

Desempeño y Mapeo de la Producción Científica de la Relación Roca-Suelo-Vegetación Performance and Mapping of the Scientific Production of the Rock-Soil-Vegetation Relationship

María Nereida Galván-Alonso¹, Ángel Bravo-Vinaja^{1†}, Juan Felipe Martínez-Montoya¹,
Jorge Palacio-Núñez¹ y Ma. Cristina Noyola-Medrano²

¹ Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide 73, San Agustín. 78622 Salinas, San Luis Potosí, México; (M.N.G.A.), (A.B.V.), (J.F.M.M.), (J.P.N.).

[†] Autor para correspondencia: abravo@colpos.mx

² Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Dr. Manuel Nava 08, Zona Universitaria. 78210 San Luis Potosí, San Luis Potosí, México; (M.C.N.M.).

RESUMEN

La relación roca, suelo y vegetación es fundamental. Los suelos, formados por intemperismo y erosión de rocas e influenciados por procesos edáficos (carbonatación, gipsificación, salinización, entre otros) proporcionan el sustrato esencial para la vida vegetal. Por lo tanto, el propósito fue medir el desempeño de la producción científica respecto a la relación entre roca, suelo y vegetación. Este estudio busca comprender el enfoque científico que se ha dado a este tema, evolución y posibles áreas de investigación futura, por ejemplo: génesis de suelos, taxonomía, plantas calcícolas, seleníferas, gipsófilas. Este análisis bibliométrico abarca la producción científica desde 1935 hasta 2023, indexada en la base de datos Web of Science. Se analizaron 276 trabajos científicos utilizando indicadores bibliométricos uni y multidimensionales. Fue notable que 28% de estos documentos (77 en total) se publicaron en los últimos cuatro años, lo que indica un crecimiento importante en este tema. Los países con mayor contribución fueron Estados Unidos (19.6%), China (18.1%), Francia (8.3%), Brasil (7.6%) y Australia (6.2%). La revista *Catena* lideró la producción de estos trabajos y el autor más destacado fue Wang Kelin. Las principales temáticas de la relación roca-suelo-vegetación se centraron en: adaptación vegetal a suelos contaminados por metales pesados, disponibilidad de nutrientes, relación entre la vegetación y la roca, restauración, diversidad vegetal y, contenido de materia orgánica en el suelo. Este análisis pone de manifiesto las fuentes de interés en el estudio de esta relación, además de las mencionadas en el párrafo anterior, roca y calidad del suelo generado, capacidad de uso, uso potencial para ciertas plantas, entre otros.

Palabras clave: *análisis bibliométrico, edafogénesis, clústeres, colaboración académica.*

SUMMARY

The relationship rock, soil and vegetation is fundamental. Soils formed by weathering and rock erosion influenced by edaphic processes (carbonation, gypsification, salinization, among others) provide the essential substrate for plant life. Therefore, the purpose of the present research is to measure scientific production performance regarding the relationship among rock, soil and vegetation. In this manner, under the scientific approach used in this topic, its evolution and possible areas of future research, e.g. soil genesis, taxonomy, calcicolous, seleniferous, gypsophilous plants. This bibliometric analysis covers scientific production from 1935 to 2023, indexed in the Web of Science database. A total of 276 scientific papers were analyzed using uni and multidimensional bibliometric indicators. It was notable that 28% of these papers (77 in total) were published in the last four years, indicating



Cita recomendada:

Galván-Alonso, M. N., Bravo-Vinaja, A., Martínez-Montoya, J. F., Palacio-Núñez, J., & Noyola-Medrano, M. C. (2024). Desempeño y Mapeo de la Producción Científica de la Relación Roca-Suelo-Vegetación. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-14. e2022. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i.2022>

Recibido: 11 de julio de 2024.

Aceptado: 4 de septiembre de 2024.

Artículo. Volumen 42.

Octubre de 2024.

Editor de Sección:

Dr. Fabián Fernández Luqueño

Editor Técnico:

Dr. Marco Antonio Camacho Escobar



Copyright: © 2024 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

a significant growth in this subject. The countries with the highest contribution were the United States (19.6%), China (18.1%), France (8.3%), Brazil (7.6%) and Australia (6.2%). The journal *Catena* led the production of these papers, and the most prominent author was Wang Kelin. The main themes of the rock-soil-vegetation relationship focused on: plant adaptation to heavy metal contaminated soils, nutrient availability, vegetation-rock relationship, restoration, plant diversity and soil organic matter content. This analysis highlights the sources of interest in the study of this relationship, in addition to those mentioned in the previous paragraph, rock and quality of the soil generated, capacity for use, potential use for certain plants, among.

Index words: *bibliometric analysis, edaphogenesis, clustering, academic collaboration.*

INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de los recursos naturales más explotados por el hombre, constituye la base de los ecosistemas terrestres, permitiendo la vida en el planeta. Se define como una cubierta sobre la corteza terrestre, donde interactúan litósfera, biósfera y atmósfera (Porta, López y Poch, 2008), representa el medio para la emergencia y desarrollo de las plantas (Ortiz, 2019). El suelo influye en la diversidad, así como en su distribución espacial de la vegetación, las cuales se encuentra condicionadas a varios factores edáficos (Valdés-Iglesias, Barrero y Rivera, 2021), en los que se incluyen: 1) cantidad de arcillas, propiedades físicas y químicas, profundidad; 2) fertilidad (suelos con baja fertilidad concentran menor diversidad de plantas); 3) cantidad de oxígeno (que se relaciona directamente con el contenido de agua en el suelo); 4) la topografía (Clark, 2002). Las características del suelo dependen del material madre del cual se originan (Ortiz, 2019), es un elemento de la tierra constituido por minerales de origen natural, con estructura interna ordenada, así como con composición química definida (Tarbuck y Lutgens, 2005). Las rocas constantemente están expuestas a agentes físicos y químicos, que las intemperizan, transforman o erosionan, dando lugar a nuevos minerales u otras rocas, o a paisajes con relieves diferentes a los originales (Valdés- Iglesias *et al.*, 2021). También se tiene una publicación relevante en la que establecen la interrelación que se tiene entre el agua, el suelo, la planta y la atmósfera (Aguilera y Martínez, 1996), aunque no atiende, de manera estricta o directa, la relación roca y suelo o la mineralogía del suelo o rocas con las plantas.

Actualmente, los estudios sobre los suelos y su relación con la vegetación se han enfocado a fines productivos (Torres y Rojas, 2018; Darwich, 2019; Vite, Carvajal y Barrezueta, 2020; Bonilla-Segovia, Dávila y Villa, 2021); es decir, para conocer algunos parámetros de la calidad del suelo, como la fertilidad, y cómo ésta influye en el desarrollo y producción de cultivos para satisfacer la demanda de alimentos de la sociedad. Sin embargo, los estudios que relacionen a la roca, al suelo y a la vegetación natural son escasos. Algunos de estos estudios son los relacionados con la asociación de los sustratos yesosos y vegetación gipsófila (Meyer, 1986; Meyer y García-Moya, 1989; Meyer, García y Lagunes, 1992; Muller, Moore y Drenovsky, 2015). Así mismo, Geissert y Rossignol (1987), Rossignol, Geissert y Campos (1989) y Espinosa-Rodríguez (2005), con base a la morfoedafología, consideran el relieve, la fisiografía-topoforma, sin explicar la relación entre la roca con el suelo y la biota aérea o subterránea.

Un ejemplo destacado de esta interacción es lo relacionado con las plantas endémicas en zonas áridas, donde su supervivencia y crecimiento están intrínsecamente ligados a la disponibilidad de agua y las características del sustrato que las sustenta (Muller, Moore, Feder, Tiley y Drenovsky, 2017). Al considerar la vegetación nativa, es crucial tener en cuenta el tipo de suelo y la roca madre de la que se origina. La mayoría de las especies vegetales prosperan en un tipo específico de suelo, y comprender esta relación es de gran valor. Este conocimiento es especialmente relevante en el contexto de los desafíos ambientales actuales, como el crecimiento poblacional, el cambio de uso de suelo, la deforestación (Nave *et al.*, 2024), el sobrepastoreo, la extracción y comercio ilegal de plantas, la introducción de especies exóticas y el cambio climático, que amenazan la flora nativa (Royo, Melgoza y Quintana, 2018). En respuesta a estos desafíos, se ha buscado la reforestación de zonas degradadas. Sin embargo, a menudo, esta práctica no se lleva a cabo de manera adecuada (Arriaga, Cervantes y Vargas, 1994). Para una reforestación exitosa, es esencial entender la relación de las especies vegetales con el suelo y la roca, un aspecto que a menudo se pasa por alto, resultando en fracasos en la recuperación de áreas forestales. Por lo tanto, es de suma importancia considerar la roca y el suelo, al planificar y ejecutar reforestaciones. Solo al hacerlo, se puede garantizar el éxito de estas iniciativas y preservar la rica biodiversidad de nuestro planeta.

La bibliometría (Pritchard, 1969) emerge como herramienta poderosa para analizar cuantitativamente todo tipo de datos bibliográficos, desde títulos y palabras clave hasta autores y referencias. El análisis bibliométrico es un método eficaz para evaluar el desempeño de la literatura científica en un campo de investigación específico, así como para descubrir relaciones y trazar la evolución de la investigación científica a lo largo del tiempo (Corsini, Certomà, Dyer y Frey, 2019). En este contexto, este estudio proporciona un análisis de la literatura existente sobre este tema. De esta manera, el objetivo de este trabajo fue medir el desempeño de la producción científica respecto a la relación roca, suelo y vegetación. Se buscó mapear las redes de colaboración entre autores y las temáticas de investigación, identificar el enfoque científico que se le ha dado a este tema, cómo ha evolucionado a lo largo del tiempo, e identificar futuras áreas de investigación utilizando indicadores bibliométricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fuente de Información

Las bases de datos empleadas para recuperar información sobre la relación roca, suelo y vegetación fueron el Science Citation Index Expanded (SCIE) y el Social Science Citation Index (SSCI), (Clarivate, 2024) de la Colección Principal del Web of Science (WoS). En estas bases de datos se obtuvo acceso a los registros bibliográficos de cada uno de los documentos científicos que han sido publicados en diferentes revistas.

Estrategia de Búsqueda y Recuperación de Información

La estrategia para recuperar la información bibliográfica de las bases de datos mencionadas consistió en realizar búsquedas básicas con los términos: rock, soil, plant*, vegetation* y relation, posteriormente se realizaron distintas búsquedas avanzadas donde se combinaron las búsquedas básicas (Cuadro 1). Las búsquedas se realizaron en los campos de título, palabras clave y resumen, para el período comprendido entre el año 1935, a junio de 2023.

Para llevar a cabo la extracción de información pertinente se revisaron los documentos resultantes de la búsqueda 7 y 8, donde se descartaron documentos sin relación con el tema o que su contenido se alejó de la idea central de la relación roca, suelo y vegetación. Finalmente, la base de datos se conformó de 276 documentos, de los cuales 260 correspondieron a artículos de revistas, 17 a artículos en extenso, nueve a artículos de revisión, tres de acceso temprano, uno a capítulo de libro y uno de material editorial.

Cuadro 1. Términos, búsquedas básicas y avanzadas realizadas para recuperar los registros bibliográficos sobre la relación roca-suelo-vegetación, de documentos publicados en revistas indexadas en las bases de datos Science Citation Index Expanded y Social Sciences Citation Index (1935-jun. 2023).

Table 1. Terms, basic and advanced searches performed to retrieve bibliographic records on the rock-soil-vegetation relationship, from documents published in journals indexed in the Science Citation Index Expanded and Social Sciences Citation Index databases (1935-Jun. 2023).

Búsqueda básica		
Número de búsqueda	Término	Resultados (número de documentos)
1	rock	529 489
2	soil	1 190 717
3	plant*	2 726 349
4	vegetation*	288 824
5	relation	1 715 727
Búsqueda avanzada		
Número de búsqueda	Combinación por búsqueda	Resultados (número de documentos)
7	(rock AND soil) AND (plant* OR vegetation*) AND relation	383
8	(rock AND soil AND plant*) AND (rock AND soil AND vegetation*)	1246

Indicadores Bibliométricos

De los registros, los que tratan del tema se enviaron a una "lista de registros marcados" dentro del WoS. Los documentos científicos se analizaron mediante indicadores bibliométricos unidimensionales o por desempeño (Van Raan, 1993) y multidimensionales o de mapeo (Moreno y Casado, 1997), (Cuadro 2). Para el primer caso, los indicadores fueron: comportamiento de la literatura, países con mayor número de publicaciones, revistas con mayor número de publicaciones, autores con más publicaciones y documentos con más citas. Para los segundos se incluyeron redes de coautoría con más de tres artículos publicados y mapa de temas y tendencias de investigación a través de la co-ocurrencia de palabras clave. Para generar los indicadores unidimensionales se empleó el programa informático Microsoft Excel®, y para los indicadores multidimensionales VOSviewer (Van Eck y Waltman, 2010). La elaboración de mapas bibliométricos a través de VOSviewer, que permite visualizar similitudes entre objetos mediante una escala multidimensional (Van Eck y Waltman, 2007), pueden ser de datos de co-citación, co-ocurrencia, co-autoría (Van Eck y Waltman, 2010), por mencionar algunos. La creación de los mapas se construyó a partir de los registros extraídos del SCIE y SSCI en formato de texto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de la Literatura

El análisis del comportamiento de la literatura científica sobre un tema específico proporciona una visión valiosa de las tendencias y transformaciones que han ocurrido a lo largo del tiempo. Este conocimiento permite prever las trayectorias futuras de investigación y el nivel de avance en un campo de estudio determinado (De Oliveira, da Silva, Juliani, Barbosa y Nunhes, 2019). Las investigaciones científicas concernientes con la relación natural existente entre roca, suelo y vegetación han incrementado de manera temporal progresiva (Figura 1). Para el periodo de entre los años 1935 y 1993, la producción científica sobre el tema en cuestión constó de sólo 11 escritos; de 2004 a 2008, la producción fue de 35 escritos y, finalmente, en el período de 2019 a junio de 2023, las publicaciones alcanzaron 77 escritos. Esta última cifra correspondió a 27% del total. Esto evidenció que en los últimos cuatro años las investigaciones sobre la relación entre roca, suelo y la vegetación abarcaron la cuarta parte de toda la producción científica de este tema en los últimos 88 años.

Países con el Mayor número de Publicaciones

En función de los países que han realizado investigaciones sobre el tema, se tienen resultados de 62, de los cuales sólo nueve poseen diez o más documentos. Sin embargo, en el Cuadro 3 se enlistan los 11 países con mayor número de documentos para incluir a México. Estados Unidos ocupa el número uno con 54 documentos; seguido se encuentra China, en la tercera posición se ubica Francia y en cuarto lugar Brasil. Entre estos cuatro suman 50% del total de todas las publicaciones. México ocupa el décimo primer lugar con siete documentos.

Cuadro 2. Indicadores bibliométricos unidimensionales y multidimensionales utilizados para realizar el análisis bibliométrico de documentos sobre la relación roca-suelo-vegetación, publicados en revistas indexadas en las bases de datos Science Citation Index Expanded y Social Sciences Citation Index (1935-jun. 2023).

Table 2. One-dimensional and multidimensional bibliometric indicators used to perform the bibliometric analysis of documents on the rock-soil-vegetation relationship, published in journals indexed in the Science Citation Index Expanded and Social Sciences Citation Index databases (1935-Jun. 2023).

Indicadores bibliométricos	
Por desempeño	De mapeo
Comportamiento de la literatura	Redes de coautoría
Países con mayor número de publicaciones	Temas de investigación
Revistas con mayor número de publicaciones	
Autores con más publicaciones	
Documentos con más citas	

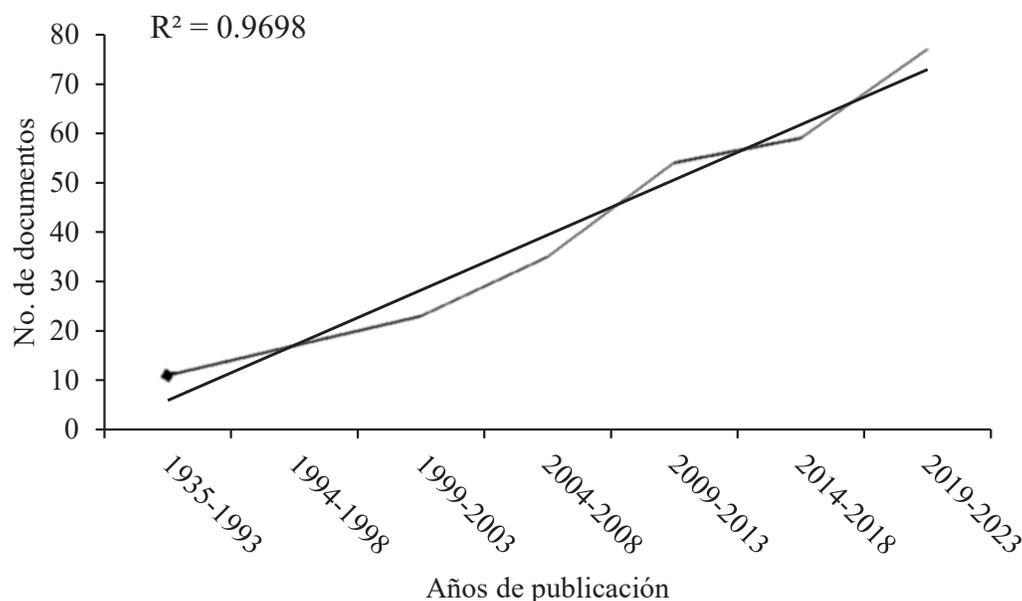


Figura 1. Comportamiento de la producción científica sobre la relación roca-suelo-vegetación a través del tiempo, publicadas en revistas indizadas en las bases de datos Science Citation Index Expanded y Social Sciences Citation Index (1935-jun. 2023).

Figure 1. Behavior of scientific production on the rock-soil-vegetation relationship over time, published in journals indexed in the Science Citation Index Expanded and Social Sciences Citation Index databases (1935-Jun. 2023).

Revistas con el Mayor Número de Publicaciones

Se encontró que 172 revistas han publicado sobre el tema de estudio. De estas, 19 contuvieron más de tres publicaciones, lo cual corresponde a 34%, en 97 documentos (Cuadro 4). La revista con mayor número de publicaciones fue *Catena*, con 17 publicaciones (9.8%), en segundo lugar, apareció *Plant and Soil* con 15 publicaciones (8.7%) y en tercer lugar, se encontró a *Geomorphology* con siete escritos (4%). La revista *Science of the Total Environment* tuvo cuatro publicaciones sobre el tema de interés.

Cuadro 3. Países con mayor número de documentos publicados sobre la relación roca-suelo-vegetación, en revistas indizadas en las bases de datos Science Citation Index Expanded y Social Sciences Citation Index (1935-jun 2023).

Table 3. Countries with the highest number of documents published on the rock-soil-vegetation relationship, in journals indexed in the Science Citation Index Expanded and Social Sciences Citation Index databases (1935-June 2023).

Posición	País	Documentos	Citas	%
1	EE.UU	54	1340	19.6
2	China	50	920	18.1
3	Francia	23	841	8.3
4	Brasil	21	853	7.6
5	Australia	17	658	6.2
6	España	14	319	5.1
7	Alemania	13	804	4.7
8	Rusia	11	52	4.0
9	Inglaterra	10	430	3.6
10	Italia	8	174	2.9
11	México	7	173	2.5

Cuadro 4. Revistas indexadas en las bases de datos Science Citation Index Expanded y Social Sciences Citation Index con tres o más documentos publicados sobre la relación roca-suelo-vegetación (1935-jun. 2023). Se aporta información por cada revista sobre el número de documentos (ND), número de citas recibidas (Citas), factor de impacto 20-22 (FI), posición y cuartil (P,Q) y categoría JCR de los temas principales de las publicaciones.

Table 4. Journals indexed in the Science Citation Index Expanded and Social Sciences Citation Index databases with three or more published documents on the rock-soil-vegetation relationship (1935-Jun. 2023). Information is provided for each journal on the number of documents (ND), number of citations received (Citations), impact factor 20-22 (IF), position and quartile (P,Q) and JCR category of the main topics of the publications.

Título	ND	Citas	F.I.	P,Q	Categoría JCR	Editorial
Catena	17	344	6.2	17/201.1	Geosciences, Multidisciplinary	Elsevier
Plant and Soil	15	364	4.9	13/88.1	Agronomy	Springer
Geomorphology	7	209	3.9	53/201.2	Geosciences, Multidisciplinary	Elsevier
Flora	5	139	1.9	129/238.3	Plant sciences	Elsevier
Geoderma	5	274	6.1	8/37.1	Soil science	Elsevier
Plant Ecology	5	211	1.7	38/69.3	Forestry	Springer
Ecology and Evolution	4	50	2.6	85/169.3	Ecology	Wiley
Journal of Vegetation Science	4	144	2.8	72/169.2	Forestry	Wiley
Phytocoenologia	4	241	1	190/238.3	Plant sciences	Schweizerbart
Science of the Total Environment	4	217	9.8	26/274.1	Environmental sciences	Elsevier
Applied Ecology and Environmental Research	3	12	0.7	155/169.4	Ecology	Universidad Corvinus de Budapest
Biodiversity and Conservation	3	260	3.4	14/64.1	Biodiversity conservation	Springer
Ecological Research	3	50	2	103/169.3	Ecology	Wiley
Environmental Earth Sciences	3	70	2.8	45/103.2	Water resources	Springer
Forests	3	9	2.9	17/69.1	Forestry	Instituto Multidisciplinario de Publicaciones Digitales (MDPI)
Journal of Geochemical Exploration	3	69	3.9	16/86.1	Geochemistry and geophysics	Elsevier
Journal of Mountain Science	3	69	2.5	184/274.3	Environmental sciences	Springer
Journal of Soils and Sediments	3	6	3.6	20/37.3	Soil science	Springer
Rhodora	3	17	0.2	237/238.4	Plant sciences	New England Botanical Club (NEBC)

Autores con más Documentos Publicados

En el Cuadro 5 se enlistan los diez autores con más documentos publicados sobre la relación entre roca, suelo y vegetación. Se muestra el número de publicaciones, citas, institución a la que pertenece el autor y su área de investigación. En la primera posición se encuentra Kelin Wang, con cinco publicaciones (1.8%) y, quién trabaja en áreas de ciencias ambientales, ecología y ciencias de las plantas. Seguido se encuentran los autores, Hu Chen, Francisco Luís Pérez, Corinne Sarhou, Ilan Stavi, Ent Antony Van Der y Hezi Yizhaq, con cuatro publicaciones cada uno, es decir 1.4% del total de documentos. En su mayoría estos autores se especializan en áreas relacionadas con ciencias ambientales, ecología, geología, agronomía y ciencias de las plantas. No hay autores con gran cantidad de documentos, por lo que no existe especialización fina o puntual en el tema de interés.

Documentos más Citados

En lo referente a la diseminación de documentos publicados en este tema, sólo 10 (3.6%) de los 276 contaron con más de cien citas. El documento más citado posee 415 menciones y trata sobre la afectación de suelos salinos a la producción de cultivos como el trigo y la cebada (Rengasamy, 2010). De los diez documentos que se enlistan en el Cuadro 6, sólo uno no cuenta con más de diez años de antigüedad. Esto se puede adjudicar a que

algunas publicaciones antiguas puedan acumular mayor cantidad de citas. Como ejemplo de esta suposición, es el caso de la publicación *Chemical weathering of basalt in southwest Iceland: Effects of runoff, age of rocks and vegetative/glacial cover*, publicado en *American Journal of Science*, (Gislason, Arnorsson y Armannsson, 1996); esta ha sido citado 374 veces en 27 años; en esta publicación aborda la erosión de rocas basálticas y su relación con la cubierta vegetal en Islandia. Sin embargo, la mayoría de las publicaciones con más de 100 citas son del año 2000 en adelante. De esta manera, el tercer lugar habla sobre las propiedades de suelos amazónicos y su relación con su génesis (Quesada *et al.*, 2010). El cuarto lugar expone comunidades vegetales que se desarrollan en rocas con alto contenido de hierro (Jacobi, do Carmo, Vincent y Stehmann, 2007). En quinta posición se encuentra un escrito que habla sobre contenido de cromo en suelos formados sobre rocas ultramáficas en Nueva Caledonia (Becquer, Quantin, Sicot y Boudot, 2003). El sexto lugar hace una revisión de los hábitats de los humedales en relación a la variación de las condiciones ambientales (relieve, hidrología, clima), (Deil, 2005). El séptimo lugar se refiere a la variedad vegetal existente en suelos derivados de rocas ultramáficas en Nueva Caledonia y Sulawesi (Proctor, 2003). El octavo lugar expone un estudio para cuantificar la variedad de flora endémica de los afloramientos rocosos de serpentina en California (Harrison, Safford, Grace, Viers y Davies, 2006). En la novena posición se encontró un documento que explica la respuesta microbiana del suelo frente a la restauración vegetal de áreas de desertificación en el suroeste de China (Xue, Ren, Li, Leng y Yao, 2017) y, por último, el décimo documento más citado hace referencia a la vegetación boscosa que crece sobre afloramientos de dolomita en el suroeste de China y las principales fuentes de agua para esta vegetación en temporada de seca (Nie, Chen, Wang y Yang, 2012).

Cinco Documentos más Citados de los Últimos Cinco Años

Con el fin de obtener una visión más exhaustiva de la literatura actual, se realizó un análisis de los cinco artículos con el mayor número de citas en los últimos cinco años. Como se muestra en el Cuadro 7, el documento más citado fue "Changes in plant rhizosphere microbial communities under different vegetation restoration patterns in karst and non-karst ecosystems", con 34 citas, que aborda la diversidad microbiana en ambientes kársticos sujetos a procesos de restauración. Es importante destacar que dos de los artículos en esta recopilación, ubicados en la tercera y quinta posición respectivamente, fueron publicados en la revista *Applied Microbiology and Biotechnology*, lo cual sugiere un reconocimiento en la comunidad científica dentro de este campo de estudio. Además, es notable que cuatro de los cinco artículos analizados se centraron en la temática de ambientes kársticos y estrategias de restauración ecológica, o mitigación de la desertificación del suelo, lo que muestra el interés creciente en esta área de investigación.

Cuadro 5. Autores con más documentos publicados sobre la relación roca-suelo-vegetación en revistas indizadas en las bases de datos Science Citation Index Expanded y Social Sciences Citation Index, (1935-jun. 2023). Se aporta información por autor, número de publicaciones (Publ.) número de citas recibidas (Citas), institución de adscripción y área o áreas de investigación de cada uno de los autores. Table 5. Authors with the most published documents on the rock-soil-vegetation relationship in journals indexed in the Science Citation Index Expanded and Social Sciences Citation Index databases (1935-Jun. 2023). Information is provided on author, number of publications (Publ.), number of citations received (Citations), institution of affiliation and area or areas of research of each of the authors.

Autor	Publ.	Citas	Institución	Área de investigación
Kelin Wang	5	198	Guangxi Ind Technol Karst Rocky	Ciencias ambientales, ecología, agricultura y geología
Hu Chen	4	168	Chinese Academy of Sciences	Ciencias ambientales, ecología y ciencias de las plantas
Francisco Luís Pérez	4	31	University of Texas Austin	Geología, ciencias ambientales y ecología
Corinne Sarhou	4	88	Museum National d'Histoire Naturelle	Ciencias ambientales, ecología y ciencias de las plantas
Ilan Stavi	4	62	Dead Sea & Arava Sci Ctr	Ecología, agricultura y geología
Antony Van Der Ent	4	130	Wageningen University & Research	Ciencias de las plantas, agricultura, ciencias ambientales y ecología
Hezi Yizhaq	4	62	Ben Gurion University	Ciencias ambientales, ecología, geología y geografía
Earl B Alexander	3	52	United States Forest Service	Agricultura, ciencias ambientales y geología
Thierry Bécquer	3	266	Universite de Montpellier	Agricultura, ecología, geología y ciencias de las plantas
Milán Chytry	3	50	Masaryk University Brno	Ciencias ambientales, ecología y geografía

Cuadro 6. Documentos más citados publicados en revistas indizadas en las bases de datos Science Citation Index Expanded y Social Sciences Citation Index sobre la relación roca-suelo-vegetación (1935-jun. 2023).
Table 6. Most cited documents published in journals indexed in the Science Citation Index Expanded and Social Sciences Citation Index databases on the rock-soil-vegetation relationship (1935-Jun. 2023).

Título	Autores	Citas	Revista
Soil processes affecting crop production in salt-affected soils	Rengasamy (2010)	415	Functional Plant Biology
Chemical weathering of basalt in southwest Iceland: Effects of runoff, age of rocks and vegetative/glacial cover	Gislason, Arnorsson y Armannsson (1996)	374	American Journal of Science
Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis	Quesada <i>et al.</i> (2010)	317	Biogeosciences
Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem	Jacobi, do Carmo, Vincent y Stehmann, (2007)	245	Biodiversity and Conservation
Chromium availability in ultramafic soils from New Caledonia	Becquer, Quantin, Sicot y Boudot (2003)	205	Science of Total Environment
A review on habitats, plant traits and vegetation of ephemeral wetlands - a global perspective	Deil (2005)	197	Phytoecology
Vegetation and soil and plant chemistry on ultramafic rocks in the tropical Far East	Proctor (2003)	145	Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics
Regional and local species richness in an insular environment: Serpentine plants in California	Harrison, Safford, Grace, Viers y Davies (2006)	143	Ecological Monographs
Soil Bacterial Community Structure and Co-occurrence Pattern during Vegetation Restoration in Karst Rocky Desertification Area	Xue, Ren, Li, Leng y Yao (2017)	131	Frontiers in Microbiology
Water source utilization by woody plants growing on dolomite outcrops and nearby soils during dry seasons in karst region of Southwest China	Nie, Chen, Wang y Yang (2012)	112	Journal of Hydrology
Integrating soils and geomorphology in mountains - an example from the Front Range of Colorado	Birekland, Shroba, Burns, Price y Tonkin (2003)	103	Geomorphology

Análisis de Grupos de Investigación

En la Figura 2 se muestra una red de autores compuesta por 21 elementos, agrupados en 14 clústeres y conectados por nueve enlaces. Esta red se construyó considerando a los autores con más de tres publicaciones en el tema, lo que reveló que solo 21 autores cumplieron con este criterio, indicando una cantidad limitada de investigadores especializados en este campo. La presencia de múltiples clústeres (14 en total) puede significar relación limitada entre los autores. En muchos casos, la conexión entre ellos se debió a su afiliación institucional o nacional. Por ejemplo, todos los autores en el Clúster 1 (marcado en rojo) fueron de China, aunque la mayoría no estuvieron directamente relacionados entre sí. De los 14 clústeres, sólo cuatro agrupan a dos o tres autores.

Mapa de Temas

De los 276 documentos que conforman la base de datos, se obtuvo un total de 1969 palabras clave descritas por los autores de cada una de las publicaciones. En la Figura 3 se destaca el top 20 de palabras con mayor ocurrencia en las publicaciones analizadas. La palabra "vegetación" es la que tiene la mayor aparición, con 88 repeticiones en las palabras clave de los documentos, seguida por "suelo", "diversidad", "comunidades", "riqueza de especies", "fitocenosis", "bosque", "patrones", "clima", "ambiente", "conservación", "ecología", "metales pesados", "ambiente montañoso", "biodiversidad" y "caliza". Estos resultados revelan una tendencia clara en la investigación, donde la mayoría de los escritos recopilados se enfocan en la vegetación, ya sea en su relación directa con el suelo o en aspectos geológicos. Este énfasis en la vegetación subraya su importancia central en los estudios sobre la interacción roca-suelo-vegetación, y cómo estas interacciones influyen en la diversidad biológica, las comunidades vegetales y la conservación del medio ambiente. La frecuencia de términos relacionados con

ecología, conservación y metales pesados también resalta el interés en temas críticos como la salud del suelo y la sostenibilidad ecológica. Para dar una mayor significancia a las palabras en el mapa de co-ocurrencia, se estableció un criterio de inclusión que consideraba solo aquellas palabras cuya ocurrencia fuera mayor a tres (ocurrencia > 3). Esta técnica robusta permitió identificar 253 ítems distribuidos en seis clústeres y conectados por 5379 ligas, proporcionando una visión detallada y estructurada de las tendencias de investigación en el campo, como se muestra en la Figura 4.

Clúster 1 (Rojo): Suelo

Este grupo temático englobó investigaciones relacionadas con metales pesados como magnesio, cobre, níquel, cobalto, hierro, plomo, zinc y boro, así como rocas específicas como serpentinas, dolomitas y rocas ultramáficas. Otras palabras clave incluyeron intemperismo, adaptación, briofitas, diversidad genética, vegetación endémica en serpentinas, y contaminación. La importancia de este clúster radicó en la adaptación de plantas a ambientes específicos, influidos por la litología o el tipo de suelo, y la posible contaminación por metales pesados debido a actividades mineras o intemperización de rocas.

Clúster 2 (Verde): Condiciones Climáticas

Este clúster se centró en las condiciones climáticas de diversas regiones, incluyendo ambientes kársticos, áridos y semiáridos, disponibilidad de agua y sequías. Estas condiciones influyeron en la disponibilidad de nutrientes del suelo como fósforo, nitrógeno y carbono orgánico, cruciales para la fenología de las plantas y el desarrollo de bosques y plantas leñosas. Ejemplos de estudios incluyen De Falco *et al.* (2021) y Liu *et al.* (2021).

Clúster 3 (Azul Oscuro): Vegetación

Este grupo abarcó términos relacionados con la vegetación, como conservación, ecología, comunidades, ambiente, flora, fitocenosis, distribución vegetal, fitocenología, endemismo y clasificación. Destacó la relación entre vegetación y rocas, especialmente plantas litófitas que crecen directamente sobre la roca en ambientes montañosos con escasa acumulación de suelo, fomentando el endemismo. Ejemplos de investigaciones incluyeron a Van Der Ent, Cardace, Tibbett y Echevarria (2018) y Kulkarni *et al.* (2023).

Cuadro 7. Los cinco documentos más citados sobre la relación roca-suelo-vegetación, publicados en revistas indizadas en las bases de datos Science Citation Index Expanded y Social Sciences Citation Index (2019-2023).

Table 7. The five most cited documents on the rock-soil-vegetation relationship, published in journals indexed in the Science Citation Index Expanded and Social Sciences Citation Index databases (2019-2023).

Título	Autores	Citas	Revista
Changes in plant rhizosphere microbial communities under different vegetation restoration patterns in karst and non-karst ecosystems	Fan <i>et al.</i> (2019)	34	Scientific Reports
Rock crevices determine woody and herbaceous plant cover in the karst critical zone	Liu <i>et al.</i> (2019)	33	Science China-earth Sciences
Plant adaptability in karst regions	Liu <i>et al.</i> (2021)	30	Journal of Plant Research
High species diversity and turnover in granite inselberg floras highlight the need for a conservation strategy protecting many outcrops	Yates <i>et al.</i> (2019)	30	Ecology and Evolution
Bryophytes and the symbiotic microorganisms, the pioneers of vegetation restoration in karst rocky desertification areas in southwestern China	Cao, Xiong, Zhao, Tan y Qu (2020)	28	Applied Microbiology and Biotechnology

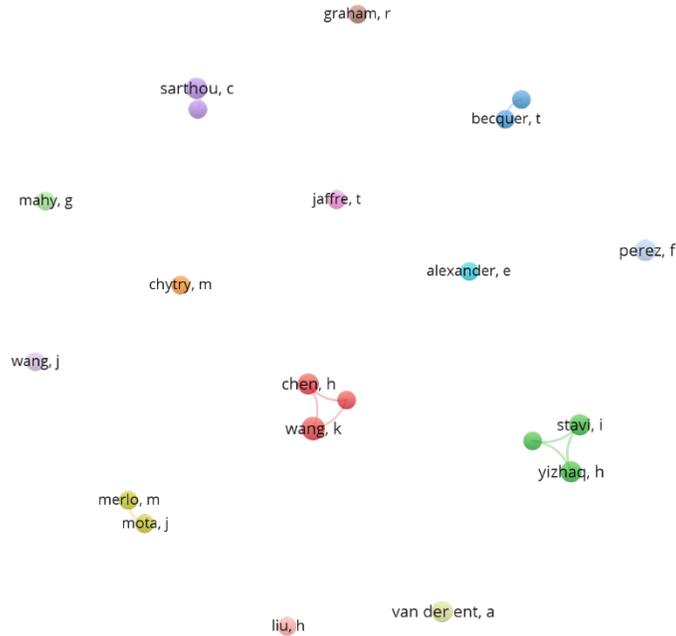


Figura 2. Red de co-autoría en los documentos publicados sobre la relación roca-suelo-vegetación, en revistas indizadas en las bases de datos Science Citation Index Expanded y Social Sciences Citation Index (1935-jun. 2023).

Figure 2. Co-authorship network in published documents on the rock-soil-vegetation relationship, in journals indexed in the Science Citation Index Expanded and Social Sciences Citation Index databases (1935-Jun. 2023)

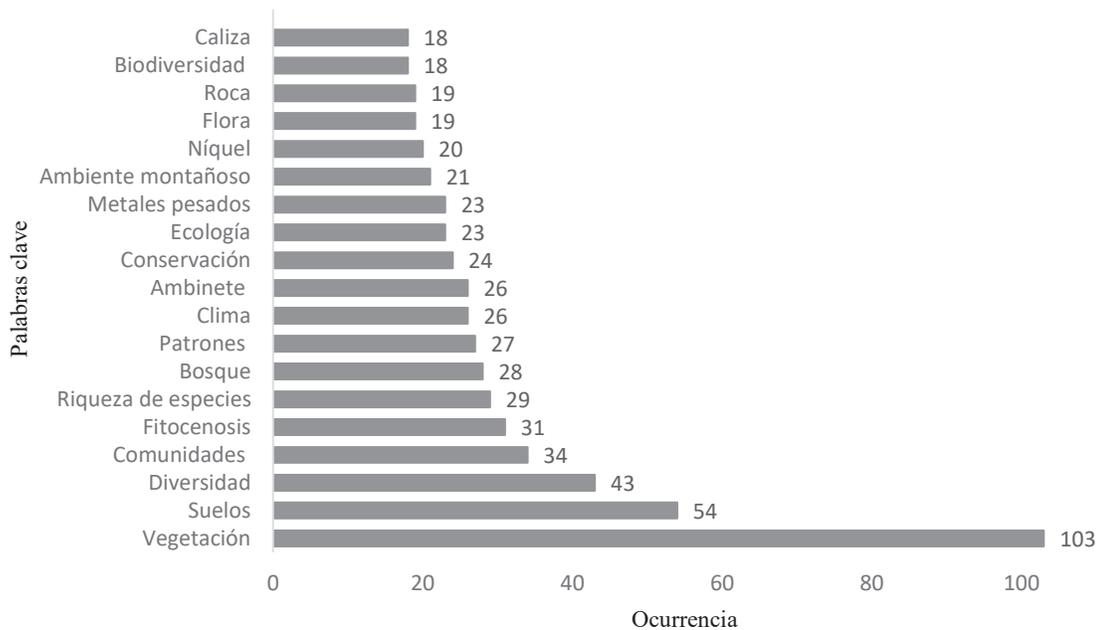


Figura 3. Listado de las 20 palabras clave con mayor ocurrencia en los documentos sobre la relación roca-suelo-vegetación, publicados en revistas indizadas en las bases de datos Science Citation Index Expanded y Social Sciences Citation Index (1935-jun. 2023).

Figure 3. List of the 20 keywords with the highest occurrence in documents on the rock-soil-vegetation relationship, published in journals indexed in the Science Citation Index Expanded and Social Sciences Citation Index databases (1935-Jun. 2023).

CONCLUSIONES

La literatura científica sobre la relación roca-suelo-vegetación ha experimentado incremento, duplicándose en la segunda mitad del tiempo analizado. lo que puede atribuirse a que con el tiempo se ha tomado mayor conciencia sobre la importancia de los ecosistemas y la necesidad de una gestión sostenible de los recursos naturales, en el contexto del cambio climático y otros desafíos ambientales globales.

Las principales líneas de investigación identificadas incluyeron la adaptación de plantas a suelos contaminados por metales pesados, la disponibilidad de nutrientes, la relación entre la vegetación y la roca, la restauración ecológica, la diversidad vegetal y el contenido de materia orgánica en el suelo. Estos temas reflejaron una amplia gama de intereses y aplicaciones prácticas, desde la mejora de la fertilidad del suelo hasta la conservación de la biodiversidad y la rehabilitación de ecosistemas degradados.

El estudio destaca la necesidad de continuar investigando la relación entre roca, suelo y vegetación, especialmente en el contexto de cambios ambientales acelerados. Áreas como la interacción entre suelos y vegetación nativa en diferentes climas y la respuesta de los ecosistemas a la contaminación y la degradación del suelo se presentan como campos prometedores para futuras investigaciones. Estas áreas no solo ofrecen oportunidades para avances científicos significativos, sino también para desarrollar prácticas de manejo sostenible, que puedan mitigar los impactos negativos sobre el ambiente.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos utilizados y analizados en este estudio, correspondientes a algunos registros bibliográficos no pueden estar disponibles al público, pero pueden ser enviados previa solicitud formal del interesado.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Los autores M.N.G.A., A.B.V. y J.F.M.M. participaron en la conceptualización; A.B.V. y M.N.G.A. participaron en la metodología; A.B.V. y M.N.G.A. en software; A.B.V., J.F.M.M., M.C.N.M. y J.P.N. en validación; M.N.G.A., A.B.V., J.F.M.M., M.C.N.M. y J.P.N. en análisis formal y en investigación; J.F.M.M. en recursos; M.N.G.A., A.B.V., J.F.M.M., M.C.N.M. y J.P.N. en escritura: preparación del borrador original; M.N.G.A., A.B.V., J.F.M.M., M.C.N.M. y J.P.N. en escritura: revisión y edición; A.B.V., J.F.M.M., M.C.N.M. y J.P.N. en visualización; J.F.M.M., M.C.N.M. y J.P.N. en administración del proyecto; J.F.M.M. en adquisición de fondos.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí por facilitar los recursos bibliográficos para llevar a cabo la realización de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Aguilera, C. M., & Martínez, E. R. (1996). *Relaciones agua, suelo, planta, atmosfera*. Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Arriaga, V., Cervantes, V., & Vargas-Mena, A. (1994). *Manual de reforestación con especies nativas*. Distrito Federal, México: Secretaría de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología y Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 968-838-297-7
- Becquer, T., Quantin, C., Sicot, M., & Boudot, J. P. (2003). Chromium availability in ultramafic soils from New Caledonia. *Science of the Total Environment*, 301(1-3), 251-261. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00298-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00298-X)
- Birekland, P. W., Shroba, R. R., Burns, S. F., Price, A. B., & Tonkin, P. J. (2003). Integrating soils and geomorphology in mountains-An example from the Front Range of Colorado. *Geomorphology*, 55(1-4), 329-344. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(03\)00148-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(03)00148-X)
- Bonilla-Segovia, J. S., Dávila-Rojas, F. A., & Villa-Quishpe, M. W. (2021). Estudio del uso de técnicas de inteligencia artificial aplicadas para análisis de suelos para el sector agrícola. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 5(1), 4-19.
- Cao, W., Xiong, Y., Zhao, D., Tan, H., & Qu, J. (2020). Bryophytes and the symbiotic microorganisms, the pioneers of vegetation restoration in karst rocky desertification areas in southwestern China. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(2), 873-891. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10235-0>
- Clark, D. (2002). Los factores edáficos y la distribución de las plantas. In *Ecología y Conservación de bosques neotropicales*. (pp. 193-221). Cartago, Costa Rica: Ediciones LUR.
- Corsini, F., Certomà, C., Dyer, M., & Frey, M. (2019). Participatory energy: Research, imaginaries and practices on people' contribute to energy systems in the smart city. *Technological Forecasting and Social Change*, 142, 322-332. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.028>
- Darwich, N. (2019). La salud de nuestros suelos. *Investigación y Desarrollo*, 25, 1-12.
- De Falco, N., Tal-Berger, R., Hjazin, A., Yizhaq, H., Stavi, I., & Rachmilevitch, S. (2021). Geodiversity impacts plant community structure in a semi-arid region. *Scientific Reports*, 11(1), 15259. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94698-0>
- De Oliveira, O. J., da Silva, F. F., Juliani, F., Barbosa, L. C. F. M., & Nunhes, T. V. (2019). Bibliometric method for mapping the state-of-the-art and identifying research gaps and trends in literature: An essential instrument to support the development of scientific projects. In *Scientometrics recent advances*. London, United Kingdom: IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85856>
- Deil, U. (2005). A review on habitats, plant traits and vegetation of ephemeral wetlands - A global perspective. *Phytocoenologia*, 35(2-3), 533-705. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2005/0035-0533>
- Espinosa-Rodríguez, L. M. (2005). Morfoedafogénesis: un concepto renovado en el estudio del paisaje. *Ciencia Ergo Sum*, 12(2), 162-166.
- Fan, Z., Lu, S., Liu, S., Guo, H., Wang, T., Zhou, J., & Peng, X. (2019). Changes in Plant Rhizosphere Microbial Communities under Different Vegetation Restoration Patterns in Karst and Non-karst Ecosystems. *Scientific Reports*, 9, 8761. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44985-8>
- Geissert, D., & Rossignol, J. (1987). *La morfología en la ordenación de los paisajes rurales. Conceptos y primeras aplicaciones en México*. Xalapa, Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos.
- Gislason, S. R., Arnorsson, S., & Armannsson, H. (1996). Chemical weathering of basalt in southwest Iceland: Effects of runoff, age of rocks and vegetative/glacial cover. *American Journal of Science*, 296(8), 837-907. <https://doi.org/10.2475/ajs.296.8.837>
- Harrison, S., Safford, H. D., Grace, J. B., Viers, J. H., & Davies, K. F. (2006). Regional and local species richness in an insular environment: Serpentine plants in California. *Ecological Monographs*, 76(1), 41-56. <https://doi.org/10.1890/05-0910>
- Jacobi, C. M., do Carmo, F. F., Vincent, R. C., & Stehmann, J. R. (2007). Plant communities on ironstone outcrops: A diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 16(7), 2185-2200. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9156-8>
- Kulkarni, A., Shigwan, B. K., Vijayan, S., Watve, A., Karthick, B., & Datar, M. N. (2023). Indian rock outcrops: Review of flowering plant diversity, adaptations, floristic composition and endemism. *Tropical Ecology*, 64(3), 408-424. <https://doi.org/10.1007/s42965-022-00283-5>
- Lison, C. A., Cross, A. T., Stevens, J. C., Valliere, J. M., Dixon, K., & Veneklaas, E. (2021). High rock content enhances plant resistance to drought in saline topsoils. *Journal of Arid Environments*, 193, 104589. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104589>
- Liu, C., Huang, Y., Wu, F., Liu, W., Ning, Y., Huang, Z., ... & Liang, Y. (2021). Plant adaptability in karst regions. *Journal of Plant Research*, 134(5), 889-906. <https://doi.org/10.1007/s10265-021-01330-3>
- Liu, H., Jiang, Z., Dai, J., Wu, X., Peng, J., Wang, H., ... & Quine, T. A. (2019). Rock crevices determine woody and herbaceous plant cover in the karst critical zone. *Science China-Earth Sciences*, 62(11), 1756-1763. <https://doi.org/10.1007/s11430-018-9328-3>
- Luo, L., Wu, Y., Li, H., Xing, D., Zhou, Y., & Xia, A. (2022). drought induced dynamic traits of soil water and inorganic carbon in different karst habitats. *Water*, 14(23), 3837. <https://doi.org/10.3390/w14233837>
- Meyer, S. E. (1986). The ecology of gypsophile endemism in the eastern Mojave Desert. *Ecology*, 67(5), 1303-1313. <https://doi.org/10.2307/1938686>
- Meyer, S. E., & García-Moya, E. (1989). Plant community patterns and soil moisture regime in gypsum grasslands of north central Mexico. *Journal of Arid Environments*, 16(2), 147-155. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)31021-8](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)31021-8)
- Meyer, S. E., García-Moya, E., & Lagunes-Espinoza, L. C. (1992). Topographic and soil surface effects on gypsophile plant community patterns in central Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 3(3), 429-438. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.1992.tb00353.x>
- Moreno, C., & Casado, E. (1997). Técnicas bibliométricas aplicadas a los estudios de usuarios. *Revista General de Información y Documentación*, 7(2), 41-68.
- Muller, C., Moore, M., & Drenovsky, R. (2015). Plant-soil relations on gypsum and non-gypsum soils of the Chihuahuan Desert. *Journal of Senior Honors Projects*, 75, 6-40.
- Muller, C. T., Moore, M. J., Feder, Z., Tiley, H., & Drenovsky, R. E. (2017). Phylogenetic patterns of foliar mineral nutrient accumulation among gypsophiles and their relatives in the Chihuahuan Desert. *American Journal of Botany*, 104(10), 1442-1450. <https://doi.org/10.3732/ajb.1700245>
- Nave, L. E., DeLyser, K., Domke, G. M., Holub, S. M., Janowiak, M. K., Keller, A. B., ... & Swanston, C. W. (2024). Land use change and forest management effects on soil carbon stocks in the Northeast U.S. *Carbon Balance and Management*, 19(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s13021-024-00251-7>
- Nie, Y., Chen, H., Wang, K., & Yang, J. (2012). Water source utilization by woody plants growing on dolomite outcrops and nearby soils during dry seasons in karst region of Southwest China. *Journal of Hydrology*, 420, 264-274. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.12.011>
- Ortiz, C. A. (2019). *Edafología*. Ciudad de México, México: Trillas. ISBN: 978-607-17-5577-5
- Porta, J., López, M., & Poch, R. (2008). *Introducción a la edafología: Uso y protección del suelo*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Pritchard, R. (1969). Statistical bibliography or bibliometrics. *Journal of Documentation*, 25(4), 348-349.

- Proctor, J. (2003). Vegetation and soil and plant chemistry on ultramafic rocks in the tropical Far East. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics*, 6(1-2), 105-124. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00045>
- Quesada, C. A., Lloyd, J., Schwarz, M., Patiño, S., Baker, T. R., Czimczik, C., ... & Paiva, R. (2010). Variations in chemical and physical properties of Amazon Forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*, 7(5), 1515-1541. <https://doi.org/10.5194/bg-7-1515-2010>
- Rengasamy, P. (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37(7), 613-620. <https://doi.org/10.1071/FP09249>
- Rossignol J. P., Geissert, D., & Campos, A. (1989). La carta morfoedafológica un ejemplo: El mapa a la escala 1:50000 de la región de Coatepec. *Terra*, 7(2), 93-99.
- Royo-Márquez, M. H., Melgoza-Castillo, A., & Quintana-Martínez, G. (2018). Especies vegetales en peligro, su distribución y estatus de conservación de los ecosistemas donde se presentan. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(22), 86-103. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i22.352>
- Clarivate (2024). Science Citation Index-Expanded. Consultada el 17 de enero, 2024, desde <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/web-of-science-core-collection/science-citation-index-expanded/>.
- Tarbutck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física* (8ª ed). Madrid, España: Pearson.
- Torres, T. F. & Rojas, M. A. (2018). Suelo agrícola en México: Retrospección y prospectiva para la seguridad alimentaria. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 9(3), 137-155.
- Valdés-Iglesias, M. A., Barrero-Medel, H., & Rivera-Calvo, C. (2021). Efecto de variables edáficas y microclimáticas en el bosque semideciduo sobre arenas de la Llanura Sur occidental de Pinar del Río, Cuba. *Quebracho (Santiago del Estero)*, 29(1), 59-70.
- Van Der Ent, A., Cardace, D., Tibbett, M., & Echevarria, G. (2018). Ecological implications of pedogenesis and geochemistry of ultramafic soils in Kinabalu Park (Malaysia). *Catena*, 160, 154-169. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.08.015>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2007). VOS: A new method for visualizing similarities between objects. In R. Decker, & H. J. Lenz (Eds.). *Advances in data analysis* (pp. 299-306). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-70981-7_34
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Van Raan, A. F. J. (1993). Advanced bibliometric methods to assess research performance and scientific development: Basic principles and recent practical applications. *Research Evaluation*, 3(3), 151-166. <https://doi.org/10.1093/rev/3.3.151>
- Vite C. H., Carvajal R. H., & Barreuzeta U. S. (2020). Aplicación de algoritmos de aprendizaje automático para clasificar la fertilidad de un suelo bananero. *Revista Conrado*, 16(72), 15-19.
- Wagai, R., Kitayama, K., Satomura, T., Fujinuma, R., & Balsler, T. (2011). Interactive influences of climate and parent material on soil microbial community structure in Bornean tropical forest ecosystems. *Ecological Research*, 26(3), 627-636. <https://doi.org/10.1007/s11284-011-0822-7>
- Xue, L., Ren, H., Li, S., Leng, X., & Yao, X. (2017). Soil bacterial community structure and co-occurrence pattern during vegetation restoration in karst rocky desertification area. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2377. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02377>
- Yates, C. J., Robinson, T., Wardell-Johnson, G. W., Keppel, G., Hopper, S. D., Schut, A. G. T., & Byrne, M. (2019). High species diversity and turnover in granite inselberg floras highlight the need for a conservation strategy protecting many outcrops. *Ecology and Evolution*, 9(13), 7660-7675. <https://doi.org/10.1002/ece3.5318>