

Estudio de la influencia del uso del suelo en las relaciones entre variables físico-químicas a través de análisis de redes

Study of the influence of soil use on the relationships between physical-chemical variables through network analysis

Juan Pedro Martín-Sanz^{1,*}, Inmaculada Valverde-Asenjo¹, Ana de Santiago-Martín², José Ramón Quintana-Nieto¹, Concepción González-Huecas¹ & Antonio López-Lafuente¹

¹ Departamento de Química en Ciencias Farmacéuticas, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid, Plaza Ramón y Cajal s/n, 28040-Madrid, España

² Instituto IMDEA Agua, Avda. Punto Com, 2, 28805 Alcalá de Henares, Madrid, España

(*E-mail: juanpmar@ucm.es)

<https://doi.org/10.19084/rca.28376>

RESUMEN

El ser humano al emplear el suelo modifica paulatinamente sus propiedades lo que puede producir la pérdida o reducción de la salud del suelo. El objetivo de este trabajo fue analizar si diferentes usos del suelo producen diferencias en las relaciones de un set de 24 variables físico-químicas. La zona de estudio se situó al sureste de Madrid (España) en la que se muestrearon 10 puntos en los que los tres usos principales del suelo (cereal, olivar y natural) se encontraban colindantes. Las relaciones entre las variables físico-químicas para cada uso se determinaron por las correlaciones bivariadas de Spearman ($P < 0,05$). El estudio de estas relaciones se llevó a cabo mediante técnicas de análisis de redes. El uso del suelo influyó en las relaciones entre las variables analizadas. Los suelos agrícolas, especialmente los de cereal, tuvieron una menor y peor cantidad de correlaciones. Los suelos agrícolas tuvieron una mayor tendencia a formar módulos independientes entre sí, lo que indicaría una menor resiliencia de estos suelos. Las variables físico-químicas más importantes cambiaron entre usos: relacionadas con la materia orgánica en la red del uso natural y relacionadas con distintos coloides inorgánicos en los usos agrícolas.

Palabras clave: uso del suelo, salud del suelo, correlaciones, análisis de redes, propiedades físico-químicas

ABSTRACT

The human being when using the soil gradually modifies its properties which can cause the loss or reduction of the health of the soil. The objective of this work was to analyse whether different land uses produce differences in the relationships of a set of 24 physical-chemical variables. The study area was located southeast of Madrid (Spain) in which 10 points were sampled where the three main soil uses (cereal, olive grove and natural) were adjacent. The relationships between the physical-chemical variables for each use were determined by Spearman's bivariate correlations ($P < 0.05$). The study of these relationships was carried out using network analysis techniques. Soil use influenced the relationships between the variables analysed. Agricultural soils, especially cereal soils, had fewer and worse number of correlations. Agricultural soils had a greater tendency to form modules independent of each other, which would indicate a lower resilience of these soils. The most important physical-chemical variables changed between uses: related to organic matter in the network of natural use and related to different inorganic colloids in agricultural uses.

Keywords: soil use, soil health, correlations, network analysis, physico-chemical properties

INTRODUCCIÓN

En 1941, en su libro "Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology" Jenny define el suelo como un sistema abierto que se encontraría definido cuando se conocieran todas sus propiedades y las relaciones existentes entre ellas, un cambio en alguna propiedad propiciaría cambios en otras propiedades llegando a generar suelos diferentes (Jenny, 1941). El ser humano en su aprovechamiento del suelo produce continuamente variaciones en las propiedades del suelo: variaciones en los ciclos biogeoquímicos (C, N, P, etc.), reducción de población microbiana, introducción de metales pesados como elementos traza de fertilizantes, aumento de la densidad a causa de la maquinaria, etc. Estas variaciones continuadas en el tiempo implican la diferenciación entre la forma de relacionarse las distintas variables en suelos agrícolas respecto a sus contrapartes naturales, es decir que aquellos suelos con unos factores formadores similares pero con una menor influencia antropogénica.

La Comisión Europea en su documento "Caring for soil is caring for life - Ensure 75% of soils are healthy by 2030 for healthy food, people, nature and climate" (Veerman et al., 2020) plantea la misión de conseguir para el 2030 que al menos el 75 % de todos los suelos de los estados miembros de la Unión Europea sean sanos y capaces de proporcionar los servicios esenciales que dependen de ellos.

En este sentido, en este trabajo proponemos la posibilidad de estudiar la influencia del ser humano en los suelos no solamente en términos absolutos en cada variable analizada sino a través de las interrelaciones existentes y su modificación antropogénica. El objetivo de esta investigación es analizar si diferentes usos del suelo producen diferencias en la manera que tienen de relacionarse entre sí un set de variables físico-químicas. Creemos que el uso agrícola reduce la cantidad de correlaciones entre las variables de este tipo, lo que podría afectar a la funcionalidad y salud de estos suelos.

MATERIAL Y MÉTODOS

La zona de estudio se situó al suroeste de la ciudad de Madrid (España), se muestrearon un total de 10 puntos en los que se recogieron muestras de

los tres usos principales del suelo: cereal (centeno y trigo), olivar y natural. Los puntos de muestreo se seleccionaron de forma que los tres usos fueran colindantes para minimizar las diferencias en los factores de formación del suelo ajenas a la influencia antrópica, perteneciendo al grupo de luvisoles. En todas las muestras se analizaron 24 propiedades físico-químicas del suelo: humedad a capacidad de campo (WHC), densidad aparente (BD), pH, conductividad eléctrica (EC), contenido en carbonato equivalente (CaCO_3), nitrógeno total (TN), carbono orgánico total (TOC), fósforo disponible (Pav), cloruro, nitrito, nitrato, sulfato y amonio solubles (Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} y NH_4^+ respectivamente), porcentaje de arenas (Sand), limos (Silt) y arcillas (clay), óxidos de Fe y Mn amorfos (FeA y MnA), óxidos de Fe y Mn cristalinos (FeX, MnX), carbono y nitrógeno solubles en frío (Ccw, Ncw) y solubles en caliente (Chw, Nhw).

El análisis de las relaciones entre variables se realizó a través de análisis de redes. Este tipo de análisis parte de la representación gráfica (denominada grafo o red) de las variables en forma de puntos o círculos denominados nodos y de las relaciones existentes entre ellas mediante líneas denominadas aristas. En este estudio las relaciones entre variables se generaron a partir de las correlaciones bivariadas de Spearman ($P < 0.05$). Se llevaron a cabo 10 redes por uso, generadas a partir de la exclusión de un suelo de estudio en cada una de ellas, de esta manera se consiguieron diez redes distintas para cada uso lo que permitió su análisis estadístico.

Para la comparación de las redes obtenidas se utilizó la U de Mann-Whitney sobre las siguientes métricas (Cherven, 2013): i) el número de nodos, es decir, el número de variables que muestran al menos una correlación, ii) el número de aristas, es decir, el número de correlaciones, iii) grado medio, el número medio de correlaciones que tiene una variable, iv) grado medio ponderado, el número medio de correlaciones que tiene una variable ponderada por su coeficiente de correlación, v) diámetro de la red, es la distancia máxima entre dos variables de la red, vi) densidad, es el número de correlaciones existentes con respecto al total posible, vii) modularidad, es una función que cuando se maximiza indica si las variables de la red forman grupos de variables o no, valores de esta función cercanos a

cero indican que los nodos de la red forman un solo grupo, viii) transitividad, que es la probabilidad de que dos variables estén correlacionadas con una tercera, ix) componentes conexos, es decir, la cantidad de grupos de nodos diferenciados existen, y x) longitud media del camino, es la distancia media entre cualquier dos variables de la red. En el estudio de las redes, su representación y la obtención de las métricas de red se empleó el software Gephi 0.9.2, para los análisis estadísticos el software SPSS 23.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio se ha analizado si el uso del suelo influye en las relaciones que existen entre un set de variables físico-químicas. Con este fin se ha llevado a cabo un análisis de las redes generadas a partir de las correlaciones bivariadas de Spearman ($P < 0,05$) en dos usos agrícolas (cereal y olivar) comparándolos con suelos naturales.

El análisis de las métricas de las redes generadas mostró la influencia del uso en las relaciones entre las variables físico-químicas analizadas. Las redes de suelos naturales tuvieron la mayor cantidad de nodos, la mayor cantidad de aristas, el mayor grado medio y el mayor grado medio con pesos. Estos resultados indicaron que las variables analizadas en los suelos naturales se encuentran más

Tabla 1 - Medias y desviación típica de las métricas de red de las redes parciales, N=10 salvo Modularidad-Cereal N=8, distintas letras implican diferencias significativas entre usos según U-Mann-Whitney con un p-valor corregido $< 0,017$.

Métricas de red	Cereal	Olivar	Natural
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
Nodos	18±1,2 c	20,5±0,97 b	21,7±0,82 a
Aristas	18,4±3,6 c	27,3±3,83 b	52,3±8,87 a
Grado medio	2,04±0,32 c	2,66±0,34 b	4,83±0,89 a
Grado medio con pesos	0,15±0,14 c	0,91±0,23 b	1,44±0,42 a
Diámetro	4,8±1,14 b	8,3±0,95 a	5,9±1,45 b
Densidad	0,12±0,02 b	0,14±0,02 b	0,23±0,05 a
Modularidad	1,87±0,26 a	1,16±0,29 b	0,45±0,20 c
Clustering	0,38±0,12 b	0,38±0,13 b	0,62±0,11 a
Comp. conexos	3,5±0,85 a	1,5±0,71 b	1,9±0,57 b
Longitud media de camino	2,25±0,35 b	3,50±0,29 a	2,32±0,43 b

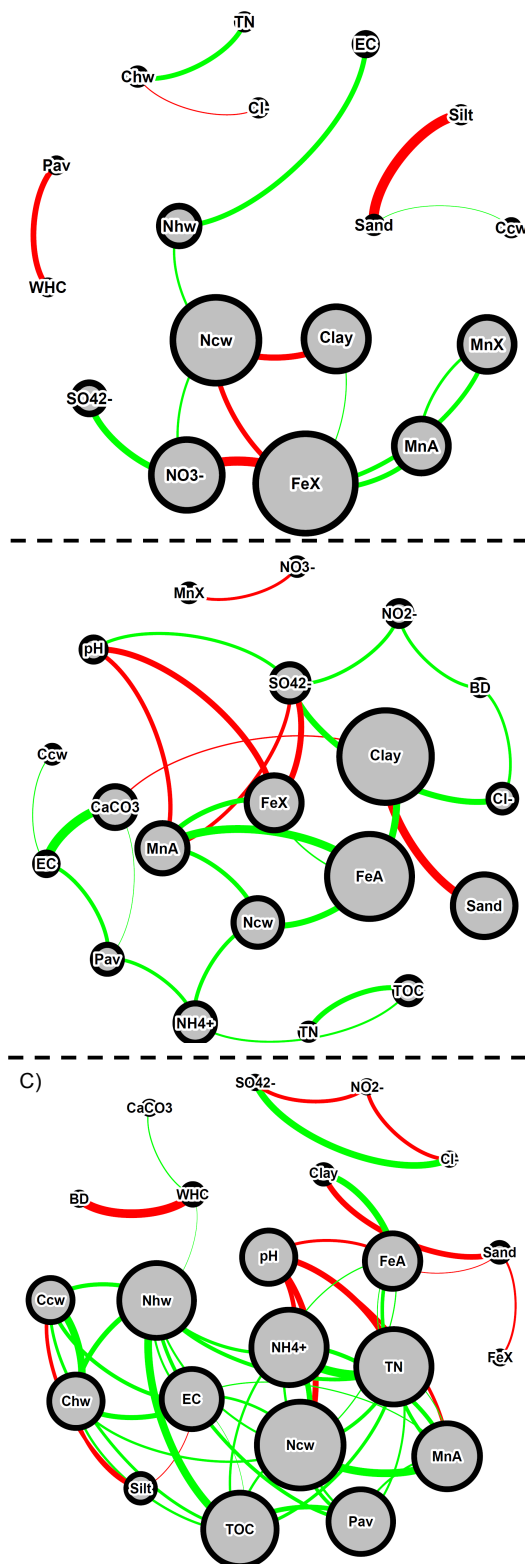


Figura 1 - Grafos de las redes de los suelos de cereal (A), olivar (B) y natural (C). El diámetro de los nodos es proporcional a su centralidad de eigenvector. Las aristas claras son correlaciones positivas y las oscuras negativas, el grosor es proporcional al coeficiente de correlación.

relacionadas entre sí que en los suelos agrícolas, es decir, el uso del suelo se ha visto reflejado en las relaciones entre las variables. Las redes de suelos de cereal tuvieron un mayor valor de modularidad. Esto implica que las variables físico-químicas de los suelos de cereal forman módulos, lo que conferiría a estos suelos una menor capacidad de resiliencia (Kharrazi *et al.*, 2020).

En la red de suelos naturales (Figura 1) las principales variables fueron el carbono y el nitrógeno, tanto totales (TN y TOC) como solubles (N_{cw}, N_{hw}, NH₄⁺), y entre los coloides inorgánicos primó el papel de los óxidos amorfos tanto de Mn como de Fe (MnA y FeA). La mayor cantidad de nodos de esta red y sus valores altos de centralidad de eigenvector implicarían que varios nodos fueron importantes, lo que proporcionaría una mayor estabilidad a la red. En cambio, a causa de sus bajas concentraciones en materia orgánica, en las redes de los suelos agrícolas (Figura 1) las variables principales fueron los coloides inorgánicos, olivar el porcentaje en arcillas y los FeA, mientras que en el uso cereal los óxidos cristalinos de Fe, contenido soluble de nitratos (NO₃⁻) y el nitrógeno soluble en frío (N_{cw}), diferenciándose como principales en el uso.

Este estudio se llevó a cabo con suelos de distintos puntos pero que compartían un mismo grupo (luvisoles). Sin embargo, esta metodología podría emplearse en escala de parcela tomando un número suficiente de muestras para establecer las

correlaciones. Esto permitiría realizar comparativas temporales de cómo evolucionan las variables en una misma parcela o comparar dicha parcela con otras que tengan un manejo agrícola distinto (por ejemplo, entre la agricultura convencional y la agricultura de conservación).

CONCLUSIONES

El análisis de redes permitió estudiar la influencia del uso agrícola (cultivos de cereal y olivar) en las relaciones que existen entre variables físico-químicas. El uso agrícola generó la disminución de las relaciones entre variables físico-químicas. Los suelos naturales, al tener una menor carga antropogénica, tuvieron una mayor cantidad de correlaciones y estas correlaciones un mayor coeficiente de correlación. La morfología de la red de los suelos naturales indicaría una mayor capacidad de resiliencia de esos suelos, mientras que la de los suelos agrícolas sería menor.

AGRADECIMENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Comunidad de Madrid a través del Programa I+D CARESOIL (Ref.P2018/EMT4317) y financiado por la Unión Europea-NextGenerationEU a través del Ministerio de Universidades y de la convocatoria CT31/21 de la UCM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cherven, K. (2013) - *Network graph analysis and visualization with Gephi*. Packt.
- Jenny, H. (1941) - *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Kharrazi, A.; Yu, Y.; Jacob, A.; Vora, N. & Fath, B.D. (2020) - Redundancy, Diversity, and Modularity in Network Resilience: Applications for International Trade and Implications for Public Policy. *Current Research in Environmental Sustainability*, vol. 2, art. 100006. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2020.06.001>