacto, sobre todo en asentamientos pequeños o en la población rural dispersa, que abandona la zona por estas y otras cuestiones asociadas al deterioro de sus condiciones de vida y empleo.

Tabla 1. Total de escuelas por enseñanza en los años seleccionados.

Tipo de Enseñanza	Total en 2002	Total en 2018	Diferencia
Primaria	4634	3330	-1304
Secundaria Básica	360	310	-50
Preuniversitario	123	136	13
Universidad	112	69	-43

Fuente: Elaboración propia a partir de Censo de Población y Vivienda, 2012 (actualizado para 2018).

De igual forma que con los servicios educacionales, el sistema de salud pública cubano sufrió un reordenamiento posterior al año 2010. En esencia, se centró en la reducción de costos mediante la concentración de diversos servicios especializados, así como la reducción de centros asistenciales de segundo nivel (Tabla 2). Este proceso ha tenido un impacto fundamental en las comunidades rurales más alejadas. En sentido general, y a tono con muchas de las políticas cubanas, por lo general tiene un carácter sectorial y no está acompañada por un enfoque territorial que valore las diferencias presentes al interior de la región. Con ello también se incrementó la presión sobre el transporte, caracterizado por su ineficiencia e insuficiencia en la región para la movilidad de las personas y su accesibilidad según los niveles de ingresos de la población.

Tabla 2: Total de instalaciones de salud por tipo en los años seleccionados.

Tipo de instalación	2002	2018	Diferencia
Hospitales	106	57	-49
Policlínico	150	149	-1
Consultorio	5108	4024	-1084

Fuente: Elaboración propia a partir de Censo de Población y Vivienda, 2012 (actualizado para 2018).

Otra cuestión relevante que afecta la zona rural en el oriente de Cuba es el acceso al empleo. Las zonas que en mejores condiciones se encuentran por este indicador se ubican alrededor de los asentamientos más importantes, ya sean capitales de provincias o cabeceras municipales. Existe poca diversificación productiva y relativamente escasa distribución espacial de la industria, siendo las capitales provinciales y el asentamiento cabecera del municipio Moa, al Este de la provincia Holguín (asociado a la minería niquelífera), donde existe mayores posibilidades.

El acceso a los alimentos, lo cual es un problema que aflige también al resto del país, es otro de los factores limitantes en el desarrollo territorial rural, que ha afectado con creces diversas regiones del oriente de Cuba. Existe como tendencia la comercialización en las cabeceras municipales con la modalidad de ferias agrícolas los fines de semana, además de otro tipo de tiendas donde se venden artículos complementarios a la canasta básica familiar, esta última garantizada por el gobierno. También en algunos renglones de gran importancia económica y social para la región, como el cafetalero, como política esta actividad concentra sus áreas, lo que ha propiciado el vaciamiento

de la población dispersa, que no se ha beneficiado con el desarrollo de este y otros programas de desarrollo económico.

#### 4. Conclusiones

Las dinámicas de población a partir del análisis del sistema de asentamientos humanos reflejan condiciones complejas que requieren de inmediata atención en el oriente de Cuba. Estos procesos se agudizan aún más en las categorías rurales. Tienen como generalidad, la pérdida de población asociada a los movimientos migratorios hacia las provincias occidentales (también hacia el exterior) como principal factor que incide en este importante indicador. Revelan la existencia de problemas concretos en el desarrollo territorial rural y en el deterioro de las condiciones de vida y empleo, con mayor incidencia en las zonas más alejadas de las cabeceras municipales y principales vías, así como en las zonas montañosas.

Las proyecciones del modelo de estructuración espacial recogidas en el Esquema Nacional de Ordenamiento Territorial centran su atención en actividades económicas tradicionales del sector rural como es el sector primario (agropecuaria en esencia), excepto en la zona norte asociado en lo fundamental al turismo y la minería del níquel, actividades igualmente afectadas por las condiciones de bloqueo económico, lo que les hace altamente vulnerables. Estas cuestiones también imponen un cambio de paradigma y de la visión existente de la región, en primer lugar, exige comenzar a transformar el enfoque sectorial hacia modelos y políticas de desarrollo territorial local donde se valoren más las potencialidades locales/rurales; en segundo lugar, requiere trascender el enfoque de desarrollo rural sinónimo de desarrollo agrícola y trazar pautas en todos los ámbitos político – administrativos que valoricen lo rural como espacios multifuncionales más allá de la oposición rural – urbano; y como tercer aspecto, demanda poner a plenitud la capacidad de los actores rurales diversos y el potencial creativo y formativo en 60 años de Revolución, que vayan transformando el modelo Estado Céntrico y paternalista existente hasta la actualidad.

#### Bibliografía

- Arias, M.d.A. & Leyva, A. (2017). *Los estudios rurales en Cuba. Reflexiones sobre la estructura social y los cambios en la agenda de investigación*. Universidad de La Habana (283), 243-258.
- Ávila, H. (2015). Tendencias recientes en los estudios de Geografía rural. Desarrollos teóricos y líneas de investigación en países de América Latina. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* (88), 75-90.
- Baroni, S. (1998). Necesidad y complejidad de las políticas para los sistemas de asentamientos humanos. *Planificación Física – Cuba*, no. 1/2002. La Habana, 26-34.
- Censo de Población y Vivienda. (2002). *Nomenclador del sistema de asentamientos humanos*. Oficina Nacional de Estadísticas e información, La Habana, Cuba.
- Censo de Población y Vivienda. (2018). *Nomenclador del sistema de asentamientos humanos*. Oficina Nacional de Estadísticas e información, La Habana, Cuba.
- Centro de Estudios Demográficos. (1978). *La Población de Cuba*. La Habana: Editorial de Ciencias Sociales, Instituto Cubano del Libro.
- Clout, H. D. (1976). *Geografía rural* (Primera edición en lengua castellana ed.). Barcelona: oikos.tau, s.a.
- Delgadillo, J. (1991). *Reestructuración productiva y cambios territoriales del espacio nacional. El caso del Estado de Aguascalientes*. Tesis para obtener el grado de maestro, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, Distrito Federal.
- González, R. (2003). *Desarrollo Regional y Local*. La Habana. *Diplomado en Ordenamiento, Planificación y Gestión del Territorio*, Facultad de Geografía, Universidad de La Habana.

- Haesbaert, R. (2011). *El mito de la desterritorialización. Del fin de los territorios a la multiterritorialidad*. Distrito Federal, México: siglo xxi editores, S. A. de C. V.
- Herrera, A. & González, R. (2017). Políticas públicas y ordenamiento territorial en el agro cubano a partir de la crisis de los años noventa del siglo xx. En Leyva, A., Echevarría, D. (coordinadores). *Políticas públicas y procesos rurales. Aproximaciones desde las Ciencias Sociales*. 63-81.
- Hernández, R. (2009). *Desarrollo Local en Cuba: evolución histórica*. (Inédito)
- Instituto Nacional de Planificación Física. (2020). *Modelo de estructuración del territorio. Regiones*. Esquema Nacional de Ordenamiento Territorial. Disponible en <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-75-extraordinaria-de-2020>
- Íñiguez, L. (2002). Precedencias y efectos de los procesos de la década del 90 en las desigualdades sociales en Cuba. *Anales de Geografía de la Univ. Complutense*, vol. 22, Madrid, 157-185.
- Kay, C. (2009). Estudios rurales en América Latina en el periodo de globalización neoliberal: ¿una nueva ruralidad? (U. N. México, Ed.) *Revista Mexicana de Sociología*, 71(4), 607-645.
- Mateo, J. (2015). *La sostenibilidad del desarrollo territorial. Experiencias de Cuba y el sur de México*. Editorial UH. Universidad de La Habana, Cuba.
- Mateo, J. & Arturo R. (2013). La cuestión territorial en Cuba. *Estudos territoriais na ciencia geográfica*. Marcos Aurelio Saquet (organizador) 1ed. Outras Expresssoes, Sao Paulo, 31-46.
- Oliveros, A. (2006). *La población rural en Cuba: cambios cuantitativos en el período*. La Habana, Cuba: Centro de Estudios Demográficos, Universidad de La Habana.
- Programa Mundial de Alimentos en Cuba. (2001). *Análisis y Cartografía de la Vulnerabilidad a la Inseguridad Alimentaria en Cuba*. Comité Editorial PMA. La Habana. Cuba.
- Ramírez, B. R., & López, L. (2015). *Espacio, paisaje, región, territorio y lugar: la diversidad en el pensamiento contemporáneo*. UNAM, Instituto de Geografía: UAM Xochimilco. Ciudad de México: Geografía para el Siglo XXI, Serie Textos Universitarios.
- Rodríguez, C. (1979). *Cuba en el tránsito al Socialismo. 1959-1963*. La Habana: Editora Política.
- Rodríguez, J., & Carriazo, G. (1987). *Erradicación de la pobreza en Cuba*. La Habana: Editorial de Ciencias Sociales.
- Rúa, A. (2014). *Planificación territorial*. La Habana, Cuba: Félix Varela.
- Santos, M. (2000). *La naturaleza del espacio*. Editorial Ariel Geografía. Barcelona.
- San Marful, E. (2006). *Población y poblamiento en la provincia de matanzas: sus relaciones con la agroindustria azucarera*. Siglo XV-XXI. Tesis de doctorado. Universidad de La Habana.
- Schejtman, A., & Berdegué, J. A. (2004). *Desarrollo territorial rural*. Santiago de Chile: RISMP.
- Valdés, J. (2009). *Los procesos de organización agraria en Cuba 1959-2006*. Fundación Núñez Jimenez de la Naturaleza y el Hombre. La Habana, Cuba.

# Mercados locales de trabajo y especialización productiva: un análisis para Andalucía

## Labor market areas and sectoral specialization: an analysis for Andalusia

JESÚS MOLINA BELMONTE<sup>1</sup>  0000-0002-3461-5498

JOSÉ ANTONIO CAMACHO BALLESTA<sup>2</sup>  0000-0002-9786-5400

MERCEDES RODRÍGUEZ MOLINA<sup>2</sup>  0000-0002-0524-7737

<sup>1</sup>Departamento de Economía Aplicada. Universidad de Granada

<sup>2</sup>Departamento de Economía Internacional y de España. Universidad de Granada

### Resumen

El objetivo de este trabajo es identificar los mercados locales de trabajo existentes en Andalucía. Para ello se emplean datos sobre flujos de movilidad cotidiana obtenidos a partir de datos de posicionamiento de telefonía móvil publicados por el Instituto Nacional de Estadística. Asimismo, se realiza un análisis de la especialización productiva de estos mercados. Los resultados obtenidos muestran la existencia de 53 mercados locales de trabajo en el territorio andaluz, 16 de los cuales comprenden territorio de dos provincias diferentes. Esto confirma la necesidad de combinar clasificaciones administrativas y clasificaciones funcionales a la hora de analizar el funcionamiento del mercado de trabajo y de implementar medidas de política. El patrón de especialización productiva más común en estos mercados es la agroindustrial, seguida de la combinación de tres tipos de actividades: manufacturas, construcción y servicios tradicionales. Por el contrario, los mercados especializados en servicios intensivos en conocimiento y servicios públicos son los menos abundantes, concentrándose en torno a las capitales de provincia.

---

Palabras clave: mercados locales de trabajo; especialización; Andalucía

---

### Fechas • Dates

Recibido: 2021.04.21  
Aceptado: 2021.09.01  
Publicado: 2022.03.21

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Jesús Molina Belmonte  
[jesusmb@ugr.es](mailto:jesusmb@ugr.es)

## Abstract

The aim of this paper is to identify labor market areas in Andalusia. For doing so we employ data on commuting flows obtained from mobile positioning data published by Spanish National Statistics Institute. In addition, we carry out an analysis of the productive specialization of these labor market areas. The results obtained show the existence of 53 labor market areas in the Andalusian territory, 16 out of them share territory from two different provinces. This fact confirms the need of combining administrative and functional classifications when analyzing the functioning of the labor market and when implementing policy measures. The most common productive specialization pattern in these labor market areas is the agro-industrial one, followed by the combination of three types of activities: manufacturing, construction and traditional services. In contrast, those labor market areas specialized in knowledge intensive services and public services are the least abundant, and concentrate around the capital of the provinces.

Keywords: labor market areas; specialization; Andalusia

## 1. Introducción

La identificación de áreas funcionales (AFs) ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años debido a su reconocimiento como herramienta clave para el análisis y tratamiento efectivo de los problemas territoriales. El motivo es que las delimitaciones administrativas son, en muchas ocasiones, fruto de acontecimientos históricos, y no reflejan de modo adecuado la realidad económica. Por el contrario, las AFs engloban territorios que comparten características, problemas y/o desafíos socioeconómicos, constituyendo una herramienta particularmente útil desde la perspectiva del estudio del comportamiento de los mercados de trabajo (OECD, 2020). Hasta la fecha, la mayoría de los trabajos empíricos destinados a identificar AFs se han centrado en las ciudades y sus áreas económicas de influencia, denominadas áreas metropolitanas o áreas funcionales urbanas (AFUs), dejando de lado las áreas rurales. No obstante, en aras a instrumentar políticas eficaces es necesario disponer de delimitaciones de AFs amplias, que incluyan todo el territorio, y, dentro de éstas, de mercados locales de trabajo (MLTs) que tomen en consideración el papel de las zonas rurales, máxime cuando los problemas de desempleo y desajuste del mercado de trabajo son particularmente severos en dichas zonas. Dentro de las diferentes categorías de AFs, un MLT puede definirse de modo simple como un tipo de AF caracterizada porque la mayor parte de la población reside y trabaja dentro de ella (Smart, 1974).

Partiendo de la necesidad de identificar MLTs que tengan en cuenta todo el territorio independientemente de su naturaleza urbana o rural, este trabajo realiza tres aportaciones principales. En primer lugar, va más allá del contexto urbano y delimita MLTs para todo el territorio andaluz. En segundo lugar, utiliza datos de posicionamiento móvil para identificar los patrones de movilidad cotidiana residencia-trabajo, evitando así la principal desventaja que conlleva el uso de datos censales, esto es, el retardo temporal (Susino, 2015). Por último, evalúa la relación entre especialización productiva y mercado de trabajo, examinando la especialización sectorial de los MLTs obtenidos con objeto de identificar patrones.

La estructura del trabajo es la siguiente. En la primera sección se revisa brevemente la literatura relativa a la identificación de los MLTs, así como a la relación entre especialización productiva y empleo. A continuación, se describen los datos y la metodología empleada. Seguidamente, se exponen los resultados obtenidos. Finalmente, se comentan las principales conclusiones alcanzadas y se apuntan algunas líneas de investigación futuras.

## 2. Mercados locales de trabajo: identificación y especialización

### 2.1. La identificación de mercados locales de trabajo

Los primeros trabajos sobre la organización funcional del territorio se inician en la década de 1930 con las aportaciones de autores como Dickinson, Colby o Christaller (Christaller, 1933; Colby, 1933; Dickinson, 1930). En su revisión de la literatura sobre las AFs, Klapka & Halás (2016) diferencian cuatro criterios a la hora de identificar AFs: el sentido de la identificación, el número de etapas, el carácter jerárquico o no jerárquico de la metodología y la forma de la matriz de interacción. Partiendo de estos criterios describen tres grupos principales de métodos: métodos basados en gráficos, métodos de agrupamiento y métodos basados en reglas. Los métodos basados en gráficos son los que surgen en primer lugar. Estos métodos se basan en la teoría de grafos y asumen que las ciudades pueden ser representadas mediante un conjunto de puntos donde se dibujan líneas que unen pares de puntos si existen flujos entre ellas. Entre los primeros estudios que utilizan este enfoque podemos citar el trabajo de Nystuen & Dacey (1961), que identifica AFs en el estado de Washington partiendo de los datos de llamadas telefónicas interurbanas, o la construcción de matrices de flujos migratorios que realizan Holmes & Haggett (1977). Enfoques más recientes combinan la teoría de grafos con otras técnicas como la modularidad, como es el caso del trabajo para Alemania de Kropp & Schwengler (2016). En las décadas setenta y ochenta se desarrollan los denominados como métodos de agrupamiento. Dentro de estos métodos se pueden distinguir dos grupos principales de estrategias. La más antigua se basa en el análisis de cadenas de Markov (Brown & Holmes, 1971; Brown & Horton, 1970), mientras que el segundo grupo, denominado método Intramax (Masser & Brown, 1975), parte del método de agregación jerárquica de Ward (Ward, 1963). Por último, los métodos apoyados en reglas se basan en la agregación por etapas. El trabajo pionero dentro de esta categoría parte de la revisión del concepto de MLT realizada por Smart (Smart, 1974) con objeto de redefinir las áreas de desplazamiento al trabajo (*Travel to Work Areas* (TTWAs)) que venía empleando el Departamento de Empleo del Reino Unido (Coombes & Openshaw, 1982). Como se apuntaba en la introducción, un MLT es un tipo de AF caracterizada porque la mayor parte de su población vive y trabaja dentro de ella. Siguiendo a Smart, la identificación de MLTs ha de tener cuenta dos elementos esenciales: la autocontención, esto es, la proporción de población ocupada residente que trabaja localmente, y la integración, es decir, las relaciones entre áreas en términos de desplazamientos cotidianos. Desde su introducción en la década de 1960, las TTWAs han constituido la base para la identificación de MLTs en el Reino Unido. En 1982 se desarrolló un primer algoritmo TTWA (Coombes & Openshaw, 1982) y desde entonces éste ha sido objeto de diferentes revisiones, aplicándose también en otros países, tanto europeos como no europeos (Casado-Díaz & Coombes, 2011; Casado Díaz *et al.*, 2010; Coombes & Bond, 2008; Franconi *et al.*, 2017). Recientemente, la Unión Europea y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) han desarrollado conjuntamente una metodología para identificar AFUs partiendo de dos variables principales: el tamaño de la población y la movilidad cotidiana (Dijkstra, Poelman, & Veneri, 2019; Moreno-Monroy, Schiavina, & Veneri, 2020). Para identificar un AFU se establece la zona de desplazamiento cotidiano de cada ciudad, esto es, el conjunto de unidades locales que tienen al menos el 15% de sus residentes ocupados trabajando en la ciudad. Si el 15% de las personas ocupadas que viven en una ciudad trabaja en otra ciudad, estas dos ciudades se tratan como un solo destino. En el caso de España, desde una perspectiva empírica destaca el trabajo de Casado-Díaz *et al.* (2010). A nivel regional debemos mencionar los trabajos de identificación de MLTs realizados para la Comunidad Valenciana (Casado-Díaz, 2000, 2007; Salom Carrasco & Casado-Díaz, 2007) y para Andalucía (Miedes *et al.*, 2007). Cabe señalar, asimismo, el desarrollo de trabajos que parten de MLTs

previamente establecidos como la comparación entre MLTs y unidades territoriales de empleo (UTES) para la provincia de Huelva que realizan Manzanares Gutiérrez *et al.* (2016) o el análisis más reciente de Melguizo & Royuela (2020) del impacto de factores económicos y de mercado de trabajo sobre los flujos migratorios entre las AFUs españolas durante la crisis económica.

Como se ha indicado anteriormente, para poder identificar MLTs es esencial conocer los patrones de desplazamiento cotidiano. Aunque la mayoría de los estudios realizados hasta la fecha emplean datos de censos de población, en la actualidad se pueden utilizar diversas fuentes complementarias al censo para identificar patrones de movilidad como son los datos de posicionamiento de telefonía móvil. En comparación con los datos del censo, los datos de posicionamiento de telefonía móvil proporcionan información con un mayor nivel de granularidad y la brecha temporal es casi inexistente. La identificación de la ubicación de los teléfonos móviles se realiza mediante señales de radiofrecuencia y el método más común son los datos basados en la red móvil. Los trabajos pioneros con datos de posicionamiento de telefonía móvil se centran en caracterizar la movilidad en el ámbito del sector turístico (Ahas, Aasa, Mark, Pae, & Kull, 2007; Ahas, Aasa, Roose, Mark, & Silm, 2008; Novak, Ahas, Aasa, & Silm, 2013). En el caso de España, aunque se han llevado a cabo estudios tanto a nivel nacional como regional sobre los flujos de desplazamiento cotidiano, hasta la fecha todos ellos han utilizado datos del censo. Entre los trabajos realizados para el conjunto de España podemos señalar el análisis de los desplazamientos cotidianos de los trabajadores autónomos españoles de Albert *et al.* (2019) o el estudio de la relación entre desplazamientos cotidianos y satisfacción de Simón *et al.* (2020). A nivel regional es necesario citar el trabajo de Romaní *et al.* (2003) sobre las decisiones de desplazamiento cotidiano de los trabajadores catalanes, el de Susino *et al.* (2007) acerca de los factores relacionados con la movilidad cotidiana al trabajo en Andalucía, el de Barrios González *et al.* (2009) sobre la accesibilidad y las condiciones de movilidad en Tenerife o el de Mohino *et al.* (2017) acerca de los cambios en los desplazamientos al trabajo en Castilla la Mancha.

## 2.2. Especialización productiva y empleo

El origen del interés por la localización de las actividades productivas podemos situarlo a principios del siglo XX, y más concretamente en el trabajo pionero de Von Thünen (Von Thünen, 1910) sobre la cercanía entre agricultores y mercados. Partiendo de esta idea, a comienzos del siglo XX aparecen los primeros estudios que tratan la cuestión de la localización, basados en diferentes argumentos acerca de la importancia de la proximidad a los mercados, y, en particular, a los clientes, o en el papel de los costes de transporte (Alonso, 2013; Isard, 1949; Losch, 1954; Weber, 1929). Entre las distintas aportaciones destaca el trabajo de Marshall (Marshall, 1890), que sienta los pilares de las principales teorías sobre la concentración, como es la teoría de los distritos industriales marshallianos (Becattini, 2002, 2017; Becattini, Bellandi, & de Propris, 2009). A diferencia de los primeros análisis sobre localización, la idea central de Marshall es la existencia de beneficios asociados, no a la proximidad a los clientes o a los mercados, sino a otras empresas. Partiendo de las aportaciones de Marshall, Krugman, en su Nueva Geografía Económica, describe la existencia de tres tipos de externalidades (Krugman, 1991): economías de especialización, economías asociadas a la concentración de mano de obra (en especial mano de obra cualificada) y externalidades tecnológicas o de difusión de conocimiento. En cuanto a las externalidades tecnológicas la idea principal es que las industrias se especializan desde el punto de vista geográfico porque la proximidad a otras empresas del mismo sector favorece la transmisión de conocimiento. Esta idea se desarrolla no sólo en el trabajo de Marshall (Marshall, 1890) sino también en el de Arrow (Arrow, 1962) y Romer (Romer, 1986) y dará lugar al conocido como modelo Marshall-Arrow-

Romer (MAR). Expresado de un modo simple, este modelo destaca que la concentración de un sector en un área geográfica concreta (como una región, provincia o municipio) facilita la difusión y el intercambio de conocimiento entre las empresas pertenecientes a ese sector, y, por ende, la innovación, el crecimiento y empleo. Este intercambio de conocimiento, en especial cuando se trata de conocimiento tácito, se produce, entre otros factores, gracias al movimiento de trabajadores cualificados entre distintas empresas. Además de innovación, la concentración geográfica de empresas pertenecientes a un mismo sector también genera otros beneficios adicionales como son la aparición de economías de escala gracias a que se comparten insumos o la reducción de los costes de transporte debido a la mayor cercanía a proveedores y clientes.

Es necesario señalar, no obstante, que la cuestión de la especialización ha generado controversia, y que existen numerosos estudios que plantean el debate acerca de si es mejor que un territorio esté especializado o diversificado (Beaudry & Schiffauerova, 2009; de Groot, Poot, & Smit, 2016; Kemeny & Storper, 2015). Este dilema se construye en torno a dos grandes teorías: el ya mencionado modelo MAR (Arrow, 1962; Marshall, 1890; Romer, 1986), que defiende los efectos beneficiosos de la especialización, y la teoría de Jacobs (Jacobs, 1969), que se centra en los beneficios de la diversificación. En contraste con el modelo MAR, Jacobs defiende que el origen principal de las externalidades tecnológicas o de difusión de conocimiento es externo al sector dentro del que opera cada empresa. De este modo, la existencia de un amplio espectro de actividades productivas en un territorio favorece la actividad innovadora y, por ende, el crecimiento y el empleo dado que, entre otros efectos positivos, la heterogeneidad productiva favorece la aparición de nuevos empleos y actividades. Así, nos encontramos con trabajos como el de Glaeser *et al.* (1992), que sostiene que la diversificación contribuye positivamente al crecimiento porque las externalidades de conocimiento surgen principalmente entre sectores en lugar de dentro de los propios sectores o el de Henderson *et al.* (1995), que afirma que la especialización afecta de manera positiva a los sectores industriales pero la diversificación influye positivamente sobre sectores de alto valor añadido.

En el caso de España, en los trabajos pioneros de Boix & Galletto (2008, 2009) se examina lo que se denomina como “efecto I-distrito marshalliano”, esto es, el mayor potencial innovador de los distritos industriales, en 806 MLTs de España empleando una metodología similar al algoritmo TTWA (De Propris, 2005). Estos MLTs se clasifican en cuatro grandes categorías de sistemas productivos locales en función de su especialización sectorial: primaria y extractiva (333), manufacturas (382), construcción (35) y servicios (106). Cuando se analiza la relación entre innovación y especialización productiva (Boix & Trullén, 2010) las mayores tasas de innovación se concentran en aquellos sistemas productivos locales especializados en manufacturas y en servicios a empresas, si bien es cierto que existe una fuerte correlación entre las condiciones del territorio y la especialización productiva. Además, esta mayor intensidad innovadora se mantiene independientemente de fase del ciclo económico (Boix *et al.*, 2019).

Dada la estrecha interrelación entre territorio, especialización productiva, innovación, crecimiento y empleo, el objetivo de este trabajo es identificar los MLTs de Andalucía y examinar la existencia de patrones de especialización productiva. Para ello tomamos como punto de partida todo el territorio andaluz, y más concretamente municipios y agrupaciones municipales de más de 5.000 habitantes, e identificamos los flujos de desplazamiento cotidiano empleando datos de posicionamiento de telefonía móvil. A continuación, examinamos la existencia de patrones de especialización productiva calculando un índice de especialización y realizando un análisis clúster. A diferencia de trabajos anteriores, este análisis toma en consideración el hecho de que los MLTs

no están especializados de forma exclusiva en único sector productivo sino en varios sectores de forma simultánea. En el siguiente apartado se describen los datos y la metodología empleada tanto para la identificación de los MLTs como de patrones de especialización productiva.

### 3. Datos y Metodología

#### 3.1. Datos

Como se ha señalado con anterioridad, en este trabajo se emplean datos de posicionamiento de telefonía móvil para identificar los flujos de desplazamiento cotidiano. Dichos datos proceden de la estadística experimental “Estudio piloto EM-1 sobre movilidad” elaborada por el Instituto Nacional de Estadística (INE). Esta estadística se basa en los datos de posicionamiento móvil proporcionados por los tres principales operadores de redes móviles en España: Movistar, Orange y Vodafone. En el caso de Andalucía estos tres operadores representan casi el 79% de los teléfonos móviles de la región.

Para la construcción de la matriz de desplazamientos cotidianos a partir de la muestra de posicionamiento de teléfonos móviles el primer paso es determinar el área de residencia. El INE define las áreas de movilidad (AMs) como áreas con más de 5.000 habitantes. En nuestro caso el territorio andaluz se divide en 565 AMs. Para la recopilación de datos se tomaron cuatro días consecutivos (del 18 al 21 de noviembre de 2019). El área de residencia se estableció como aquella donde se ubicó el teléfono móvil la mayor parte del tiempo entre las 00:01 horas y las 06:00 horas durante los cuatro días observados. El segundo paso es identificar el área de destino diario. El procedimiento de identificación es similar al utilizado para las áreas de residencia, pero en este caso el rango horario es diferente (entre las 10:00 horas y las 18:00 horas) y el teléfono móvil debe estar ubicado en el área al menos 4 horas durante como mínimo 2 de los 4 días examinados. En ambos casos sólo se consideran áreas con datos para al menos 25 teléfonos móviles debido al secreto estadístico. La muestra final para Andalucía está compuesta por 5.569.856 teléfonos móviles.

Desde el punto de vista administrativo, la clasificación NUTS (Nomenclatura de Unidades Territoriales de Estadística) subdivide el territorio de los países miembros de la Unión Europea en tres niveles de unidades territoriales. En el caso de Andalucía, la región se corresponde con el segundo nivel de desagregación (NUTS2) mientras que las ocho provincias se clasifican como unidades territoriales de tercer nivel o NUTS3. El nivel mínimo de desagregación administrativa son las unidades administrativas locales (UALs). Las UALs son equivalentes a los municipios. El número total de municipios en Andalucía es de 785.

Para combinar datos de posicionamiento de la telefonía móvil (definidos a nivel de AMs) y datos administrativos (definidos a nivel de UALs) es necesario fusionar aquellos municipios con una población inferior a 5.000 habitantes con municipios vecinos pertenecientes a la misma provincia. Así, por ejemplo, el municipio de Algarinejo, situado en la provincia de Granada y con 2.591 habitantes, se fusionó con el municipio limítrofe de Montefrío, situado en la misma provincia y con 5.479 habitantes. Aplicando este sistema de agregación a todos aquellos municipios andaluces con una población inferior a los 5.000 habitantes se obtuvieron un total de 378 municipios y agrupaciones municipales. Partiendo de estos 378 municipios y agrupaciones municipales se construyó una matriz de desplazamientos cotidianos bajo el supuesto de que cada teléfono móvil coincide con una única persona. La Tabla 1 muestra un ejemplo de la construcción de la matriz

de flujos de movilidad cotidiana a partir de los datos de posicionamiento de la telefonía móvil, donde se recoge el código de identificación del área de origen, su nombre, la provincia de destino, el código de identificación del área de destino, el nombre del área de destino y el flujo origen-destino. Como puede observarse, se incluyen también los flujos que tiene el mismo origen y destino.

Tabla 1. Ejemplo de construcción de la matriz de flujos de movilidad cotidiana a partir de los datos de posicionamiento de telefonía móvil del municipio de Tarifa.

Código origen	Nombre área de residencia	Provincia de destino	Código destino	Nombre área de destino	Flujo origen-destino (nº de personas)
90524	Tarifa	Cádiz	90524	Tarifa	14.033
90524	Tarifa	Cádiz	90525	Algeciras	390
90524	Tarifa	Cádiz	90523	Barbate	115
90524	Tarifa	Cádiz	90526	Barrios, Los	77
90524	Tarifa	Cádiz	90522	Vejer de la Frontera	29
90524	Tarifa	Cádiz	90527	San Roque	21
90524	Tarifa	Cádiz	90528	Línea de la Concepción, La	17

El análisis de la matriz de los flujos de movilidad cotidiana confirma que los datos de telefonía móvil son un buen indicador de la población residente dado que si calculamos el coeficiente de correlación entre la población residente y el número de teléfonos móviles en los diferentes municipios y agrupaciones municipales obtenemos un valor de 0,99.

Junto a los datos de posicionamiento de telefonía móvil empleados para construir la matriz de desplazamientos cotidianos entre los diferentes municipios y agrupaciones municipales de Andalucía, para analizar los patrones de especialización productiva se emplearon datos de afiliación a la Seguridad Social en 2019 proporcionados por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA). Estos datos se agrupan en 6 grandes categorías siguiendo la Clasificación Nacional de Actividades Económicas de 2009 (CNAE-2009)(INE, 2009). La composición de dichos grupos se recoge en la Tabla 2.

Como puede observarse, el énfasis se pone en el análisis del sector servicios, motor de la producción y el empleo en las economías avanzadas. De esta forma, el primer grupo lo integra el sector primario. El segundo grupo comprende las industrias extractivas y energéticas. En el tercer grupo se incluyen la industria manufacturera y la construcción. Los tres grupos restantes los conforman actividades terciarias, diferenciándose entre servicios tradicionales, servicios intensivos en conocimiento y servicios públicos.

Tabla 2. Clasificación sectorial de actividades económicas.

GRUPO	DESCRIPCIÓN	EPÍGRAFES CNAE-2009
G1	SECTOR PRIMARIO	
	R1 Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	A
G2	INDUSTRIAS EXTRACTIVAS Y ENERGÉTICAS	
	R2 Industrias extractivas; suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado; suministro de agua, actividades de saneamiento, gestión de residuos y descontaminación	B, D, E
G3	INDUSTRIA MANUFACTURERA Y CONSTRUCCIÓN	

GRUPO	DESCRIPCIÓN	EPÍGRAFES CNAE-2009
	R3 Industria manufacturera	C
	R4 Construcción	F
G4	SERVICIOS TRADICIONALES	
	R5 Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos de motor y motocicletas; transporte y almacenamiento; hostelería	G, H, I
	R8 Actividades inmobiliarias	L
	R11 Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento; otros servicios; actividades de los hogares como empleadores de personal doméstico y como productores de bienes y servicios para uso propio; actividades de organizaciones y organismos extraterritoriales	R, S, T, U
G5	SERVICIOS INTENSIVOS EN CONOCIMIENTO	
	R6 Información y comunicación	J
	R7 Actividades financieras y de seguros	K
	R9 Actividades profesionales, científicas y técnicas; actividades administrativas y servicios auxiliares	M, N
G6	SERVICIOS PÚBLICOS	
	R10 Administración pública y defensa, Seguridad social obligatoria; educación; actividades sanitarias y de servicios sociales	O, P, Q

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Metodología.

Para llevar a cabo el proceso de identificación de MLTs en base a los datos de movilidad cotidiana se siguieron las pautas marcadas por Eurostat (Casado-Díaz & Coombes, 2011; Franconi *et al.*, 2017; Soares *et al.*, 2017) junto con las recomendaciones de la OCDE (OECD, 2020). De esta forma, el proceso parte de un sistema de cálculo donde cada municipio/agrupación municipal se considera un MLT y se calcula una función de validez en base a dos parámetros: la autocontención, estableciéndose una autocontención mínima ( $minSC$ ) y una autocontención objetivo ( $tarSC$ ), y el tamaño, fijándose un tamaño mínimo ( $minSZ$ ) y un tamaño objetivo ( $tarSZ$ ). El valor de estos parámetros establecidos a priori determina el número final de MLTs a obtener por lo que el investigador tiene un papel fundamental en su fijación, que debe basarse en criterios que se adapten a la realidad geográfica y social del país o región. En nuestro caso, siguiendo la recomendación de Eurostat, empleamos los valores aplicados por el Instituto Nacional de Estadística de Portugal (Soares *et al.*, 2017): una autocontención objetivo del 85% y mínima del 80% y un tamaño objetivo de 100.000 personas y mínimo de 35.000 personas.

La función de validez, ( $f_v$ ) se expresa como sigue:

$$\frac{minSC}{tarSC} \leq \left[ 1 - \left( 1 - \frac{minSC}{tarSC} \right) \cdot \max \left( \frac{tarSZ - SZ}{tarSZ - minSZ}, 0 \right) \right] \cdot \left[ \frac{\min(SC, tarSC)}{tarSC} \right] \quad (1)$$

Una agrupación es un MLT válido si satisface la siguiente condición:

$$f_v(SZ_a, SC_a) \geq \frac{minSC}{tarSC}$$

Las agrupaciones que no cumplen con los parámetros establecidos se reagrupan con otras con las que tienen una mayor relación de movilidad cotidiana. La medida de interacción entre agrupaciones la mide el indicador de cohesión ( $Lhk$ ) y se calcula a través de las sumas de los flujos de desplazamiento cotidiano de entrada y salida como sigue:

$$L_{hk} = \left[ \frac{(f_{hk})^2}{(f_h \cdot f_k)} \right] + \left[ \frac{(f_{kh})^2}{(f_k \cdot f_h)} \right] \quad (2)$$

Donde  $f_{hk}$  es el tamaño de la población que vive en la agrupación municipal  $h$  y se desplaza a la agrupación municipal  $k$ ,  $f_{kh}$  es el tamaño de la población que vive en la agrupación municipal  $k$  y se desplaza a la agrupación municipal  $h$ ,  $f_h$  es el tamaño de la población que vive en la agrupación municipal  $h$  y  $f_k$  es el número de personas que se desplazan a la agrupación municipal  $h$ .

El indicador de cohesión parte del concepto de importancia recíproca, es decir, divide la capacidad de atracción de cada agrupación entre el total de flujos de entrada. La agrupación que maximiza la cohesión se denomina grupo dominante para la agrupación municipal  $h$  y ésta se agrega a ella formándose así una nueva agrupación. El proceso finaliza cuando todas las agrupaciones satisfacen los criterios de autocontención y tamaño establecidos.

Para analizar la especialización productiva a partir de los datos de afiliación a la Seguridad Social en 2019 calculamos en primer lugar un índice de especialización sectorial ( $IE_{ij}$ ) (Cuadrado-Roura & Maroto-Sánchez, 2012; Traistaru *et al.*, 2002):

$$IE_{ij} = [S_{ij} / \sum_{i=1}^n S_{ij} / \sum_{j=1}^m S_{ij} / \sum_i S_{ij} / \sum_j S_{ij}] \quad (3)$$

Donde  $S$  son los afiliados,  $i$  es la rama de actividad y  $j$  es el MLT a analizar. Este índice es siempre positivo. Cuando toma un valor superior a uno indica que el MLT  $j$  presenta especialización en la rama de actividad  $i$ .

Una vez calculados los índices de especialización empleamos el análisis clúster para identificar la existencia de patrones de especialización productiva entre los diferentes MLTs. El análisis clúster es una técnica de análisis multivariante de naturaleza exploratoria que, en nuestro caso, tiene como objetivo la clasificación de los MLTs en grupos homogéneos no establecidos a priori. El procedimiento es similar al empleado para la identificación de los MLTs: en función de sus índices de especialización los MLTs se van agregando de forma que la variabilidad dentro de los grupos sea lo más baja posible y la variabilidad entre grupos lo más alta posible (Everitt *et al.*, 2011).

#### 4. Resultados y discusión.

Como hemos señalado con anterioridad, para identificar los MLTs de Andalucía partimos de datos de posicionamiento de telefonía móvil con un nivel de granularidad mínimo de 5.000 habitantes. Los flujos de desplazamiento cotidiano se organizan en una matriz 378x378 con 8.103 elementos no nulos. La Figura 1 muestra la distribución espacial de los municipios y agrupaciones municipales de partida. Como puede observarse, los 785 municipios existentes en Andalucía se han reagrupado en un total de 378 municipios y agrupaciones municipales que satisfacen el criterio de población mínima de 5.000 habitantes. La reagrupación de municipios es especialmente elevada en el caso de las provincias de Granada y Almería, donde se pasa de 174 y 103 municipios de partida a 66 y 36 municipios reagrupados, respectivamente. Por el contrario, la disminución es mucho más reducida en Cádiz, donde se pasa de 45 municipios iniciales a 34 municipios reagrupados.

Partiendo de esta estructura y empleando los datos de movilidad cotidiana organizados de forma matricial se ejecuta el algoritmo de agrupación, realizando en primer lugar un análisis de validez

(1) y, a continuación, los cálculos de agrupación en base a la cohesión entre pares (2). De este proceso se obtiene una división funcional de Andalucía en 53 MLTs. El índice de modularidad del proceso de agregación es de 0,93, lo que confirma la validez de esta distribución funcional.

La Figura 2 muestra la distribución de estos MLTs en el territorio andaluz. En el Anexo 1 se detallan los municipios que integran cada uno de estos MLTs. Como puede observarse, la provincia con un mayor número de MLTs es Cádiz, seguida de Sevilla y Málaga. El número total de MLTs es similar en las provincias de Córdoba, Granada y Jaén, mientras que Huelva y Almería registran el número más reducido de MLTs. Hemos de señalar, además, que de los 53 MLTs identificados, hay 16 que comprenden territorio perteneciente a dos provincias, lo que confirma que la realidad laboral cotidiana no se circunscribe a los límites provinciales.

Figura 1. Distribución de municipios y agrupaciones municipales de partida en Andalucía.

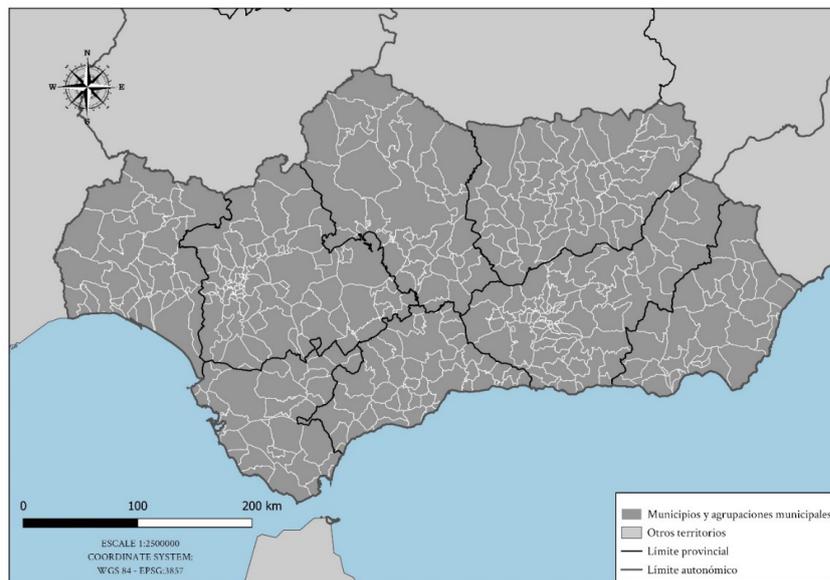
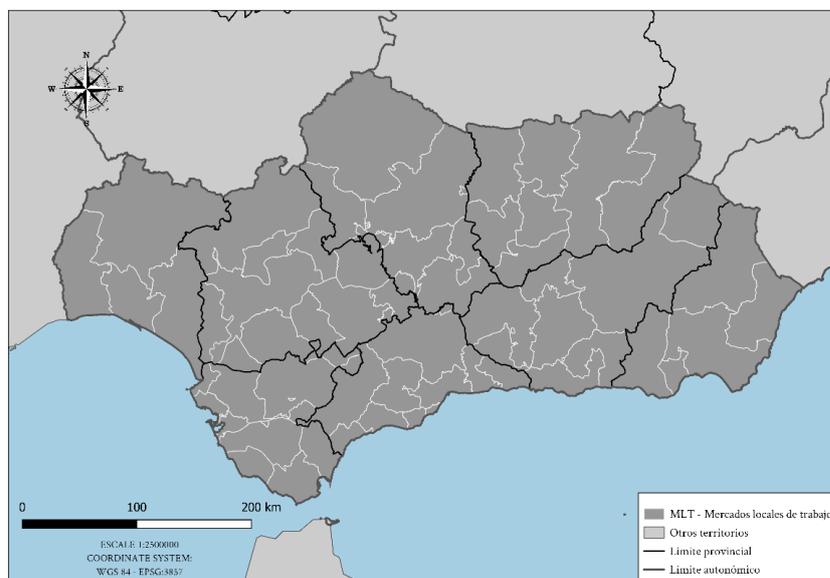


Figura 2. Distribución de los MLTs en Andalucía.



Para profundizar en esta cuestión, en la Tabla 3 se muestra la distribución de MLTs por provincias, diferenciando entre aquellos que son internos, esto es, que pertenecen a una única provincia, y aquellos que son pluriprovinciales, es decir, que comprenden territorio de dos provincias.

Tabla 3. Distribución provincial de los MLTs en Andalucía

PROVINCIA	MUNICIPIOS	MUNICIPIOS Y AGRUPACIONES MUNICIPALES	MLTs INTERNOS	MLTs PLURIPROVINCIALES	
				Número	Compartido con
Almería	103	36	4	1	1 con Granada
Cádiz	45	34	9	4	1 con Málaga
					3 con Sevilla
Córdoba	77	38	3	6	1 con Málaga
					2 con Jaén
					3 con Sevilla
Granada	174	66	4	4	1 con Almería
					1 con Málaga
					2 con Jaén
Huelva	80	35	3	1	1 con Sevilla
Jaén	97	46	3	4	2 con Córdoba
					2 con Granada
Málaga	103	46	7	4	1 con Cádiz
					1 con Córdoba
					1 con Granada
					1 con Sevilla
Sevilla	106	77	4	8	1 con Huelva
					1 con Málaga
					3 con Cádiz
					3 con Córdoba
Total	785	378	37	16	

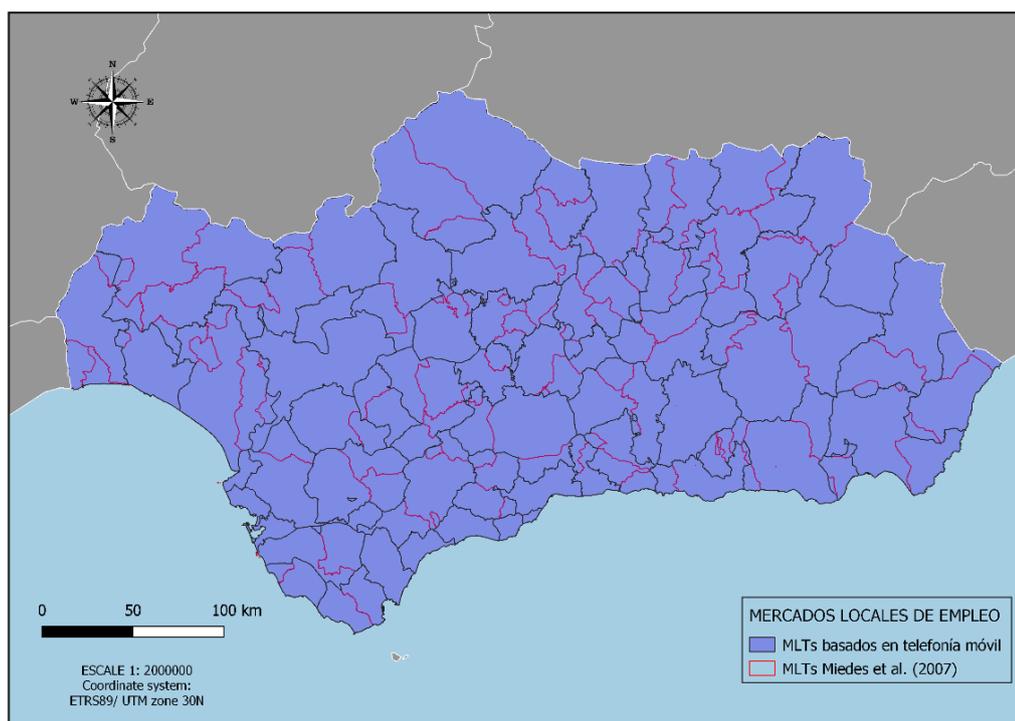
Fuente: Elaboración propia.

La provincia de Cádiz, pese a ser la provincia con un menor número de municipios reagrupados de partida, es también la provincia con un mayor número de MLTs uniprovinciales (9) debido a su mayor densidad demográfica e industrialización. Le sigue Málaga, con un total de 7 MLTs internos. En el resto de provincias el número de MLTs internos es muy similar (entre 3 y 4). Donde si se observan diferencias es en el número de MLTs pluriprovinciales. Así, mientras que en Sevilla y Córdoba el número de MLTs pluriprovinciales duplica el número de MLTs internos, en las provincias de Almería y Huelva tan sólo se identifica 1 MLT pluriprovincial que comparte territorio con Sevilla y con Granada, respectivamente.

Como se indicaba en la revisión de los trabajos de identificación de MLTs realizada en la segunda sección, el trabajo de Miedes *et al.* (2007) ya identificaba los MLTs existentes en Andalucía. No obstante, en él se empleaba una fuente de datos distinta (el censo de población y vivienda de 2001), y, aunque la metodología de partida es la misma (el algoritmo TTWA), se tomaba el municipio de mayor tamaño como centro para realizar las agrupaciones en lugar de utilizar un indicador de cohesión. La Figura 3 compara los MLTs obtenidos en este trabajo con los identificados en el trabajo de Miedes *et al.* (2007). Como puede observarse, el número de MLTs obtenidos en base

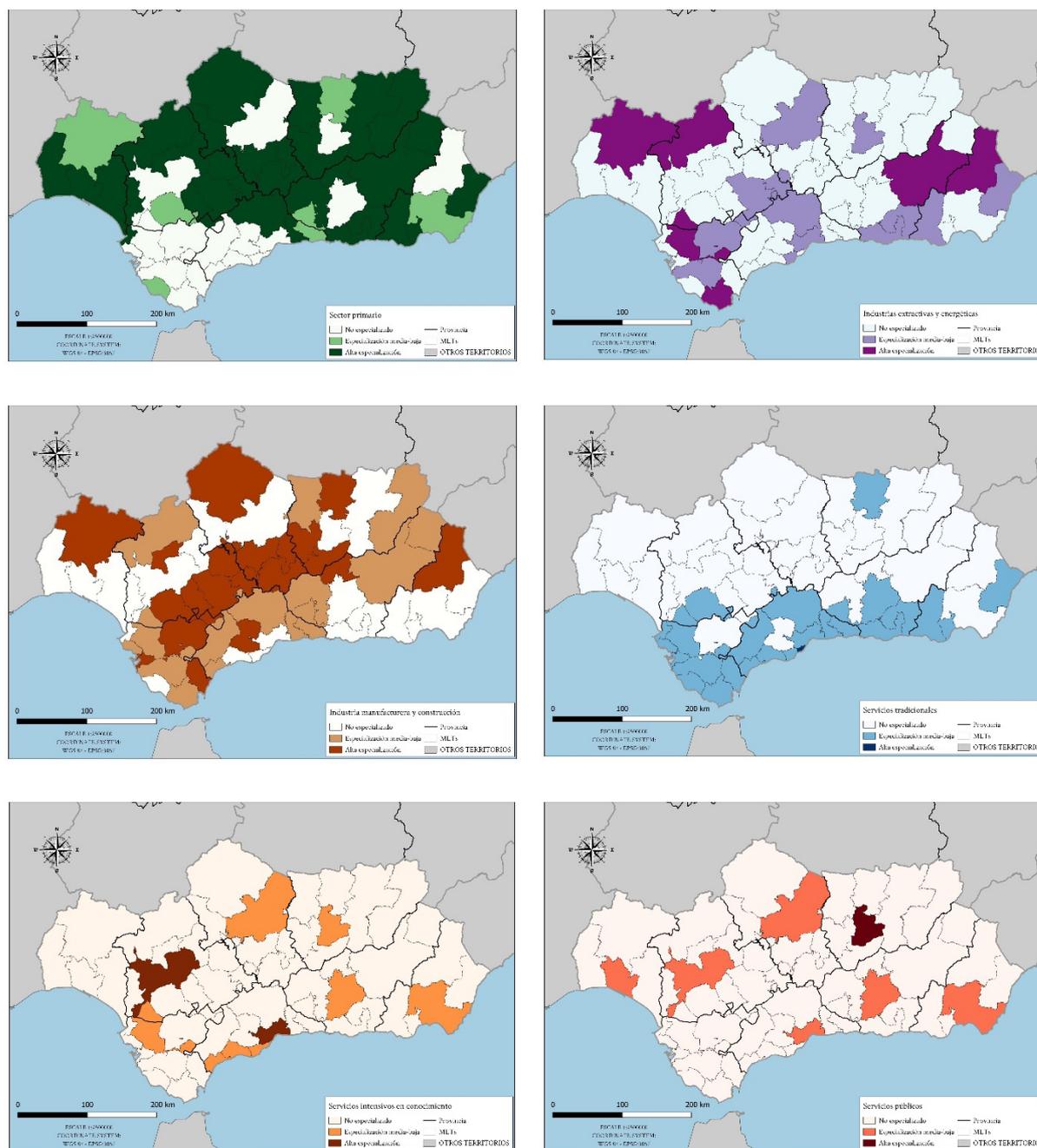
a los datos de posicionamiento de telefonía móvil es más reducido que el obtenido empleando datos del censo de población (53 frente 70). Como resultado, el tamaño medio de los MLTs en términos de población difiere en ambos trabajos. Así, si tomamos la población residente en 2019 y los territorios que conforman los distintos MLTs, el tamaño medio de los 70 MLTs identificados por Miedes *et al.* (2007) sería de 119.863 personas mientras el tamaño medio de los MLTs identificados en este trabajo es de 158.759 personas. Cabe destacar, asimismo, que la metodología empleada en este trabajo proporciona MLTs más homogéneos en términos de tamaño, al ser la población mínima superior a las 55.000 personas en el MLT más pequeño identificado frente a las 17.754 personas del MLT más pequeño en el trabajo de Miedes *et al.* (2007).

Figura 3. Comparación con los MLTs identificados en Miedes *et al.* (2007).



La delimitación de áreas funcionales como son los MLTs son un paso previo para el diseño y la implementación de políticas de desarrollo basadas en el lugar. En este sentido es fundamental tomar en consideración los rasgos característicos de los diferentes MLTs. Por ello que, una vez identificados los MLTs andaluces, analizamos la especialización productiva de los mismos calculando, en primer lugar, el índice de especialización descrito en la sección anterior. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4.

Figura 4. Índices de especialización de los MLTs de Andalucía.



Como puede observarse, la mayor parte de los MLTs están especializados en el sector primario (un total de 33). El número de MLTs especializados en la industria manufacturera y la construcción también es elevado: 32. En el extremo opuesto nos encontramos con aquellos MLTs especializados en servicios públicos y en servicios intensivos en conocimiento, donde el número de MLTs se reduce a 8 y 11, respectivamente. Como se observa en la Figura 4, no existe una correspondencia directa entre especialización sectorial y MLTs, sino que la práctica totalidad de las MLTs están especializadas en diferentes actividades productivas de forma simultánea. En aras a identificar los patrones de especialización productiva de los MLTs de Andalucía, llevamos a cabo un análisis clúster partiendo de los índices de especialización calculados con anterioridad. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4, que recoge tanto los centros de los clústeres finales como el número de MLTs que integran cada clúster.

Tabla 4. Patrones de especialización productiva de los MLTs andaluces.

	PATRÓN 1	PATRÓN 2	PATRÓN 3	PATRÓN 4	PATRÓN 5
IE sector primario	1.85	1.40	0.44	0.50	3.43
IE industrias extractivas y energéticas	1.09	8.68	0.98	0.87	0.67
IE manufacturas y construcción	1.64	1.52	0.69	1.30	1.01
IE servicios tradicionales	0.91	0.83	0.89	1.27	0.87
IE servicios intensivos en conocimiento	0.48	0.40	1.21	0.82	0.42
IE servicios públicos	0.69	0.74	1.53	0.66	0.51
Número de MLTs	20	1	7	15	10

Legenda: Patrón 1: Sector agrario y manufacturero, Patrón 2: Industria extractiva y energética, Patrón 3: Servicios públicos e intensivos en conocimiento, Patrón 4: Construcción y servicios tradicionales, Patrón 5: Sector agrario.

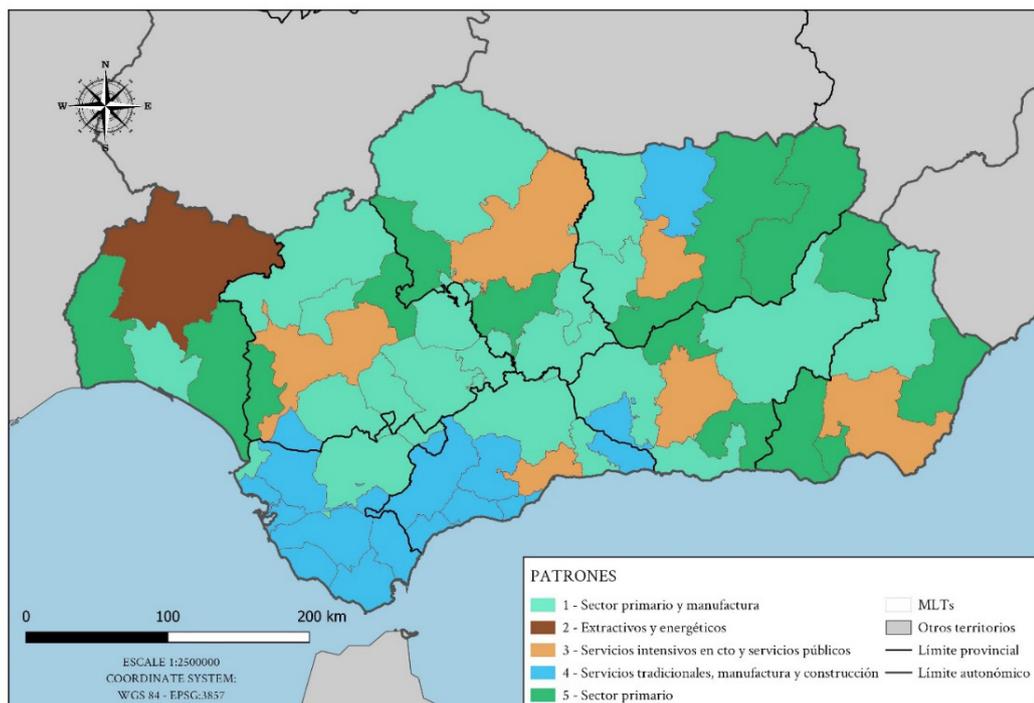
Fuente: Elaboración propia.

En total podemos identificar cinco grandes grupos o patrones de especialización productiva: MLTs especializados en el sector agrario y manufacturero (20), un MLT altamente especializado en la industria extractiva y energética, MLTs especializados en servicios públicos y servicios intensivos en conocimiento (7), MLTs especializados en manufacturas, construcción y servicios tradicionales (15) y MLTs especializados en el sector primario (10).

Con objeto de profundizar en los rasgos y características de los diferentes grupos de MLTs, la Figura 5 muestra la distribución territorial de dichos grupos.

La importancia del sector agroindustrial en Andalucía se refleja en el hecho de que el grupo más numeroso, es, con diferencia, el primero, integrado por MLTs altamente especializados tanto en el sector primario como en las manufacturas. Así, forman parte de este grupo MLTs situados fundamentalmente en áreas de interior, liderado por el conjunto de ciudades medias de la subbética.

Figura 5. Patrones de especialización productiva de los MLTs de Andalucía.



El segundo grupo, denominado extractivo energético, comprende principalmente los municipios vinculados a la actividad de la Faja Pirítica de Huelva. El tercer patrón engloba a la totalidad de MLTs de las capitales de provincia, con la única excepción de Huelva. Es en estos mercados donde se registra una mayor concentración tanto de servicios públicos como de servicios intensivos en conocimiento. A diferencia del segundo grupo, el cuarto grupo lo conforman MLTs donde los servicios tradicionales, esto es, el comercio, pero, sobre todo, las actividades vinculadas al turismo, junto con las manufacturas y la construcción son los motores principales del empleo.

Como era de esperar, y a diferencia de los MLTs del primer grupo, estos MLTs engloban fundamentalmente territorios costeros de las provincias gaditana y malagueña. Para concluir, el último grupo está formado por MLTs especializados en el sector primario. Dentro de este grupo se incluyen, por ejemplo, los municipios especializados en cultivos bajo plástico de las provincias de Almería y Huelva.

Si comparamos estos resultados con el de trabajos previos que examinan la especialización productiva del conjunto de las regiones españolas (Boix & Galletto, 2008, 2009; Boix *et al.*, 2019; Boix & Trullén, 2010) podemos comprobar cómo existen similitudes significativas. Así por ejemplo, el trabajo de Boix & Galletto (2008), que parte de la identificación de los MLTs en España para analizar los distritos industriales marshallianos, muestra una reducida presencia relativa de MLTs especializados en manufacturas en Andalucía (del total de 183 MLTs andaluces sólo 38 se clasifican como manufactureros). Por otro lado, si atendemos a la categorización de sistemas locales de producción (SLPs) empleada en los trabajos de Boix & Galletto (2009), Boix & Trullén (2010) y Boix *et al.* (2019), podemos comprobar cómo la distribución espacial de las 4 grandes categorías de SLPs identificados en estos trabajos: primario, construcción, manufacturas y servicios se asemeja sustancialmente a la categorización de MLTs realizada en nuestro análisis. De este modo, en línea con los resultados de este trabajo, los SLPs predominantes en la región andaluza son los primarios mientras que el número de SLPs manufactureros es relativamente reducido, siendo particularmente escasa la presencia de SLPs manufactureros caracterizados por el predominio de grandes empresas. Asimismo, la gran mayoría de los SLPs de construcción se localizan en áreas costeras. En el ámbito de los servicios, sobresalen también los SLPs de servicios que abarcan las capitales provinciales.

## 5. Conclusiones

El análisis del mercado de trabajo, al igual que de muchas otras problemáticas de índole socio-económica, requiere de la disponibilidad de información con un nivel de desagregación adecuado. Como se apuntaba en la introducción, las clasificaciones administrativas, comúnmente empleadas en la elaboración de estadísticas laborales, no reflejan en muchos casos la realidad de los territorios al emplear delimitaciones que son el resultado de acontecimientos históricos y no de la existencia de vínculos socio-económicos. Es por ello que la identificación de MLTs se convierte en una herramienta esencial para conocer la realidad laboral de los territorios y adecuar las políticas instrumentadas en favor del desarrollo de los mismos.

El objetivo de este trabajo ha sido realizar una primera aproximación al análisis de los MLTs de Andalucía empleando una fuente de información estadística novedosa: los flujos de movilidad cotidiana construidos a partir de datos de posicionamiento de telefonía móvil. Los resultados obtenidos muestran que la realidad laboral no se circunscribe a las provincias o los municipios, sino que, en bastantes ocasiones, aglutina municipios de diferentes provincias. Así, del total de

53 MLTs identificados, 16 son pluriprovinciales. Además de la identificación de MLTs, en este trabajo también se ha realizado una primera caracterización de los mismos centrada en la especialización productiva. De este modo, nos encontramos con seis grandes patrones de especialización sectorial. Un primer patrón agroindustrial, que resulta ser el más común (al menos desde el punto de vista estrictamente numérico), donde la interrelación entre sector primario y sector secundario es la principal característica diferencial. En segundo lugar, un patrón extractivo energético, que refleja la dotación de recursos minerales de la zona norte de la provincia de Huelva. El tercer patrón se corresponde con la especialización productiva de las ciudades en las economías avanzadas: servicios intensivos en conocimiento y servicios públicos. La elevada concentración de este tipo de actividades en el territorio andaluz se refleja en el hecho de que este es el patrón que integra un número más reducido de MLTs, todos ellos correspondientes a capitales de provincia. El cuarto patrón se localiza principalmente en las zonas costeras y refleja la importancia del sector turístico y de la construcción. Finalmente, nos encontramos con MLTs puramente agrarios ligados al modelo intensivo de agricultura bajo plástico.

En definitiva, el análisis realizado nos muestra, por un lado, la necesidad de tener en cuenta las delimitaciones funcionales a la hora de analizar cuestiones como el funcionamiento del mercado de trabajo y, por otro, que los MLTs muestran, en muchos casos, rasgos compartidos, lo que permitiría implementar iniciativas compartidas en ellos. No obstante, este trabajo es tan sólo un paso previo en el mejor conocimiento del funcionamiento de los MLTs en Andalucía. Así, como continuación de esta línea de investigación se pretende complementar el análisis realizado por una doble vía. En primer lugar, incorporando otras variables de interés como pueden ser el nivel de capital humano o la dotación de infraestructuras. Por otro lado, realizando un análisis de carácter temporal que tenga en cuenta los efectos de los cambios de ciclo económico.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a D. Pedro Antonio García López del Departamento de Estadística e Investigación Operativa por la facilitación de ideas para la mejora del algoritmo.

## Contribución de autorías

Introducción y marco teórico: Mercedes Rodríguez Molina

Metodología: Jesús Molina Belmonte y José Antonio Camacho Ballesta.

Resultados y discusión: Mercedes Rodríguez Molina, José Antonio Camacho Ballesta y Jesús Molina Belmonte.

Conclusiones: Mercedes Rodríguez Molina, José Antonio Camacho Ballesta y Jesús Molina Belmonte.

## Financiación

Los autores agradecen el apoyo del proyecto “Políticas activas de empleo y heterogeneidad en el mercado laboral: una aproximación a través del Trabajo Local”. Mercados en Andalucía” [PRY184/19] financiado por la Fundación Pública Andaluza Centro de Estudios Andaluces.

## Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Ahas, R., Aasa, A., Mark, Ü., Pae, T., & Kull, A. (2007). Seasonal tourism spaces in Estonia: Case study with mobile positioning data. *Tourism Management*, 28(3), 898–910. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2006.05.010>

- Ahas, R., Aasa, A., Roose, A., Mark, Ü., & Silm, S. (2008). Evaluating passive mobile positioning data for tourism surveys: An Estonian case study. *Tourism Management*, 29(3), 469–486. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2007.05.014>
- Albert, J., Casado-Díaz, J. M., & Simón, H. (2019). The commuting behaviour of self-employed workers: Evidence for Spain. *Papers in Regional Science*, 98(6), 2455–2477. <https://doi.org/10.1111/pirs.12469>
- Alonso, W. (2013). Location and Land Use. In *Location and Land Use*. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674730854>
- Arrow, K. J. (1962). The economic implications of learning by doing. *Review of Economic Studies*, Vol. 29, pp. 155–173. <https://doi.org/10.2307/2295952>
- Barrios González, M. C., Godenau, D., & Schorn, J. (2009). Los mercados locales de trabajo y sus condiciones de accesibilidad en Tenerife. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, (49), 67–82. Retrieved from <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/775>
- Beaudry, C., & Schiffauerova, A. (2009). Who's right, Marshall or Jacobs? The localization versus urbanization debate. *Research Policy*, 38(2), 318–337. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.11.010>
- Becattini, G. (2002). Del distrito industrial marshalliano a la «teoría del distrito» contemporánea. Una breve reconstrucción crítica. *Investigaciones Regionales*, 1, 9–32.
- Becattini, G. (2017, January). The Marshallian industrial district as a socio-economic notion. *Revue d'Economie Industrielle*, Vol. 157, pp. 13–32. <https://doi.org/10.4000/rei.6507>
- Becattini, G., Bellandi, M., & de Propriis, L. (2009). *A Handbook of Industrial Districts*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Boix, R., & Galletto, V. (2008). Marshallian Industrial Districts in Spain. *Scienze Regionali*, 7(3), 29–52.
- Boix, R., & Galletto, V. (2009). Innovation and industrial districts: A first approach to the measurement and determinants of the I-district effect. *Regional Studies*, 43(9), 1117–1133. <https://doi.org/10.1080/00343400801932342>
- Boix, R., Galletto, V., & Sforzi, F. (2019). Place-based innovation in industrial districts: the long-term evolution of the iMID effect in Spain (1991–2014). *European Planning Studies*, 27(10), 1940–1958. <https://doi.org/10.1080/09654313.2019.1588861>
- Boix, R., & Trullén, J. (2010). Industrial Districts, Innovation and I-district Effect: Territory or Industrial Specialization? *European Planning Studies*, 18(10), 1707–1729. <https://doi.org/10.1080/09654313.2010.504351>
- Brown, L. A., & Holmes, J. (1971). The delimitation of functional regions, nodal regions, and hierarchies by functional distance approaches. *Journal of Regional Science*, 11(1), 57–72. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.1971.tb00240.x>
- Brown, L. A., & Horton, F. E. (1970). Functional Distance: An Operational Approach\*. *Geographical Analysis*, 2(1), 76–83. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1970.tb00146.x>
- Casado-Díaz, J. M. (2000). Local Labour Market Areas in Spain: A Case Study. *Regional Studies*, 34(9), 843–856. <https://doi.org/10.1080/00343400020002976>
- Casado-Díaz, J. M. (2007). The use of commuting data to define local labour market areas and urban areas in Spain. *Paper Prepared for the 7th NECTAR Conference 'A New Millennium. Are Things The Same? Innovation, Sustainability and Efficiency in Communication and Transportation Systems'*, Umea University, Umea (Sweden). June 13-15, 2003. Retrieved from <http://iei.ua.es/commuting>
- Casado-Díaz, José M, & Coombes, M. (2011). The deliniation of 21st century local labour market areas: a critical review and a research agenda. In *bage.age-geografia.es*.
- Casado-Díaz, José Manuel, Martínez Bernabeu, L., & Flórez Revuelta, F. (2010). Los mercados locales de trabajo españoles. Una aplicación del nuevo procedimiento británico. In J. M. Albertos & J. M. Fera (Eds.), *La ciudad metropolitana en España: procesos urbanos en los inicios del siglo XXI*. (pp. 275–313). Madrid: Thomson-Civitas.
- Casado Díaz, J. M., Martínez Bernabeu, L., & Flórez Revuelta, F. (2010). Los mercados locales de trabajo españoles. Una aplicación del nuevo procedimiento británico. In *La ciudad metropolitana en España: procesos urbanos en los inicios del siglo XXI*.
- Christaller, W. (1933). *Die zentralen Orte in Süddeutschland: eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmässigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen*. University Microfilms.
- Colby, C. C. (1933). Centrifugal and Centripetal Forces in Urban Geography. *Annals of the Association of American Geographers*, 23(1), 1–20. <https://doi.org/10.1080/00045603309357110>
- Coombes, M., & Bond, S. (2008). *Travel-to-Work Areas: the 2007 review* (O. for N. Statistics, Ed.). London.

- Coombes, M. G., & Openshaw, S. (1982). The Use and Definition of Travel-to-Work Areas in Great Britain: Some Comments. *Regional Studies*, 16(2), 141–149. <https://doi.org/10.1080/09595238200185161>
- Cuadrado-Roura, J. R., & Maroto-Sánchez, A. (2012). Análisis del proceso de especialización regional en servicios en España. *EURE (Santiago)*, 38(114), 5–34.
- de Groot, H. L. F., Poot, J., & Smit, M. J. (2016). Which agglomeration externalities matter most and why? *Journal of Economic Surveys*, 30(4), 756–782. <https://doi.org/10.1111/joes.12112>
- De Propriis, L. (2005). Mapping local production systems in the UK: Methodology and application. *Regional Studies*, 39(2), 197–211. <https://doi.org/10.1080/003434005200059983>
- Dickinson, R. E. (1930). The regional functions and zones of influence of Leeds and Bradford. *Geography: Journal of the Geographical Association*, 15(89), 548.
- Dijkstra, L., Poelman, H., & Veneri, P. (2019). The EU-OECD definition of a functional urban area. *OECD Regional Development Working Papers*, 11/2019. <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1787/d58cb34d-en>
- Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. (2011). *Cluster Analysis, 5th Edition*. Retrieved from <https://www.wiley.com/en-us/Cluster+Analysis%2C+5th+Edition-p-9780470749913>
- Franconi, L., Ichim, D., & D'Aló, M. (2017). Labour Market Areas for territorial policies: Tools for a European approach. *Statistical Journal of the IAOS*, 33(3), 585–591.
- Glaeser, E. L., Kallal, H. D., Scheinkman, J. A., & Shleifer, A. (1992). Growth in cities. *Journal of Political Economy*, 100(6), 1126–1152.
- Henderson, V., Kuncoro, A., & Turner, M. (1995). Industrial development in cities. *Journal of Political Economy*, 103(5), 1067–1090.
- Holmes, J. H., & Haggett, P. (1977). Graph Theory Interpretation of Flow Matrices: A Note on Maximization Procedures for Identifying Significant Links. *Geographical Analysis*, 9(4), 388–399. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1977.tb00591.x>
- INE. (2009). CNAE 2009. *Clasificación Nacional de Actividades Económicas*.
- Isard, W. (1949). The general theory of location and space-economy. *Quarterly Journal of Economics*, 63(4), 476–506.
- Jacobs, J. (1969). *The economy of cities* (Penguin Ra).
- Kemeny, T., & Storper, M. (2015). Is Specialization Good for Regional Economic Development? *Regional Studies*, 49(6), 1003–1018. <https://doi.org/10.1080/00343404.2014.899691>
- Klapka, P., & Halás, M. (2016). Conceptualising patterns of spatial flows: Five decades of advances in the definition and use of functional regions. *Moravian Geographical Reports*, 24(2), 2–11. <https://doi.org/10.1515/mgr-2016-0006>
- Kropp, P., & Schwengler, B. (2016). Three-Step Method for Delineating Functional Labour Market Regions. *Regional Studies*, 50(3), 429–445. <https://doi.org/10.1080/00343404.2014.923093>
- Krugman, P. R. (1991). *Geography and trade*. MIT press.
- Losch, A. (1954). *Economics of location*. Yale University Press.
- Manzanares Gutiérrez, Á., Sánchez López, C., José, P., & Perea, R. (2016). Análisis de la coherencia en los mercados locales de trabajo de la provincia de Huelva. *Revista de Estudios Regionales*, 107, 177–205.
- Marshall, A. (1890). *Principles of Economics* (MacMillan, Ed.). Londres: Harrison and Sons.
- Marshall, A., & Marshall, M. P. (1920). *The economics of industry*. Macmillan and Company.
- Masser, I., & Brown, P. J. B. (1975). Hierarchical Aggregation Procedures for Interaction Data. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 7(5), 509–523. <https://doi.org/10.1068/a070509>
- Melguizo, C., & Royuela, V. (2020). What drives migration moves to urban areas in Spain? Evidence from the Great Recession. *Regional Studies*, 54(12), 1680–1693. <https://doi.org/10.1080/00343404.2020.1747606>
- Miedes, B.; Moreno, A. J.; Sánchez, C.; Pérez, G. (2007). Determinación y análisis de los Mercados Laborales Locales de Andalucía. *Observatorio local de empleo*. Huelva.
- Mohíno, I., Solís, E., & Urena, J. M. (2017). Changing commuting patterns in rural metro-adjacent regions: the case of Castilla-La Mancha in the context of Madrid, Spain. *Regional Studies*, 51(7), 1115–1130. <https://doi.org/10.1080/00343404.2016.1156238>
- Moreno-Monroy, A. I., Schiavina, M., & Veneri, P. (2020). Metropolitan areas in the world. Delineation and population trends. *Journal of Urban Economics*, 103242. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2020.103242>

- Novak, J., Ahas, R., Aasa, A., & Silm, S. (2013). Application of mobile phone location data in mapping of commuting patterns and functional regionalization: A pilot study of Estonia. *Journal of Maps*, 9(1), 10–15. <https://doi.org/10.1080/17445647.2012.762331>
- Nystuen, J. D., & Dacey, M. F. (1961). A graph theory interpretation of nodal regions. *Papers of the Regional Science Association*, 7(1), 29–42. <https://doi.org/10.1007/BF01969070>
- OECD. (2020). *Delineating Functional Areas in All Territories*. <https://doi.org/10.1787/07970966-en>
- Romaní, J., Surinach, J., & Artís, M. (2003). Are commuting and residential mobility decisions simultaneous?: The case of Catalonia, Spain. *Regional Studies*, 37(8), 813–826. <https://doi.org/10.1080/0034340032000128730>
- Romer, P. M. (1986). Increasing returns and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002–1037.
- Salom Carrasco, J., & Casado-Díaz, J. M. (2007). Movilidad cotidiana y mercados locales de trabajo en la Comunidad Valenciana, 1991-2001. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 44, 5–28. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2519001>
- Simón, H., Casado-Díaz, J. M., & Lillo-Bañuls, A. (2020). Exploring the effects of commuting on workers' satisfaction: evidence for Spain. *Regional Studies*, 54(4), 550–562. <https://doi.org/10.1080/00343404.2018.1542128>
- Smart, M. W. (1974). Labour market areas: Uses and definition. *Progress in Planning*, 2(C), 239–353. [https://doi.org/10.1016/0305-9006\(74\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0305-9006(74)90008-7)
- Soares, E., Figueiredo, R., & Vala, F. (2017). Defining Labour Market Areas and its relevance from a statistical perspective: The Portuguese case. *Statistical Journal of the IAOS*, 33(3), 615–625. <https://doi.org/10.3233/SJI-170381>
- Susino, J. (2015). Los censos de población en el análisis de los mercados locales de trabajo. *Índice: Revista de Estadística y Sociedad*, (62), 28–32. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4983411>
- Susino, J., Casado-Díaz, J. M., & Feria, J. M. (2007). Transformaciones sociales y territoriales en el incremento de la movilidad por razón de trabajo en Andalucía. *Cuadernos de Geografía de La Universitat de València*, 81–82, 71–92. Retrieved from [https://redib.org/Record/oai\\_articulo3069802-transformaciones-sociales-y-territoriales-en-el-incremento-de-la-movilidad-por-razon-de-trabajo-en-andalucia](https://redib.org/Record/oai_articulo3069802-transformaciones-sociales-y-territoriales-en-el-incremento-de-la-movilidad-por-razon-de-trabajo-en-andalucia)
- Traistaru, I., Nijkamp, P., & Longhi, S. (2002). *A Service of zbw Regional specialization and concentration of industrial activity in accession countries*. Bonn: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Zentrum für Europäische Integrationsforschung (ZEI).
- Von Thünen, J. H. (1910). *Der isolierte staat in beziehung auf landwirtschaft und nationalökonomie* (Vol. 13). G Fischer.
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236–244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>
- Weber, A. (1929). *Theory of the Location of Industries*. University of Chicago Press.

**Anexo 1. Detalle de MLTs y municipios incluidos**

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
17	Almería Área Metropolitana	195775	33	4005	Alboloduy
				4009	Alcudia de Monteagud
				4010	Alhabia
				4012	Alicún
				4013	Almería (capital)
				4015	Alsodux
				4024	Benahadux
				4026	Benitagla
				4027	Benizalón
				4028	Bentarique
				4032	Carboneras
				4033	Castro de Filabres
				4036	Chercos
				4047	Gádor
				4050	Gérgal
				4051	Huécija
				4052	Huércal de Almería
				4054	Íllar
				4055	Instinción
				4065	Nacimiento
				4066	Níjar
				4068	Olula de Castro
				4074	Pechina
				4077	Rágol
				4078	Rioja
				4080	Santa Cruz de Marchena
				4081	Santa Fe de Mondújar
				4082	Senés
				4088	Tabernas
				4090	Tahal
				4094	Turrillas
				4097	Veleftique
				4101	Viator

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
28	Alto Almazora y los Vélez	43881	30	4004	Albanchez
				4006	Albox
				4008	Alcántar
				4017	Arboleas
				4018	Armuña de Almazora
				4019	Bacares
				4021	Bayarque
				4031	Cantoria
				4034	Cóbdar
				4037	Chirivel
				4044	Fines
				4056	Laroya
				4058	Líjar
				4061	Lúcar
				4062	Macael
				4063	María
				4069	Olula del Río
				4070	Oria
				4072	Partaloa
				4076	Purchena
4083	Serón				
4084	Sierro				
4085	Somontín				
4087	Sufí				
4089	Taberno				
4092	Tíjola				
4096	Urrácal				
4098	Vélez-Blanco				
4099	Vélez-Rubio				
4103	Zurgena				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
31	Levante Almeriense	60665	14	4016	Antas
				4022	Bédar
				4035	Cuevas del Almanzora
				4048	Gallardos (Los)
				4049	Garrucha
				4053	Huércal-Overa
				4059	Lubrín
				4060	Lucainena de las Torres
				4064	Mojácar
				4075	Pulpí
				4086	Sorbas
				4093	Turre
				4095	Uleila del Campo
4100	Vera				
35	Roquetas y Otros	92560	7	4011	Alhama de Almería
				4041	Enix
				4043	Felix
				4079	Roquetas de Mar
				4091	Terque
				4102	Vícar
				4903	Mojonera (La)

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
36	Poniente Almeriense y Alpujarras	116062	40	4001	Abla
				4002	Abrucena
				4003	Adra
				4007	Alcolea
				4014	Almócita
				4020	Bayárcal
				4023	Beires
				4029	Berja
				4030	Canjáyar
				4038	Dalías
				4045	Fiñana
				4046	Fondón
				4057	Láujar de Andarax
				4067	Ohanes
				4071	Padules
				4073	Paterna del Río
				4901	Tres Villas (Las)
				4902	Ejido (El)
				4904	Balanegra
				18004	Albondón
				18006	Albuñol
				18030	Bérchules
				18032	Bubión
				18035	Cádiar
				18040	Cáñar
				18042	Capileira
				18043	Carataunas
				18116	Lanjarón
				18141	Murtas
				18147	Órgiva
				18151	Pampaneira
				18163	Pórtugos
18176	Soportújar				
18180	Trevélez				
18181	Turón				
18182	Ugíjar				
18183	Válor				
18901	Taha (La)				
18903	Nevada				
18904	Alpujarra de la Sierra				
37	Cádiz	81331	1	11012	Cádiz (capital)

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
38	San Fernando y Puerto Real	97568	2	11028	Puerto Real
				11031	San Fernando
40	Rota y el Puerto de Santa María	79394	2	11027	Puerto de Santa María (El)
				11030	Rota
43	Chipiona y Sanlúcar de Barrameda	58692	2	11016	Chipiona
				11032	Sanlúcar de Barrameda
45	Jerez de la Frontera y Otros	176326	4	11020	Jerez de la Frontera
				11037	Trebujena
				41053	Lebrija
				41903	Cuervo de Sevilla (El)
46	Sierra de Cádiz	67709	16	11003	Algar
				11005	Algodonales
				11006	Arcos de la Frontera
				11009	Benaocaz
				11010	Bornos
				11011	Bosque (El)
				11017	Espera
				11018	Gastor (El)
				11019	Grazalema
				11025	Paterna de Rivera
				11026	Prado del Rey
				11038	Ubrique
				11040	Villaluenga del Rosario
				11041	Villamartín
11042	Zahara				
11902	San José del Valle				
62	Chiclana de la Frontera y Otros	73920	4	11001	Alcalá de los Gazules
				11015	Chiclana de la Frontera
				11023	Medina Sidonia
				11901	Benalup-Casas Viejas
63	Barbate y Otros	37060	3	11007	Barbate
				11014	Conil de la Frontera
				11039	Vejer de la Frontera
67	Algeciras y Otros	112232	3	11004	Algeciras
				11008	Barrios (Los)
				11035	Tarifa
70	Línea de la Concepción y Otros	75595	5	11013	Castellar de la Frontera
				11021	Jimena de la Frontera
				11022	Línea de la Concepción (La)
				11033	San Roque
				11903	San Martín del Tesorillo

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
72	Córdoba Area Metropolitana	241229	13	14001	Adamuz
				14005	Almodóvar del Río
				14012	Bujalance
				14014	Cañete de las Torres
				14016	Cardeña
				14018	Carpio (El)
				14021	Córdoba (capital)
				14033	Guadalcazar
				14043	Montoro
				14047	Obejo
				14050	Pedro Abad
				14065	Victoria (La)
				14067	Villafranca de Córdoba
80	Campiña Sur Cordobesa	55041	12	14002	Aguilar de la Frontera
				14019	Castro del Río
				14025	Espejo
				14027	Fernán-Núñez
				14040	Montalbán de Córdoba
				14041	Montemayor
				14042	Montilla
				14046	Nueva Carteya
				14057	Rambla (La)
				14059	San Sebastián de los Ballesteros
				14060	Santaella
100	Subbética Cordobesa	86468	16	14004	Almedinilla
				14010	Benamejí
				14013	Cabra
				14022	Doña Mencía
				14024	Encinas Reales
				14031	Fuente-Tójar
				14037	Iznájar
				14038	Lucena
				14044	Monturque
				14045	Moriles
				14048	Palenciana
				14055	Priego de Córdoba
				14058	Rute
14075	Zuheros				
29047	Cuevas Bajas				
29049	Cuevas de San Marcos				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
103	Medio Guadalquivir	49168	9	14036	Hornachuelos
				14049	Palma del Río
				14053	Posadas
				41006	Alcolea del Río
				41022	Campana (La)
				41042	Fuentes de Andalucía
				41055	Lora del Río
				41074	Peñaflor
				41078	Puebla de los Infantes (La)
105	Los Pedroches y Valle del Alto Guadiato	53131	26	14003	Alcaracejos
				14006	Añora
				14008	Belalcázar
				14009	Belmez
				14011	Blázquez (Los)
				14020	Conquista
				14023	Dos Torres
				14026	Espiel
				14028	Fuente la Lancha
				14029	Fuente Obejuna
				14032	Granjuela (La)
				14034	Guijo (El)
				14035	Hinojosa del Duque
				14051	Pedroche
				14052	Peñarroya-Pueblonuevo
				14054	Pozoblanco
				14061	Santa Eufemia
				14062	Torrecampo
				14064	Valsequillo
				14068	Villaharta
14069	Villanueva de Córdoba				
14070	Villanueva del Duque				
14071	Villanueva del Rey				
14072	Villaralto				
14073	Villaviciosa de Córdoba				
14074	Viso (El)				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
142	Granada Area Metropolitana	344390	43	18003	Albolote
				18007	Albuñuelas
				18011	Alfacar
				18014	Alhendín
				18021	Armillá
				18022	Atarfe
				18024	Beas de Granada
				18036	Cájar
				18037	Calicasas
				18047	Cenes de la Vega
				18050	Cogollos de la Vega
				18057	Cúllar Vega
				18062	Churriana de la Vega
				18066	Deifontes
				18068	Dílar
				18070	Dúdar
				18071	Dúrcal
				18084	Gójar
				18087	Granada (capital)
				18094	Güéjar Sierra
				18095	Güevéjar
				18099	Huétor de Santillán
				18101	Huétor Vega
				18111	Jun
				18119	Lecrín
				18126	Malahá (La)
				18127	Maracena
				18134	Monachil
				18143	Nigüelas
				18144	Nívar
18145	Ogíjares				
18149	Villa de Otura				
18150	Padul				
18153	Peligros				
18157	Pinos Genil				
18165	Pulianas				
18168	Quéntar				
18189	Víznar				
18193	Zubia (La)				
18902	Valle (El)				
18905	Gabias (Las)				
18908	Villamena				
18911	Vegas del Genil				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
152	Poniente Granadino	67617	25	18001	Agrón
				18012	Algarinejo
				18020	Arenas del Rey
				18034	Cacín
				18048	Cijuela
				18059	Chauchina
				18061	Chimeneas
				18072	Escúzar
				18077	Fornes
				18079	Fuente Vaqueros
				18100	Huétor Tájar
				18102	Íllora
				18106	Játar
				18107	Jayena
				18115	Láchar
				18122	Loja
				18135	Montefrío
				18138	Moraleda de Zafayona
18158	Pinos Puente				
18171	Salar				
18175	Santa Fe				
18185	Ventas de Huelma				
18188	Villanueva Mesía				
18913	Zagra				
18914	Valderrubio				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
155	Guadix y Altiplano de Granada	60100	45	18002	Alamedilla
				18005	Albuñán
				18010	Aldeire
				18015	Alicún de Ortega
				18018	Alquife
				18023	Baza
				18025	Beas de Guadix
				18027	Benalúa
				18029	Benamaurel
				18039	Caniles
				18046	Castril
				18049	Cogollos de Guadix
				18053	Cortes de Baza
				18054	Cortes y Graena
				18056	Cúllar
				18063	Darro
				18064	Dehesas de Guadix
				18067	Diezma
				18069	Dólar
				18074	Ferreira
				18076	Fonelas
				18078	Freila
				18083	Gobernador
				18085	Gor
				18086	Gorafe
				18088	Guadahortuna
				18089	Guadix
				18096	Huélago
				18097	Huéneja
				18108	Jérez del Marquesado
				18114	Calahorra (La)
				18117	Lanteira
18123	Lugros				
18128	Marchal				
18152	Pedro Martínez				
18154	Peza (La)				
18159	Píñar				
18161	Polícar				
18167	Purullena				
18178	Torre-Cardela				
18187	Villanueva de las Torres				
18194	Zújar				
18907	Valle del Zalabí				
18909	Morelábor				
				18912	Cuevas del Campo

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
173	Costa Granada	79054	23	18016	Almegíjar
				18017	Almuñécar
				18033	Busquístar
				18044	Cástaras
				18093	Gualchos
				18103	Ítrabo
				18109	Jete
				18112	Juviles
				18120	Lentegí
				18121	Lobras
				18124	Lújar
				18133	Molvízar
				18140	Motril
				18148	Otívar
				18162	Polopos
				18170	Rubite
				18173	Salobreña
				18177	Sorvilán
18179	Torvizcón				
18184	Vélez de Benaudalla				
18906	Guájares (Los)				
18910	Pinar (El)				
18916	Torreueva Costa				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
194	Condado de Huelva	76814	21	21005	Almonte
				21012	Berrocal
				21013	Bollullos Par del Condado
				21030	Chucena
				21032	Escacena del Campo
				21040	Hinojos
				21047	Manzanilla
				21053	Niebla
				21054	Palma del Condado (La)
				21056	Paterna del Campo
				21061	Rociana del Condado
				21074	Villalba del Alcor
				21077	Villarrasa
				41012	Aznalcázar
				41015	Benacazón
				41025	Carrión de los Céspedes
				41030	Castilleja del Campo
				41051	Huévar del Aljarafe
41075	Pilas				
41097	Villamanrique de la Condesa				
41902	Isla Mayor				
199	Huelva Area Metropolitana	177288	11	21002	Aljaraque
				21014	Bonares
				21035	Gibraleón
				21041	Huelva (capital)
				21046	Lucena del Puerto
				21050	Moguer
				21055	Palos de la Frontera
				21060	Punta Umbría
				21063	San Bartolomé de la Torre
				21064	San Juan del Puerto
21070	Trigueros				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
201	Costa Occidental de Huelva	68976	13	21003	Almendro (El)
				21010	Ayamonte
				21021	Cartaya
				21037	Granado (El)
				21042	Isla Cristina
				21044	Lepe
				21057	Paymogo
				21058	Puebla de Guzmán
				21065	Sanlúcar de Gadiana
				21066	San Silvestre de Guzmán
				21068	Santa Bárbara de Casa
				21073	Villablanca
				21076	Villanueva de los Castillejos

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
207	Faja Pirítica	54317	43	21001	Alájar
				21004	Almonaster la Real
				21006	Alosno
				21007	Aracena
				21008	Aroche
				21009	Arroyomolinos de León
				21011	Beas
				21015	Cabezas Rubias
				21016	Cala
				21017	Calañas
				21018	Campillo (El)
				21019	Campofrío
				21020	Cañaverale de León
				21022	Castaño del Robledo
				21023	Cerro de Andévalo (El)
				21024	Corteconcepción
				21025	Cortegana
				21026	Cortelazor
				21027	Cumbres de Enmedio
				21028	Cumbres de San Bartolomé
				21029	Cumbres Mayores
				21031	Encinasola
				21033	Fuenteheridos
				21034	Galaroza
				21036	Granada de Río-Tinto (La)
				21038	Higuera de la Sierra
				21039	Hinojales
				21043	Jabugo
				21045	Linares de la Sierra
				21048	Marines (Los)
21049	Minas de Riotinto				
21051	Nava (La)				
21052	Nerva				
21059	Puerto Moral				
21062	Rosal de la Frontera				
21067	Santa Ana la Real				
21069	Santa Olalla del Cala				
21071	Valdelarco				
21072	Valverde del Camino				
21075	Villanueva de las Cruces				
21078	Zalamea la Real				
21079	Zufre				
21902	Zarza-Perrunal (La)				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
210	Linares y Otros	73459	12	23010	Bailén
				23011	Baños de la Encina
				23014	Begíjar
				23021	Carboneros
				23024	Carolina (La)
				23039	Guarromán
				23046	Ibros
				23055	Linares
				23057	Lupión
				23076	Santa Elena
				23085	Torreblascopedro
				23094	Vilches
229	Sierras de Cazorla y Segura	46594	28	18045	Castilléjar
				18082	Galera
				18098	Huéscar
				18146	Orce
				18164	Puebla de Don Fadrique
				23012	Beas de Segura
				23016	Benatae
				23028	Cazorla
				23030	Chilluévar
				23037	Génave
				23042	Hinojares
				23043	Hornos
				23045	Huesa
				23047	Iruela (La)
				23054	Larva
				23065	Orcera
				23066	Peal de Becerro
				23070	Pozo Alcón
				23071	Puente de Génave
				23072	Puerta de Segura (La)
23073	Quesada				
23080	Santo Tomás				
23081	Segura de la Sierra				
23082	Siles				
23091	Torres de Albánchez				
23101	Villarodrigo				
23904	Santiago-Pontones				
23905	Arroyo del Ojanco				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
238	Campiña Olivarera	69559	13	14007	Baena
				14015	Carcabuey
				14039	Luque
				14063	Valenzuela
				23003	Alcaudete
				23035	Fuerte del Rey
				23041	Higuera de Calatrava
				23051	Jamilena
				23060	Martos
				23069	Porcuna
				23077	Santiago de Calatrava
				23086	Torredelcampo
				23087	Torredonjimeno
239	Jaén Area Metropolitana	109572	10	23038	Guardia de Jaén (La)
				23049	Jabalquinto
				23050	Jaén (capital)
				23052	Jimena
				23058	Mancha Real
				23061	Mengíbar
				23067	Pegalajar
				23090	Torres
				23099	Villares (Los)
				23903	Villatorres
240	Sierra Sur Jaén y Montes orientales Granada	40436	18	18028	Benalúa de las Villas
				18038	Campotéjar
				18051	Colomera
				18065	Dehesas Viejas
				18105	Iznalloz
				18132	Moclín
				18136	Montejícar
				18137	Montillana
				18915	Domingo Pérez de Granada
				23002	Alcalá la Real
				23018	Cambil
				23019	Campillo de Arenas
				23026	Castillo de Locubín
				23033	Frailes
				23034	Fuensanta de Martos
23064	Noalejo				
23093	Valdepeñas de Jaén				
23901	Cárcheles				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
242	Campiña Norte Jaén	49890	12	14066	Villa del Río
				23005	Andújar
				23006	Arjona
				23007	Arjonilla
				23027	Cazalilla
				23031	Escañuela
				23032	Espeluy
				23040	Lahiguera
				23056	Lopera
				23059	Marmolejo
				23096	Villanueva de la Reina
				23098	Villardompardo
252	La Loma y Sierra Magina	89937	23	23001	Albanchez de Mágina
				23004	Aldeaquemada
				23008	Arquillos
				23009	Baeza
				23015	Bélmez de la Moraleda
				23017	Cabra del Santo Cristo
				23020	Canena
				23025	Castellar
				23029	Chiclana de Segura
				23044	Huelma
				23048	Iznatoraf
				23053	Jódar
				23062	Montizón
				23063	Navas de San Juan
				23074	Rus
				23075	Sabiote
				23079	Santisteban del Puerto
				23084	Sorihuela del Guadalimar
23088	Torreperogil				
23092	Úbeda				
23095	Villacarrillo				
23097	Villanueva del Arzobispo				
23902	Bedmar y Garcéz				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
266	Axarquía- Occidental	64203	14	29003	Alfarnate
				29004	Alfarnatejo
				29005	Algarrobo
				29009	Almáchar
				29026	Benamargosa
				29027	Benamocarra
				29030	Borge (El)
				29044	Comares
				29050	Cútar
				29062	Iznate
				29066	Macharaviaya
				29079	Periana
				29083	Riogordo
29094	Vélez-Málaga				
274	Antequera y Otros	77075	20	29001	Alameda
				29010	Almargen
				29011	Almogía
				29015	Antequera
				29017	Archidona
				29032	Campillos
				29039	Casabermeja
				29043	Colmenar
				29055	Fuente de Piedra
				29059	Humilladero
				29072	Mollina
				29088	Sierra de Yeguas
				29089	Teba
				29093	Valle de Abdalajís
				29095	Villanueva de Algaidas
29096	Villanueva del Rosario				
29097	Villanueva del Trabuco				
29098	Villanueva de Tapia				
29902	Villanueva de la Concepción				
41072	Pedraera				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
278	Ronda y Otros	46068	28	11002	Alcalá del Valle
				11034	Setenil de las Bodegas
				29006	Algatocín
				29014	Alpandeire
				29020	Arriate
				29021	Atajate
				29022	Benadalid
				29024	Benalauría
				29028	Benaolán
				29029	Benarrabá
				29031	Burgo (El)
				29035	Cañete la Real
				29037	Cartajima
				29046	Cortes de la Frontera
				29048	Cuevas del Becerro
				29052	Faraján
				29056	Gaucín
				29057	Genalguacil
				29060	Igualeja
				29063	Jimera de Líbar
29064	Jubrique				
29065	Júzcar				
29074	Montejaque				
29077	Parauta				
29081	Pujerra				
29084	Ronda				
29903	Montecorto				
29904	Serrato				
289	Guadalhorce	54667	12	29008	Alhaurín el Grande
				29012	Álora
				29013	Alozaina
				29018	Ardales
				29036	Carratraca
				29040	Casarabonela
				29042	Coín
				29058	Guaro
				29073	Monda
				29080	Pizarra
				29090	Tolox
29100	Yunquera				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
292	Axarquía- Oriental	41048	16	18013	Alhama de Granada
				18174	Santa Cruz del Comercio
				18192	Zafarraya
				29002	Alcaucín
				29016	Árchez
				29019	Arenas
				29033	Canillas de Aceituno
				29034	Canillas de Albaida
				29045	Cómpeta
				29053	Frigiliana
				29075	Nerja
				29085	Salares
				29086	Sayalonga
				29087	Sedella
29091	Torrox				
29099	Viñuela				
295	Torremolinos y Benalmadena	87585	2	29025	Benalmádena
				29901	Torremolinos
296	Estepona y Otros	59128	3	29041	Casares
				29051	Estepona
				29068	Manilva
297	Mijas y Fuengirola	106929	2	29054	Fuengirola
				29070	Mijas
298	Marbella y Otros	107896	4	29023	Benahavís
				29061	Istán
				29069	Marbella
				29076	Ojén
301	Málaga Area Metropolitana	448559	6	29007	Alhaurín de la Torre
				29038	Cártama
				29067	Málaga (capital)
				29071	Moclinejo
				29082	Rincón de la Victoria
				29092	Totalán
311	Sierra sur (Puente Genil-Esteba)	45578	9	14056	Puente Genil
				41014	Badolatosa
				41026	Casariche
				41041	Esteba
				41050	Herrera
				41054	Lora de Esteba
				41061	Marinaleda
				41082	Roda de Andalucía (La)
				41084	Rubio (El)

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
315	Serranía Suroeste Sevillana	38032	4	41011	Arahal
				41035	Coripe
				41065	Morón de la Frontera
				41071	Paradas
316	Bajo Guadalquivir Sevillano	83885	8	11029	Puerto Serrano
				41020	Cabezas de San Juan (Las)
				41036	Coronil (El)
				41063	Molares (Los)
				41064	Montellano
				41069	Palacios y Villafranca (Los)
				41095	Utrera
				41904	Palmar de Troya (El)
331	Vega de Sevilla	76425	9	41005	Alcalá del Río
				41007	Algaba (La)
				41018	Brenes
				41019	Burguillos
				41023	Cantillana
				41081	Rinconada (La)
				41092	Tocina
				41099	Villanueva del Río y Minas
				41101	Villaverde del Río
343	Campiña Cordobesa-sevillana	47209	6	14017	Carlota (La)
				14030	Fuente Palmera
				14901	Fuente Carreteros
				41039	Écija
				41056	Luisiana (La)
				41901	Cañada Rosal

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
347	Sierra Morena, Ruta de la Plata	36451	17	41002	Alanís
				41009	Almadén de la Plata
				41013	Aznalcóllar
				41027	Castilblanco de los Arroyos
				41031	Castillo de las Guardas (El)
				41032	Cazalla de la Sierra
				41033	Constantina
				41043	Garrobo (El)
				41045	Gerena
				41048	Guadalcanal
				41049	Guillena
				41057	Madroño (El)
				41066	Navas de la Concepción (Las)
				41073	Pedroso (El)
41080	Real de la Jara (El)				
41083	Ronquillo (El)				
41088	San Nicolás del Puerto				
354	Osuna y Otros	53953	14	11024	Olvera
				11036	Torre Alháquime
				41001	Aguadulce
				41008	Algámitas
				41037	Corrales (Los)
				41046	Gilena
				41052	Lantejuela
				41060	Marchena
				41062	Martín de la Jara
				41068	Osuna
				41076	Pruna
				41077	Puebla de Cazalla (La)
41090	Saucejo (El)				
41100	Villanueva de San Juan				

COD MLT	NOMBRE	NÚM. MLT.	NÚM. MUN	COD INE	Municipio
369	Sevilla Area Metropolitana	833355	29	41003	Albaida del Aljarafe
				41004	Alcalá de Guadaíra
				41010	Almensilla
				41016	Bollullos de la Mitación
				41017	Bormujos
				41021	Camas
				41024	Carmona
				41028	Castilleja de Guzmán
				41029	Castilleja de la Cuesta
				41034	Coria del Río
				41038	Dos Hermanas
				41040	Espartinas
				41044	Gelves
				41047	Gines
				41058	Mairena del Alcor
				41059	Mairena del Aljarafe
				41067	Olivares
				41070	Palomares del Río
				41079	Puebla del Río (La)
				41085	Salteras
				41086	San Juan de Aznalfarache
				41087	Sanlúcar la Mayor
				41089	Santiponce
41091	Sevilla (capital)				
41093	Tomares				
41094	Umbrete				
41096	Valencina de la Concepción				
41098	Villanueva del Ariscal				
41102	Viso del Alcor (El)				

# Evaluación de la vulnerabilidad del medio humano ante la contaminación de las aguas en la masa de agua subterránea de Gallocanta (Aragón, España)

## Mapping assessment of social vulnerability to groundwater pollution at the Gallocanta Groundwater Body (Aragón, Spain)

JOSÉ MARÍA ORELLANA MACÍAS<sup>1</sup>  0000-0003-2695-2766

MARÍA JESÚS PERLES ROSELLÓ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España

<sup>2</sup>Departamento de Geografía, Universidad de Málaga

### Resumen

La vulnerabilidad del medio humano ante la contaminación de los recursos hídricos está relacionada con su dependencia de las aguas subterráneas para asegurar su abastecimiento y el de sus bienes y actividades productivas. La vulnerabilidad del medio humano introduce aspectos socioeconómicos claves para valorar el posible impacto de un evento de contaminación. En este estudio se analiza y cartografía la vulnerabilidad de la masa de agua subterránea de Gallocanta (Aragón, España). El análisis de los factores de vulnerabilidad ofrece una visión pormenorizada de la situación, y permite la utilización de los mapas como herramientas de apoyo para la toma de decisiones relacionadas con la gestión del agua en la zona. Los resultados muestran que la vulnerabilidad se ha clasificado como moderada. Además, se ha puesto de manifiesto la falta de alternativas de abastecimiento, lo que multiplica la dependencia de la población de los recursos subterráneos, haciendo que su papel sea aún más importante para el suministro de agua.

Palabras clave: análisis del riesgo; vulnerabilidad social; aguas subterráneas; riesgo de contaminación; Gallocanta

#### Fechas • Dates

Recibido: 2021.07.14  
Aceptado: 2021.10.27  
Publicado: 2022.03.21

#### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

José María Orellana Macías  
[jm.orellana@igme.es](mailto:jm.orellana@igme.es)

## Abstract

Social vulnerability when facing pollution of groundwater resources is related to the population dependence on them to assure water supply. The analysis of social vulnerability includes key socio-economic factors in order to assess the potential impact of a pollution event in a certain area over population and assets. In the present study, social vulnerability of the Gallocanta Groundwater Body (Aragón, Spain) is analyzed and mapped. This analysis provides a detailed insight of the area and it allows the use of the resulting maps as supporting tools in the decision-making process, specially, related to water management. The results show that social vulnerability of the Gallocanta Groundwater Body is moderate, despite the low amount of inhabitants in the area. In addition, it has been highlighted the lack of alternative water sources, which significantly increases the population dependence of groundwater and enhances its key role as the main water supply source in the towns of the study area.

---

Keywords: risk assessment; social vulnerability; groundwater; pollution risk; Gallocanta

---

## 1. Introducción

La vulnerabilidad social o, de forma más precisa, vulnerabilidad del medio humano (Perles et al., 2004), puede definirse como la capacidad de la población y su medio (usos urbanos y rurales, actividades económicas y productivas, etc.) para afrontar un evento potencialmente peligroso, en base al nivel de exposición de la población y sus bienes, y las características de ambas para resistir y recuperarse de dicho evento.

En el caso concreto del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, la vulnerabilidad del medio humano está relacionada con la dependencia que la población y sus bienes tienen de dicho recurso, especialmente de la necesidad del suministro de agua para distintos usos productivos y de abastecimiento básico (agua potable, riego, otros usos urbanos, etc.). Dicho suministro puede verse comprometido por factores cuantitativos, es decir, cuando la cantidad de agua disponible no es suficiente para satisfacer la demanda; o bien por factores cualitativos, relacionados con la calidad del agua, que puede llegar a ser nociva para la salud. La calidad de las aguas subterráneas puede verse afectada por la presencia de contaminantes de origen químico, como, nutrientes o metales; o por la proliferación de microorganismos. Las zonas de emisión u origen de estos contaminantes se pueden considerar como fuentes potenciales del peligro, las cuales son objeto de análisis de los estudios de peligrosidad (Orellana-Macías y Perles, 2020). El tercer componente a considerar en la evaluación del riesgo de contaminación del recurso hídrico subterráneo es la vulnerabilidad intrínseca del medio acuífero y del entorno de los manantiales, condicionada esencialmente por sus características naturales, como la litología, la profundidad a la que se encuentra el acuífero, el espesor de la zona no saturada, la pendiente del terreno o la presencia de suelo. La peligrosidad del contaminante, la vulnerabilidad intrínseca natural del acuífero y vulnerabilidad del medio humano dependiente del acuífero definen, en resumen, el riesgo de contaminación de aguas subterráneas.

Tradicionalmente, la vulnerabilidad del medio humano ha sido un componente incluido en la evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. No obstante, la dificultad para cuantificar aspectos relacionadas con este tipo de vulnerabilidad, así como la complejidad para la correcta definición y parametrización de los aspectos que pueden ser incluidos como factores de vulnerabilidad social, son aspectos que dificultan su estudio. Los límites difusos de los conceptos de vulnerabilidad social o del medio humano contribuyen a dificultar la propuesta de métodos

estandarizables para su evaluación y cartografía. Durante los años finales del siglo pasado, y la primera década del siglo XXI, numerosos trabajos se centraron en la inclusión de la vulnerabilidad social dentro del estudio global del riesgo (Liverman, 1990; Dow y Downing, 1995; Cutter, 1996; Cutter et al., 2000; Delmonaco et al., 2005). Siguiendo el enfoque tradicional para la evaluación de los elementos del riesgo desde un punto de vista económico, se hace frente a la dificultad de cuantificar ciertos aspectos de la vulnerabilidad que no siempre tienen un valor material. Este aspecto otorga una nueva perspectiva al tratar de evaluar el grado de vulnerabilidad de la población ante un evento potencial de contaminación o pérdida de calidad para consumo (Massone y Sagua, 2005).

Para la evaluación del riesgo, y de los elementos que lo componen, el desarrollo y la utilización de índices que sirven para clasificar variables y comparar zonas es un método ampliamente utilizado. Massone y Sagua (2005) proponen la creación de un índice de vulnerabilidad contextual y un índice de vulnerabilidad específico, centrado en la contaminación por nitratos. Posteriormente Sagua et al., (2009) realizan una revisión de este índice con el objetivo de disminuir las variables a considerar. Perles et al., (2004) dan un paso hacia la conceptualización de la vulnerabilidad del medio humano y hacia la propuesta de indicadores para su evaluación cartográfica. Por otro lado, Vías (2005) desarrolla una propuesta metodológica completa para el análisis del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, en la que incluye una metodología específica para la vulnerabilidad del medio humano. Perles et al., (2009) aplican dicha propuesta, incluyendo una serie de variables relacionadas con la exposición de la población y la dependencia socio-económica que la población de la zona tiene de las aguas subterráneas en el territorio. En esta misma línea, Gáviria et al., (2011) proponen un índice de vulnerabilidad humana integrado por la exposición, la dependencia socioeconómica y el nivel de resiliencia de la población, mientras que Othax (2009) apuesta por un índice de vulnerabilidad socioeconómica que incluye, variables como la educación, el nivel de ingresos o la salud.

En zonas rurales, el peligro de contaminación de las aguas subterráneas suele venir dado por la presencia de fuentes difusas, como los cultivos, o también puntuales, relacionadas con actividades del sector primario y secundario, mientras que los factores asociados a la vulnerabilidad y la exposición suelen tener menos peso desde un punto de vista cuantitativo. No obstante, aunque el volumen de población expuesta en estas áreas sea menor en comparación con zonas urbanas densamente pobladas, el consumo de agua para riego y para el sector primario es alto en muchas zonas, y la dependencia de la población es, en muchos casos, mayor que en las zonas urbanas, dada la menor frecuencia de suministro alternativo.

En el caso de la masa de agua subterránea de Gallocanta, perteneciente a la cuenca hidrológica del Ebro, la sensibilidad y preocupación por la preservación del paraje natural, y su coexistencia con el entorno cultivado, frente a la contaminación por nutrientes ha centrado la atención en las cartografías de riesgo de contaminación. La laguna de Gallocanta es un humedal de reconocido interés internacional, incluido en la lista RAMSAR de humedales protegidos (Ramsar Convention Secretariat, 2010), además, la zona tiene un reconocido valor natural, estando reconocida como Zona de Especial Protección para las Aves, Zona de Especial Conservación, y está constituida como Reserva Natural Dirigida (Ley 11/2006 del Gobierno de Aragón) con su correspondiente plan de gestión. Por otro lado, la principal actividad económica de la zona es la agricultura, de la cual depende un alto porcentaje de la población de forma directa o indirecta.

Las fuentes potenciales de contaminación de las aguas subterráneas en la masa de agua han sido evaluadas y cartografiadas en etapas anteriores de investigación (Orellana-Macías y Perles, 2020; Orellana-Macías et al. 2021). Orellana-Macías y Perles (2020) aplicaron varios índices generales de peligrosidad a la zona de estudio, obteniéndose una cartografía detallada de las posibles fuentes de emisión de contaminantes en la zona, mientras que en Orellana-Macías et al. (2021), el objetivo se centró en la evaluación de la peligrosidad ante la contaminación por nitratos de origen agrario, ya que dicho contaminante puede considerarse como la principal fuente de contaminación de las aguas subterráneas en la zona de estudio.

Junto a estos antecedentes, la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) ha elaborado y publicado una cartografía de vulnerabilidad intrínseca de las masas de agua dentro de la cuenca del Ebro, entre las que se encuentra la masa de agua de Gallocanta. Para la evaluación de la vulnerabilidad, en este caso, se utilizó el método DRASTIC Reducido (DGOHCA e IGME, 2002), derivado del método DRASTIC (Aller et al., 1987), ampliamente aceptado por la comunidad científica internacional, y utilizado en numerosos estudios de vulnerabilidad de las aguas subterráneas (Antonakos y Lambrakis 2007; Arauzao et al., 2015; Ghazavi y Ebrahimi, 2015)

El estado de la cuestión en la zona muestra que para abordar un análisis integral del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la masa de agua de Gallocanta, el estudio de la vulnerabilidad del medio humano frente a un episodio de contaminación sigue siendo la asignatura pendiente. Únicamente a partir de una visión integrada de los componentes de peligrosidad, vulnerabilidad intrínseca (natural) y vulnerabilidad del medio humano será posible obtener una idea conjunta de las repercusiones reales que el problema de la contaminación produce en la población y sus bienes. En este contexto, el objetivo del presente trabajo es, a partir de los antecedentes previos, evaluar la vulnerabilidad del medio humano ante el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la masa de agua de Gallocanta. Un objetivo derivado es la obtención de una cartografía que permita la evaluación conjunta en el marco del análisis integral del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, para generar una cartografía predictiva de utilidad aplicada en esta zona de alto valor natural y ecológico, así como evaluar la idoneidad del método aplicado a la particularidad de la casuística en entornos rurales (con valores agrícolas y naturales, baja densidad de población, núcleos de población distantes, predominio del sector primario) del que es representativa la zona de estudio.

## 2. Metodología

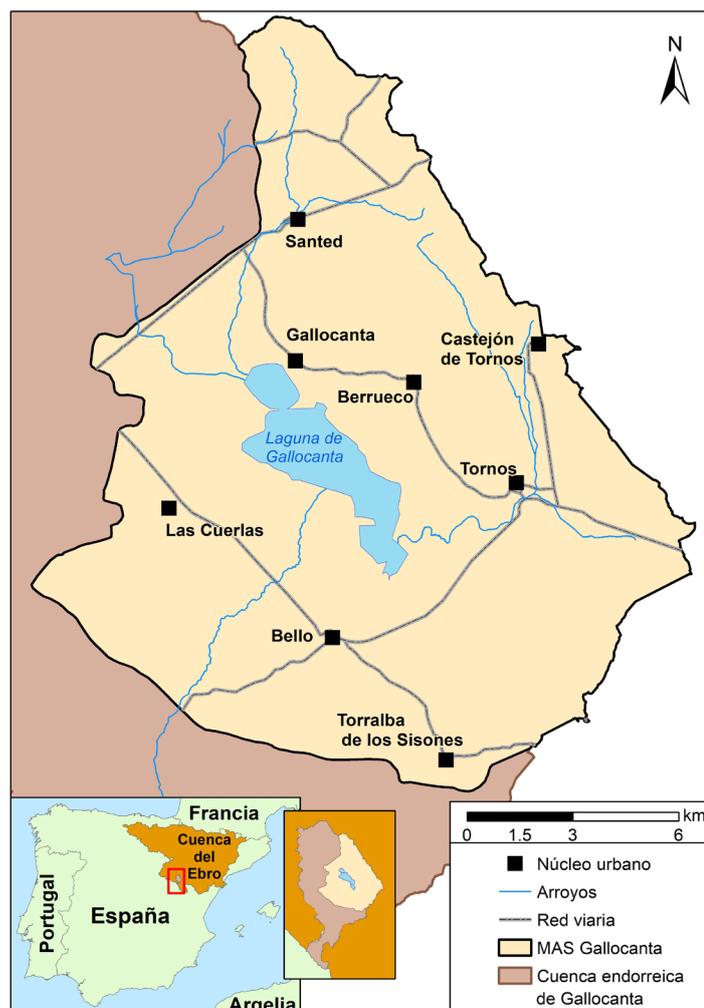
### 2.1. Área de estudio

Para definir el área de estudio, la evaluación y cartografía de la vulnerabilidad social presenta una peculiaridad, y es que las consecuencias de la contaminación de un acuífero no tienen por qué limitarse a los usos, actividades y población situada en la extensión superficial de dicho acuífero. Cualquiera de estos elementos expuestos puede localizarse geográficamente fuera de los límites de un acuífero, pero verse afectados si el recurso hídrico del acuífero sufre un evento de contaminación. Por este motivo, en la investigación, la zona de estudio incluye los términos municipales de las localidades que dependen directamente de los recursos subterráneos de la masa de agua de Gallocanta (denominada como masa de agua subterránea nº087 Gallocanta por la Confederación Hidrográfica del Ebro), estén o no situados sobre el acuífero. En el caso que nos ocupa, existe población y bienes (actividades agropecuarias y otras actividades productivas) dependientes del

recurso hídrico del acuífero en los siguientes municipios: Santed, Gallocanta, Las Cuerlas y Berrueco, en la provincia de Zaragoza, y Castejón de Tornos, Tornos, Bello y Torralba de los Sisones en la provincia de Teruel.

La masa de agua subterránea de Gallocanta (MAS Gallocanta) tiene una extensión de 223 km<sup>2</sup> y forma parte de la cuenca hidrográfica del Ebro. Se encuentra en el límite suroccidental de dicha cuenca, y superficialmente se asocia a la cuenca endorreica de Gallocanta, la cual tiene una extensión superficial de 540 km<sup>2</sup> (Figura 1). La masa de agua de Gallocanta está compuesta por dos acuíferos principales, uno mesozoico, y otro detrítico, con diferentes características hidrodinámicas, mineralización (mayor salinidad en el cuaternario) y extensión horizontal y vertical. El acuífero mesozoico se extiende por la mitad occidental de la zona de estudio y engloba varios niveles de características hidráulicas diferentes, desde calizas y dolomías cretácicas a arenas de Utrillas (CHE, 2016). Por su parte, el acuífero detrítico o cuaternario está compuesto por arenas del cuaternario perilagunar, glaciares y abanicos de sedimentos cuaternarios. Este acuífero se solapa parcialmente con el acuífero mesozoico en la parte central de la cuenca y conecta la laguna de Gallocanta con el acuífero mesozoico.

Figura 1. Localización de la Masa de Agua Subterránea de Gallocanta



Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de vista del recurso hídrico, el acuífero cuaternario tiene poco espesor y una permeabilidad media (CHE, 2003), siendo su explotación principal el riego de cultivos, aunque existen pequeños manantiales de abastecimiento en localidades como Tornos, Castejón de Tornos y Berruero. En cambio, el acuífero mesozoico presenta grandes espesores y mejores parámetros hidrodinámicos, siendo explotado tanto para regadío como para el abastecimiento de los núcleos urbanos que se localizan sobre el mismo (Las Cuerlas, Bello y Torralba de los Sisones). En el caso de las localidades situadas en el sector oriental, los abastecimientos urbanos se toman de acuíferos locales de pequeña extensión sobre materiales triásicos (Gallocanta), así como desde manantiales de los materiales paleozoicos que componen la Sierra de Santa Cruz (Santed y Berruero).

En lo que se refiere al medio humano del entorno del acuífero y dependiente de él (abastecimiento urbano y regadío, otras actividades económicas, etc.) se localizan ocho núcleos de población que utilizan directamente los recursos de los acuíferos que componen la masa de agua subterránea de Gallocanta: Santed, Gallocanta, Las Cuerlas y Berruero, en Zaragoza; y Tornos, Castejón de Tornos, Bello y Torralba de los Sisones, en Teruel. La densidad de población de la zona de estudio es de 4,15 hab/km<sup>2</sup>, y la población total de estos municipios es alrededor de 1000 habitantes, siendo Bello la localidad más poblada (224 habitantes), y Berruero la menos poblada (34 habitantes), según datos del Padrón Municipal para el año 2019.

## 2.2. Evaluación de la vulnerabilidad del medio humano

El método utilizado para la evaluación de la vulnerabilidad social se fundamenta en el propuesto por Perles et al. (2004) y Vías (2005). Desde una perspectiva de análisis integrado del riesgo, esta propuesta metodológica considera factores de exposición y resistencia de la población y de la actividad económica, distinguiendo en este último caso entre la vulnerabilidad de la actividad agropecuaria y el resto de actividades productivas. La exposición tanto de población como de los bienes dependientes del recurso hídrico del acuífero se matiza en razón de un coeficiente indicativo de la existencia o no de recursos alternativos en caso de evento de contaminación grave. El análisis de los factores se realiza en dos fases. En la primera, se estima la vulnerabilidad de cada factor (población expuesta ( $V_p$ ), actividad agropecuaria ( $V_{ag}$ ) y otras actividades productivas ( $V_{st}$ ) de forma independiente, obteniéndose mapas de vulnerabilidad para cada factor; en la segunda, se unen cada uno de los elementos, obteniéndose un índice numérico ( $V_h$ ) que engloba los valores de  $V_p$ ,  $V_{ag}$ , y  $V_{st}$  con el objetivo de obtener un único mapa de vulnerabilidad del medio humano. Se incluye en el análisis, por lo tanto, aspectos económicos y estructurales para el cálculo de la vulnerabilidad. El resultado puede ser combinado con los índices de peligrosidad y vulnerabilidad intrínseca del acuífero, permitiendo, por lo tanto, la evaluación integral del riesgo y la comparación de los resultados obtenidos con otras zonas.

### 2.2.1. Exposición y vulnerabilidad de la población ( $V_p$ )

La vulnerabilidad de la población se ha determinado en base a factores de exposición ( $E_p$ ) y resistencia, siendo estos la tipología de la infraestructura de abastecimiento ( $R_{ip}$ ) y el número de personas especialmente vulnerables ( $R_{2p}$ ). Los factores de resistencia se han desarrollado para reducir  $E_p$  en función de que la población sea más o menos vulnerable. Mientras el factor  $E_p$  hace referencia al número de habitantes que depende de los recursos hídricos, el factor  $R_{ip}$  se centra en la capacidad de resistir un evento de contaminación por parte de la población en función del tipo de sistema de abastecimiento existente. De esta forma, se distinguen tres tipos de infraestructuras de abastecimiento: básica, cuando el abastecimiento se realiza en un único punto; compleja,

cuando el abastecimiento se realiza en varios puntos de un mismo acuífero; externa cuando el abastecimiento se realiza desde otra masa de agua distinta a la de estudio (Tabla 1).

Tabla 1. Puntuaciones factor  $R_{1p}$ 

FUNCIÓN DEL ACUÍFERO	TIPO DE INFRAESTRUCTURA Y ORDEN DE UTILIZACIÓN	FACTOR R1P	GRADO DE VULNERABILIDAD
Exclusiva	1. Infraestructura de abastecimiento básica	1	Alto
	1. Infraestructura de abastecimiento compleja	0,9	
	1. Infraestructura de abastecimiento básica 2. Infraestructura de abastecimiento compleja	0,8	
Complementaria	1. Infraestructura de abastecimiento básica 2. Infraestructura de abastecimiento externa	0,6	
	1. Infraestructura de abastecimiento compleja 2. Infraestructura de abastecimiento externa	0,5	
	1. Infraestructura de abastecimiento básica 2. Infraestructura de abastecimiento compleja 3. Infraestructura de abastecimiento externa	0,4	
Alternativa	1. Infraestructura de abastecimiento externa 2. Infraestructura de abastecimiento básica	0,2	Bajo
	1. Infraestructura de abastecimiento externa 2. Infraestructura de abastecimiento compleja	0,15	
	1. Infraestructura de abastecimiento externa 2. Infraestructura de abastecimiento compleja 3. Infraestructura de abastecimiento básica	0,1	
	1. Infraestructura de abastecimiento externa	0,05	

Fuente: Perles et al. (2009)

Al mismo tiempo, un acuífero puede actuar de diferentes formas como fuente de abastecimiento: exclusivo, cuando es la única fuente de abastecimiento; complementario, cuando se combina con otra fuente de abastecimiento; y alternativo, cuando su papel en el abastecimiento es secundario o eventual. El resultado de las combinaciones posibles en base a los tipos de infraestructuras y las funciones del acuífero se muestra en la Tabla 1, donde se recogen las puntuaciones del factor  $R_{1p}$ . La puntuación del factor varía entre 0,05 y 1, siendo 1 el grado de menor resistencia (mayor vulnerabilidad).

Por otro lado, el factor  $R_{2p}$  hace referencia a los grupos de edad de la población, siendo esta determinante del grado de afección efectiva que un evento de contaminación puede llegar a tener sobre la población. Dada la mayor fragilidad de la población en los grupos infantil y anciano frente a la potencial intoxicación, se ha considerado que los niños (menores de 15 años) y los ancianos (mayores de 65), son los grupos más vulnerables. Este factor se obtiene calculando el cociente entre población vulnerable y población total, variando entre 0 y 1, y siendo 1 el valor de menor resistencia (mayor vulnerabilidad).

Finalmente, el índice de vulnerabilidad de la población se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$V_p = E_p \times R_{1p} \times \sqrt[3]{R_{2p}} \quad \text{Ec. 1}$$

Para evitar que el factor  $R_{2p}$  reduzca demasiado el valor de  $V_p$ , el índice prevé que la ponderación del factor se realice a través de una reducción no lineal de la exposición, utilizándose la raíz cúbica. De esta forma, el valor de la exposición puede ser reducido aproximadamente a la mitad como máximo. El límite inferior de  $V_p$  es cero, mientras que el superior está abierto, y cuanto mayor sea el valor, mayor es la vulnerabilidad.

Los datos de población por grupo de edad se han obtenido de los datos publicados del Padrón Municipal para el año 2019, mientras que la información para el cálculo del factor  $R_{1p}$  se ha obtenido a partir de la información publicada por la Confederación Hidrográfica del Ebro, complementada con trabajo de campo.

Exposición y vulnerabilidad de la actividad agropecuaria ( $V_{AG}$ )

La estimación de la vulnerabilidad de las actividades agrícolas ha seguido el mismo esquema que el factor  $V_p$ , basado en factores de exposición ( $E_{AG}$ ) y resistencia ( $R_{1AG}$  y  $R_{2AG}$ ). El factor  $E_{AG}$  hace referencia a la superficie regada por cada tipo de cultivo o al tamaño de la cabaña ganadera, por lo que la unidad de análisis es la hectárea o la cabeza de ganado por explotación, respectivamente.

Por su parte, el factor  $R_{1AG}$  es similar al factor  $R_{1p}$  utilizado para la estimación de la vulnerabilidad de la población, por lo que se basa en el tipo de la infraestructura de abastecimiento y en la función del acuífero. En relación al factor  $R_{2AG}$ , este analiza la vulnerabilidad desde una perspectiva socioeconómica, ya que considera la rentabilidad económica de los productos y su influencia en el empleo de la población local. En el caso de los cultivos, la rentabilidad económica del producto se ha estimado en base a la productividad de cada cultivo (kg/ha) multiplicada por su precio de mercado (€/kg), y se expresa en €/ha. En el caso de las actividades ganaderas, la unidad de referencia es la cabeza de ganado. Finalmente, el aspecto social de la vulnerabilidad se ha considerado en base al número de empleos y a la cantidad de jornales necesarios para conseguir una determinada producción. De esta forma, el factor  $R_{2AG}$  se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$R_{2AG} = (\epsilon) \times (1 + (j/500)) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde  $\epsilon$  es el precio de mercado por hectárea de cultivo o cabeza de ganado, y  $j$  es el número de jornales por hectárea o empleos por explotación ganadera. El valor de 500 es una constante obtenida del número máximo de jornales para los distintos tipos de cultivo (DAP, 1997).

El valor final de la vulnerabilidad de la actividad agropecuaria se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$V_{AG} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{AG} \times R_{1AG} \times R_{2AG}}{10000} \quad \text{Ec. 3}$$

Siendo cada tipo de cultivo o especie de ganado. Al integrar en un sumatorio las variables de exposición y resistencia ya explicadas, se tratan las características de cada zona de regadío o explotación ganadera en relación al tipo de cultivo o de ganado, el número de empleos asociados, los beneficios económicos potenciales y el tipo de abastecimiento. Además, se introduce una constante, igual a 10000, que sirve para facilitar la comprensión y lectura del valor final de vulnerabilidad.

La obtención de la información relativa a la localización de las parcelas en regadío, así como del número de animales a escala municipal, y la rentabilidad económica de cada producto se han obtenido de las Estadísticas Agrarias y Ganaderas publicadas por el Gobierno de Aragón para el año 2019. Por otra parte, el sueldo de los empleados se ha obtenido de los datos económicos por sectores publicados por el Gobierno de Aragón, mientras que el número de empleados por explotación se ha realizado a partir de trabajo de campo. En los casos en los que la información no ha podido ser obtenida, se ha estimado en función del tamaño y la titularidad de la explotación.

El análisis de la actividad ganadera y la vulnerabilidad de cada una de las granjas y factorías localizadas en la zona se ha estimado a partir de los datos publicados por el Gobierno de Aragón y la Confederación Hidrográfica del Ebro.

#### Exposición y vulnerabilidad de otras actividades productivas ( $V_{ST}$ )

El tercer factor para el análisis de la vulnerabilidad del medio humano es la vulnerabilidad socioeconómica de otras actividades productivas dependientes de forma directa de los recursos hídricos subterráneos. Siguiendo el mismo esquema que en los casos anteriores, este elemento se compone de factores de exposición y resistencia: la exposición de la actividad productiva ( $E_{ST}$ ), es decir, el número de establecimientos dependientes; el tipo de infraestructura de abastecimiento ( $R_{1ST}$ ) y la rentabilidad socioeconómica de las actividades productivas ( $R_{2ST}$ ).

Para calcular el factor  $R_{2ST}$  se ha utilizado el número de empleados por rama productiva, y el salario medio de cada empleado en una actividad productiva dependiente. Para el cálculo se utiliza la Ec. 2, siendo  $\epsilon$  es la suma de los salarios recibidos en cada empresa y  $j$  el número de empleados en la actividad.

Finalmente, el índice de vulnerabilidad  $V_{ST}$  se calcula con la ecuación siguiente:

$$V_{ST} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{ST} \times R_{1ST} \times R_{2ST}}{10000} \text{ Ec. 4}$$

Donde es cada una de las actividades productivas dependientes según el tipo de abastecimiento, y la sumatoria incluye aspectos socioeconómicos y de tipología de abastecimiento.

Los datos relativos al número de establecimientos por municipio y la información necesaria para el cálculo del factor  $R_{2ST}$ , se ha obtenido a partir de los datos de empleo y los sueldos medios por sectores publicados por el Gobierno de Aragón a nivel municipal para el año 2019.

#### Vulnerabilidad del medio humano ( $V_H$ )

El índice de vulnerabilidad del medio humano es el resultado de la suma ponderada de los factores de vulnerabilidad ya explicados, relacionados con la población y las actividades económicas. Dicha ponderación se hace en base a la importancia de cada factor, y sigue la siguiente ecuación:

$$V_H = 3V'_P + 2V'_{AG} + V'_{ST} \text{ Ec. 5}$$

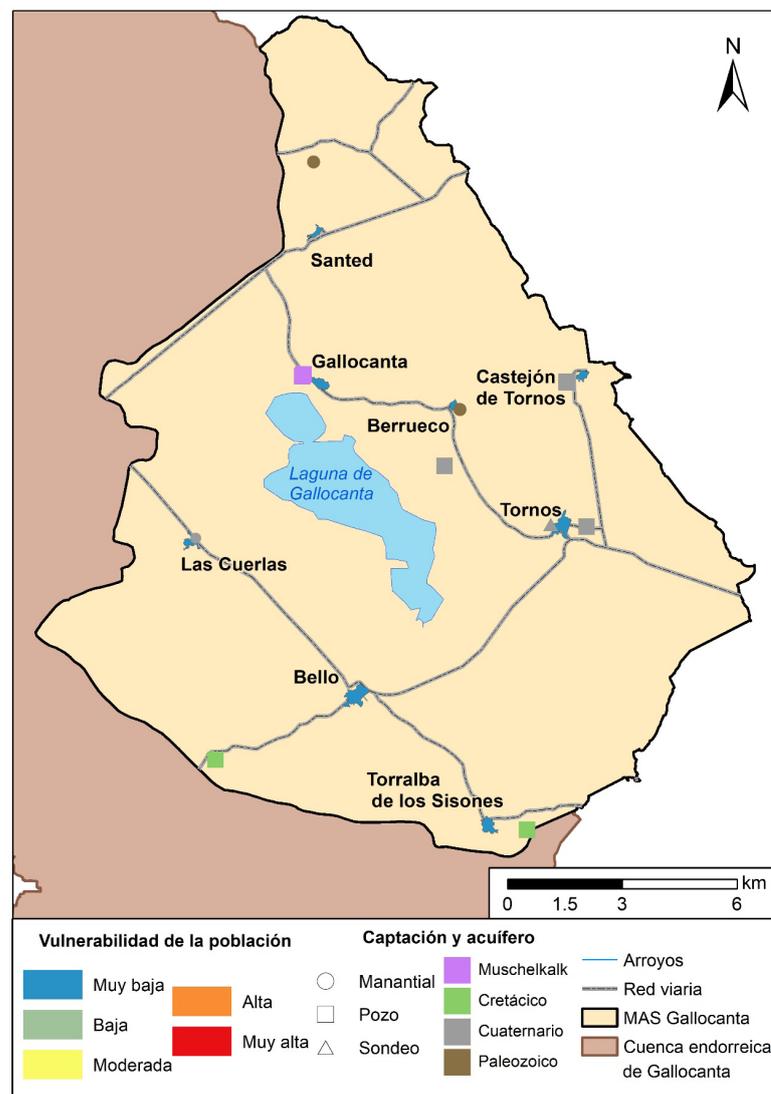
### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Vulnerabilidad de la población

Todas las localidades se abastecen íntegramente de los acuíferos que componen el sistema de Gallocanta, utilizando en la mayoría de los casos un único punto de agua como fuente de abastecimiento para la localidad, por lo que los valores de  $R_{ip}$  oscilan entre 0,9 y 1 (Tabla 1), según lo establecido por Perles et al. (2009). En los municipios en los que el valor de  $R_{ip}$  es 0,9, existe más de un punto de abastecimiento para la población.

En relación a la resistencia de la población en función de la edad, Berrueco, Torralba de los Sisonos y Santed se clasifican entre los niveles moderado (porcentaje de población especialmente vulnerable entre el 30 % y el 45 %), y bajo (porcentaje de población especialmente vulnerable entre el 45 % y el 60 %) en Gallocanta, Tornos, Las Cuerlas, Bello y Castejón de Tornos. Es decir, en estas últimas localidades, el porcentaje de población más vulnerable (menores de 15 años y mayores de 65) es mayor.

Figura 2. Vulnerabilidad de la población



Fuente: Elaboración propia

Los altos porcentajes de población especialmente vulnerable son similares a los observados por Perles et al. (2009) en zonas rurales de Málaga, y este criterio también es utilizado por Lima et al. (2019) en zonas rurales de Argentina para definir factores a analizar en el análisis del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, aunque en dicho trabajo, los porcentajes de población especialmente vulnerable eran mucho menores.

Finalmente, a pesar de los valores altos de los factores  $R_{1p}$  y  $R_{2p}$ , la vulnerabilidad de la población en la masa de agua subterránea de Gallocanta se ha clasificado como muy baja, debido precisamente a que la cantidad de población expuesta es baja, limitando la influencia de los factores  $R_{1p}$  y  $R_{2p}$  sobre la vulnerabilidad resultante (Figura 2).

### 3.2. Vulnerabilidad de la actividad agropecuaria

Las características de los acuíferos que componen la masa de agua de Gallocanta (dirección preferencial del flujo local subterráneo hacia la laguna) y las características físicas del territorio (terrenos prácticamente planos, espesor de la zona no saturada (CHE, 2003), etc.) hacen que la mayoría de las áreas de cultivo en regadío se localicen en la zona baja de la cuenca, en el entorno de la laguna. La superficie total de regadío en la zona de estudio en 2019 es de 270 ha, según los datos obtenidos del Departamento de Agricultura del Gobierno de Aragón, estando la mayor parte de la zona arable destinada a cultivos de secano.

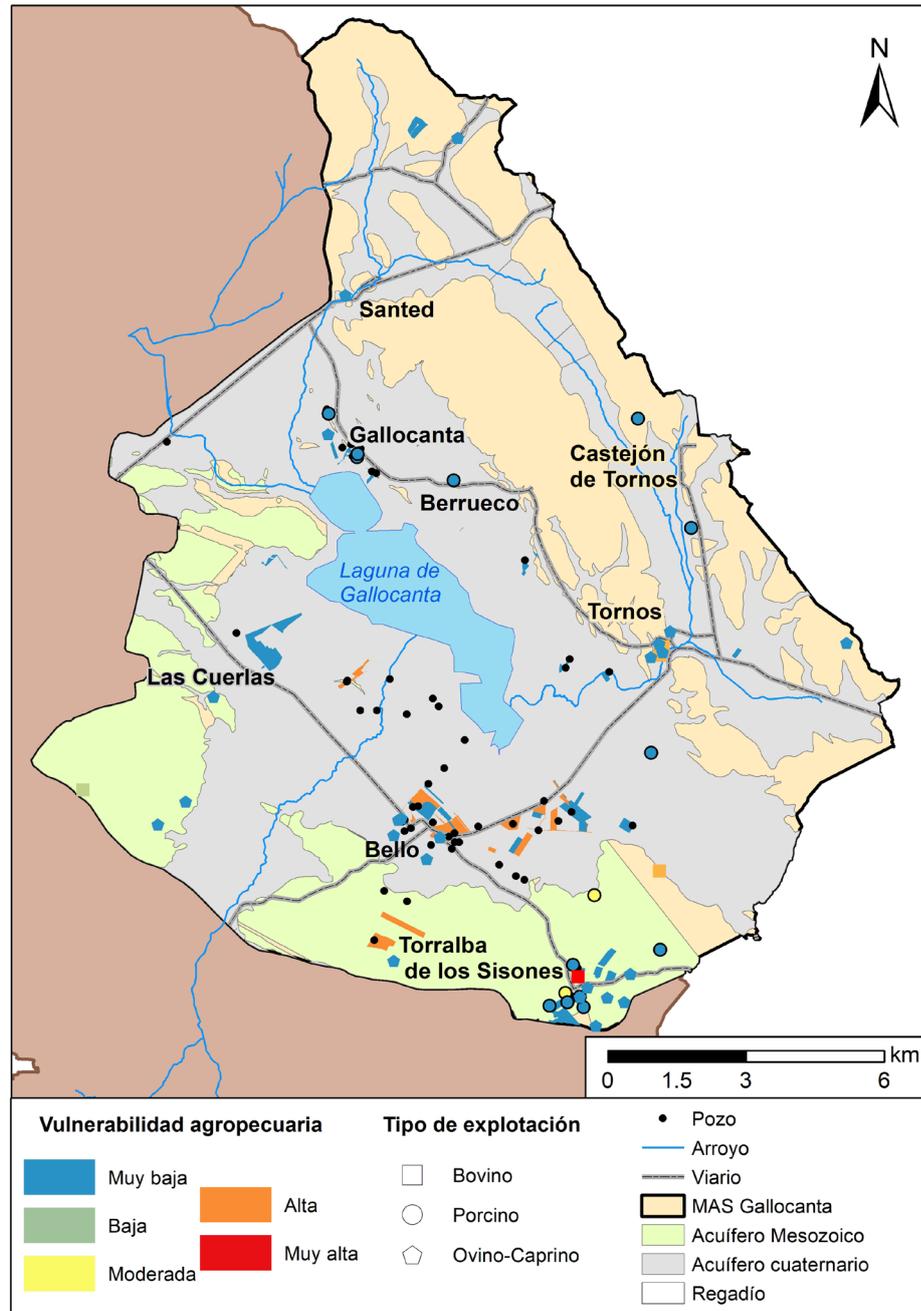
Además, las condiciones climáticas y la altitud reducen significativamente la variedad de cultivos de los que se puede obtener rendimiento. Los cultivos más extendidos en la zona son los cereales de invierno, especialmente trigo y cebada, así como leguminosas forrajeras (alfalfa), girasol, maíz y patata.

Como se muestra en la Figura 3, la mayor exposición tiene lugar en el sector suroccidental de la laguna, siendo la cebada el cultivo mayoritario. Aunque la mayor rentabilidad se obtiene en cultivos como el maíz o la patata, la exposición de estos es mucho menor, dadas sus necesidades hídricas, y se limita a los alrededores del núcleo urbano de Bello, al suroeste de la laguna.

Respecto al uso de las aguas subterráneas para riego, existe una amplia red de pozos que suministran agua, desde los acuíferos carbonatados del cretácico en la mitad occidental de la cuenca, y desde pequeños acuíferos locales y de pequeño espesor en materiales carbonatados del triásico y en depósitos cuaternarios. El carácter regional de los acuíferos cretácicos garantiza el suministro de agua de forma cuasi-permanente, mientras que los pozos que explotan acuíferos locales y superficiales del cuaternario están sujetos a los comportamientos cíclicos del nivel freático, de forma que el caudal puede reducirse en periodos de sequía. En cualquier caso, la única fuente de agua para el riego en toda la zona de estudio proviene de las aguas subterráneas, por lo que la dependencia de este recurso es total.

El resultado final de la vulnerabilidad de la agricultura muestra que las zonas de mayor vulnerabilidad (Alta) son las relacionadas con cultivos de cebada, y con cultivos de mayor rentabilidad económica, como el maíz o la patata (Figura 3). Estas zonas se localizan de forma exclusiva en el cuadrante suroeste de la zona de estudio. Por otra parte, el resto de cultivos de la zona, especialmente el trigo y el girasol, presentan una vulnerabilidad muy baja, bien por su baja exposición, bien por su escasa rentabilidad económica.

Figura 3. Vulnerabilidad de las actividades agropecuarias



Fuente: Elaboración propia

En relación a las actividades ganaderas, se han localizado un total de 46 instalaciones de explotación ganadera. La exposición total de la cabaña ganadera ante un evento potencial de contaminación es alta, contabilizándose unas 35000 cabezas de ganado entre ganado porcino, bovino, caprino y ovino. Aunque las explotaciones ganaderas se localizan en la mayor parte del área de estudio, su concentración es considerablemente mayor en torno a los núcleos de población del sur y el este de la laguna, como Bello, Torralba de los Sisonos y Tornos.

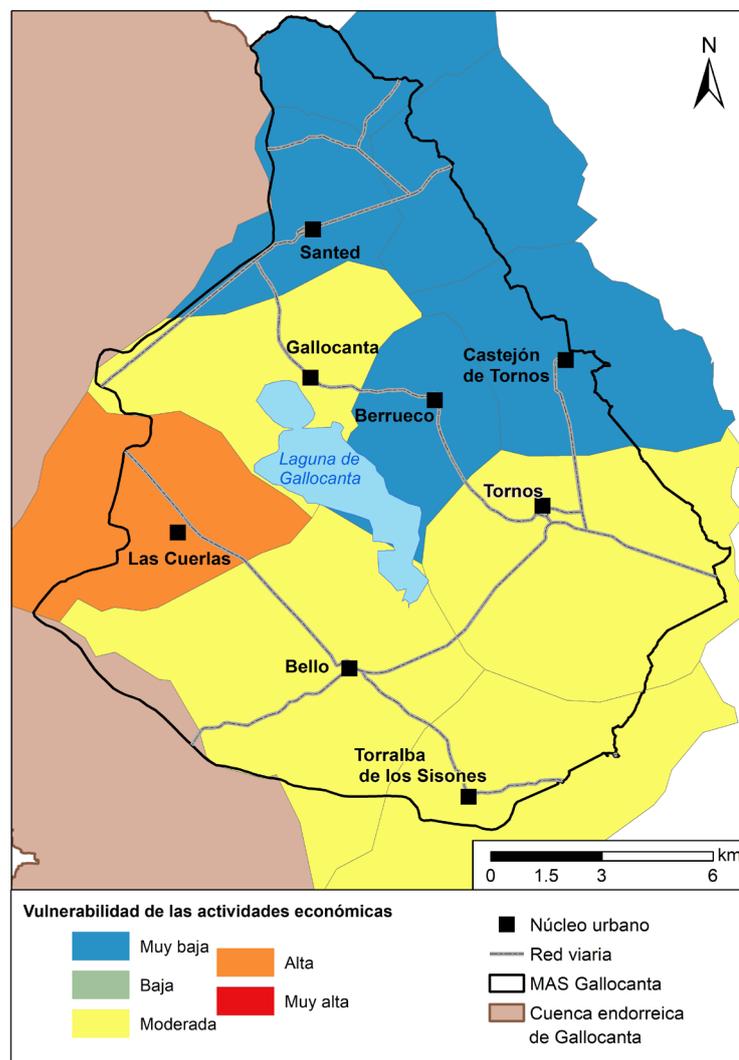
La vulnerabilidad de dichas explotaciones varía entre muy baja y muy alta, dependiendo del tipo de animal y el tamaño de la explotación. Desde un punto de vista socioeconómico, la mayor parte

de las granjas emplean a menos de 3 personas, lo que repercute directamente en que su vulnerabilidad se menor. Únicamente las granjas con un mayor número de empleados, o con especies con una mayor rentabilidad económica, como el ganado bovino, alcanzan niveles de vulnerabilidad que varían entre moderados y muy altos.

### 3.3. Vulnerabilidad de otras actividades económicas ( $V_{ST}$ )

Al igual que ocurre en los factores  $V_p$  y  $V_{AG}$ , en el factor  $V_{ST}$  la existencia de una red de abastecimiento que depende exclusivamente de los recursos hídricos del acuífero hace que los valores de  $R_{IST}$  sean muy altos.

Figura 4. Vulnerabilidad por municipio de otras actividades económicas



Fuente: Elaboración propia

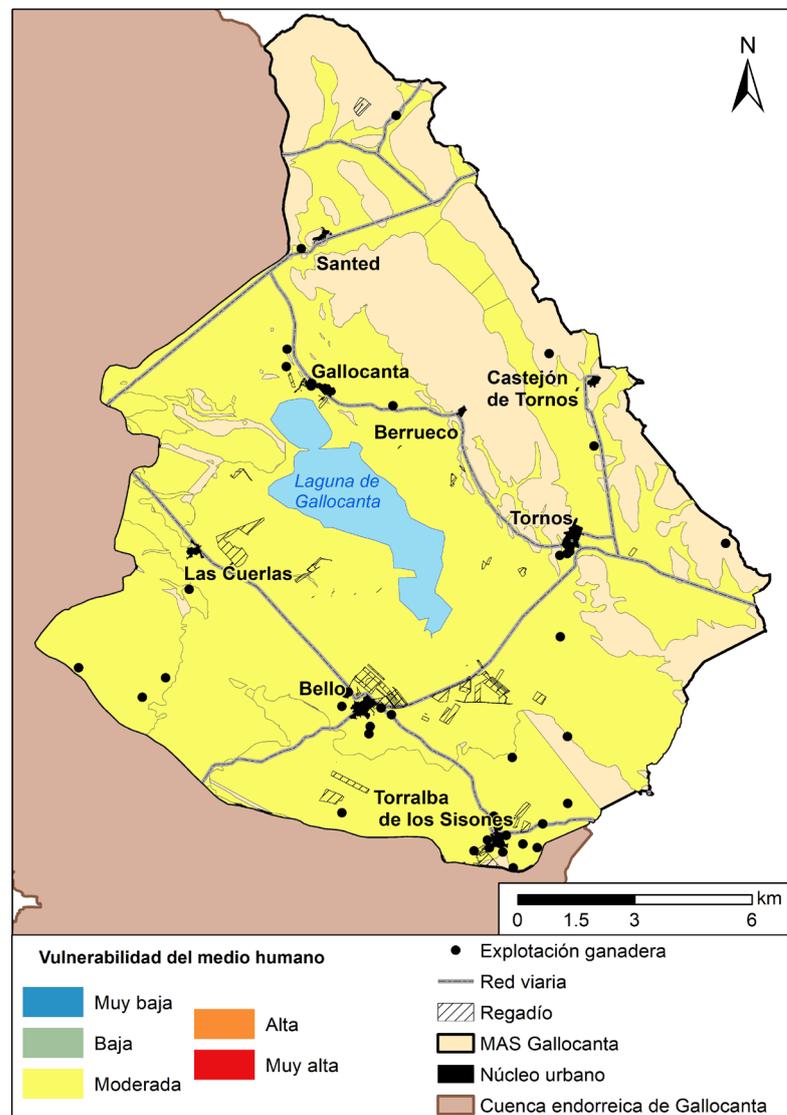
La vulnerabilidad de las actividades productivas dependientes del agua subterránea es moderada en la mayor parte de los municipios de la zona de estudio (Figura 4). En este grupo se incluyen actividades del sector servicios (hoteles, restaurantes y comercios) e industrias de pequeño tamaño (industrias manufactureras y alimenticias). El municipio con una mayor vulnerabilidad es

Las Cuerlas, debido principalmente a un mayor número de población empleada en actividades dependientes, y, por lo tanto, una mayor exposición. De forma inversa, los municipios de Berrueco, Santed, y Castejón de Tornos tienen una vulnerabilidad muy baja por la baja exposición de la población en este tipo de actividades.

### 3.4. Vulnerabilidad del medio humano

El valor final de la vulnerabilidad del medio humano se muestra en la Figura 5. La vulnerabilidad se ha clasificado como moderada en toda la zona de estudio. Este resultado es consecuencia de la vulnerabilidad muy baja con la que se clasifica el factor  $V_p$  fundamentalmente por la escasa población expuesta, y por el mayor peso que tiene este sub-factor en el valor final de la vulnerabilidad. El valor bajo de la puntuación en el valor población contrasta con el más elevado obtenido en el subfactor  $V_{AG}$ , que le proporciona una vulnerabilidad media, y la alta vulnerabilidad del factor  $V_{ST}$  esencialmente motivada por la inexistencia de alternativas al suministro en caso de contaminación.

Figura 5. Vulnerabilidad del medio humano



Fuente: Elaboración propia

El entorno de la laguna de Gallocanta es una zona eminentemente rural, con una población baja y una actividad económica basada en la agricultura y en un sector servicios de carácter local. Si bien la dependencia del agua del acuífero en la zona es muy alta, las consecuencias de no poder disponer de ella son moderadas desde un punto de vista socioeconómico. En la Tabla 2 se recogen las puntuaciones de cada factor a nivel municipal.

Tabla 2. Puntuaciones factores de vulnerabilidad por municipio.

Función del acuífero	V <sub>p</sub>	V <sub>AG</sub> *	V <sub>ST</sub>
Bello	162.4	23.2	409.9
Castejón de Tornos	45.5	1.1	2
Tornos	147.6	2.2	281.5
Torralba de los Sisonos	113	4.1	367.1
Berrueco	24.7	0.4	90.7
Las Cuerlas	32.8	7.6	679.9
Gallocanta	106.6	1.3	295
Santed	48.1	-	20.3

Fuente: Elaboración propia Los datos del factor V<sub>AG</sub> únicamente hacen referencia a las zonas de regadío.

Al interpretar estos resultados desde una perspectiva de evaluación integral del riesgo, se ofrece una perspectiva de conjunto, con el objetivo de establecer una gradación del mismo que permita priorizar posibles actuaciones en unos municipios u otros. Por lo tanto, debe comprenderse que la contaminación de los recursos subterráneos tendría consecuencias negativas sobre la población, al tener una gran dependencia de dichos recursos, pero en términos económicos absolutos, alcanzarían una gran cantidad, dado la baja exposición. Estos resultados están en línea con los expuestos por Perles et al. (2009) y Vías (2005) en zonas rurales de características similares, pero muestran ciertas diferencias con la vulnerabilidad social observada en otras zonas eminentemente mineras de Bolivia (French et al., 2017), ya que en dichas zonas el impacto económico incluso tiene consecuencias demográficas, trasladando población desde las poblaciones rurales.

En relación a la idoneidad del método para su aplicación en zonas eminentemente rurales, cabe señalar que el propio desarrollo metodológico del método trata de ser suficientemente versátil como para reflejar todos los matices de la vulnerabilidad del medio humano, incluyendo factores sociales y económicos, así como factores de ponderación. En general, en el desarrollo de metodologías enfocadas en la evaluación de la vulnerabilidad en el medio humano, la posibilidad de que el autor pueda incluir unos factores a analizar u otros, en función de su criterio, hace que este tipo de índices sean muy dispares y dispersos entre sí (Dwyer et al., 2004; Con, 2009; Birkmann, 2014). Además, en ocasiones, la redundancia de factores que son similares potencia ciertos resultados, y le resta, por tanto, validez a la metodología, a los resultados obtenidos, y a la cartografía de vulnerabilidad.

La separación de la metodología en tres subfactores facilita la interpretación de los resultados, al ser rápida e intuitiva la búsqueda de las causas en el aumento o descenso de la vulnerabilidad. A diferencia de lo que ocurre con otros índices (Cutter et al., 2003; Álvarez, 2006), el método, aunque es sintético, no llega a esconder valores dispares de los índices bajo el uso de valores medios. No obstante, en la unión de factores en un valor sintético final es inevitable cierta tendencia a la homogeneización y enmascaramiento de los resultados

En un medio rural como el que se presenta en este trabajo, el modelo territorial y la forma en la que el índice pondera cada uno de los factores puede condicionar los resultados, ya que la amplitud de escenarios para los que está pensada la aplicación del índice puede tender a la homogeneización, tal y como ocurre en otros índices de peligrosidad (De Ketelaere et al., 2004) y vulnerabilidad (Álvarez, 2006). Dado que el índice otorga un peso mayor al volumen de población frente a las actividades agropecuarias y económicas en un entorno eminentemente despoblado, hace que el valor de este subfactor sea siempre muy bajo. Este hecho plantea la posibilidad de modificar la ponderación del índice, o de sus subfactores, de forma que se diera menor ponderación a la población, y mayor importancia a factores como la dependencia exclusiva de un acuífero, o el consumo hídrico para actividades agrícolas, que en entornos rurales suele superar a los volúmenes de abastecimiento a la población. De hecho, en el caso de la zona de estudio, es precisamente esta dependencia exclusiva el aspecto de mayor relevancia para incrementar el grado de vulnerabilidad de la población, viéndose en cambio el resultado del subfactor y del índice final de vulnerabilidad del medio humano superado por la mayor ponderación del volumen de población.

En este sentido, también es necesario plantearse si el peso de la puntuación de cada factor (es decir, cuando la vulnerabilidad es mayor), debe recaer sobre la vulnerabilidad frente al peligro (vulnerabilidad frente al efecto directo de la intoxicación por consumo y/o uso de aguas contaminadas), o sobre la vulnerabilidad frente al impacto o pérdida económica (vulnerabilidad frente a la pérdida económica en el sector agrario y las actividades económicas dependientes). Siendo este un dilema esencial a la hora de abordar la gestión de la vulnerabilidad de la población frente a diferentes tipos de riesgo.

#### 4. Conclusiones

El estudio de la vulnerabilidad del medio humano debe ser considerado como un elemento más en el análisis integral del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, ya que, sin una valoración del mismo, no es posible evaluar de forma realista y comparada las repercusiones de un evento de contaminación sobre una zona. La metodología aplicada incluye diferentes aspectos socioeconómicos y estructurales para la estimación de la vulnerabilidad, la cual permite su integración en un análisis más profundo del riesgo, incluyendo una evaluación de la peligrosidad y la vulnerabilidad intrínseca. Para ello, se han identificado y analizado individualmente factores de exposición y resistencia.

En la aplicación a la zona de estudio, se han obtenido una serie de mapas de vulnerabilidad, sintetizados en un mapa final que muestra la vulnerabilidad del medio humano. Dado el carácter eminentemente rural de la zona de estudio y el bajo volumen de población que en ella se encuentra, se ha observado que la vulnerabilidad de la población es baja, mientras que la vulnerabilidad de las actividades agrícolas varía entre muy baja y alta, dependiendo de la tipología de cultivo y de las características de las explotaciones ganaderas. Por otra parte, la vulnerabilidad de otras actividades productivas varía entre muy baja y alta, dependiendo de las características de cada municipio. No obstante, el análisis ha puesto de relieve la total dependencia de la mayoría de los municipios de los recursos hídricos subterráneos, siendo estos la única fuente de abastecimiento en la mayoría de ellos. Finalmente, el valor de la vulnerabilidad del medio humano es moderado en toda la zona de estudio, debido principalmente a la relevancia de los factores de baja resistencia.

Los resultados del análisis de la vulnerabilidad del medio humano, el análisis espacial y los mapas resultantes permiten su utilización como parte del proceso de toma de decisiones a escala regional y local. Desde un punto de vista ambiental, el resultado permite analizar en conjunto la vulnerabilidad de la masa de agua de Gallocanta, mientras que, desde una perspectiva social, el trabajo refleja la situación y la tipología de las infraestructuras de abastecimiento, la dependencia de los recursos de agua subterránea en la zona, y la falta de alternativas.

## Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J., Petty, R. & Hackett, G. (1987). DRASTIC: Standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic settings. *Journal of the Geological Society of India*, 29.
- Álvarez, I. & Cadena, E. (2006). Índice de Vulnerabilidad Social en los Países de la OCDE. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid.
- Antonakos, A.K. & Lambrakis, N.J. (2007). Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the drastic model, an example from NE Korinthia, Greece. *Journal of Hydrology*, 333 (2–4), 288–304. doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.08.014.
- Arauzo, M., & Martínez-Bastida, J. J. (2015). Environmental factors affecting diffuse nitrate pollution in the major aquifers of central Spain: groundwater vulnerability vs. groundwater pollution. *Environmental Earth Sciences*, 73(12), 8271–8286. doi: 10.1007/s12665-014-3989-8
- Birkmann, J., Cardona, O., Carreño, M., Barbat, A., Pelling, M., Schnei-Derbauer, S., ... & Welle, T. (2014). Theoretical and Conceptual Framework for the Assessment of Vulnerability to Natural Hazards and Climate Change in Europe. En J. Birkmann, S. Kienberger & D. E. Alexander (Coord.), *Assessment of Vulnerability to Natural Hazards. A European Perspective* (pp. 1-20). San Diego, EE. UU: Elsevier.
- CHE (Confederación Hidrográfica del Ebro) (2016). Informe sobre la determinación de las aguas afectadas o en riesgo de contaminación por nitratos de origen agrario en la demarcación del Ebro. Periodo (2012–2015). Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza, Spain.
- Con, M., Susini, S., Catalá, S. & Quinteros, S. (2009). Índice de vulnerabilidad social (IVS). Documento metodológico. Informes temáticos de la dirección de investigación y estadística del Ministerio de Educación del GCBA, Argentina. Recuperado de: [https://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/2011\\_-\\_indice\\_de\\_vulnerabilidad\\_social\\_.pdf](https://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/2011_-_indice_de_vulnerabilidad_social_.pdf)
- Cutter, S.L. (1996). Vulnerability to Environmental Hazards. *Progress in Human Geography*, 20, 529–539. doi: 10.1177/030913259602000407
- Cutter, S. L., Mitchell, J. T., & Scott, M. S. (2000). Revealing the vulnerability of people and places: A case study of Georgetown county, South carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, 90(4), 713–737. doi: 10.4324/9781849771542
- Cutter, S., Boruff, B., & Shirley, W. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84 (2), 242-261.
- De Ketelaere, D., Hötzl, H., Neukum, C., Civita, M., & Sappa, G. (2004). Hazard Analysis and Mapping. En F. Zwahlen (Coord.), *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers (COST action 620)* Brussels: European Commission, Directorate-General XII Science, Research and Development; 2004. p 86-105.
- Delmonaco, G., Margottini, C., & Spizzichino, D. (2005). New methodology for multi-risk assessment and the harmonisation of different natural risk maps. Armonia project: applied multi-risk mapping of natural hazards for impact assessment. European Community.
- DGOHCA e IGME (2002). Cartografía de vulnerabilidad de acuíferos subterráneos a la contaminación en la cuenca hidrográfica del Guadalquivir. Informe inédito. IGME, Madrid.
- Dow, K., & Downing T. (1995). Vulnerability research: where things stand. *Human Dimensions Quarterly*, 1, 3–5.

- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S., & Roberts, S. (2004). Quantifying social vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards. *Geo-science Australia Record* 2004/14.
- French, M., Alem, N., Edwards, S. J., Blanco Coariti, E., Cauthin, H., Hudson-Edwards, K. A., ... Sánchez Miranda, O. (2017). Community exposure and vulnerability to water quality and availability: a case study in the mining-affected Pazña Municipality, Lake Poopó Basin, Bolivian Altiplano. *Environmental Management*, 60(4), 555–573. doi: 10.1007/s00267-017-0893-5
- Gaviria, J., Betancur, T. & Massone, H. (2011). El riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas, una interacción entre el peligro y la vulnerabilidad humana. *Actas del VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea*. Salta, octubre de 2011.
- Ghazavi, R., & Ebrahimi, Z. (2015). Assessing groundwater vulnerability to contamination in an arid environment using DRASTIC and GOD models. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12, 2909–2918. doi: 10.1007/s13762-015-0813-2
- Lima, M. L., Romanelli, A., Calderon, G., & Massone, H. E. (2019). Multi-criteria decision model for assessing groundwater pollution risk in the urban-rural interface of Mar del Plata City (Argentina). *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(6), 1–21. doi: 10.1007/s10661-019-7485-1
- Liverman D. (1990). Vulnerability to global environmental change. En: Kasperson, R.E., Dow, K., Golding, D., Kasperson, J.X., (Coord.), *Understanding global environmental change: the contributions of risk analysis and management*. The Earth Transformed Program. Worcester, MA: Clark University; 1990. p. 27–44.
- Massone, H. & Sagua, W. (2005). “La integración de la vulnerabilidad social en la evaluación del riesgo de contaminación de acuíferos”. *Actas del IV Congreso Argentino de Hidrogeología*. Córdoba, 25, 26, 27 & 28 octubre de 2005.
- Orellana-Macías, J. M., & Perles Roselló, M. J. (2020). A comparative analysis of methods for mapping groundwater pollution hazard: application to the Gallocanta Hydrogeologic Unit (Spain). *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, (85). doi: 10.21138/bage.2885
- Orellana-Macías, J.M., Perles Roselló, M. J., & Causapé, J. (2021). A Methodology for Assessing Groundwater Pollution Hazard by Nitrates from Agricultural Sources : Application to the Gallocanta Groundwater Basin ( Spain ). *Sustainability*, 13(6321). doi: 10.3390/su13116321
- Otahx, N. (2009). Evaluación de los análisis de riesgo sanitario como herramienta de gestión de los recursos hídricos (Tesis de Maestría en Gestión Ambiental del Desarrollo urbano). Universidad Nacional del Mar del Plata, Mar del Plata.
- Perles, M., Vías, J., Andreo, B. (2004). Cartografía de vulnerabilidad y riesgo de contaminación en acuíferos carbonáticos. En: B. Andreo & J.J. Durán (Coord.), *Investigaciones en sistemas kársticos españoles. Contribución española al Proyecto 448 del PICG de la UNESCO, Correlación Mundial de Ecosistemas Kársticos* (pp. 247-273). Madrid, España: IGME, Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas.
- Perles Roselló, M. J., Vías Martínez, J. M., & Andreo Navarro, B. (2009). Vulnerability of human environment to risk: Case of groundwater contamination risk. *Environment International*, 35(2), 325–335. doi: 10.1016/j.envint.2008.08.005
- Ramsar Convention Secretariat. (2010). Wise use of wetlands: Concepts and approaches for the wise use of wetlands. En: D. Pritchard, (Coord.). *Ramsar handbooks for the wise use of wetlands*. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat.
- Sagua, M., Massone, H., Tomás, M., Lima, L. & Romanelli, A. (2009). Social Vulnerability in the Risk Assessment of Groundwater Contamination in Periurban interface Areas. *Mar del Plata-Balcarce Corridor*. República Argentina. *Procc.TIES2010*, Venezuela.
- CHE. (2003). Establecimiento de las normas de explotación de la Unidad Hidrogeológica “Gallocanta” y delimitación de los perímetros de protección de la Laguna. Confederación Hidrográfica del Ebro: Zaragoza, España.
- Vías, J. M. (2005). Desarrollo metodológico para la estimación y cartografía del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas mediante SIG. Aplicación en acuíferos del sur de España. Universidad de Málaga, Málaga.

# Reseña de *Geopolítica de la Unión Europea*

## A Review of *Geopolítica de la Unión Europea*

PAZ BENITO DEL POZO<sup>1</sup>  0000-0001-5492-3677

<sup>1</sup>Departamento de Geografía y Geología. Universidad de León, España.



### Geopolítica de la Unión Europea

Juan Ignacio Plaza Gutiérrez  
Jacobó García Álvarez · Francisco J. Torres Alfósea



## 1. Datos Bibliográficos

Nombres y apellidos de los autores: Juan Ignacio Plaza Gutiérrez, Jacobo García Álvarez, y Francisco J. Torres Alfósea.

Título de la obra: *Geopolítica de la Unión Europea*.

Ciudad donde se editó: Madrid.

Editorial: Editorial Síntesis.

Fecha de edición: 2021.

Número de páginas: 281.

ISBN: 978-84-1357-137-9

## 2. Resumen expositivo

La geopolítica de la Unión Europea es objeto de un amplio análisis en esta obra concebida como un manual universitario que aporta novedad en el repertorio de contenidos seleccionados y un valioso cruce de enfoques que enriquece la visión sobre el proceso de construcción de la UE, los desafíos presentes y los retos del futuro proyecto comunitario.

## 3. Comentario crítico

En el convulso mundo que nos toca vivir, donde casi todo es incierto y las crisis de distinto orden se suceden, agrietando estructuras y relaciones que parecían firmes y sólidas y daban soporte a una confiada visión del mundo y del devenir social, político y económico, son de agradecer esfuerzos de reflexión y síntesis como los que los autores de esta obra ponen al servicio de explicar el proyecto geopolítico que

### Fechas • Dates

Recibido: 2022.01.26  
Aceptado: 2022.01.27  
Publicado: 2022.03.21

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Paz Benito del Pozo  
[paz.benito@unileon.es](mailto:paz.benito@unileon.es)

representa la construcción histórica y consolidación de la Unión Europea, pieza fundamental del orden mundial. Sin duda, es necesaria una visión geopolítica amplia, integradora y actual sobre el conjunto de la UE, empeño al que se aplican con excelente resultado los expertos profesores e investigadores universitarios J.I. Plaza Gutiérrez, J. García Álvarez y F.J. Torres Alfosea que firman este libro, concebido y escrito con rigor y eficacia didáctica en formato de manual, un recurso accesible y de fácil circulación y manejo.

La obra que nos ocupa es, nada menos, que un novedoso texto pensado para saber más y para orientar en el estudio de los aspectos geopolíticos que conciernen a la UE, aportación que bajo el sello editorial de Síntesis viene a ocupar un hueco en la bibliografía en español y, de paso, a completar la reciente nómina de manuales universitarios, que hasta hace unos años parecían interesar a pocos al quedar desplazados por la abrumadora y deslumbrante oferta de contenidos disponibles en Internet, pero que hoy, felizmente, se redescubren como el recurso necesario y útil que siempre fueron.

En las aulas actuales el profesorado universitario, y también los estudiantes, agradecen sin duda disponer de este tipo de publicaciones, tras recuperarse la idea, arrumbada en los últimos tiempos, de que el conocimiento se propicia y avanza a partir de pensamientos organizados y críticos que suponen un estímulo intelectual y una guía para la comprensión de la compleja realidad que nos rodea, tanto si se trata de geografía como de cualquier otro contenido disciplinar y científico. El retorno de manuales como el que comentamos es, pues, una buena noticia que hay que celebrar como mínimo por lo que aportan en esfuerzo de síntesis, selección de contenidos y propuesta didáctica. Los repertorios bibliográficos de asignaturas como la Geografía política, la Geopolítica o la Geografía de Europa se ven fortalecidos con publicaciones como la que nos ocupa, de gran interés para un amplio sector académico y para el público en general.

En tal contexto, esta *Geopolítica de la Unión Europea*, muy bien planteada y atractiva formalmente, se nos ofrece estructurada en siete capítulos, además del epílogo y la bibliografía. El enfoque que recorre la obra combina aspectos propios de corrientes clásicas o neoclásicas en el estudio de la geopolítica (la consideración de los factores históricos y geográficos como condicionantes de la política internacional de la UE), con aspectos de la tradición anglosajona (el papel de la UE como potencia mundial y actor global) e incluso de la escuela francesa (importancia de los flujos migratorios, el terrorismo y los recursos energéticos). Diversidad de temas, conceptos métodos e ideas que los autores enriquecen con su original punto de vista y sentido crítico, aplicado a amplias cuestiones relacionados con el orden geopolítico actual y con cierta herencia conceptual que lleva a revisar, entre otros, los conceptos de “Oriente” y de “Occidente” y la noción de Estado nación.

El primer capítulo trata de los fundamentos para una geopolítica de la Unión Europea, con atención al concepto mismo de geopolítica, su objeto y su método, así como a los límites geográficos y políticos de Europa y de la Unión Europea. El segundo capítulo se centra en el contexto histórico de la UE, siglos del XIX al XXI, y en los elementos territoriales más relevantes, con especial referencia a la situación geográfica de este conglomerado político-territorial (amplio desarrollo latitudinal), su configuración (¿península o subcontinente?), su carácter marítimo y su fragmentación territorial. La profusión de mapas que acompañan al texto resulta de sumo interés didáctico y explicativo.

El capítulo tres aborda el crucial aspecto de la construcción de la UE como proyecto geopolítico, sus límites espaciales y los escenarios del futuro europeo, con referencia al Brexit o al tapón que Rusia representa en la actualidad, debido entre otras razones al empeño su actual presidente

Vladimir Putin por volver al *statu quo* fronterizo de 1997 e impedir que sus viejos aliados del Pacto de Varsovia permitan en sus territorios el despliegue militar de la OTAN. Precisamente en su papel de actor global la UE es examinada en el capítulo cuatro, donde la política exterior, de seguridad y defensa se completan con aspectos relativos a la cooperación y las relaciones de proximidad. Mientras se escriben estas líneas crece la tensión en el flanco oriental de la UE por la ofensiva militar rusa contra Ucrania, lo que podría ser en pocas semanas un escenario de guerra si la diplomacia fracasa. Tensiones y amenazas del exterior se conjugan con luces y sombras en el seno de la unión. El mapa geopolítico europeo se analiza en su dimensión organizativa y dinámica interna en el capítulo que sigue, el cinco: Estados, naciones y fronteras internas; procesos de tensión y ruptura (minorías, regionalismos, nacionalismos), y una detenida reflexión acerca de las razones que explican esta diversidad de tendencias y movimientos, verdadero reto comunitario por lo que algunos de estos elementos pueden tener de fuerza centrífuga y disgregadora.

El sexto y penúltimo capítulo se sustancia en lo que los autores consideran tres desafíos clave en la geopolítica europea, a saber: las migraciones (política fronteriza de la UE, flujos demográficos, presión en las fronteras, refugiados y desplazados); el terrorismo (y la política antiterrorista de la UE); y la energía (recursos, desafíos y políticas en materia de energía, medio ambiente y transición ecológica). El capítulo de cierre, el séptimo, se dedica a conflictos y tensiones territoriales (tensiones internas en la UE y tensiones de borde entre un Estado miembro y otro externo). Tal y como los autores apuntan en el epílogo, el fabuloso proyecto que es la UE, en permanente construcción, es a la vez frágil y vulnerable. Y una seria y reciente amenaza es de índole sanitaria: la pandemia por covid-19, que tiene efectos no solo en la salud pública, sino también en la economía, la política y la sociedad de toda Europa y del mundo.

Una bibliografía seleccionada con criterios de actualidad, profundidad, accesibilidad y diversidad de enfoques redondea un texto excelente y oportuno, llamado a ser una obra de ineludible referencia en los repertorios bibliográficos universitarios.