

## EVALUACIÓN DE LA SALUD DEL SUELO MEDIANTE CIENCIA CIUDADANA: PROYECTO “VIGILANTES DEL SUELO”

José Manuel Mirás Avalos<sup>1,2\*</sup>, Alba Peiro<sup>3</sup>, Asun Iguarbe<sup>3</sup>, Daniel Lisbona<sup>3</sup>, Francisco Sanz<sup>3</sup>, Ramón Isla<sup>1</sup>, Emily Silva Araujo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente (Unidad asociada a EEAD-CSIC Suelos y Riegos). Centro de investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza

<sup>2</sup>Misión Biológica de Galicia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (MBG-CSIC), Sede Santiago de Compostela, Avda. de Vigo s/n, 15705, Santiago de Compostela

<sup>3</sup>Fundación Ibercivis. Campus Río Ebro Edificio I+D C, C. de Mariano Esquillor Gómez, s/n, 50018, Zaragoza

\*[jmmiras@cita-aragon.es](mailto:jmmiras@cita-aragon.es); [jmmiras@mbg.csic.es](mailto:jmmiras@mbg.csic.es)

### RESUMEN

Mantener o mejorar la salud del suelo es esencial para la vida en la Tierra, ya que éste proporciona servicios ecosistémicos imprescindibles (hábitat para flora y fauna, fijación de carbono, producción de alimentos, etc.). La ciudadanía puede tomar un papel activo en las actividades científicas relacionadas con el diagnóstico de la salud de este recurso natural, generando conocimiento y creando una comunidad que comparte un interés común por su preservación. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en “Vigilantes del Suelo”, un proyecto de Ciencia Ciudadana para determinar la salud de los suelos en España. Se han seleccionado 7 indicadores de fácil medida (3 propiedades físicas, 2 químicas y 2 biológicas) descritos en una guía disponible en la página web del proyecto. A través de varias instituciones situadas en distintas regiones españolas, se han distribuido kits con los materiales necesarios para realizar las mediciones, y el público participante realizó mediciones en suelos diferentes de su entorno. Los datos generados se recopilan en una aplicación móvil específica. Con los resultados obtenidos se prevé elaborar un mapa de la salud del suelo a nivel nacional en el que, mediante una escala de colores, ilustre la salud del suelo. A pesar de las limitaciones inherentes a la aproximación utilizada, este trabajo ha puesto de manifiesto el potencial de la ciencia ciudadana para generar gran cantidad de información para el estudio de la salud del suelo a escala nacional.

**Palabras clave:** Indicadores fisicoquímicos y biológicos; Educación ambiental; Participación ciudadana: creación de comunidad; Monitorización.

### INTRODUCCIÓN

El suelo proporciona numerosos servicios ecosistémicos imprescindibles (hábitat, fijación de carbono, producción de alimentos, etc.), pero es un recurso no renovable que es necesario proteger (Ferreira et al. 2022). En este contexto, conocer su salud es importante para afrontar la conservación del mismo. La salud del suelo es su capacidad para funcionar dentro de los límites del ecosistema y del uso de la tierra, sosteniendo la productividad biológica, manteniendo la calidad ambiental y promoviendo la salud de plantas y animales. Esta definición refleja la complejidad y especificidad de la parte subterránea de los ecosistemas terrestres, así como los numerosos vínculos entre las funciones del suelo y los servicios ecosistémicos que proporciona. Debido a esta complejidad, el método empleado para evaluar la salud del suelo es objeto de debate. En general, este método se basa en la medición de numerosos indicadores (propiedades del suelo relacionadas con alguna de sus funciones) y el posterior cálculo de un índice de calidad. Sin embargo, pocos enfoques resultan consistentes para interpretar los resultados adecuadamente (Bünemann et al. 2018), lo que dificulta su adopción por parte de los gestores del territorio. Además, se requieren ingentes

cantidades de recursos humanos y materiales para caracterizar el estado de salud del suelo a nivel de territorio.

Los proyectos de ciencia ciudadana, con independencia del tipo y grado de contribución, abordan la investigación científica desde un enfoque participativo en el que el conocimiento científico se logra a partir de la colaboración de muchas personas, y todas ellas se ven beneficiadas. Como resultado de esta interacción, la ciudadanía permite la generación de mucha información y, a su vez, adquiere nuevos conocimientos y habilidades, repercutiendo en una mejora de la apreciación y comprensión de la ciencia (Serrano et al. 2014). Con todo ello, el objetivo principal de este trabajo y del proyecto Vigilantes del Suelo fue determinar un índice básico de salud del suelo a nivel nacional mediante ciencia ciudadana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Atendiendo a criterios como la dificultad en la medición, el coste del material necesario y el tiempo estimado para realizar las medidas, se han seleccionado siete indicadores que permiten caracterizar las tres dimensiones fundamentales del suelo (física, química y biológica) y diagnosticar, de manera básica, su estado de salud (Tabla 1).

Tabla 1. Indicadores de salud del suelo, tipo y metodología de medición incluidos en la iniciativa *Vigilantes del suelo*.

Indicador	Tipo	Metodología de medición
Cobertura del suelo	Físico	Estimación visual
Capacidad de infiltración de agua		Cronometraje tiempo absorción de agua
Resistencia a la penetración		Inserción de un bolígrafo
Materia orgánica	Químico	Reacción con agua oxigenada
Acidez o basicidad (pH)		Tiras indicadoras de pH
Diversidad de macrofauna	Biológico	Conteo de tipos diferentes de animales
Número de lombrices		Conteo de individuos de lombrices

Las metodologías de medición propuestas (Tabla 1) se describen con detalle en una guía disponible para su descarga en la página web del proyecto (<https://vigilantesdelsuelo.es>) y están adaptadas de trabajos de organismos públicos de investigación (por ejemplo: NEIKER 2015; FAO 2020). Asimismo, se ha generado una escala de color, a modo de semáforo, para clasificar el valor obtenido en cada indicador de calidad del suelo (rojo = pobre, amarillo = mejorable, celeste = bueno, verde = muy bueno). Cada clase dentro de este sistema lleva asociada una puntuación entre 0 y 10. Una vez medidos todos los indicadores, se suma el valor de las puntuaciones de los siete indicadores, y se obtiene un índice, cuyo valor va de 0 a 70, que informa sobre el estado en el que se encuentra el suelo.

Vigilantes del Suelo se ha dado a conocer a través de su página web, redes sociales, infografías, webinars y talleres presenciales, y gracias a la labor de sus ocho embajadores nacionales (Unitat de Divulgació Científica i Ciència Ciutadana, Universitat Jaume I, Castellón; espacio de Educación Ambiental La Alfranca, Zaragoza; Centro de Educación Ambiental de Dehesa de la Villa, Ayuntamiento de Madrid; Facultad de Educación, Universidad De Burgos; Fundación Descubre, Málaga; Asociación Umbella, A Coruña; Ayuntamiento de Villanueva de la Serena, Badajoz). Este enfoque ha permitido la difusión de los protocolos de recogida de muestras y la medida de los indicadores de salud del suelo considerados, utilizando el kit específico del proyecto que dispone del material necesario para realizar los muestreos. Los datos generados por la ciudadanía se registran en una aplicación móvil (Geonity) que se puede descargar gratuitamente. La campaña de muestreos está abierta a fecha de redacción de esta comunicación, por lo que los datos que se presentan corresponden a los recopilados entre el 7 de febrero y el 10 de abril de 2024. En total, se han analizado 206 muestras.

Los datos obtenidos para cada indicador e índice global de calidad del suelo se clasificaron por ambiente (parque, cultivo, etc.) y zona geográfica (provincia). También se caracterizaron estadísticamente (media, mínimo, máximo, coeficiente de variación). Se utilizaron regresiones lineales para conocer las posibles relaciones entre indicadores y se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para determinar, visualmente, si existen diferencias entre ambientes, utilizando las medianas de los valores de los indicadores considerados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La base de datos recopila entradas procedentes de 23 provincias, englobadas en 10 Comunidades Autónomas. Para el conjunto de estas entradas, el valor del índice global de calidad del suelo estuvo comprendido entre 9 y 66, con un promedio de 39 (Tabla 2). Los ambientes muestreados se han clasificado en 5 grupos, si bien el número de muestras varió entre ellos, desde 16 para los prados hasta 106 para los parques y jardines. Asimismo, el valor promedio del índice de calidad del suelo fluctuó entre 29 para los caminos, hasta 46 para los prados. En líneas generales, el coeficiente de variación fue relativamente elevado, superando el 30% en promedio (Tabla 2). Esto pone de manifiesto una limitación importante de la metodología aplicada, al utilizarse los mismos valores de referencia para ambientes y tipos de suelo muy diferentes.

Tabla 2. Número de muestras, valor mínimo, medio y máximo, y coeficiente de variación (C.V.) del índice Vigilantes del Suelo.

Ambiente	Nº muestras	Mínimo	Promedio	Máximo	C.V. (%)
Bosque	19	24	41	56	19
Camino	22	9	29	55	49
Cultivo	43	12	40	61	30
Parques y jardines	106	13	39	64	28
Prado	16	25	46	66	26
<b>Total</b>	<b>206</b>	<b>9</b>	<b>39</b>	<b>66</b>	<b>31</b>

Cuando se considera el conjunto de datos en su totalidad, la mayoría de indicadores están significativamente correlacionados. Las excepciones ( $p > 0,05$ ) las constituyen la velocidad de infiltración frente a la abundancia de lombrices, y el pH frente a velocidad infiltración, compactación, diversidad de macrofauna y abundancia de lombrices.

Debido a la variabilidad detectada en los datos, se empleó la mediana de cada indicador (excepto el pH, cuya mediana era igual para todos los ambientes) para realizar un ACP, cuyos dos primeros componentes principales explicaron un 85,7% de esta. El primer componente está asociado a los indicadores: materia orgánica, capacidad de infiltración y cobertura, y explica el 60,1% de la variabilidad en los datos (Figura 1). El segundo componente está definido por la compactación y la presencia de lombrices, explicando el 24,6% de la variabilidad en los datos (Figura 1). El ACP ha permitido separar las muestras según el ambiente del que proceden, siendo aquellas de los caminos las que peores valoraciones han obtenido en los distintos indicadores (Figura 1), lo que se puede explicar por la escasez de cobertura del suelo en estos ambientes, así como los valores bajos de diversidad de macrofauna y abundancia en lombrices.

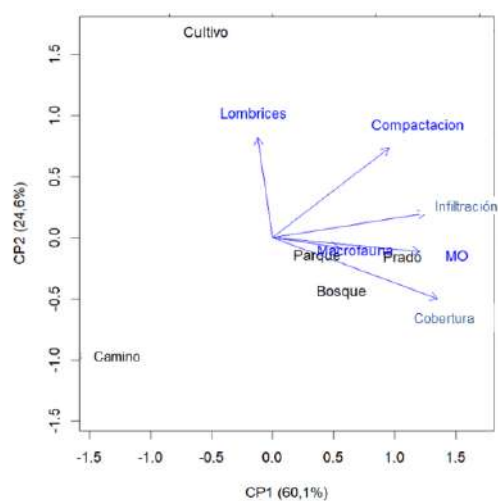


Figura 1. Análisis de componentes principales para las muestras analizadas. CP = Componente principal, MO = Materia orgánica.

## CONCLUSIONES

Este trabajo ha puesto de manifiesto el potencial de la ciencia ciudadana para generar gran cantidad de información relevante para el estudio de la salud del suelo a escala nacional. La ciudadanía participante en el proyecto Vigilantes del Suelo, en su mayor parte pertenecientes a la comunidad educativa, ha mostrado un interés creciente hacia la salud de los suelos durante el proyecto, creando una gran comunidad con mayor implicación y mejor disposición para proteger y restaurar los suelos. No obstante, como es habitual en los proyectos de este tipo, se han detectado limitaciones (por ejemplo, el uso de los mismos valores de referencia para todos los ambientes muestreados) en la aproximación utilizada, que se están verificando y deberán corregirse para obtener información científica de mejor calidad y, en consecuencia, unas conclusiones más robustas.

**Agradecimientos:** El proyecto Vigilantes del Suelo (FCT-22-18723) está financiado por la Fundación Española para la Ciencia y Tecnología (FECYT)-Ministerio de Ciencia e Innovación.

## REFERENCIAS

Bünemann EK, Bongiorno G, Bai ZG, Creamer RE, De Deyn G, de Goede R, Fleskens L, Geissen V, Kuyper TW, Mader P, Pulleman M, Sukkel W, van Groenigen JW, Brussaard L. 2018. Soil quality – a critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120: 105-125.

FAO. 2020. Soil Testing Methods – Global Soil Doctors Programme – A farmer-to-farmer training programme. Roma, Italia. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca2796en>

Ferreira CSS, Seifollahi-Aghmiuni S, Destouni G, Ghajarnia N, Kalantari Z. 2022. Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences. *Science of the Total Environment* 805: 150106.

Serrano F, Holocher-Ertl T, Kieslinger B, Sanz F, Silva CG. 2014. White paper on citizen science for Europe. Societize consortium. [https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/socientize\\_white\\_paper\\_on\\_citizen\\_science.pdf](https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/socientize_white_paper_on_citizen_science.pdf)

NEIKER. 2015. TSEA. Tarjetas de Salud de los Ecosistemas Agrícolas. Vitoria, España. <http://www.soilmicrobialecolgy.com/wp-content/uploads/2015/05/TSEA-Castellano.pdf>