

Los SIG en la evaluación multidimensional de zonas productivas como herramienta robusta de decisión: Caso del ajo en Mendoza, Argentina

Using GIS as a robust decision-making tool for multidimensional assessment in agriculture areas. Study case: garlic production in Mendoza, Argentina

ANA PAULA SALCEDO¹  0009-0001-4295-7930

MARÍA CAROLINA RAMÍREZ¹  0000-0002-8089-3499

MAURICIO JOSÉ BUCCHERI¹  0009-0008-9956-1364

VÍCTOR HUGO BURGOS¹  0000-0003-3571-5957

MARTÍN CAVAGNARO¹  0009-0002-4897-1845

SANTIAGO RUIZ FREITES¹  0000-0000-0000-0000

BÁRBARA CIVIT²  0000-0002-2895-6747

¹Instituto Nacional del Agua. Subgerencia Centro Regional Andino, Mendoza, Argentina.

²Centro de Estudios sobre Desarrollo Sustentable, UTN FRM - CONICET, Mendoza, Argentina.

Resumen

Argentina es uno de los principales productores y exportadores de ajo en la región, siendo la provincia de Mendoza, junto con la de San Juan, las que poseen la mayor superficie cultivada del país. La necesidad de extender este cultivo planificadamente y bajo un enfoque de sostenibilidad, llevó a la elaboración del siguiente estudio. El objetivo principal es identificar regiones productivas para el cultivo del ajo en Mendoza, que sean territorialmente sostenibles y que contribuyan al proceso de ordenamiento productivo y territorial provincial. Se desarrollaron 13 criterios que abarcan 4 dimensiones de análisis: socio-económicas, infraestructura, gobernabilidad y ambientales, en esta última la inclusión de la Huella Hídrica como indicador del consumo de agua. Se utilizaron técnicas de evaluación multicriterio, talleres interdisciplinarios y Análisis de Procesos Jerárquicos para la definición y ponderación de las variables. Toda la información se sistematizó en un SIG para la elaboración del mapa final. Se identificó que las variables de huella hídrica, reuso y acceso

Fechas • Dates

Recibido: 2024.06.04

Aceptado: 2025.01.08

Publicado: 2025.05.13

Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Ana Paula Salcedo
apsalcedo@ina.gov.ar

al agua subterránea explican el 52 % de la ubicación de sitios aptos para el cultivo del ajo. Entre las regiones de mayor aptitud se encuentra el Valle de Uco, el departamento Maipu, parte de Lavalle y el valle inferior del río Tunuyán.

Palabras clave: evaluación multicriterio; cultivo de ajo; sostenibilidad territorial; SIG.

Abstract

Argentina is one of the main producers and exporters of garlic in South America. The provinces of Mendoza and San Juan have the largest cultivated area in the country, leading the international trade. The superb agroecological and economical conditions promote the need to expand this crop over the region under sustainability and spatial planning criteria. The main goal of this study is to identify favorable zones, in terms of sustainable development, to expand the garlic production over Mendoza. Based on GIS and Hierarchical Analysis Process, a Multicriteria Assessment was conducted, performing a multi-dimensions aptitude map for garlic production. 13 indicators contained in 4 dimensions namely socio-economical, infrastructure, water governance and environmental were designed. Environmental dimension represented in the waterfoot print indicator, and water governance indicators such as water reuse and groundwater access explain the 52 % of the location of suitable sites for garlic production. The locations scored with the highest multi-dimensional capabilities are the region of Valle de Uco, the department of Maipu, part of department Lavalle and lowermost valley of Tunuyán river.

Key words: multi-criteria assessment; garlic crop; territorial sustainability; GIS.

1. Introducción

La evaluación multicriterio y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como herramientas ampliamente utilizadas en estudios científicos desde la década de 1990. Estas metodologías destacan por su capacidad para abordar una gran diversidad de temáticas y favorecer el desarrollo de estudios empíricos. Una de las principales ventajas de los SIG es su capacidad para incorporar e integrar una diversidad de datos e información georreferenciada, lo que posibilita el trabajo multidisciplinario. Permiten realizar diagnósticos espaciales sobre diversos problemas socio-ambientales y, al combinarse con métodos de análisis multicriterio, apoyan los procesos de toma de decisiones en materia de políticas públicas (Barredo-Cano, 1996; Miraglia, Caloni y Buzai, 2015; Moreno-Jimenez, Buzai y Fuensalida-Diaz, 2017).

Respecto a temáticas agrarias, estas metodologías han sido ampliamente utilizadas para la determinación de potenciales zonas productivas para el desarrollo agrícola, mediante evaluaciones agro-climáticas que analizan precipitaciones, clima, características edáficas del suelo, entre otros. Estos estudios permiten identificar factores limitantes en la productividad de un cultivo específicos y delimitar áreas que maximicen sus posibilidades de desarrollo (Somoza et al., 2021; Hernández-Zaragoza et al., 2019; Pineda-Santos et al., 2014; Aguilar-Rivera et al., 2010). No obstante, gran parte de estos estudios se centran en variables físicas, sin incorporar el análisis de indicadores sociales, económicos y ambientales, fundamentales para evaluar la sustentabilidad de las prácticas agrícolas y para orientar un adecuado ordenamiento territorial.

La planificación territorial tiene por objetivo identificar y adoptar las mejores opciones de uso del suelo, mediante una evaluación sistemática de su potencial y considerando las diversas alternativas de uso. Se trata de un proceso complejo debido a que requiere la evaluación integral de

múltiples dimensiones y actores, así como analizar sus interacciones e intereses, especialmente en relación con las actividades productivas. Frente a la creciente complejidad territorial, se requieren de enfoques sistémicos e interdisciplinarios. Un enfoque sistémico, basado en la teoría de sistemas complejos, considera las interrelaciones entre las dimensiones económica, social, ambiental y político-institucional. Por otro lado, la interdisciplinariedad implica no sólo la colaboración entre especialistas de diversas áreas, sino también la construcción de marcos epistemológicos y metodológicos compartidos (Civit *et al.*, 2023; 2022).

En este contexto, la provincia de Mendoza, situada al oeste de Argentina, constituye un caso de estudio de relevancia, debido a su histórico modelo de ordenamiento territorial, basado en la agricultura de oasis. Este sistema socio-productivo se originó a partir del aprovechamiento artificial de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) en pequeños espacios de su territorio, los cuales representan un 4 % del territorio provincial, en donde pone de manifiesto el valor económico del agua (Buccheri y Pinto, 2023). En la actualidad, según el Plan Provincial de Ordenamiento Territorial, los oasis albergan al 96 % de la población y casi la totalidad de las actividades agrícolas.

Históricamente la producción agrícola mendocina estuvo orientada a la vid, aunque también destacan los frutales y hortícolas, siendo el ajo uno de los cultivos más relevantes, sobre el cual se centra la presente investigación. El desarrollo de modernos sistemas de producción agrícola, basados en paquetes tecnológicos estandarizados diseñados para maximizar rendimientos, han generado importantes consecuencias para los agroecosistemas. Entre ellas se destacan la creciente dependencia de agroquímicos, la degradación y erosión del suelo y la disminución de los niveles de los acuíferos. Estas dinámicas plantean la necesidad de evaluar la sustentabilidad de las prácticas agrícolas.

La sustentabilidad es un concepto complejo y multidimensional, que abarca aspectos económicos, sociales y ambientales. En el contexto de la actividad agrícola, se considera que su desarrollo es sustentable si cumple con ciertas condiciones: “ser suficientemente productiva; ser económicamente viable; ser ecológicamente adecuada; ser cultural y socialmente aceptable; ser técnicamente posible” (Sarandón, 2002, p. 40).

En este marco, numerosos estudios han desarrollado propuestas de indicadores para evaluar la sustentabilidad de sistemas agrícolas, centrándose principalmente en la escala de predio o explotación (Abraham *et al.*, 2014; Albicette, Brasesco y Chiappe, 2009). No obstante, para abordar dinámicas más amplias que afectan la sustentabilidad, resulta necesario ampliar el análisis a una escala regional y abordar el circuito productivo¹ en su totalidad. Esta aproximación nos permite integrar tanto las etapas de producción primaria del ajo, como los procesos posteriores de logística y comercialización, considerando sus interacciones en una escala territorial más amplia.

El presente trabajo tiene como objetivo principal presentar la metodología desarrollada y aplicada para la evaluación de la sustentabilidad del cultivo del ajo. Bajo un entorno SIG, se describe el proceso de desarrollo de criterios para las diversas dimensiones (ambiental, social, económico, infraestructura y de gobernabilidad), la discusión interdisciplinaria de los mismos y la aplicación de la metodología de evaluación multicriterio mediante el Análisis de Proceso Jerárquico. Este trabajo se enmarca en un proyecto de investigación de mayor alcance, cuyo objetivo estratégico es

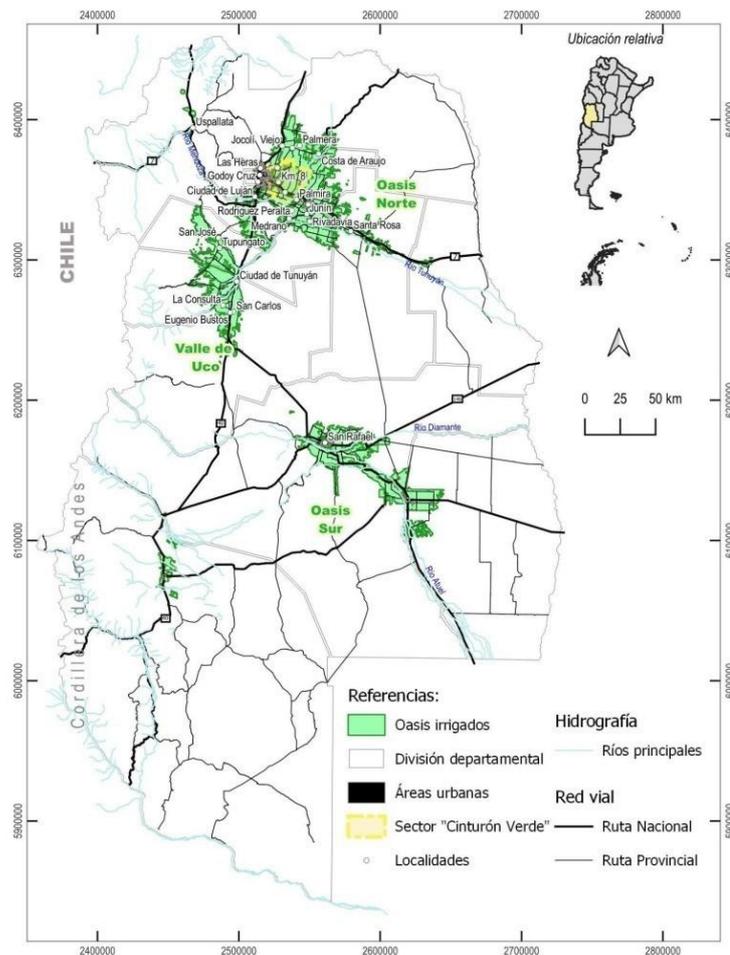
1. Adoptamos el concepto de circuito productivo, que abarca “un conjunto de unidades de producción, distribución y consumo que operan intervinculadas a partir de una actividad común a todas ellas” (García y Rofman, 2020). Cabe aclarar que si bien adoptamos este enfoque, no seguimos en su totalidad la metodología desarrollada, sino que lo adaptamos a las particularidades de nuestro estudio.

la generación de un mapa que identifique zonas productivas para el cultivo del ajo en la provincia de Mendoza, que sean territorialmente aptas.

2. Área de estudio

La provincia de Mendoza se encuentra en el centro-oeste de Argentina, en la Diagonal Árida, entre las latitudes Sur 32° y 37°. Limita al oeste con la cordillera de Los Andes, cuyas alturas superan los 5000 m.s.n.m., y al este se extiende una región llana con déficit hídrico pronunciado. Con una superficie de 148 827 km² y una población de 2 043 540 habitantes, según datos arrojados por el Censo Nacional Poblacional del año 2022 (INDEC, 2023). Su territorio es mayormente desértico, con un clima continental, árido y semiárido, y precipitaciones anuales promedio de 200 a 300 mm. Frente a estas condiciones ambientales, la agricultura y los asentamientos humanos en la provincia fueron posibles gracias al aprovechamiento de los ríos, mediante un sistema de canales de riego y la explotación de sus acuíferos subterráneos.

Figura 1. Ubicación del área de estudio. Provincia de Mendoza.



La producción agrícola provincial se ha centrado históricamente en la vitivinicultura, la cual representa aproximadamente el 70 % de la superficie cultivada de vid del país. No obstante, el desarrollo de la horticultura también ha sido significativo, ocupando el segundo lugar en la pro-

ducción de hortalizas a nivel nacional y la tercera actividad agrícola en la provincia, después de la vid y los frutales. Según el Instituto de Desarrollo Rural (IDR) del gobierno de Mendoza, la mayor parte de la superficie hortícola de la provincia está destinada a 6 especies, siendo el ajo el cultivo más destacado concentrando el 67 % de la superficie cultivada (IDR, 2021). Mendoza ofrece condiciones agroecológicas óptimas para su cultivo, tales como la duración del día y temperaturas adecuadas para su desarrollo fenológico (Mariani et al., 2022).

3. Metodología

3.1. Evaluación Multicriterio

Una Evaluación Multicriterio (EMC) es un conjunto de técnicas orientadas a dar soporte en los procesos de toma de decisiones, con el fin de investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto (Barredo-Cano, 1996; Eastman, 1999). El proceso de selección de criterios se llevó a cabo mediante un taller interdisciplinario de debate con la participación de los autores y expertos invitados con el objeto de identificar los criterios que mejor explican el objeto de estudio. Una vez definidos los criterios se realizó la encuesta de comparación de los mismo de a pares, necesaria para el Análisis de Proceso Jerárquico. Desde una perspectiva geográfica, la EMC es un proceso en el cual múltiples capas son agregadas para obtener un solo mapa de salida, con el objeto de generar una decisión frente a un objetivo particular, siendo la base de una decisión se conoce como criterio. En la técnica de EMC los criterios pueden ser de dos tipos: limitaciones o restricciones (los cuales actúan como límite a la alternativa en consideración y se suelen expresar en forma binaria) y los factores (son los criterios que se utilizan para aumentar o disminuir la aptitud de las alternativas en evaluación) (Celemin, 2014). Dentro de la EMC la técnica más utilizada para la ponderación de las variables seleccionadas es el Análisis de Proceso Jerárquico (Saaty, 1980) o AHP por sus siglas en inglés (Analytic Hierarchy Process).

La integración, sistematización y despliegue territorial de los criterios se realiza en un entorno de SIG. El propósito final es caracterizar una zona y su problemática, utilizando cada uno de los niveles de información (o criterios) que surjan de la tipificación de las variables a considerar desde un enfoque de sustentabilidad, a fin de determinar áreas de mayor aptitud para el cultivo del ajo.

El proceso metodológico para la determinación final de aptitud, se sintetiza en dos etapas diferenciadas. La primera consistió en la búsqueda de datos e información secundaria de orden territorial que exprese los criterios previamente definidos. Los datos utilizados fueron obtenidos de organismos gubernamentales como el Departamento General de Irrigación o el Instituto de Desarrollo Rural, los cuales son fuentes de información relevantes para nuestro estudio. En otros casos, se tuvo que construir el dato en base a información preexistente, como por ejemplo las capas de información de la dimensión de Infraestructura.

La segunda etapa consistió en la implementación del modelo de aptitud el cual se define por la combinación lineal de los criterios (Malczewski, 2000), donde A es la sumatoria del producto de cada factor (f) por su ponderación (p), como muestra la ecuación 1.

$$\text{Ec. 1} \quad A = \sum p_j f_j$$

3.2. Análisis de Proceso Jerárquico

El método Análisis de Proceso Jerárquico (Saaty, 1980) es propuesto para este estudio por ser un método claro, robusto en cuanto a la ponderación numérica de variables cualitativas y cuantitativas; donde se pueden tener en cuenta tanto criterios físico-ambientales como sociales, que permitan tomar decisiones a partir del conocimiento de expertos frente a un tema determinado. Es un instrumento útil cuando se presentan conflictos entre varios objetivos, ya que a través de la definición de criterios y las preferencias de los decisores (mediante la atribución de pesos), permite la comparación entre los objetivos a alcanzar (Burgos et al., 2019; 2018).

El diseño del Árbol Jerárquico se realizó a un solo nivel cuya matriz de criterios surge de un análisis exploratorio mediante consultas a expertos y revisión bibliográfica. En el presente trabajo, participaron 8 expertos en variadas disciplinas (ingeniería agronómica, civil y química, sociología, economía y geografía). Para la asignación de pesos se confeccionó una encuesta con la cual se evaluaron de a pares todos los criterios considerados. Con esta encuesta se incorporan las experiencias y criterios de expertos de diferentes especialidades mediante los juicios incluidos en las denominadas matrices de comparaciones pareadas. Estas matrices cuadradas $A=(a_{ij})$ reflejan la dominación relativa de un elemento frente a otro respecto a un atributo o propiedad en común. En particular, a_{ij} representa la dominación de la alternativa i sobre la j .

Saaty (1977; 1980) propone la utilización de una escala fundamental para establecer los valores (juicios) correspondientes a las citadas comparaciones. Considerando un rango de valores entre 1/9 y 9 (Tabla 1) evita el problema que se plantea cuando se realizan comparaciones relativas. Para lograr la precisión requerida del proceso matemático empleado, los elementos comparados deben pertenecer a grupos homogéneos (Axioma 2 del método), o por lo menos estar relativamente próximos. La asignación de importancia entre criterios debe cumplir requisitos lógicos y de consistencia, por lo que se utiliza la Relación de Consistencia (RC) para validar los juicios en las matrices pareadas.

Tabla 1. Escala de asignación de pesos

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Menor importancia	←	←	←	Igual importancia	→	→	→	Mayor importancia

Fuente: Mastrandrea y Ángeles (2021)

3.3. Definición de criterios

Dada la complejidad y multidimensionalidad del concepto de sustentabilidad y a la ausencia de parámetros o criterios universales o comunes de evaluación, es necesario el desarrollo de un conjunto de criterios (en tanto valores claros, objetivos y generales) que nos permitan comprender los puntos críticos de sustentabilidad de un cultivo específico. Para ello, se analizaron un conjunto de trabajos previos que han propuesto metodologías para evaluar la sustentabilidad de sistemas agrícolas, tanto en el ámbito regional como a nivel de finca (Sarandón y Flores, 2009; Sepúlveda, 2008; Smyth & Dumanski, 1995). También algunos trabajos proponen indicadores que permiten evaluar el impacto del cambio climático en los sistemas agrícolas y su capacidad de adaptación al mismo (Hatfield et al., 2020).

El primer paso en la generación de modelos de evaluación y monitoreo de sustentabilidad, ha sido la determinación del ámbito o nivel de análisis. La evaluación de la sostenibilidad de los procesos productivos dentro de la agricultura, específicamente para el caso del cultivo del ajo, ha sido evaluada de manera integral, a nivel provincial. Una vez establecida la escala espacial y temporal, se desarrollaron los criterios para cada una de las dimensiones (ambiental, económica, social, infraestructura y de gobernabilidad del agua).

Es importante señalar que nos hemos enfrentado a la dificultad derivada de la disparidad en la escala de análisis, la cual se atribuye, en algunos casos, a la naturaleza del criterio seleccionado y, en otros, a la escala de los datos obtenidos a través de fuentes secundarias. Se seleccionaron 13 criterios (11 factores y 2 restricciones) que fueron agrupados en 4 dimensiones (Figura 2).

Figura 2. Esquema con diseño de criterios

CRITERIOS	Socio-económico	Factores	
		<ul style="list-style-type: none"> - Acceso a derechos sociales y conectividad - Oferta y demanda de mano de obra - Rendimiento neto económico del agua - Tamaño de la explotación agrícola 	
	Infraestructura	Factores	
		<ul style="list-style-type: none"> - Cercanía a rutas principales - Cercanía a centros de acopio - Cercanía a sistema administrado de redes de riego 	
	Gobernabilidad	Factores	Restricción
		<ul style="list-style-type: none"> - Acceso al agua subterránea - Comunidad de regantes - Gestión estatal del reúso del agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Zona de restricción de acuíferos
	Ambiental	Factores	Restricción
		<ul style="list-style-type: none"> - Huella Hídrica Azul, Verde y Gris 	<ul style="list-style-type: none"> - Isotherma de 12° C

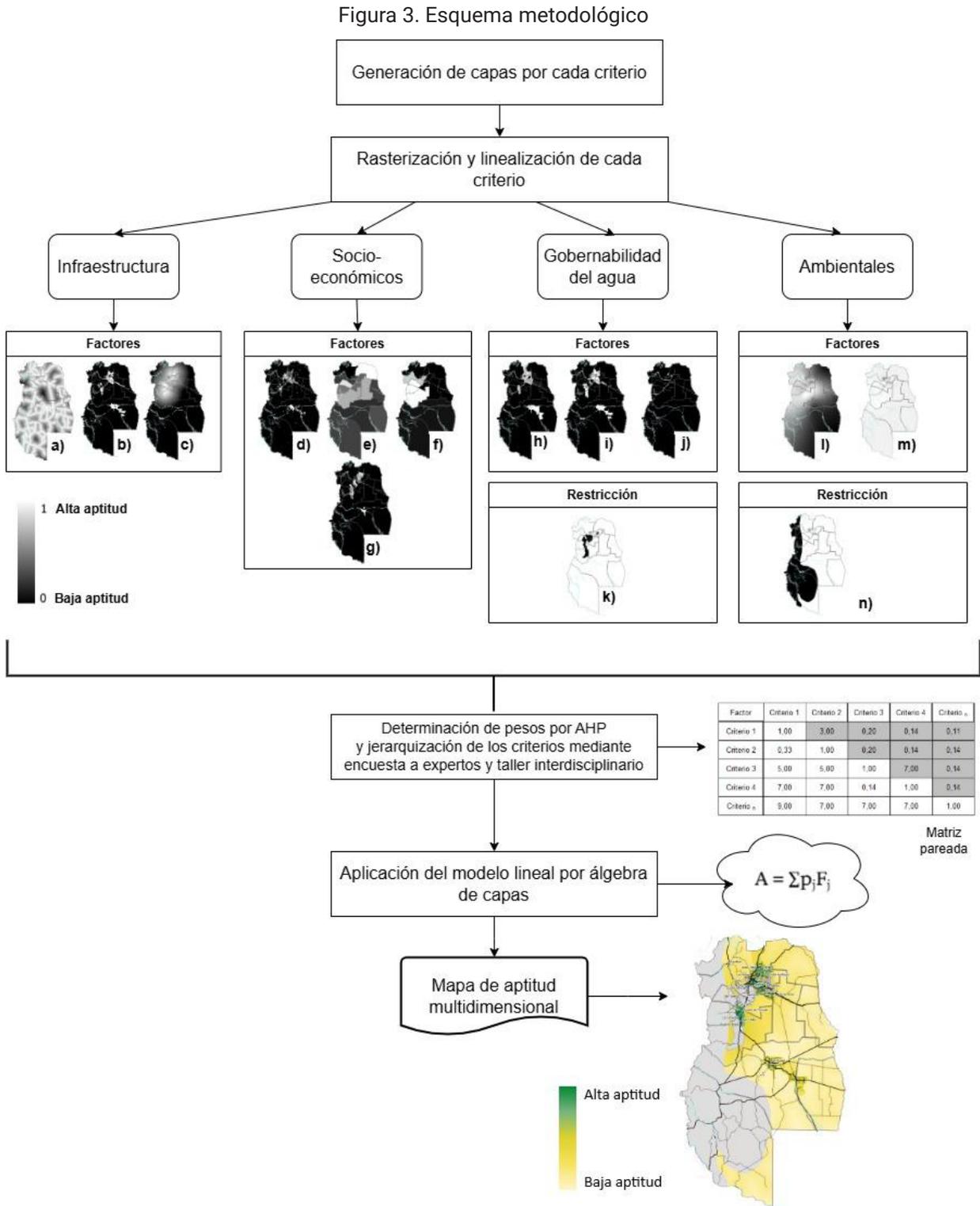
En el siguiente apartado se describirán los fundamentos para los criterios seleccionados y los pasos metodológicos para la generación de cada capa geográfica. Todas las capas de información que expresan cada criterio, fueron linealizadas llevando todos los intervalos al rango de 0 a 1, siendo 0 (poco apto) y 1 (muy apto). La aplicación de la Ec. 1 se llevó adelante mediante el álgebra de bandas, previa rasterización de todas las capas. El proceso metodológico completo se observa en la Figura 3.

3.3.1. Criterio Ambiental

Huella Hídrica

Como ya se mencionara en párrafos precedentes, la disponibilidad de agua estructuró la distribución espacial de las actividades productivas y de los asentamientos poblacionales en la mayor parte de la región semiárida de la Argentina y en particular en Mendoza. En tal sentido, se se-

leccionó la Huella Hídrica como un indicador del consumo de agua, al mismo tiempo posee un carácter sintético al tener en cuenta en su cálculo diversas variables físicas, como precipitación, evapotranspiración, temperatura, humedad relativa, entre otras.



Fuente: Elaboración propia. Referencias: a) Cercanía a rutas, b) cercanía a centros de acopio, c) cercanía a red de riego, d) acceso a derechos sociales y conectividad, e) mano de obra en el sector primario, f) rendimiento económico, g) tamaño de la explotación agrícola, h) acceso al agua subterránea, i) existencia de comunidad de regantes, j) gestión estatal del reúso del agua, k) zona de restricción de acuíferos, l) huella hídrica azul y verde, m) huella hídrica gris, n) isoterma de 12 °C.

La Huella Hídrica (HH) es una herramienta que se ha desarrollado para estimar el consumo de agua asociada a la producción de bienes y servicios (Hoekstra & Hung, 2002). La HH se clasifica en tres tipos, la denominada HH verde (agua proveniente de lluvia), la azul (si proviene de sistemas superficiales o subterráneos) y la gris que es la que se utiliza para asimilar la carga contaminante en un cuerpo receptor (Lambarri y Vázquez del Mercado-Arribas, 2017).

La determinación de la HH en sus tres componentes, fue calculada en Mariani et al. (2022) en base a los lineamientos descritos en el Manual de Evaluación de Huella Hídrica (Hoekstra et al., 2011). La HH azul y verde presentan variación de acuerdo a la región y de la variedad comercial de ajo. Respecto a la HH azul, los mayores valores se registran para el ajo colorado en la zona norte de la provincia, mientras que para la HH verde los valores máximos corresponden al ajo blanco en la región sur provincial. Para la obtención de estos valores, se utilizó información de 23 estaciones meteorológicas (Mariani et al., 2022). Posteriormente, y a fin de obtener un mapa de valores continuos de HH en sus tres componentes, se utilizaron técnicas geoestadísticas para interpolar los cálculos puntuales.

Se identifica también como criterio ambiental pero de restricción, la isoterma de 12 °C para el cultivo del ajo. Si bien los extremos de posibilidades del ajo están entre 7 °C y 30 °C (temperaturas máximas y mínimas, respectivamente), el rango óptimo de temperatura para el correcto desarrollo del cultivo es de 12,5 °C a 24 °C, por ello se demarca en la zona de estudio una restricción hacia el oeste de la provincia coincidente con la isoterma de 12 °C.

3.3.2. Criterio Socio-económico

Oferta y demanda de mano de obra

La disponibilidad de mano de obra es un factor determinante en la producción agrícola. Para su análisis se consideró como una variable proxy los porcentajes de población ocupada en el sector agrícola por departamento, dato obtenido del Censo Nacional de Población y Vivienda de Argentina de 2010². Los departamentos de Lavalle, Tupungato, Santa Rosa, San Carlos, Tunuyán y Junín presentaron la mayor concentración de trabajadores en el sector primario, dando cuenta de las disparidades en la disponibilidad de fuerza laboral agrícola a nivel provincial. Con valores que van desde 44 % en el departamento Lavalle, hasta 5 % en departamento Las Heras. Se construyó una capa de valores continuos la cual se rasteriza y luego se estandariza al rango 0-1.

La selección de este factor se fundamenta en la singularidad del mercado laboral de la producción agrícola, caracterizado por la demanda estacional de trabajo vinculada a los ciclos productivos. Los principales determinantes de esta demanda son: la superficie agrícola, la composición de los cultivos, sus rendimientos físicos y el grado de mecanización. Asimismo, cada cultivo genera demandas específicas de fuerza de trabajo, tanto en volumen como en su temporalidad. En el caso del ajo, se trata de uno de los cultivos con mayor demanda de mano de obra por hectárea de la provincia. Según un estudio realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), su producción requiere en promedio 127 jornales por hectárea por año, de los cuales el 73 % corresponden a tareas de pre-cosecha y el 27 % con actividades de cosecha (López, Pizzolato y Fernández, 2010). Por otra parte, la disponibilidad de fuerza de trabajo se ve influida por factores como las características demográficas de la población local, la disponibilidad de trabaja-

2. Se utilizaron los datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2010 dado que los datos del censo 2022 aún no están disponibles para su procesamiento al momento de esta publicación.

dores temporales, los niveles educativos y de formación, así como, las dinámicas de las relaciones laborales.

Acceso a derechos sociales (espacios de cuidado de primera infancia, centros de salud, centros educativos, paradas de colectivo)

La capa correspondiente a este factor se generó mediante buffers de cercanía o envolventes a partir de la localización de centros de salud, escuelas, centros de cuidado infantil y paradas de transporte público –datos obtenidos del Sistema de Información Ambiental Territorial de la Agencia de Desarrollo Territorial Provincial, Dirección General de Escuelas y Secretaría de Servicios Públicos de la Provincia–. La accesibilidad fue calculada como distancia en metros, siguiendo un criterio de equidad orientado a minimizar las distancias recorridas por la población. El valor del criterio va disminuyendo a medida que nos alejamos de los centros de localización hasta los 1500³ metros, a partir de entonces la valoración es cero.

Este criterio se seleccionó entendiendo que la accesibilidad a servicios comunitarios de salud, educación y cuidados es esencial para la calidad de vida de sus habitantes. La accesibilidad es entendida como disponibilidad, conectividad y adecuación de los servicios a la demanda (Aveni y Ares, 2008). En particular este trabajo se centra en la dimensión espacial/locacional, es decir “la distancia existente entre la oferta (los equipamientos) y la demanda (población)” (Villanueva, 2010, p. 138).

Tamaño de las explotaciones agrícolas

La capa de este factor se generó calculando el tipo de productor promedio de ajo a nivel distrital⁴, tomando solo aquellos distritos dentro del área irrigada de la provincia. Se utilizó una capa de ubicación de fincas o establecimientos de ajo brindado por el Instituto de Desarrollo Rural provincial, cuya información tabular sirvió para determinar la tipología de productor basándonos en la propuesta de Caracciolo et al. (1981). En su construcción se tuvieron en cuenta variables estructurales como: tamaño de la unidad productiva, acceso al agua y nivel de capitalización. Una vez determinada la tipología, se extrapolan estos datos a nivel distrital, a partir de un promedio de las fincas ubicadas en cada distrito. La asignación numérica aumenta para aquellos distritos donde predominan productores de tipo pequeños, lo que indicaría aquellas zonas de mayor vulnerabilidad social.

La selección de este criterio se vincula a las tendencias observadas en la agricultura local. Los procesos de modernización y concentración productiva han conducido a la desaparición de pequeños y medianos productores, como se observa en la dinámica de las explotaciones agrícolas de la provincia de Mendoza, en el período intercensal 2002-2018 del Censo Nacional Agropecuario (Mathey y Van den Bosch, 2021). Esta dinámica afecta en particular al cultivo del ajo, caracterizado por el predominio de unidades productivas de pequeña escala (48 % en 2021). En el mismo, las explotaciones muy grandes que sólo representan el 11 %, concentran el 47 % de la superficie cultivada.

En cuanto a la dinámica espacial del cultivo del ajo, las explotaciones de menor escala tienen una presencia mayoritaria en los departamentos del Oasis Norte que rodean a la capital provincial, en el denominado Cinturón Verde (ver Figura 1), las cuales se ven especialmente afectadas frente

3. Se siguieron los criterios establecidos por los estudios de ordenamiento territorial de la provincia de Mendoza (Fernández, 2014).

4. El distrito es una unidad administrativa de menor rango que el Departamento.

al significativo avance urbano en esta zona. A medida que nos alejamos del aglomerado urbano, comienza a predominar un patrón más especializado o extensivo, como sucede en el Valle de Uco, donde predominan las explotaciones de mayor escala (concentra el 80 % de las explotaciones de más de 30 ha).

La tipología de explotaciones agrícolas y el análisis de las exposiciones socioeconómicas a las que se enfrentan los productores, permitió identificar zonas de mayor vulnerabilidad social, caracterizadas por la presencia predominante de explotaciones de pequeña escala (Carballo-Hiramatsu, 2019; Dalmasso y Mussetta, 2020). La agricultura es la principal fuente de ingreso de dichas familias, lo que las hace vulnerables a los cambios en las condiciones de mercado y al avance urbano, aumentando el riesgo de pobreza y exclusión social.

Rendimiento neto económico del agua

Este indicador económico-ambiental, estudiado en el campo de la Economía Ambiental y en múltiples variantes (Ríos Flores et al., 2016; 2015), refiere a una mirada específica de la eficiencia económica, dado que ésta, dependiendo de los objetivos y el contexto o entorno de análisis, puede ser evaluada de diversas maneras. En concreto, se examina el uso del agua en relación con la generación de beneficios económicos en la producción de ajo, siendo una medida de la eficiencia centrada en el uso del recurso hídrico en relación con un aspecto específico de la actividad económica, generación de beneficios para el productor, en la producción de ajo en la provincia de Mendoza.

El indicador se construye a partir de la relación de dos variables, suponiendo constante el resto de las mismas que pudieran influir. La ecuación EWF (Economic Water Footprint) mide la eficiencia económica del agua usada en la producción de ajo cuya información es suministrada por las variables HH y los precios y costos de producción, dada la siguiente ecuación.

$$\text{Ec. 2} \quad EWF \text{ ajo} = \frac{PFWF}{BN}$$

Donde PFWF es la productividad física del volumen de agua usada en la producción de ajo, que resulta de la estimación de la HH medida en m³ por tonelada de producción.

BN es el beneficio neto recibido por el productor que resulta del cociente entre el precio promedio que recibe por tonelada de ajo cosechado en finca (considerando el precio promedio a partir de las temporadas 96/97 a 20/21) menos el costo económico privado de producción (dado que no se estimó este aspecto en particular se empleó como supuesto que el 90 % del precio promedio por tonelada de venta se considera como costo económico privado de producción). Todos los valores se expresan en la moneda dólar estadounidense según el tipo de cambio oficial corriente o del momento.

La interpretación económica de este indicador refleja que a medida que su valor disminuye señalaría una mayor eficiencia económica puesto que eso implicaría el uso de menos agua para generar una cierta cantidad de beneficio neto económico, por lo tanto, una menor cantidad de agua (m³) necesaria para producir un dólar estadounidense de beneficio económico neto para el productor. Por otro lado, a medida que el valor del indicador se incrementa, indicaría una menor eficiencia debido que, a priori, se requeriría más agua para generar la misma cantidad de beneficio económico, lo que no sería sostenible a largo plazo –máxime en contexto de crisis hídrica y posibles perturbaciones en precio y cantidad del mercado internacional del ajo, variables que

no se tomaron en cuenta en este artículo– implicando un mayor costo ambiental y económico en términos de uso de los recursos hídricos. Esta capa se construyó a nivel de unidad administrativa de departamento, ya que se contaba con los precios y costos de producción a esta escala. El resultado indica que a mayor eficiencia, su valor será más cercano a 1, y a menor eficiencia más cercano a 0.

3.3.3. Criterio de Gobernabilidad del agua

Para el presente estudio, consideramos pertinente la incorporación de criterios vinculados a la gobernabilidad del agua, por tratarse de un cultivo de invierno que mayormente utiliza agua proveniente de perforaciones subterráneas, y por los múltiples conflictos en torno a la utilización de un recurso escaso en la región.

Primero es importante describir el concepto de gobernabilidad⁵ el cual se refiere a la capacidad técnica y política con la que el Estado cuenta para dar solución a las demandas de la sociedad. Refiere a la capacidad de un sistema político para proporcionar dirección, mantener la estabilidad, y garantizar el funcionamiento eficaz de las instituciones gubernamentales y se relaciona con criterios de legitimidad, la participación ciudadana, la transparencia y el Estado de derecho (Bobbio y Matteucci, 1998). En el caso específico de la gobernabilidad del agua, se refiere a cómo se gestionan y toman decisiones relacionadas con los recursos hídricos en una determinada región o área. Por lo tanto, requiere de la colaboración de diversos actores, la participación ciudadana, la transparencia y la aplicación efectiva de marcos legales y regulaciones, enmarcada en una gestión integrada que contemple la capacidad de adaptación al cambio climático en el contexto actual de crisis hídrica. Según el Departamento General de Irrigación (DGI) de la provincia de Mendoza –el cual se encarga de la administración general de las aguas públicas– la gobernabilidad del agua debe abordar la triple valoración del recurso hídrico: social, económica y medioambiental, sumada la dimensión política. En esta dimensión tienen especial importancia el derecho al agua segura, la competencia local en su administración y su papel como medio para abordar los problemas sociales, económicos y medioambientales, materializada en la aplicación efectiva de los marcos regulatorios.

Acceso al agua subterránea y restricción de acuíferos

Los fundamentos en la selección de este criterio, teniendo en cuenta las limitaciones que está sometida la presente investigación, están dados por la densidad de perforaciones registradas por superficie delimitada de los acuíferos –en función de las características hidrogeológicas de cada acuífero específico según la clasificación que el DGI, como autoridad hídrica, estableció.

A partir de esta información, se determinó una categorización de los acuíferos delimitados en baja, media y alta densidad. Para la creación de la capa que expresa este factor se utilizó la ubicación de las perforaciones de agua (obtenidas del DGI) y la delimitación de los acuíferos. Mediante geoprocесamientos se estimó la densidad de pozos por superficie de acuífero. En este sentido, a mayor densidad se entiende, a priori, una mayor restricción a acceder al recurso hídrico subterráneo debido a cuestiones de cantidad como de calidad que son reguladas por la Autoridad de Aplicación. La capa de información se construyó en el SIG siguiendo estos lineamientos, asignando mayor valor numérico (por tanto de aptitud) a las zonas de densidad intermedia. El valor

5. A diferencia de la Gobernanza que abarca las reglas, prácticas y los procesos (formales e informales) políticos, institucionales y administrativos a través de los cuales se toman e implementan decisiones (OCDE, 2015).

disminuye para aquellos espacios en los cuales la densidad es alta (acuífero sobreexplotado), es muy baja (por no haber disponibilidad del recurso hídrico) o es zona de no disponibilidad (ya sea por cantidad o calidad del recurso) según indica la Autoridad de Aplicación Hídrica.

Asimismo, se construyó una segunda capa de tipo restricción o limitante, en el que se especifican los sectores de los acuíferos que actualmente se encuentran bajo restricción de construcción de nuevas perforaciones de explotación de agua subterránea, ya sea por desmejoramiento de la calidad de sus aguas o por desequilibrio en el balance hidrológico.

Comunidad de regantes

La incorporación de este factor como criterio de gobernabilidad del agua (con foco en el recurso hídrico subterráneo) implica un análisis más complejo. En primer lugar, en opinión de Embid Irujo (2015), el concepto de la participación de los usuarios en la gestión del agua resulta ser una premisa en el moderno Derecho de Aguas. Sin embargo, según González del Solar (2023), la existencia de las entidades asociativas para el uso del agua subterránea es prácticamente nula –tanto para Mendoza como para casi todas las provincias argentinas que poseen un marco normativo que las prevé–.

Esta limitación obligó a acudir en forma supletoria a un criterio mixto que contemple las delimitaciones de zonas que posean inspecciones de cauce encargada de la gestión de la infraestructura de riego de rangos menores y la presencia en esas zonas de cobertura con agua subterránea.

De esta manera, se entiende a priori, que aquellas zonas donde se efectúa un riego mixto o complementario genera mejores condiciones de manejo del recurso a través de la participación de los usuarios, contribuyendo a una gobernabilidad más sostenida y de mejores perspectivas para enfrentar las oportunidades y amenazas que impone el ambiente, la economía regional y global; la tecnología y las infraestructuras; entre otras. Siguiendo esa lógica se construyó la capa de información en el SIG, asignando valores numéricos que se traducen en mayor aptitud cuando la comunidad de regantes es mixta, valor intermedio cuando es solo por riego subterráneo y valor mínimo en los sitios donde se carece de unidad de gestión.

Gestión estatal de reuso del agua

La provincia de Mendoza ha sido pionera a nivel nacional en el tratamiento de líquidos cloacales y aguas residuales y en regular el reuso de las mismas. Dadas las condiciones climáticas de aridez en las que se encuentra inserta, se explora la posibilidad de incluir este criterio para la expansión de la actividad ajera en Mendoza. En el área metropolitana de Mendoza existen dos importantes plantas depuradoras: Campo Espejo y Paramillos. Los efluentes tratados en las mismas son posteriormente reutilizados para riego agrícola en las denominadas Áreas de Cultivos Restringidos Especiales (ACREs). Los efluentes utilizados deben cumplir con los parámetros de calidad previstos para estos fines.

El DGI ha regulado esta práctica ya que implica un manejo especial de aguas públicas tratadas desde el punto de vista de su distribución. La posibilidad de cultivo del ajo en ACREs está contemplada, abriendo un abanico de zonas alternativas para su desarrollo.

En el marco del presente trabajo, se valoran aquellos territorios próximos o cercanos a plantas de tratamiento, especialmente, al introducirse como variable los ACREs existentes de Campo

Espejo y Paramillo. Asimismo, se identifican como zonas con potencialidad aquellas cercanas a toda planta de tratamiento existente (que reúna las condiciones necesarias) en la provincia –cuya determinación se obtuvo en base a un análisis estadístico de los ACREs existentes, relacionando el volumen promedio cloacal depurado con la superficie susceptible de ser regada–. Teniendo en cuenta la ubicación geográfica de las plantas de tratamiento, se estimó el área potencial de ACRE alrededor de la misma. Esta superficie varía para cada planta de tratamiento. La capa se construye con las zonas cercanas al ACRE se acercan al valor de 1, y a medida que nos alejamos tienden al valor 0.

3.3.4. Criterio de Infraestructura

Cercanía a centros de acopio

La capa de información en el SIG de este factor central en la producción de ajo, se ha elaborado delimitando zonas con mayor aptitud para la agricultura en función de su cercanía a los galpones de empaque⁶ para el acondicionamiento y posterior comercialización. Se elaboraron buffers cada 5 km tomando como centro de la localización el centro de acopio (información provista por el Instituto de Sanidad y Calidad Agropecuaria de Mendoza). A medida que nos alejamos de la ubicación del centro, la aptitud disminuye.

Los galpones de empaque constituyen un actor importante en la producción de ajo y su creciente presencia en este tipo de cultivos se vincula a su orientación hacia el mercado externo. Su comercialización demanda infraestructuras especializadas para su acondicionamiento previo y transporte, así como, del conocimiento de las distintas plazas comerciales. Las tareas de acondicionamiento del ajo son más complejas en comparación con otras hortalizas (como la zanahoria o el zapallo, por ejemplo), ya que involucran procesos adicionales como pelado, cortado, selección y empaque (Carballo, 2019).

Como mencionamos previamente, la producción de ajo en la provincia se concentra principalmente en el Valle de Uco, donde se concentran las explotaciones más extensas; mientras que los galpones de empaque se localizan en el Oasis Norte (mayoritariamente en Guaymallén y Maipú). Esta localización se vincula a consideraciones logísticas, ya que la mayor parte de la producción de ajo para su exportación sale por la localidad de Desaguadero mediante Ruta 7 (IDR, 2012). No obstante, la distancia entre las zonas de producción y las de acondicionamiento y comercialización tiene consecuencias tanto económicas (por el costo de los fletes y por la pérdida de calidad de la materia prima), como ambientales (por la contaminación que implica el transporte y la quema de residuos en lugares de destino) y sociales (por la migración de mano de obra local) (Lanzavecchia, 2013).

Cercanía a rutas principales (nacionales y provinciales)

La cercanía a rutas es un factor que influye significativamente en la aptitud de las localizaciones, tanto en términos económicos como ambientales, en el siguiente mapa hemos delimitado zonas con mayor aptitud, a partir de la creación de buffers de 5 km alrededor de las rutas nacionales o provinciales. Se considera que la idoneidad de las localizaciones disminuye a medida que se ale-

6. Cabe aclarar que los galpones de empaque, donde se realizan tareas de acondicionamiento y envasado de las hortalizas, son similares a lo que en España se denomina “almacenes de envasado”.

jan de las vías de acceso. Se utilizaron las capas de información de red de transporte provista por el Instituto Geográfico Nacional.

La infraestructura de transporte tiene un papel fundamental en el desarrollo rural, beneficiando a las actividades económicas de diversas maneras. Al facilitar el transporte rápido y eficiente de los productos, incide directamente en los costos operativos de los productores y en la organización de sus actividades, al permitir una mayor eficiencia logística y una gestión más efectiva de la cadena de suministro. Asimismo, posibilita el acceso a otros mercados regionales e internacionales, al permitir conectar zonas agrícolas remotas con centros urbanos y áreas de comercialización (León, 2014). En nuestro caso de estudio, nos centramos en la red vial nacional y provincial, dado que los camiones representan el principal medio de transporte utilizado en todas las etapas del proceso productivo del ajo.

Cercanía a sistema administrado de redes de riego

La estructura agrícola mendocina, inserta en un ambiente semiárido, requiere del riego artificial, lo cual implica, a su vez, el mantenimiento de un complejo sistema de captación y reparto del agua destinados para distintos usos. Este sistema se encuentra organizado en redes primarias de riego (canales matrices), redes secundarias (ramas), terciarias (hijuelas) y cuaternarias (ramos).

Si bien, el ajo es un cultivo invernal en la provincia de Mendoza, cuyo riego mayoritario proviene de las aguas bombeadas desde los acuíferos, las redes de riego administradas por las inspecciones de cauce suelen ser sistemas bien establecidos que contribuyen al desarrollo de la actividad misma en aquellas áreas irrigadas donde se practican un riego conjunto entre ambas fuentes, aunque, quizás con una menor intensidad en el aprovechamiento del recurso hídrico superficial. Algunos de los beneficios identificados, que son extensibles para otros cultivos, son por ejemplo, mayor seguridad hídrica al estar respaldadas las inspecciones por la Autoridad de Aplicación, eficiencia en el riego, reducción de costo al acceder a una fuente de agua confiable y evitar el bombeo, y facilidad en la gestión.

Lo expuesto permite justificar adecuadamente la elección de la variable “cercanía a un sistema administrado de redes de riego” como parte de un conjunto de elementos que explican potencialmente la aptitud presunta zonal para la producción. Es decir, una parcela de cultivo de ajo que se encuentre próxima e inserta en un sistema organizado de riego, a priori, se entiende que ésta característica le brinda mejores perspectivas y mejora la aptitud potencial de los terruños que conforman esa área irrigada, en cuanto que esas unidades de gestión administrada facilitan la creación de ambientes propicios para la toma de decisiones armónicas y consensuadas entre los actores.

La capa de este criterio fue generada a partir de envolventes con un radio máximo de 1 km a la red de riego, independientemente de su categoría. Las zonas próximas a la red de riego poseen alta aptitud hasta 1 km. Luego la aptitud desciende hasta el valor de 0.

3.4. Pesos de los criterios

El método AHP permitió asignar pesos a los criterios utilizando una metodología robusta que transformó las apreciaciones subjetivas de los expertos en valoraciones numéricas respaldadas estadísticamente. Para optimizar la ronda de encuestas a los expertos participantes, se agruparon

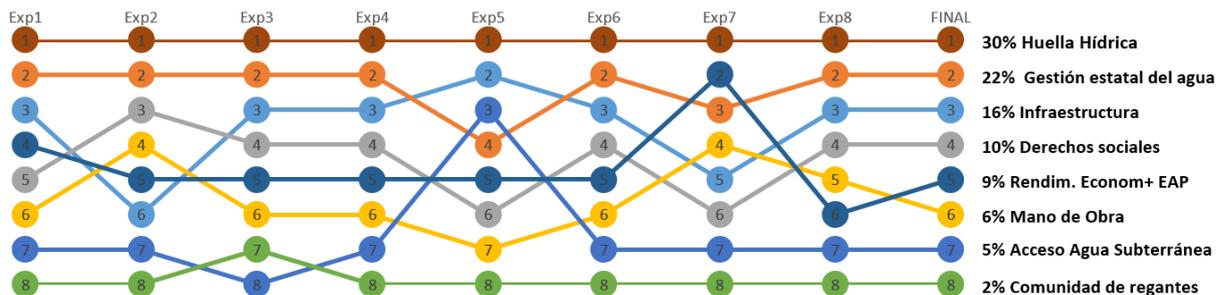
las variables en tres categorías principales: socio-económicas, de huella hídrica y de gobernabilidad.

En la Figura 4 se presentan los pesos asignados a cada criterio según las respuestas de los ocho expertos encuestados. Todos coincidieron en que la Huella Hídrica es la variable más relevante, obteniendo un peso ponderado del 30 %. Asimismo, el 75 % de los expertos destacó que las variables relacionadas con el reuso del agua y la densidad de pozos son las segundas en importancia, con un peso relativo del 22 %. Estos resultados reflejan que más del 50 % de los criterios para determinar la aptitud territorial del ajo están vinculados a la disponibilidad y manejo del agua. En cuanto a la tercera variable en orden de prioridad, el 63 % de los expertos seleccionó las relacionadas con Infraestructura, asignándoles un peso relativo del 16 %. Por otro lado, la existencia de comunidades de regantes fue identificada como la variable de menor relevancia por el 88 % de los encuestados. Los pesos finales fueron ponderados considerando la Relación de Consistencia (RC), evidenciándose una alta coherencia entre los resultados y el promedio general. En la Figura 4, los colores varían de rojo (menor peso) a verde (mayor peso), representando la importancia relativa de cada criterio según los expertos. Por su parte, la Figura 5 muestra las diferentes percepciones de los expertos respecto a las prioridades de los criterios evaluados sintetizando el orden de prelación individual y colectivo, destacando los distintos enfoques disciplinares que enriquecen el análisis.

Figura 4. Pesos de criterios según cada experto consultado y peso promedio

Criterio	Vectores de pesos de factores según cada experto							
	Exp1	Exp2	Exp3	Exp4	Exp5	Exp6	Exp7	Exp8
Acceso a derechos sociales y conectividad	8%	11%	10%	13%	3%	10%	8%	13%
Oferta y demanda de mano de obra	6%	10%	5%	5%	3%	4%	14%	8%
Rendimiento neto económico del agua + Tamaño de la explotación agrícola	10%	8%	9%	7%	7%	7%	24%	6%
Infraestructura (Cercanía a rutas, centros de acopio y redes de riego)	17%	6%	17%	17%	20%	17%	9%	20%
Acceso al agua subterránea	4%	3%	2%	4%	18%	3%	3%	3%
Comunidad de regantes	2%	2%	2%	2%	3%	2%	1%	2%
Gestión estatal del reúso del agua	21%	28%	18%	26%	16%	22%	17%	23%

Figura 5. Análisis de priorización de criterios por experto encuestado



4. Resultados y Discusión

En la Figura 6 se observa el mapa final de aptitud en el cual se han conjugado todos los criterios seleccionados con sus respectivos pesos. Cabe mencionar que la escala final del mapa es una resultante de las escalas de la información de entrada o de base utilizada para su generación. El estudio abarca toda la provincia de Mendoza, es decir es un estudio de orden regional, por tanto responde interrogantes a esa escala, recomendando su uso a nivel distrital.

El uso combinado de EMC y SIG permitió dar posibles soluciones a problemas locacionales complejos en el análisis socio-espacial y el ordenamiento territorial (Buzai y Baxendale, 2013) y en particular en el presente trabajo para la identificación de zonas aptas para el cultivo del ajo. La asignación de los pesos mediante AHP fue importante para transformar las valoraciones subjetivas de los expertos (planteadas bajo criterios científicos) en atributos numéricos capaces de ser introducidos en el modelo lineal. Si bien existen algunos otros métodos, debido a la simplicidad y amplia fundamentación teórica, el AHP es uno de los más aceptados en el ámbito de los tomadores de decisiones (Brunelli, 2015; Hernández-Zaragoza et al., 2019).

Fue un desafío para el presente trabajo, la introducción de criterios socio-económicos y de gobernabilidad del agua para la estimación de la aptitud del cultivo del ajo. Usualmente, en la determinación de zonas productivas es común el uso solamente de criterios de índole físico-ambientales (Somoza et al., 2021; Hernández-Zaragoza et al., 2019) sin embargo, se considera fundamental para evaluar la sustentabilidad de las prácticas agrícolas, la introducción de criterios orientados hacia una mirada más integral.

El trabajo interdisciplinar logró identificar criterios de distinta naturaleza, capaces de describir las condiciones del cultivo del ajo (varios de esos criterios se consideran también aplicables a otros cultivos hortícolas bajo riego por agua subterránea). Decidirse por uno u otro criterio presenta una tendencia hacia un determinado curso de acción, es por eso que la EMC puede ser considerada como el conjunto de técnicas que apoyan ese proceso de toma de decisiones dentro de una amplia variedad de posibilidades (Buzai y Baxendale, 2013; Gómez-Delgado y Barredo-Cano, 2006).

En el mapa final (Figura 6) se aprecia claramente que la producción de ajo reúne buenas condiciones para su desarrollo en las zonas de Valle de Uco y Oasis Norte, las que cuentan con disponibilidad de agua y aptitud agroecológica para la horticultura. Estas regiones son coincidentes con la actual localización de explotaciones destinada al ajo (puntos amarillos del mapa). De acuerdo a las categorías de aptitud, se resume:

Aptitud muy alta: Los distritos que muestran los mayores valores de aptitud (tonos verde oscuro del mapa) son el Oasis Norte próximo al río Mendoza, Valle de Uco y zona sur del departamento Lavalle. En Oasis Norte, principalmente el departamento Maipu coincidente con la zona denominada Cinturón Verde, como por ejemplo Coquimbito, San Roque, Rodeo del Medio y Barrancas. El mapa final de aptitud coincide con las dinámicas espaciales que se advierten en la zona del Cinturón Verde, con el crecimiento del suelo hortícola (en detrimento del vitícola y olivícola) y la expansión agrícola hacia los bordes del Oasis Norte. En la región de Valle de Uco, donde se advierte una producción especializada, varios distritos del departamento Tunuyán como por ejemplo Los Sauces, Colonia Las Rosas, entre otros, y de Tupungato, como el distrito El Zampal, muestran muy altos niveles de aptitud. Respecto al departamento Lavalle se destacan las zonas de

Jocolí Viejo y Paramillo, próximo al sector de ACRE Paramillo, así como también en el sector de ACRE de Campo Espejo en departamento Las Heras.

Aptitud alta: estos espacios se disponen alrededor de las zonas de muy alta aptitud zonas (sitios verde claro del mapa). Se destaca en esta categoría el Valle Inferior del Río Tunuyán (cercano a las localidades de Medrano y Rodríguez Peralta) que si bien actualmente no es una zona de intensa producción de ajo, presenta altas condiciones de aptitud según los resultados del presente trabajo, convirtiéndose en una zona de posible expansión o promoción de la actividad. Esta región es considerada una zona vitivinícola tradicional y una de las más grandes de la Provincia aunque, desde hace décadas experimenta un rezago en la actividad debido a diversas cuestiones (INV, 2019; Van den Bosch y Bocco, 2016). Los resultados de esta investigación en la cual este sector es clasificado en la categoría con aptitud alta a media, para la actividad ajera, en particular, y la hortícola en general, sumado al panorama y la realidad que atraviesa el sector vitivinícola; invita a repensar la construcción de las políticas agrarias de Mendoza en pos de proteger los oasis productivos agrícola-ganadero y su cadena de valor en los eslabones industriales asociados.

Aptitud media y baja: finalmente quedaron bajo la Categoría de aptitud media a baja (sitios amarillos del mapa) aquellos sectores circunscritos hacia los bordes de zonas de alta aptitud, generando un degradé de descenso de la aptitud multidimensional a medida que nos alejamos del Oasis Norte y Valle de Uco. En el caso del Oasis Sur (sector de San Rafael) es mayormente de aptitud media, definida especialmente por sus altos consumos de agua (huella hídrica) en comparación con otros sitios y sus bajos rendimientos económicos, así como también por la inexistencia de centros de acopio locales.

5. Conclusiones

El objetivo final de este trabajo fue identificar regiones aptas para el cultivo de ajo en la provincia de Mendoza, mediante el análisis de diversas dimensiones asociadas a su desarrollo sostenible (ambiental, socio-económica, de gobernabilidad). Para ello, se empleó una metodología que integró SIG con técnicas de EMC. En este análisis se evaluaron diversos criterios de localización de la actividad, tales como las aptitudes del medio natural, la disponibilidad de mano de obra, infraestructura vial y de riego, acceso a derechos sociales, entre otros. Cabe señalar que este análisis no pretendió ser exhaustivo, ya que en la decisión de radicar una actividad en un territorio intervienen un conjunto complejo de factores.

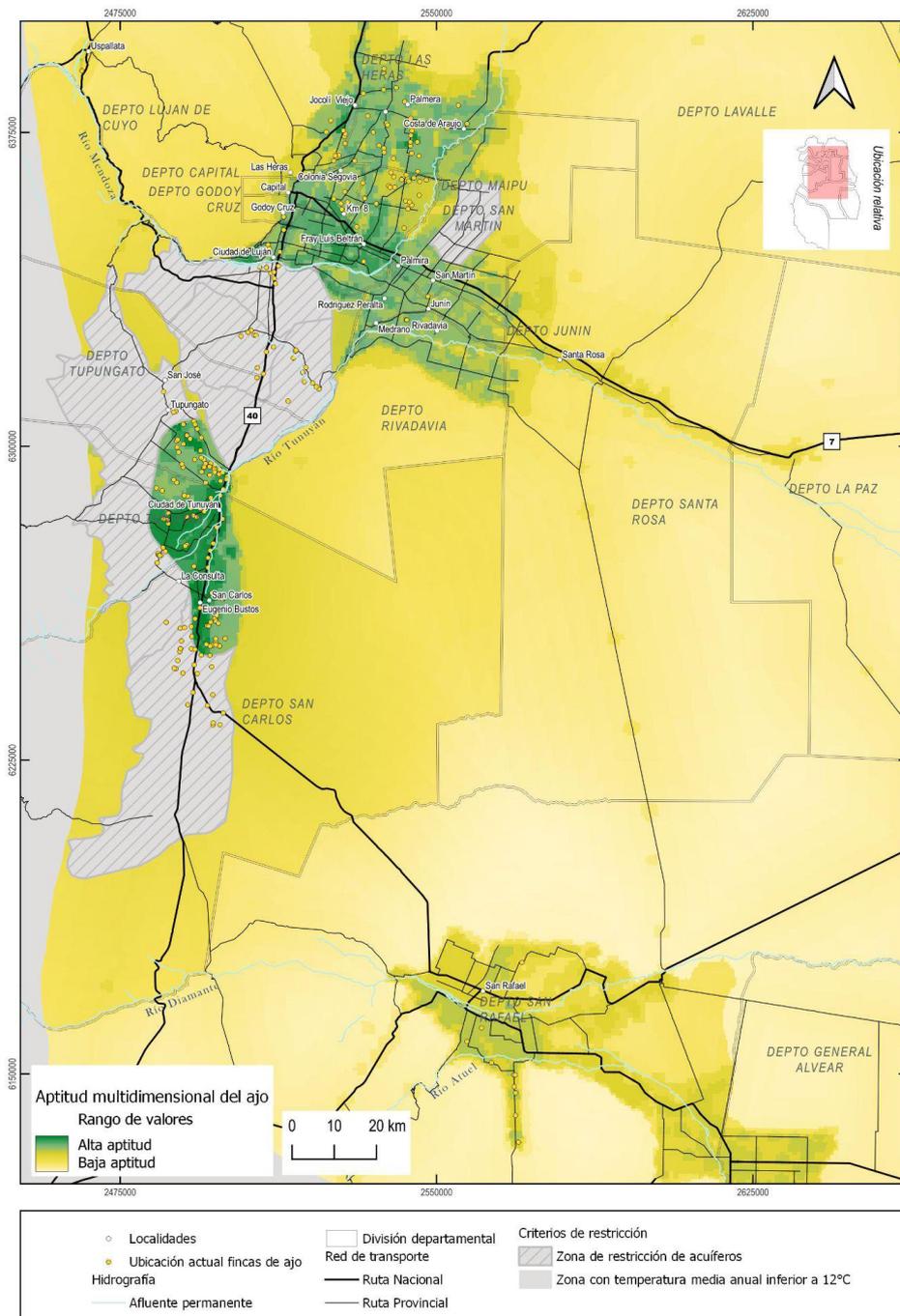
El análisis de las dinámicas espaciales del cultivo del ajo evidenció que ha experimentado cambios en respuesta a las transformaciones experimentadas en su organización productiva, impulsados por el acelerado proceso de industrialización del sector. Entre estos cambios destacan las innovaciones tecnológicas (tanto en semillas, como en el riego y en la incorporación de maquinarias como cosechadoras y plantadoras) y su orientación hacia el mercado externo. No obstante, los resultados del estudio revelan que existen áreas específicas en Mendoza que presentan condiciones más aptas para el cultivo del ajo, subrayando la importancia de considerar múltiples criterios para una toma de decisiones informada en la agricultura irrigada de cultivos de invierno.

Visualizar y comprender la distribución espacial de las zonas con aptitud potencial para el cultivo de ajo, permite tomar decisiones fundadas sobre la asignación de recursos y la planificación de cultivos, lo que contribuye a la eficiencia y sostenibilidad de la producción agrícola en Mendoza. Este enfoque integrado no sólo proporciona información valiosa para los agricultores locales,

sino que también puede ser una herramienta útil para planificadores agrícolas y responsables de políticas públicas.

En síntesis, este estudio demuestra el potencial de los SIG, la EMC y el Análisis de Procesos Jerárquicos como herramientas robustas capaces de representar la complejidad del territorio. Estos instrumentos metodológicos permiten el estudio y gestión de los recursos naturales, proporcionando una visión integral que puede ayudar a optimizar la producción agrícola y promover el desarrollo socioeconómico sostenible en Mendoza.

Figura 6. Mapa de aptitud multidimensional de cultivo del ajo



Fuente: Elaboración propia

Bibliografía

- Abraham, L.; Alturria, L.; Fonzar, A.; Ceresa, A. y Arnés, E. (2014). Propuesta de indicadores de sustentabilidad para la producción de vid en Mendoza, Argentina. En *Revista Facultad de Ciencias Agrarias*, 46 (1), pp. 161-180. ISSN (en línea) 1853-8665.
- Aguilar-Rivera, N.; Galindo Mendoza, G.; Fortanelli Martínez, J. y Contreras Servin, C. (2010). Evaluación multicriterio y aptitud agroclimática del cultivo de caña de azúcar en la región de Huasteca (México). En *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11 (2), pp. 144-154.
- Aveni, S. M. y Ares, S. E. (2008). Accesibilidad geográfica a los sistemas de salud y calidad de vida: Un análisis del partido de General Pueyrredón. En *Revista Universitaria de Geografía de la Universidad Nacional del Sur Argentina*, 17, pp. 255-284.
- Albicette, M.; Brasesco, R. y Chiappe, M. (2019). Propuesta de indicadores para evaluar la sustentabilidad predial en agroecosistemas agrícola-ganaderos del litoral del Uruguay. En *Agrociencia*, XIII (1), pp. 48-68.
- Barredo-Cano, J. I. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio*, en la ordenación del territorio, Madrid, España: RA-MA Editorial. ISBN 84-7897-230-7
- Bobbio, N., y Matteucci, N. (1998). *Diccionario de Política* (10ma ed.). Madrid, España: Siglo XXI de España Editores, S.A.
- Brunelli, M. (2015). *Introduction to the Analytic Hierarchy Process*. Nueva York, Estados Unidos: Springer Briefs in Operations Research.
- Buccheri, M. J. y Pinto, M. E. (2023). La recuperación estatal de la plusvalía hídrica como instrumento de gestión ambiental y territorial en Mendoza. *XXVII edición del Congreso Nacional del Agua CONAGUA 2023: Trabajos presentados al CONAGUA 2023* (1era. ed) (pp. 746-747). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional del Agua.
- Burgos, V. H.; Gärtner, N.; Salcedo, A. P.; Martínez, I. J. y Rapali, N. (2019). "Análisis multicriterio de amenazas aluvionales al oeste del área metropolitana de Mendoza". En *14º Encuentro del International Center for Earth Sciences (ICES)*. Encuentro llevado a cabo en la Ciudad de Mendoza, Mendoza.
- Burgos, V. H.; Rapali, N. y Bugarín, S. (2018). "Evaluación multicriterio de posibles sitios de reasentamiento de Villa Las Loicas por embalse Portezuelo del Viento". En *XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Congreso llevado a cabo en la ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- Buzai, G. D. y Baxendale, C.A. (2013). Aportes del análisis geográfico con Sistemas de Información Geográfica como herramienta teórica, metodológica y tecnológica para la práctica del ordenamiento territorial. En *Persona y Sociedad*. 27 (2), pp. 113-141. Recuperado de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/3836/CONICET_Digital_Nro.5009_A.pdf?sequence=2
- Caracciolo de Basco, M.; Tsakoumagkos, P.; Rodríguez Sánchez, C. y Borro, M. (1981). *Esquema conceptual y metodología para el estudio de tipos de establecimientos agropecuarios con énfasis en el minifundio* (1era.ed.). Buenos Aires, Argentina: Secretaría de Agricultura y Ganadería.
- Carballo-Hiramatsu, O. A. (2019). *Concentración y resistencias en la producción hortícola del Oasis Norte y Centro de Mendoza. Argentina*. Tesis de Doctorado en Estudios Sociales Agrarios. Facultad de Ciencias Sociales y Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Celemin, J. P (2014). El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: un análisis comparativo. En *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. 40 (6), Sección II: Metodología, pp. 47-63. ISSN 1852-8031.
- Civit, B.; Abbate, V.; Almeida, G.; Buccheri, M. J.; Burgos, V. H.; Cavagnaro, M.; ... Salcedo, A. P. (2023). "Propuesta de indicadores económicos, sociales y de gobernanza para evaluación espacial multicriterio de la Huella Hídrica del ajo en Mendoza". En *XXVII edición del Congreso Nacional del Agua CONAGUA 2023: Trabajos presentados al CONAGUA 2023*(pp. 756-757). Ezeiza, Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional del Agua.
- Civit, B.; Almeida, G.; Buccheri, M. J.; Burgos, V. H.; Cavagnaro, M.; D'Amico, P.; ... Salcedo, A. P. (2022). "Análisis multicriterio y SIG como herramientas para la toma de decisiones geopolíticas en la gestión del agua". En *Actas del X Encuentro Argentino de Ciclo de Vida y del IX Encuentro de la Red Argentina de Huella Hídrica. ENARCIV 2022 /Bongiovanni R.; Tuninetti L.; Nardi N.; Angelelli M.; Barrera V.; Burrioni L.; Lirio L...[et al.]*(pp. 113-155). Córdoba, Argentina: OncoiTiú.
- Dalmasso, C. y Mussetta, P. (2020). La expansión agrícola en el cinturón verde de la Ciudad de Mendoza. Aportes sobre la trayectoria de las explotaciones agropecuarias en el caso de Fray Luis Beltrán. En *Revista Proyección*:

estudios geográficos y de ordenamiento territorial. Instituto CIFOT, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, XIV (28), pp. 62-89.

- Eastman, J. R. (1999). Multi-criteria evaluation and GIS. *Geographical information systems*, 1 (1), pp. 493-502.
- Embid Irujo, A. (2015). "Organizaciones de Usuarios y Participación en la Gestión del agua en el Derecho español: Reflexiones generales y Consideración de la reciente legislación peruana de aguas sobre estas cuestiones, en Cinco años de la Ley de Recursos Hídricos en el Perú". En *Segundas Jornadas de Derecho de Aguas, Centro de Investigación, Capacitación y Asesoría jurídica*. Lima, Perú: Departamento Académico de Derecho, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Fernández, N. (2014). *Informe integrado: directrices para el ordenamiento territorial de las áreas rurales de Mendoza*. Mendoza, Argentina: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Gobierno de Mendoza.
- Gómez Delgado, M. y Barredo Cano, J. I. (2006). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. México: Alfaomega, Ra-Ma.
- González del Solar, N. (2023). "La gestión no estatal del agua subterránea. Su importancia en la adaptación al cambio climático". *XXVII edición del Congreso Nacional del Agua CONAGUA 2023: Trabajos presentados al CONAGUA 2023 (1era ed)* (pp. 776-777). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional del Agua.
- García, A., y Rofman, A. (2020). Circuitos productivos regionales: apuntes para una renovada herramienta analítica sobre procesos económicos en América Latina a principios de siglo XXI. *Revista brasileira de estudos urbanos e regionais*, 22, e202025.
- Hatfield, J.L.; Antle, J.; Garrett, K.A.; Izaurrealde, R. C.; Mader, T; Marshall, E; ...Ziska, L (2020). Indicators of climate change in agricultural systems. *Climatic Change-Springer Nature Link*, 163, pp. 1719-1732.
- Hernández-Zaragoza, P; Valdez-Lazalde, J. R.; Aldrete, A. y Martínez-Trinidad, T. (2019). Evaluación multicriterio y multiobjetivo para optimizar la selección de áreas para establecer plantaciones forestales. En *Madera y bosques*, 25 (2).
- Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K.; Aldaya, M. M. & Mekonnen, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual*. Washington DC, Estados Unidos: Water Footprint Network.
- Hoekstra, A. Y. & Hung, P. Q. (2002). Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Research. Delft, Netherlands: UNESCO-IHE.
- IDR (2012). *Evolución del sector empacador de ajo de la Provincia de Mendoza (Periodo 1999- 2011)*. Ciudad de Mendoza, Mendoza: IDR.
- IDR (2021). *Estimación de volúmenes y calibres de ajo. Temporada 2019/2020*. Ciudad de Mendoza, Mendoza: IDR. Recuperado de <https://www.idr.org.ar/ajo/>
- INDEC (2023). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022: Resultados definitivos (1era. ed)*. Ciudad de Buenos Aires, Argentina: INDEC.
- INV (2019). *Regiones vitivinícolas argentinas. Provincia de Mendoza. Área Este*. Informe elaborado por la Subgerencia de estadísticas y asuntos técnicos internacionales del INV, Mendoza, Argentina. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/10/informe_zona_este_2022.pdf
- Lambarri, J. y Vázquez del Mercado Arribas, R. (2017) (Editores). *Huella hídrica en México: análisis y perspectivas*. Jiutepec, Morelia: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. EISBN: 978-607-9368-60-9. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12013/1714>
- Lanzavechia, S. (2013). *Propuesta para la minimización del Impacto Ambiental de los galpones empacadores de ajo de la Provincia de Mendoza - Argentina (0111)*. Mendoza, Argentina: Estación Experimental Agropecuaria La Consulta, Mendoza. Recuperado de <https://biblioteca.mincyt.gob.ar/catalogo/114728>
- León, G. (2014). Competitividad, transporte y desarrollo económico. En *Informe de Macroeconomía y Crecimiento Económico*, Año 13 (1). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Universidad Católica Argentina, Facultad de Ciencias Económicas, Escuela de Economía "Francisco Valsecchi", Programa de Desarrollo e Instituciones.
- López, A.; Pizzolato, D. y Fernández Besada, A. (2010). La demanda de mano de obra en ajo, provincia de Mendoza. En Guillermo Neiman (Director), *Estudio sobre la demanda de trabajo en el agro argentino* (pp. 205-218). Buenos Aires, Argentina: Fundación Centro de Integración, Comunicación, Cultura y Sociedad - CICCUS.
- Malczewski, J. (2000). On the use of Weighted Linear Combination Method in GIS. Common and bestpractice approaches. *Transactions in GIS*, 4 (1), pp. 5-22. Doi 10.1111/1467-9671.00035.
- Mariani, A.; Martin, L.; Hernández, R.; Almeida, G.; Lipinski, V. y Civit, B. (2022). Evaluación de la huella hídrica del ajo en Mendoza, Argentina. En *Revista IDESA de la Universidad de Tarapacá (Arica)*, 40 (4), pp. 73-79.

- Mastrandrea, A. y Ángeles, G. (2021). Evaluación Multicriterio aplicada a la determinación de escenarios. En *Cuadernos Geográficos*, 60 (1), pp. 181-202.
- Mathey, D. y Van den Bosch, M. E. (2021). Dinámica de las explotaciones agropecuarias en Mendoza 2002-2018. Análisis comparativo en base a datos preliminares del CNA 2018. En Susana Soverna (Coordinadora), *La Argentina agropecuaria vista desde las provincias: Un análisis de los resultados preliminares del CNA 2018* (1era. ed.) (pp. 22-47). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Instituto Argentino para el Desarrollo Económico (IADE).
- Miraglia, M.; Caloni, N. y Buzai, G. D. (Organizadores) (2015). *Sistemas de información geográfica en la investigación científica actual*. Los Polvorines, Buenos Aires: Universidad Nacional de General Sarmiento. ISBN 978-987-630-209-8. Recuperado de https://www.ungs.edu.ar/wp-content/uploads/2018/03/668_SIG-Actual_FINAL_web.pdf
- Moreno Jiménez, A., Buzai, G. D. y Fuensalida Diaz, M. (2017). *Sistemas de Información Geográfica: aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales* (2da. ed.) Madrid, España: RA-MA Editorial.
- OCDE (2015). *Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE*. París, Francia: Oficina de publicaciones de la OCDE. Recuperado de <http://oecd.org/governance/oecd-principles-on-water-governance.htm>
- Pineda Santos, L. D. y Suárez Hernández, J. E. (2014). Elaboración de un SIG orientado a la zonificación agroecológica de los cultivos. En *Revista Ingeniería Agrícola*, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba, 4 (3)(julio-agosto-septiembre), pp. 28-32. ISSN 2306-1545. Recuperado de Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586262041005>
- Ríos-Flores, J. L.; Torres-Moreno, M.; Ruiz-Torrez, J. y Torres-Moreno, M. A. (2016). Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México. En *Acta Universitaria de la Universidad de Guanajuato, México*, 26 (1), s/d pp.
- Ríos-Flores, J. L.; Torres-Moreno, M.; Castro-Franco, R.; Torres-Moreno, M. A. y Ruiz-Torrez, J. (2015). Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017. Comarca Lagunera, México. En *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, 47 (1), pp. 93-107.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. Reino Unido: McGraw Hill.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15 (3), pp. 234-281.
- Sarandón, S. J. y Flores, C. C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. *Agroecología* (pp. 19-28), 4. Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/11713>
- Sarandón, S. J. (2022). *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable* (editor). Buenos Aires, La Plata: Ediciones Científicas Americanas, pp. 560. ISBN:987-9486-03-X
- Sepúlveda, S. J. (2008). Biograma: metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios (1era. ed.). San José, Costa Rica: IICA.
- Smyth, A. J. & Dumanski, J. (1995). A frame work for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science*, Noviembre 1995, pp. 401-406. doi: 10.4141/cjss95-059.
- Somoza, A; Vázquez, P; Sacido, M. y Zulaica, L (2021). Zonificación agroecológica del partido de Tandil (Argentina): aportes para gestión de servicios ecosistémicos. En *Cadernos de Geografía*, 43, pp. 107-126. doi: 10.14195/0871-1623_43
- Van den Bosch, M. y Bocco, A. (2016). *Dinámica intercensal de los sistemas de producción agropecuarios de la provincia de Mendoza* (1era. ed.). Ciudad de Buenos Aires: Ediciones INTA. Recuperado de https://www.academia.edu/90443286/Din%C3%A1mica_intercensal_de_los_sistemas_de_producci%C3%B3n_agropecuarios_de_la_provincia_de_Mendoza?uc-g-sw=52545951
- Villanueva, A. (2010). Accesibilidad geográfica a los sistemas de salud y educación. Análisis espacial de las localidades de Necochea y Quequén. En *Revista Transporte y Territorio de la Universidad de Buenos Aires*, 2, pp. 136-157.

Contribución de autorías

Todas/os las/os autoras/es han contribuido por igual durante la investigación y elaboración del trabajo.

Financiación

Ninguna.

Conflicto de intereses

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