

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO EN EL PARQUE NATURAL CABO DE GATA-NÍJAR (ALMERÍA, ESPAÑA)

JULIA ESPINOSA MUÑOZ ([id](#))¹
JOSÉ ANTONIO SILLERO MEDINA ([id](#))^{1,2}
JOSÉ DAMIÁN RUIZ SINOGA ([id](#))^{1,2}

¹*Instituto Universitario de Hábitat, Territorio y Digitalización, Universidad de Málaga, Avda. Arquitecto Peñalosa.
Edificio de Investigación Ada Byron, Málaga*

²*Departamento de Geografía, Universidad de Málaga, Málaga*

Autora de correspondencia: juliaespinosam17@gmail.com

Resumen. El papel del suelo dentro del sistema eco-geomorfológico ha ido adquiriendo una mayor importancia en el ámbito de la investigación geográfica de los últimos años. Se trata de un recurso fundamental para la vida, ya que su conservación y calidad favorece directamente la salud del biotopo en su conjunto. En un contexto de cambio climático, su relevancia es máxima, constituyéndose como el segundo mayor sumidero de carbono del planeta. De este modo, se ha formulado como objetivo de esta investigación el análisis y evaluación de la calidad del suelo en el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (Almería), un espacio de gran valor ambiental controlado por unas condiciones climáticas vinculadas a la aridez y de gran fragilidad en el marco de la actual crisis climática. Para alcanzar este objetivo, se realizaron muestreos de suelo en el campo en lugares representativos, se analizaron los suelos en cuanto a diversas propiedades edáficas en el laboratorio y, por último, se aplicó un índice de calidad del suelo basado en un análisis multicriterio, incluyendo indicadores hídricos, físicos y orgánicos. Los resultados muestran algunos contrastes entre los diferentes sectores del área analizada, identificando algunas zonas que han de considerarse como de atención prioritaria.

Palabras clave: calidad del suelo, cambio climático, Mediterráneo, degradación, parque natural.

SOIL QUALITY ASSESSMENT FROM CABO DE GATA-NÍJAR NATURAL PARK (ALMERIA, SPAIN)

Abstract. The role of soil as part of the eco-geomorphological system has become increasingly important in the field of geographical research in recent years. It is a fundamental resource for life, as its conservation and quality directly contribute to the health of the biotope overall. In a context of climate change, its importance is paramount, as it is the second largest carbon sink on the planet. The aim of this research was to analyse and evaluate soil quality in the Cabo de Gata-Níjar Natural Park (Almería), an area of great environmental value controlled by climatic conditions related to aridity and of great fragility in the context of the current climate crisis. To achieve this objective, soil sampling was carried out in the field at representative sites, the soils were analysed for various soil properties in the laboratory and, finally, a soil quality index was applied based on a multi-criteria analysis, including water, physical and organic indicators. The results show some contrasts between the different sectors of the area analysed, identifying some areas to be considered for priority attention.

Keywords: soil quality, climate change, Mediterranean, degradation, natural park.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo se identifica como el mayor reservorio de carbono de la biosfera. Este es capaz de almacenar más carbono, en forma de materia orgánica, que la atmósfera y la vegetación, en su conjunto (FAO, 2017). Sin embargo, este recurso se encuentra claramente comprometido en un marco de cambio climático (IPCC, 2019), generando una gran preocupación en el ámbito de la investigación a escala internacional (FAO, 2017; Dilly *et al.*, 2018; Muñoz-Rojas, 2018).

La correcta gestión del suelo y la aplicación de estrategias de conservación del mismo se conciben como una tarea fundamental, al determinarse como un componente crucial para el funcionamiento del ecosistema terrestre en su conjunto (Wang, 2018). Los suelos de la Unión Europea pierden más de siete millones de toneladas de carbono debido a la gestión insostenible del territorio, y en el que, más del 25% de las tierras de la UE se encuentran en riesgo de desertificación, especialmente en el área mediterránea (ECA, 2018). En este sentido, la Comisión Europea, a partir de los objetivos marcados en el Pacto Verde Europeo, pone de manifiesto su preocupación a través de la nueva Estrategia de la UE para la protección del suelo para 2030, recalcando su impronta para la consecución de la neutralidad climática, en la mitigación de los procesos de desertificación y degradación, para fomentar seguridad alimentaria, entre otras. Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas, en la Agenda 2030, pone en valor a este recurso edáfico, promoviendo su uso sostenible y el desarrollo de políticas destinadas a la conservación del suelo como prácticas prioritarias y esenciales para el alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Bajo este paradigma, las áreas protegidas juegan un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático. A nivel global se están poniendo en marcha medidas para la protección y gestión de estos ecosistemas, con el fin de conservar en buen estado su biodiversidad y servicios ambientales (Suarez *et al.*, 2016). De este modo, una correcta gestión forestal de estos espacios generaría una mayor calidad en recurso edáfico y, consecuentemente una mayor fijación de carbono orgánico en el suelo (Busch y Grantham, 2013; Ruiz-Peinado *et al.*, 2017). En el caso de España, más del 25% de su superficie está dedicada a la conservación de la naturaleza (Múgica *et al.*, 2017). Sin embargo, su heterogeneidad paisajística hace que resulte especialmente relevante atender de forma prioritaria a aquellas zonas protegidas de mayor fragilidad, consideradas como tal, aquellas caracterizadas por un patrón climático árido y semiárido, donde el riesgo de desertificación se entiende como máximo (Bermúdez, 2001)

Es por ello por lo que, la determinación de la dinámica del sistema eco-geomorfológico a través de la evaluación de la calidad del suelo, se concibe como un proceso clave en la actualidad (Wilson *et al.*, 2017). Esta calidad del suelo es un indicador fundamental para evaluar el correcto funcionamiento de este recurso y del sistema eco-geomorfológico en su conjunto (Buol, 1995; McBratney *et al.*, 2014; Sillero-Medina *et al.*, 2020a). Sin embargo, no existen métodos ni criterios universales predefinidos para llevar a cabo una evaluación de la calidad del suelo, siendo muy diversas las aproximaciones y los indicadores utilizados (Andrews *et al.*, 2002; García *et al.*, 2012; De Andrade-Barbosa *et al.*, 2019). Los índices de calidad del suelo son instrumentos de medida que informan sobre las características del suelo, así como de los procesos y propiedades que residen en el mismo (Dilly *et al.*, 2018).

En base a estas consideraciones, el objetivo de esta investigación pasa por llevar a cabo una aproximación a la calidad y salud del suelo en el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (Almería) a escala de unidad de paisaje. Para ello, se han analizado sus principales propiedades indicadoras con especial repercusión en la degradación del suelo y en el secuestro de carbono por parte del mismo. Asimismo, se ha evaluado el resultado a partir de la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, utilizando para ello técnicas de teledetección espacial.

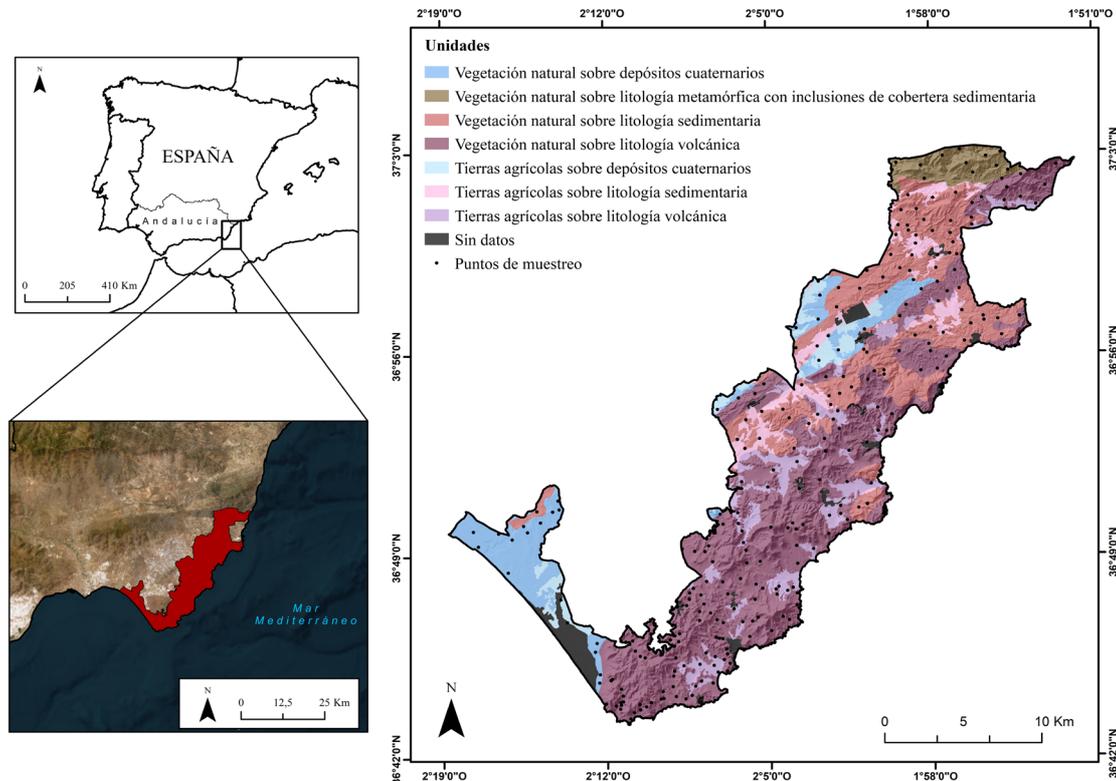
2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (Geoparque Global por la UNESCO) ha sido el área seleccionada para la evaluación de la calidad y salud edáfica. Este se localiza entre latitud 36° 42' N – 37° 30' N y longitud 02° 19' O – 01° 52' O, ocupando una superficie total de 492,12 km². Este espacio identifica algunos de los ambientes más áridos de Europa, con unas características ecosistémicas de gran

particularidad y valor como, por ejemplo, su vocación subdesértica, su origen volcánico, su paisaje de estepa mediterránea o su desarrollo acantilado.

Figura 1. Localización y unidades de paisaje del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (Almería)



Fuente: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía y Corine Land Cover 2018. Elaboración propia.

En cuanto a sus características climáticas, este territorio se caracteriza por unas condiciones mediterráneas áridas-semiáridas, con unas precipitaciones anuales de $142,3 \pm 46,9$ mm, repartidas en un total de 30 ± 9 días, según datos de la Red SAIH Hidrosur para el periodo comprendido entre 1997 y 2022 y el observatorio de Níjar. Por su parte, las temperaturas medias anuales se sitúan entre los $18-20^\circ\text{C}$, con ausencia de heladas y una distribución estacional típica del clima mediterráneo.

2.2. Delimitación de unidades cartográficas

Para la evaluación de la calidad del suelo, el primer paso consistió en delimitar unidades cartográficas homogéneas (Brum *et al.*, 2001) a partir de una evaluación multicriterio y de la metodología descrita por Salinas y Ramón, (2013), similar a la utilizada en otros estudios para la región mediterránea (Sillero-Medina *et al.*, 2020a). Se diferenciaron las distintas unidades de cartográficas a través de sus rasgos litológicos y de usos del suelo, quedando dividido el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar en un total de 7 unidades cartográficas (Figura 1).

2.3. Análisis de propiedades e indicadores de calidad edáfica

Para el análisis edáfico se recogieron un total de 276 muestras superficiales de suelo (0-10 cm de profundidad), tanto alteradas (1 kg aproximadamente) como inalteradas (dos cilindros de 100 cm^3), distribuidas homogéneamente por toda la zona de estudio. Las muestras de suelo se secaron al aire y se tamizaron, eliminando aquella fracción con tamaños de partícula superior a 2 mm. Las propiedades analizadas fueron textura, contenido en Carbono Orgánico, agua útil, estabilidad estructural, hidrofobicidad, conductividad eléctrica, densidad aparente y, por último, conductividad hidráulica saturada. Los métodos empleados fueron los descritos por Sillero-Medina (2022).

Además, se determinaron otros indicadores con incidencia en la calidad del suelo como el porcentaje de pendiente, a través del MDE; el factor C de la RUSLE, asociado al grado de protección del suelo por parte de la cubierta vegetal, a través de la correlación existente entre el factor C y el NDVI (Khademalrasoul y Amerikhah, 2020); y el factor K, de erodibilidad del suelo, en base a la metodología descrita por (Sharpley, 1990).

2.4. Aplicación del Índice de Calidad del Suelo

El análisis de calidad del suelo se ha desarrollado a partir de la metodología propuesta por Sillero-Medina et al. (2020a) para otras cuencas de la vertiente mediterránea andaluza, basada en una evaluación multicriterio a través de una suma ponderada. La ecuación definitiva combina tres clústeres de indicadores, ponderados a partir de una matriz de decisión apoyada en un exhaustivo tratamiento estadístico de los datos edáficos y, concretamente, en el Análisis de Componentes Principales (Joshua et al., 2013; Sillero-Medina et al., 2020b).

$$SQI = 0.2 W + 0.2 P + 0.6 O$$

Donde, SQI= Índice de Calidad del Suelo; W= es el clúster relativo al factor hídrico (conformado por: conductividad hidráulica saturada, contenido en gravas, contenido en arenas, hidrofobicidad y contenido en agua útil); P= agrupación de indicadores físicos (pendiente, factor K-RUSLE, estabilidad estructural y densidad aparente); O= indicadores orgánicos (contenido en Carbono Orgánico, factor C-RUSLE y conductividad eléctrica).

Los resultados obtenidos para el área de estudio han sido cartografiados atendiendo a las diferentes unidades de paisaje definidas, a través del software ArcGis 10.8 (Licencia Corporativa de la Universidad de Málaga).

2.5. Tratamiento de imágenes de satélite

Para la evaluación de los resultados relativos a la aplicación del Índice de Calidad del Suelo se ha desarrollado el Índice de Minerales de Arcilla, a partir de una imagen Landsat 8, obtenida de la NASA y corregida atmosféricamente (fecha: 11 de septiembre de 2021; escena: 199/03) en el software ERDAS Imagine 2020.

Este índice destaca aquellas áreas con mayor predominio de minerales de arcilla, de filosilicato y carbonatos. Así, resulta de gran utilidad para evaluar la susceptibilidad de un suelo a ser erosionado.

$$Clay\ minerals\ index = \frac{pp1650}{pp2215}$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

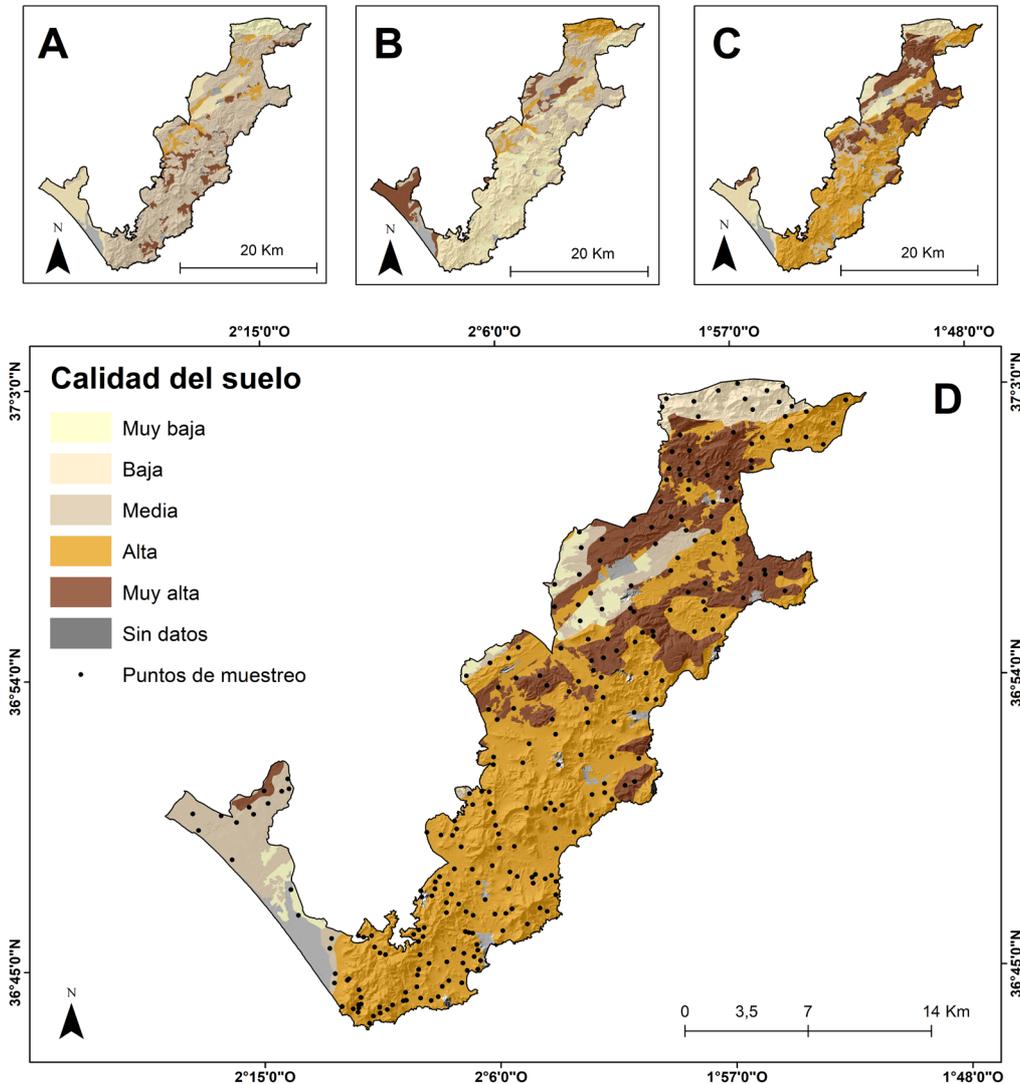
El resultado de la aplicación del Índice de Calidad del Suelo ha sido cartografiado en la Figura 2. Así, en esta se han incluido cada uno de los factores que conforman el índice; es decir, el factor asociado a las propiedades hídricas del suelo (A), el factor físico (B) y, por último, el factor orgánico (C).

Concretamente, atendiendo al factor hídrico, el resultado identifica a gran parte del área de estudio en un rango medio de calidad edáfica. Sin embargo, se identifican tres grandes unidades homogéneas con calidad baja y muy baja, motivado principalmente por una textura con unas características que dotan a este sector de una escasa capacidad de retención hídrica en comparación con el resto del Parque Natural.

En relación al factor físico, la mayor parte del Parque Natural se cataloga en una calidad de suelo baja y muy baja. Este hecho está motivado por unos valores de estabilidad estructural y de agregados muy bajos que, se reflejan directamente en la erodabilidad del suelo, especialmente en zonas de mayor pendiente. Por su parte, el área suroeste y norte se han clasificado en los mayores niveles de calidad edáfica. Este hecho, de forma contraria a lo anteriormente destacado, se asocia a las menores inclinaciones, la mayor estabilidad estructural y a unos valores de densidad aparente que reflejan una distribución textural de mayor consistencia. El factor orgánico ha tenido como resultado que, prácticamente, en la totalidad de Cabo de

Gata-Níjar ha sido catalogado como de una elevada calidad, atendiendo principalmente a más elevados contenidos de materia orgánica y a una mayor protección del suelo. Sin embargo, es remarcable como la franja suroeste y el sector más al norte determinan los valores de calidad más baja.

Figura 2. Índice de Calidad del Suelo del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (Almería)



Leyenda: A: Factor hídrico; B: Factor físico; C: Factor orgánico; D: Calidad del suelo. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la combinación de estos factores, la unión de todos los datos obtenidos en cada uno de los factores anteriormente descritos, ha concluido en una cartografía del Índice de Calidad del Suelo (D). En este sentido, se distingue una gran parte del territorio con una calidad de suelo alta y muy alta (> 79% de la superficie; Tabla 1). Por su parte, aquellas unidades asociadas a vegetación natural con litología sedimentaria presentan los valores más óptimos (Sillero-Medina, 2020), extendiéndose por un total de 80,50 Km². Así, las áreas de vegetación natural que se encuentra sobre litología volcánica muestran un estado de calidad del suelo igualmente muy elevado (La Manna, 2016), catalogándose como calidad del suelo “alta” y ocupando 57,63% (215,91 Km²).

Por el contrario, es importante destacar la franja norte del área de estudio, en donde la calidad de suelo se cataloga como baja, área con un claro predominio de vegetación natural en litología metamórfica con inclusiones de cobertera sedimentaria, pero donde existen grandes muestras de procesos de degradación del suelo.

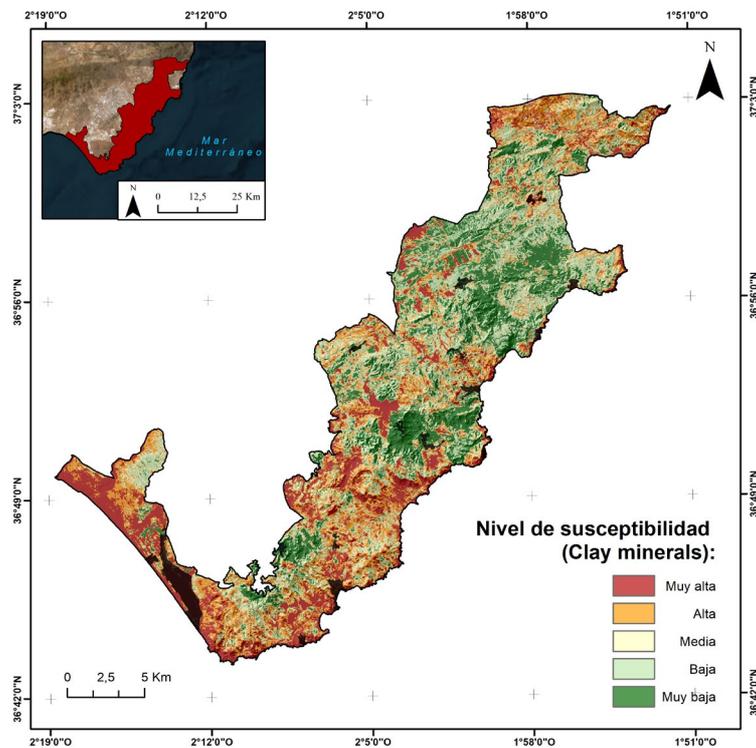
Por último, atendiendo a las unidades de uso agrícola, estas han sido catalogadas con los valores más bajos de calidad, especialmente por su escaso contenido orgánico. Sin embargo, la categoría de calidad baja tan solo supone un 3,32% (12,45 Km²) del total de la superficie del Parque Natural.

Tabla 1. Superficie ocupada por cada categoría de calidad del suelo del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (Almería)

Calidad del suelo	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Muy baja	12,45	3,32
Baja	15,48	4,13
Media	35,77	9,55
Alta	215,91	57,63
Muy alta	80,50	21,49
Sin datos	14,52	3,87

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Nivel de susceptibilidad a partir del Índice de Minerales de Arcilla del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (Almería)



Fuente: Elaboración propia.

Para la evaluación de estos resultados, se ha cartografiado el Índice de Minerales de Arcilla con el fin de mostrar la reflectividad del suelo e identificar aquellos sectores más susceptibles a la erosión del suelo (Figura 3). Así, se pueden diferenciar tres grandes sectores, en donde (i) la franja más al norte se encuentra en un nivel de susceptibilidad alto o muy alto; (ii) el área centro-norte comprende un nivel de susceptibilidad bajo o muy bajo; y (iii) la franja sur, igualmente clasificada entre niveles altos y muy altos.

De este modo, estos resultados se encuentran en la línea de los obtenidos anteriormente en el desarrollo del Índice de Calidad del Suelo. Aquellas zonas que se corresponden con un nivel de susceptibilidad alto y muy alto, atienden a las áreas clasificadas con una calidad de suelo baja y muy baja y viceversa (Kome, 2019).

4. CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo reflejan la importancia de este tipo de análisis para la determinación de dinámicas en el sistema eco-geomorfológico, especialmente en entornos mediterráneos, donde los efectos del cambio climático pueden dar lugar a tendencias ambientales muy contrastadas. La aplicación del índice de calidad del suelo, basado en un análisis factorial multicriterio, ha mostrado diferentes grados de salud edáfica y, en general, del sistema que configura el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, sirviendo de apoyo para la determinación de áreas de especial interés por su elevada fragilidad y susceptibilidad. A partir de técnicas basadas en la teledetección y, en concreto, de la aplicación del índice de minerales de arcillas, se ha evaluado el grado de adecuación del índice de calidad del suelo, diferenciando áreas coincidentes donde el estado del sistema eco-geomorfológico se determina como de menor calidad ecosistémica. En definitiva, gracias a esta metodología es posible atender a estos lugares con el fin de promover medidas de gestión del territorio y proponer estrategias que mejoren su calidad edáfica y ambiental.

Agradecimientos: Este estudio forma parte del trabajo realizado en varios proyectos y convenios de investigación. Por un lado, "Scientific infrastructures for Global Change monitoring and adaptation in Andalusia (INDALO)", financiad por Fondos FEDER correspondientes al Programa Operativo Plurirregional de España 2014-2020 (POPE) y Documento que Establece las Condiciones de la Ayuda (DECA) y, por otro lado, "Environmental Biodiversity Climate Change Lab (ENBIC2-LAB)", financiado por FEDER LIFEWATCH, lanzado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Asimismo, parte de esta investigación ha sido posible gracias a la financiación obtenida de la Universidad de Málaga, a través del I Plan Propio de Investigación, Transferencia y Divulgación Científica.

REFERENCIAS

- Andrews S.S., Karlen, D.L., Mitchell, J.P. (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agric. Ecosyst. Environ.* 90: 25-45.
- Bermúdez, F. L. (2001). Cambio climático y desertificación, amenazas para la sostenibilidad de las tierras del Arco Mediterráneo. Situación y perspectiva. *Revista valenciana d'estudis autonòmics*, 36, 93-116.
- Brum, A. *et al.* (2001). Metodologías de análisis e de clasificación das paisagen. O exemplo do projecto Estrela, *Finisterra XXXVI*, n. 72, p. 157-178, 2001.
- Buol, S. W. (1995). Sustainability of soil use. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 26, 25-44. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.26.110195.000325>
- Busch, J., Grantham, H. (2013). Park versus payments: reconciling divergent policy responses to biodiversity loss and climate change from tropical deforestation. *Environmental Research Letters*, 8. (2013) 034028.
- Dilly, O.; Pompili, L y Benedetti, A. (2018). Soil micro-biological indicators separated land use practices in contrast to abiotic soil properties at the 50km scale under summer warm Mediterranean climate in northern Italy. *Ecological indicators*, 84, 298-303. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.013>
- Duque, D. S., Acurio, C., Chimbolema, S., Aguirre, X. (2016). Análisis del carbono secuestrado en humedales altoandinos de dos áreas protegidas del Ecuador, *Ecología Aplicada*, 15(2). <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.756>
- European Court of Auditors. (2018). Combating desertification in the EU: a growing Recuerdo de <https://www.eca.europa.eu/en/Pages/DocItem.aspx?did=48393>
- FAO. 2017. Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia.
- García, Y.; Ramírez, W.; Sánchez, S. Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos Forrajes* 2012, 35, 125–138.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
- Joshua, J.K., Nneoma, A.C., Jajere, A., Ahmed, A.J. 2013. Land suitability analysis for agricultural planning using GIS and multicriteria decision analysis approach in greater Karu urban area, Nasarawa State-Nigeria. *African Journal of Agricultural Science and Technology (AJAST)*. 1, 14-23.

- Khademalrasoul, A. Amerikhah, H. (2020). Assessment of soil erosion patterns using RUSLE model and GIS tools (case study: the border of Khuzestan and Chaharmahal Province, Iran). *Modeling Earth Systems and Environment*, 7. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00931-6>
- Kome, G. K., Enang, R. K., Tabi, F. O., Yerima, B. P. K. (2019). Influence of Clay Minerals on Some Soil Fertility Attributes: A Review. *Open Journal of Soil Science*, 09(09), 155-188. <https://doi.org/10.4236/ojss.2019.99010>
- La Manna, L., Buduba, C.G., Rostagno, C.M. (2016). Erosionabilidad del suelo y calidad de suelos volcánicos afectados por plantaciones de pino en pastizales degradados del NO de la Patagonia. *Eur J Forest Res* 135 , 643–655 <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0961-z>
- MC Bratney A., Field, D., Koch, A. (2014). The dimensions of soil security. *Geoderma* 213:203–213.
- Múgica, M., Martínez, C., Gómez-Limón, J., Puertas, J., Atauri, J.A. (2017). Anuario 2016 del estado de las áreas protegidas en España [Informe anual del estado de las áreas protegidas en España 2016] (primera ed.), Fundación Fernando González Bernáldez, Madrid.
- Muñoz-Rojas, M. (2018). Soil quality indicators: a critical tool in ecosystem restoration. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 5. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.007>
- Ruiz-Peinado, R., Bravo-Oviedo, A., López-Senespleda, E. et al. (2017). Forest management and carbon sequestration in the Mediterranean region: a review. *For. Syst.* 26: eR04S.
- Sharpley, A.N. Williams, J.R. (1990). Erosion/Productivity Impact Calculator. *USA Department of Agriculture. Technical Bulletin*, 1768, 235.
- Sillero Medina, J.A. (2022). *Repercusiones eco-geomorfológicas de la dinámica paisajística reciente, en ambientes mediterráneos contrastados*. [Tesis Doctoral. Universidad de Málaga]. Recuperado de <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/24375>.
- Sillero-Medina, J.A., Hueso-González, P., Ruiz-Sinoga, J.D. (2020a). Differences in the soil quality index for two contrasting mediterranean landscapes in southern Spain. *Land*, 9(11), 405. <https://doi.org/10.3390/land9110405>
- Sillero-Medina, J.A., Pérez-González, M.E., Martínez-Murillo, J.F., Ruiz-Sinoga, J.D. (2020b). Factors affecting eco-geomorphological dynamics in two contrasting Mediterranean environments. *Geomorphology*, 82, 2780. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106996>
- Wang, M., Chen, H., Zhang, W., Wang, K. (2018). Soil nutrients and stoichiometric ratios as affected by land use and lithology at county scale in a karst area, southwest China. *Sci Total Environ* 619–620:1299–1307. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.175>
- Wilson, M.G. (2017). Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. Entre Ríos: Ediciones INTA.