

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-COMINO¹  0000-0002-4823-0871

ANDRÉS CABALLERO-CALVO¹  0000-0002-4382-0055

LUCA SALVATI²

JOSÉ MARÍA SENCIALES-GONZÁLEZ³  0000-0002-7858-1357

¹ Universidad de Granada. España.

² University of Macerata. Italia

³ 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

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

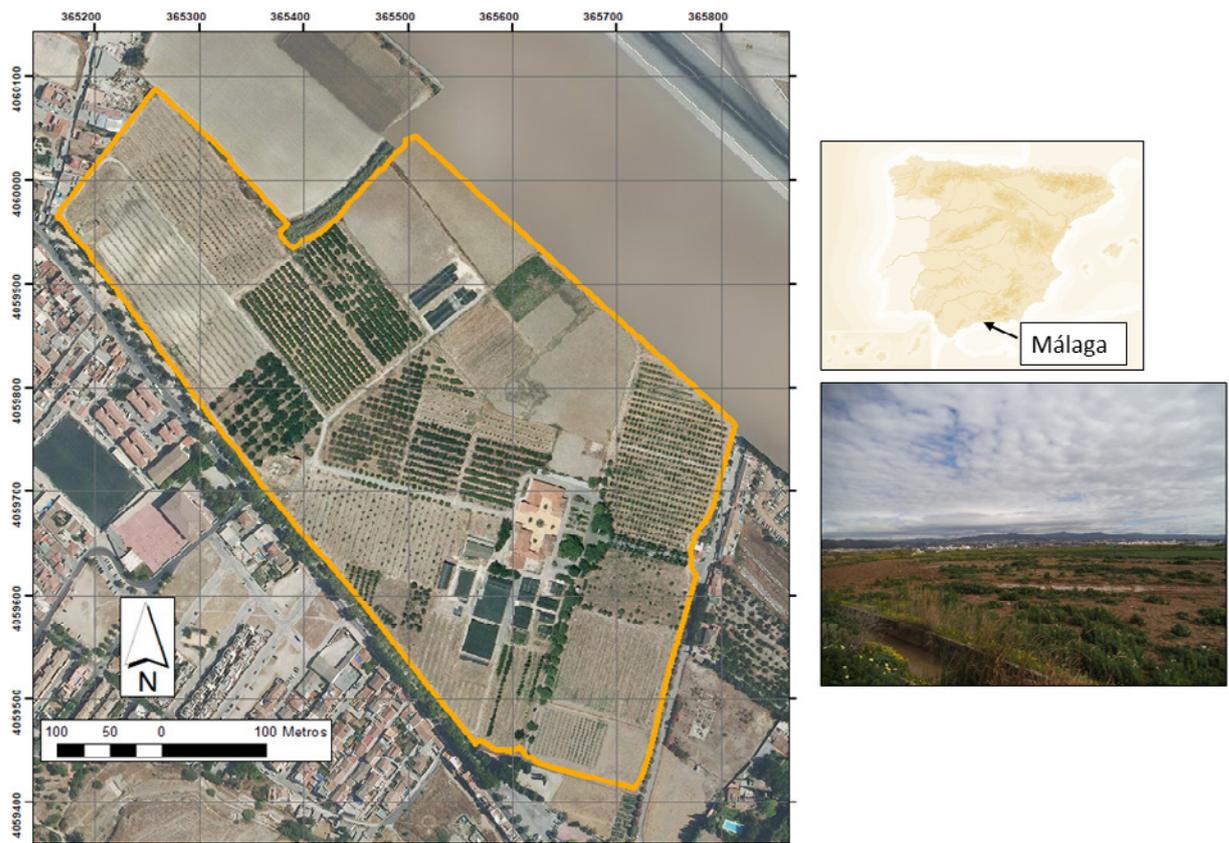
suelo que tiende al abandono, uso de herbicidas, suaves pendientes y riego por goteo, todos ellos representativos del Valle del Guadalhorce (provincia de Málaga - España). Mediante tres exámenes exhaustivos en suelos cultivados con mangos, aguacates y mandarinos, se ha determinado si el suelo (hasta 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.

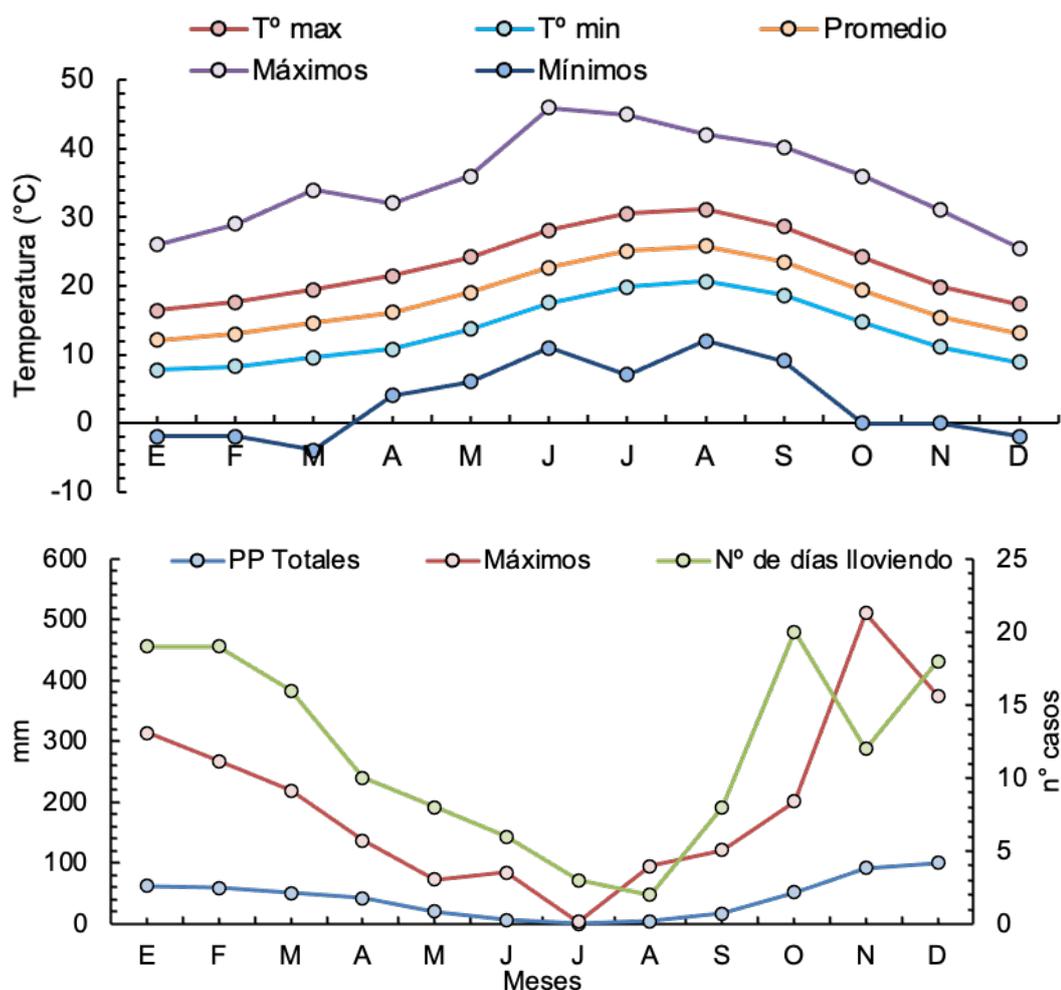


Fuente: elaboración propia. Imagen: Instituto Geográfico Nacional.

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 m² (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 ⁻¹)	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 ⁴⁺)	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 microbológica, 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 ⁻¹)	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 ⁴⁺)	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 ⁻¹)	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 ⁴⁺)	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⁻¹).

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 & Schaetzl, 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
- 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>