



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE
CARRERA DE BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS**

TEMA:

**INDICADORES BIOLÓGICOS PARA CUANTIFICAR LA RESILIENCIA
DE LOS SUELOS PERIURBANOS EN CIUDADES ANDINAS.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en
Biodiversidad y Recursos Genéticos.

Autor

Kevin Alexander Valencia Escobar

Tutor

PhD. Santiago Patricio Bonilla Bedoya

QUITO – ECUADOR

2021

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

Yo, Kevin Alexander Valencia Escobar, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “INDICADORES BIOLÓGICOS PARA CUANTIFICAR LA RESILIENCIA DE LOS SUELOS PERIURBANOS EN CIUDADES ANDINAS.”, como requisito para optar al grado de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los cuatro días del mes de febrero de 2021, firmo conforme:

Autor: Kevin Alexander Valencia Escobar

Firma:

Número de Cédula: 1751523570

Dirección: Pichincha, Quito, Chimbacalle, Chaguarquingo.

Correo Electrónico: valenciak450@gmail.com

Teléfono: 0969037998

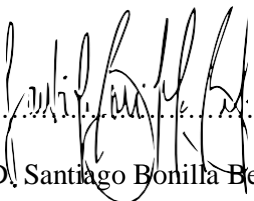
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “INDICADORES BIOLÓGICOS PARA CUANTIFICAR LA RESILIENCIA DE LOS SUELOS PERIURBANOS EN CIUDADES ANDINAS.”, presentado por Kevin Alexander Valencia Escobar, para optar por el Título de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 4 de febrero de 2021


.....
PhD. Santiago Bonilla Bedoya
C.C.:1714191945

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 4 de febrero de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alex!y', is written over a horizontal dotted line.

Kevin Alexander Valencia Escobar
C.C.:1751523570

APROBACIÓN LECTORES

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: INDICADORES BIOLÓGICOS PARA CUANTIFICAR LA RESILIENCIA DE LOS SUELOS PERIURBANOS EN CIUDADES ANDINAS, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 4 de febrero de 2021



PhD. Laura Inés Salazar Cotugno

Lector 1



PhD. Nora Helena Oleas Gallo

Lector 2

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a:

Mis padres, cuyo sacrificio, confianza y apoyo, me han permitido avanzar por el camino de la vida y sobreponerme a las distintas adversidades que se han presentado a lo largo de esta maravillosa experiencia.

Todas las personas que de una u otra manera, me han acompañado y contribuido en mi formación académica y humana.

Los innumerables sueños y posibilidades que se abren y se cierran con cada decisión y camino que decidimos tomar.

La vida.

AGRADECIMIENTO

Porque la gratitud en silencio no sirve, me gustaría agradecer a:

Los distintos docentes de la Universidad Tecnológica Indoamérica, por sus enseñanzas,
correcciones y cordialidad durante el transcurso de la carrera.

Mis compañeros de Ingeniería, por las distintas experiencias compartidas durante estos
años.

Mi maestro y amigo el Dr. Santiago Bonilla, por guiarme durante el desarrollo de mi
tesis.

La vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
AUTORIZACIÓN PARA EL REPOSITORIO DIGITAL.....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN LECTORES.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT	xv

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN	16
1.1. OBJETIVOS	22
1.1.1. Objetivo general.....	22
1.1.2. Objetivos específicos.....	22

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA.....	23
2.1. Obtención de metadatos	23
2.2. Análisis de metadatos.....	24
2.2.1. Generación de tablas y gráficas	24
2.2.2. Análisis bibliométricos.....	25
2.3. Análisis factorial de correspondencia	25
2.4. Generación de redes bibliométricas	26
2.5. Cálculo del índice global.....	28

2.5.1. Análisis de las palabras clave del autor.....	29
2.5.2. Análisis de las palabras clave plus.....	33
2.5.3. Cálculo del índice global.....	37

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS PRELIMINARES	37
4. DISCUSIÓN.....	65
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
6. LITERATURA CITADA.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información global de los metadatos obtenidos de Scopus.	38
Tabla 2. Documentos más citados.	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Búsqueda en la plataforma Scopus.	24
Figura 2. Parámetros establecidos para el análisis factorial de correspondencia. .	26
Figura 3. Parámetros establecidos para la creación de la red de coocurrencia, unidad de análisis y método de conteo.....	27
Figura 4. Parámetros establecidos para la creación de la red de coocurrencia, número mínimo de ocurrencias de la palabra clave.....	27
Figura 5. Parámetros establecidos para la creación de la red de coocurrencia, exclusión de términos. Las palabras que se desmarcan no se agregan a la red.....	28
Figura 6. Análisis de frecuencia de las palabras clave seleccionadas por el autor.	29
Figura 7. Análisis de frecuencia de las palabras clave plus.	29
Figura 8. Palabras clave proporcionadas por el autor. Selección de las palabras con cinco o más ocurrencias.....	30
Figura 9. Palabras clave proporcionadas por el autor. Exclusión de las palabras que no hacen referencia directa a los bioindicadores.....	31
Figura 10. Palabras clave proporcionadas por el autor. Suma de ocurrencias de las palabras análogas.....	32
Figura 11. Palabras clave proporcionadas por el autor. Traducción de las palabras discriminadas mediante la aplicación de los distintos filtros establecidos.	33
Figura 12. Palabras clave plus. Selección de las palabras con veinte o más ocurrencias.....	34
Figura 13. Palabras clave plus. Exclusión de las palabras que no hacen referencia directa a los bioindicadores.	35
Figura 14. Palabras clave plus. Suma de ocurrencias de las palabras análogas.	36
Figura 15. Palabras clave plus. Traducción de las palabras discriminadas mediante la aplicación de los distintos filtros establecidos.	37

Figura 16. Producción científica anual de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	39
Figura 17. Países con mayor producción científica de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	40
Figura 18. Mapa coroplético de los países con mayor producción científica de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	41
Figura 19. Países más citados en los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo, según el número total de citas.	42
Figura 20. Países más citados en los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo, según el promedio de citación por año.	43
Figura 21. País del autor correspondiente en los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	43
Figura 22. Fuentes más relevantes de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	44
Figura 23. Autores más relevantes de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	45
Figura 24. Afiliaciones más relevantes en torno a la producción de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	46
Figura 25. Documentos más citados relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	46
Figura 26. Análisis factorial de correspondencia de las palabras clave plus de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	51
Figura 27. Red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	53
Figura 28. Visualización de sobreposición de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	55

Figura 29. Visualización de densidad (por ítems), de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	56
Figura 30. Visualización de densidad (por clústeres), de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	57
Figura 31. Visualización del clúster número uno (rojo, 66 ítems), de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	58
Figura 32. Visualización del clúster dos (verde, 51 ítems), de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	59
Figura 33. Visualización del clúster tres (azul, 43 ítems), de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	60
Figura 34. Visualización del clúster cuatro (amarillo, 28 ítems), de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	61
Figura 35. Bioindicadores más utilizados identificados mediante las palabras clave proporcionadas por los autores de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	62
Figura 36. Bioindicadores más utilizados identificados mediante las palabras plus de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.	63
Figura 37. Bioindicadores más utilizados identificados mediante la aplicación del índice global (PAC+PCP).	64

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE
CARRERA DE BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS

TEMA: “INDICADORES BIOLÓGICOS PARA CUANTIFICAR LA RESILIENCIA DE LOS SUELOS PERIURBANOS EN CIUDADES ANDINAS.”


AUTOR: Kevin Alexander Valencia Escobar

TUTOR: PhD. Santiago Patricio Bonilla Bedoya

RESUMEN EJECUTIVO

Los bioindicadores son organismos o respuestas biológicas que, debido a su alta sensibilidad a las perturbaciones, nos permiten inferir la calidad del medioambiente. En esta propuesta, empleando el paquete de R Bibliometrix y el software VOSviewer, se realizó una revisión bibliográfica sistemática basada en un enfoque bibliométrico y en la generación de redes de coocurrencia. La aproximación aquí presentada, nos permitió analizar el estado de la producción científica relacionada a los bioindicadores de la calidad del suelo. El estado actual de la investigación relacionada a esta temática, muestra que pese a haberse desarrollado relativamente temprano en comparación con los indicadores y parámetros químicos y físicos; la producción relacionada a la identificación, implementación y consideración de los indicadores biológicos, ha ganado popularidad en las últimas décadas, y se encuentra principalmente desarrollada por países como: Estados Unidos, Brasil, China, Francia e Italia. Asimismo, nuestra propuesta nos permitió identificar y delimitar una lista de treinta bioindicadores entre los que destacan: las bacterias, la biodiversidad, la biomasa, la actividad enzimática, las lombrices, los nematodos, la actividad microbiana, los hongos, entre otros.; los cuales pueden ser utilizados como punto de referencia, para la creación de diversos índices de monitoreo y evaluación, adaptados a las diferentes condiciones y características que presenta el recurso suelo en las diferentes localidades.

DESCRIPTORES: Bibliometría, bioindicadores, calidad del suelo, revisión bibliográfica.


PhD. Santiago Bonilla Bedoya
C.C.:1714191945

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE
CARRERA DE BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS

THEME: "BIOLOGICAL INDICATORS TO QUANTIFY THE RESILIENCE OF PERI-URBAN SOILS IN ANDEAN CITIES."

AUTHOR: Kevin Alexander Valencia Escobar

TUTOR: PhD. Santiago Patricio Bonilla Bedoya

ABSTRACT

Bioindicators are organisms or biological responses that, due to their high sensitivity to perturbations, allow us to infer the environment's quality. In this proposal, using the R package Bibliometrix and the VOSviewer software, a systematic literature review based on a bibliometric approach and the generation of co-occurrence networks was carried out. The approach presented here allowed us to analyze the state of scientific production related to soil quality bioindicators. The current state of research related to this topic shows that despite having developed relatively early compared to chemical and physical indicators and parameters; the production related to the identification, implementation, and consideration of biological indicators has gained popularity in recent decades and is mainly developed by countries such as the United States, Brazil, China, France, and Italy. Likewise, our proposal allowed us to identify and delimit a list of thirty bioindicators, among which the following stand out: bacteria, biodiversity, biomass, enzymatic activity, earthworms, nematodes, microbial activity, fungi, among others; which can be used as a reference point for the creation of various monitoring and evaluation indexes, adapted to the different conditions and characteristics of the soil resource in different localities.

KEYWORDS: bioindicators, bibliometrics, literature review, soil quality.



Checked by

Lcda. Estefanía Quezada T MSc

English Language Teacher

Friday, February 19th 2021

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es considerado como la capa superficial de la corteza terrestre que posee una mezcla organizada de materia orgánica y mineral. Asimismo, el suelo es el resultado y responde a la acción de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en o cerca de la superficie planetaria. El suelo es la zona de enraizamiento de las plantas terrestres y el medio de filtración que influye en la calidad y cantidad de las aguas terrestres. Igualmente, el suelo sustenta comunidades casi inexploradas de microorganismos que descomponen la materia orgánica y recirculan muchos de los elementos químicos de la biosfera (Baskin, 2006; Karimi et al., 2018; Van, 2017).

El suelo, al ser un ecosistema abierto y dinámico con entradas y salidas de materia y energía, ha estado relacionado directa e indirectamente con el ser humano a lo largo de su historia (Karimi et al., 2018; Minami, 2009). Estas relaciones han moldeado e influenciado varios aspectos de la cultura de las distintas sociedades que han existido hasta la actualidad (Bipin et al., 2019). Quizá una de las relaciones más notables que se ha originado entre la humanidad y el suelo, es la que se relaciona con la producción de alimentos.

Desde los inicios de la agricultura, la actividad humana alteraría la cobertura vegetal y las propiedades del suelo (Pennock et al., 2015). Sin embargo, hasta hace aproximadamente mil años, tanto las tierras de cultivo como los pastizales ocupaban menos del 1-2 % del área terrestre libre de hielo del mundo. No obstante, para el año 2000, tanto las tierras de cultivo como los pastizales, incrementaron su superficie al 15 % y 34 % respectivamente (Klein, 2011).

Lo anterior toma relevancia cuando consideramos que según la Evaluación Global de la Degradación del Suelo (GLASOD, por sus siglas en inglés), las principales razones de la erosión del suelo y la degradación química del suelo son la mala gestión agrícola, el pastoreo excesivo, la deforestación, la sobreexplotación y en

menor medida espacial los procesos de expansión urbana (Hooke, 2012; Klein, 2011; Oldeman et al., 1991).

En un sentido general, la degradación del suelo podría describirse como el deterioro de la calidad del suelo, o en otras palabras: la pérdida parcial o total de una o más funciones del suelo (Ritsema et al., 2005). Esta degradación ocurre de manera natural como consecuencia de diversos factores ambientales, entre los cuales, tanto la acción del agua como del viento desempeñan un papel protagónico. No obstante, como mencionamos previamente, son las causas antrópicas las que mayores efectos negativos provocan (Cueto et al., 2009).

Se estima que los seres humanos han modificado directamente ~70 millones de km², o > 50 % de la superficie terrestre libre de hielo de la Tierra. A pesar de que el aumento de la infraestructura urbana es un factor importante en la modificación y degradación del suelo, esta representa un porcentaje reducido del total de la superficie alterada del planeta (~7 %). Siendo la producción de alimentos el principal factor responsable por la modificación y degradación del suelo (Foley et al., 2005; Hooke, 2012).

Se considera que se han degradado cerca de 2 mil millones de hectáreas de recursos del suelo en el mundo, es decir, aproximadamente el 22 % del total de tierras de cultivo, pastos y bosques. Asimismo, se estima que el 52 % de la tierra destinada para fines agrícolas en todo el mundo, está moderada o severamente degradada, y ~9 597 millones de km², un área que duplica el tamaño de China, está seriamente degradada (Bai et al., 2008; Jie et al., 2002).

Es preciso señalar que la expansión de la superficie mundial de tierras agrícolas, es un fenómeno que está sucediendo principalmente en los países en desarrollo. Esto considerando que durante las décadas de 1980 y 1990, fue en los países en desarrollo donde se produjo un aumento en el total de las tierras agrícolas, estimándose un aumento de más de 629 millones de hectáreas. Esto en oposición a

la disminución de 335 millones de hectáreas, observada en los países desarrollados (Alexandratos, 1999; Gibbs et al., 2010).

No obstante, si consideramos los suelos en su conjunto, es incuestionable que el ser humano, a través de las diversas prácticas de manejo y gestión territorial, ha ejercido una gran influencia en la modificación de las características y propiedades de varios de los suelos presentes alrededor del planeta (Cueto et al., 2009). Sin embargo, durante las recientes décadas, esto ha sido evidente sobre todo en los trópicos, en donde se encuentra la mayor proporción de bosque (~45 %) (Dion, 2010; FAO, 2020).

Se estima que en las décadas de 1980-1990, las regiones tropicales sufrieron un incremento neto de más de 100 millones de hectáreas de superficie agrícola, más del 55 % de esta nueva tierra agrícola provino de bosques intactos (Gibbs et al., 2010). Asimismo, entre 1990-2010 el ritmo de pérdida de bosques tropicales fue de 8 millones de hectáreas por año (Achard et al., 2014). En la actualidad, se considera a la agricultura como el principal impulsador de la conversión de bosques en los trópicos, debido a que se le atribuye más del 80 % de la deforestación (Austin et al., 2017; Hosonuma et al., 2012; Lambin et al., 2003).

Debido a que los suelos tropicales se caracterizan por presentar: altas tasas de meteorización, con períodos de duración prolongados; pH ácidos; disponibilidad limitada de P; concentraciones elevadas de óxidos de Fe y Al, y una baja concentración y retención de cationes intercambiables (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+). Los suelos tropicales, debido a su naturaleza y al entorno en donde se han desarrollado, poseen menor resiliencia a las alteraciones ocasionadas por el cambio en el uso del suelo. Motivo por el cual, en general, estos suelos son uno de los más proclives a la degradación (Dion, 2010; Igwe, 2011; Maranguit et al., 2017; Pennock et al., 2015).

Asimismo, dentro de los suelos tropicales, se encuentran los suelos que corresponden a los Andes tropicales. Los Andes tropicales son un territorio vasto

y diverso que se extiende de norte a sur desde el oeste de Venezuela hasta el norte de Chile y Argentina, junto a la costa del Pacífico de América del Sur (Yarzabal et al., 2017). Los Andes tropicales son de particular interés debido a que presentan distintas peculiaridades como: gran biodiversidad, alto nivel de endemismo y una larga tradición agrícola que se remonta hasta ~9 000 años (Dillehay et al., 2007; Fonte et al., 2012; Larson et al., 2014).

Los Andes tropicales en relación al componente suelo, están principalmente representados por los Andisoles, aunque los Histosoles, Leptosoles y Regosoles también están presentes (Buytaert et al., 2011; Yarzábal et al., 2017). En general, los suelos de los Andes tropicales presentan una buena fertilidad física debido a que poseen: elevada capacidad de retención hídrica, alto contenido de materia orgánica, buena conductividad hidráulica y baja densidad aparente (Roa y Brown, 2016).

Sin embargo, también presentan serias limitaciones en su capacidad para fijar iones de fosfato, así como un bajo pH y un alto contenido de aluminio (Fonte et al., 2012; Poulénard et al., 2001). Además, se debe tener en cuenta la influencia indirecta de que por cada 1 000 m de aumento de altitud se produce una caída adiabática de temperatura de 6 °C. Este descenso en la temperatura afecta en gran medida la tasa de la mayoría de los procesos químicos y biológicos en el suelo y, por lo tanto, influye en la tasa de meteorización y descomposición de la materia orgánica, así como en la disponibilidad de C, N y P (Dion, 2010; Tan y Wang, 2016; Yang et al., 2016).

Los Andes tropicales, al igual que otras regiones del planeta, se ven aquejados por distintas problemáticas entre las que podemos resaltar: la creciente presión sobre los recursos naturales, ocasionada por el crecimiento poblacional de la región (considérese que tan solo en la actualidad en esta región habitan ~70 millones de personas) (Cohen, 2004; Yarzábal et al., 2017); las altas tasas de deforestación y degradación que posee esta región (se estima que tan solo en el período de 2005-2010 se perdieron ~6 418 000 hectáreas de bosque) (Garavito et al., 2012), y el

pronosticado aumento de la temperatura que sufrirá el planeta y las distintas inferencias acerca de las consecuencias particulares que provocará esto en las regiones andinas (cambio en la cobertura de nubes, movimiento geográfico altitudinal de especies, cambio en el patrón de las precipitaciones, entre otros.). Evidencias ante las cuales, podemos afirmar que la investigación, gestión y conservación de estos ecosistemas serán factores decisivos en el destino de esta ecorregión (Anderson et al., 2011; IPCC, 2007; O'Neill et al., 2017; Vuille et al., 2003).

Como hemos visto, dada la magnitud e influencia que han alcanzado las actividades de los seres humanos a partir de los últimos siglos, se estima que la humanidad en su conjunto debe considerarse como una fuerza de cambio global. Por lo cual, se ha sugerido que deberíamos distinguir el período de esta influencia como una época geológica separada, el “Antropoceno” (Crutzen, 2002; Lewis y Maslin, 2015; Steffen et al., 2007).

Sin embargo, en la medida en que nuestras actividades han ido deteriorando los suelos del planeta a lo largo de las últimas décadas, simultáneamente, nuestro entendimiento del mismo ha ido progresando, abarcando e integrando diferentes disciplinas y enfoques (Hallett et al., 2013; Hartemink, 2016). En la actualidad, se utilizan distintos parámetros para definir, abordar y estudiar el suelo. No obstante, cuando nos limitamos al análisis y determinación del estado y la calidad del mismo, frecuentemente abordaremos el tema basándonos principalmente en indicadores físicos, químicos y biológicos (Bouma, 2002; Fazekašová, 2012).

Sin embargo, la multitud de procesos físicos, químicos, bioquímicos y microbiológicos que tienen lugar en el suelo, así como la elevada diversidad natural que manifiesta este componente; el cual a su vez se caracteriza por presentar una alta heterogeneidad espacial y temporal, ha ocasionado que tanto el uso, como la aplicación de los indicadores de calidad, sean considerados como una tarea compleja (Fazekašová, 2012; Vargas, 2010).

A esto se le debe añadir que los indicadores por sí mismos deben cumplir con ciertas características como: ser simples y fáciles de medir; ser interdisciplinarios; ser limitados en número y manejables por diferentes tipos de usuarios; incluir la variación temporal, y ser bastante sensibles a los cambios ambientales y la gestión del suelo (Cantú et al., 2007; Martínez et al., 2010; Wilson, 2017).

En la actualidad, existen distintas técnicas, criterios e indicadores para determinar la calidad y estado de los suelos. Los mismos surgen a raíz de la creciente degradación del suelo y el aumento en los estudios acerca de la calidad, composición y funcionamiento del mismo. Los criterios e indicadores que más desarrollados se encuentran, son aquellos cuyo fundamento se basa en el análisis de los componentes y propiedades físicas y químicas del suelo. Lo anterior se justifica debido al temprano desarrollo que tuvieron dichas ciencias en este campo (Fazekašová, 2012; García, 2012).

No obstante, son los indicadores biológicos, aquellos que debido a su alta sensibilidad a las perturbaciones, pueden describir la calidad del suelo en un contexto más amplio (Vargas, 2010). Por esta razón, a pesar de haberse desarrollado más recientemente, han ganado notoriedad e importancia al momento de establecer criterios y diagnósticos con relación al estado y la calidad de los suelos (Bhowmik et al., 2016; Martínez et al., 2010).

Los indicadores biológicos pueden ser definidos de varias formas, sin embargo, nosotros destacamos las siguientes:

“Un organismo, o parte de un organismo, o una comunidad de organismos, utilizados para obtener información sobre la calidad del medio ambiente” (Garbisu et al., 2007).

“Especies, grupos de especies o comunidades biológicas cuya presencia, abundancia y condiciones biológicas, en ecosistemas reales o mediante el uso de pruebas de toxicidad de laboratorio, nos permiten realizar inferencias sobre la calidad del medio ambiente” (Sily et al., 2014).

“Un organismo o respuesta biológica que revela la presencia de los contaminantes por la aparición de síntomas típicos o respuestas mensurables. Estos organismos (o comunidades de organismos) entregan información sobre alteraciones en el medio ambiente o la cantidad de contaminantes ambientales al cambiar de una de las siguientes formas: fisiológica, química o conductual” (Mothersill y Seymour, 2016).

Uno de los ámbitos en dónde los indicadores biológicos han adquirido relevancia en las últimas décadas, es en el análisis e investigación de la resiliencia del suelo. La resiliencia del suelo, entendida como la capacidad de un suelo para recuperar su integridad funcional y estructural después de una perturbación (Seybold et al., 1999), es una propiedad de los suelos de gran interés para los involucrados en la gestión, aprovechamiento y conservación del recurso suelo (Molina et al., 2012).

El objetivo de esta propuesta es, a través de la realización de diferentes análisis bibliométricos basados en una revisión bibliográfica sistemática de la plataforma Scopus, identificar los indicadores biológicos que mayoritariamente son utilizados por la comunidad científica en la actualidad. Asimismo, los resultados obtenidos en este estudio servirán para, priorizar y proponer aquellos indicadores biológicos que pueden ser potencialmente implementados en futuros estudios relacionados con el análisis y el diagnóstico de la calidad y resiliencia de los suelos. Esto último enfocado y direccionado principalmente hacia los suelos periurbanos en las ciudades andinas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

- Identificar los indicadores biológicos más utilizados para evaluar la calidad del suelo.

1.1.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis bibliométrico de la literatura relacionada a los indicadores biológicos de la calidad del suelo.

- Analizar y priorizar los indicadores biológicos más utilizados para evaluar la calidad del suelo.
- Proponer indicadores biológicos prioritarios para evaluar la resiliencia de los suelos periurbanos en ciudades andinas.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

Para realizar los diferentes análisis bibliométricos e identificar, analizar y priorizar los indicadores biológicos más utilizados para evaluar la calidad del suelo, se realizaron los siguientes procedimientos: 1. Obtención de metadatos, 2. Análisis de metadatos, 3. Análisis factorial de correspondencia, 4. Redes de ocurrencias, 5. Cálculo del índice global.

2.1. Obtención de metadatos

Para realizar los diferentes análisis bibliométricos e identificar los indicadores biológicos más utilizados para evaluar la calidad del suelo, se obtuvieron los metadatos necesarios de la base de datos bibliográficos [Scopus](#); plataforma a la cual se accedió a través de la cuenta de acceso proporcionada por la Universidad Tecnológica Indoamérica.

La búsqueda se la llevó a cabo entre el 10-20 de diciembre de 2020 y se realizó empleando los términos: “*Soil quality bioindicators*”. Adicionalmente, se configuraron los siguientes parámetros: 1. Búsqueda en el título, resumen y palabras clave de los documentos; 2. Rango de fecha: todos los años hasta el presente, e inclusión de artículos añadidos en los últimos siete días, y 3. Tipo de documento: todos (Figura 1).

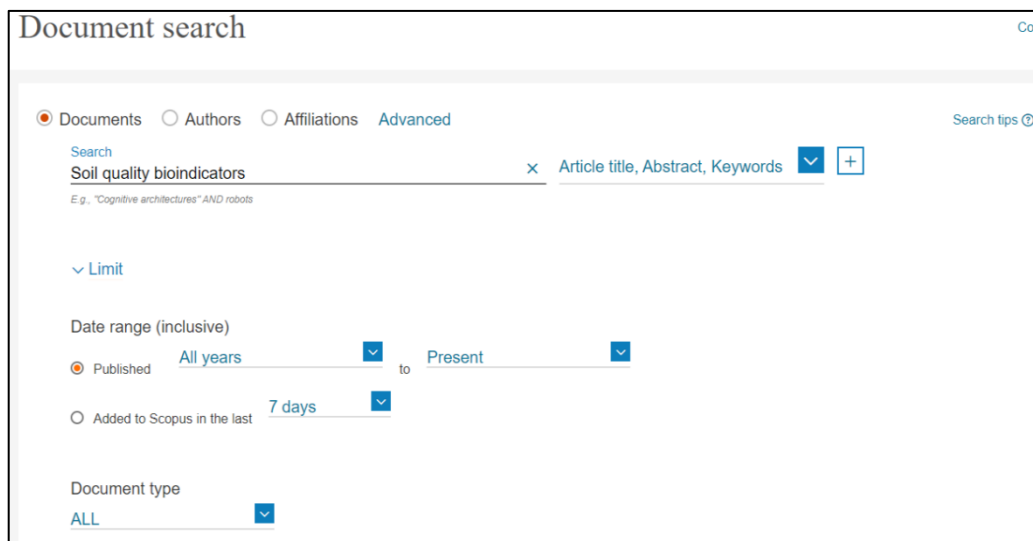


Figura 1. Búsqueda en la plataforma Scopus.

Debido a que la cantidad observada de resultados globales fue reducida (754), no se aplicaron, y por lo tanto no se delimitaron, otros filtros de búsqueda importantes como: el tipo de revista (acceso abierto o privado), el lenguaje, y la etapa de la publicación (artículo en prensa o final). Finalmente, los metadatos se descargaron en formato [RIS](#) y [BibTeX](#) (mediante los hipervínculos, el lector puede descargar los datos que se emplearon para realizar el presente trabajo).

2.2. Análisis de metadatos

Para realizar los diferentes análisis bibliométricos se empleó el software VOSviewer versión 1.6.16 (Ding y Yang, 2020; Perianes et al., 2016; Van Eck y Waltman, 2010), el paquete de R bibliometrix versión 3.0.3 y la aplicación Biblioshiny (interfaz web para bibliometrix) (Aria y Cuccurullo, 2017; Esfahani et al., 2019; Hernandez et al., 2020).

2.2.1. Generación de tablas y figuras

Las diferentes tablas y figuras presentadas en el documento fueron realizadas empleando el paquete bibliometrix y la aplicación Biblioshiny. Sin embargo, no se presentaron directamente las tablas y gráficos realizados en estas plataformas, debido a que en su mayoría, era factible realizar una versión en español de la

mayoría de ellos. Por consiguiente, para la generación de la versión traducida de estos gráficos, se utilizó el programa de hojas de cálculo Microsoft Excel (en la nota o descripción de las tablas y figuras, se señala en cuáles de ellas se realizó alguna modificación extra a los metadatos: omisión de palabras, suma de ocurrencias de las palabras repetidas, traducción de palabras, entre otros.).

2.2.2. Análisis bibliométricos

Empleando el paquete bibliometrix y la aplicación Biblioshiny, se realizaron los siguientes análisis bibliométricos: producción científica anual, países con mayor producción científica, países más citados (número total de citas), países más citados (promedio de citación por año), país del autor correspondiente, fuentes más relevantes, autores más relevantes, afiliaciones más relevantes, documentos más citados.

2.3. Análisis factorial de correspondencia

Para identificar los bioindicadores más utilizados por la comunidad científica, en primer lugar, se realizó un análisis factorial de correspondencia empleando el paquete bibliometrix y la aplicación Biblioshiny. El análisis se configuró para realizarse en base a las palabras clave plus (PCP). Las palabras clave plus, son palabras generadas por un algoritmo informático automático y se establecen en base a las palabras o frases que aparecen con frecuencia en los títulos de las referencias de un artículo y no necesariamente en el título del artículo o como palabras clave de autor (PCA) (Zhanget al., 2016). Adicionalmente, se estableció el número de términos a representar en cien y el número de clústeres para su agrupación en cinco (Figura 2).

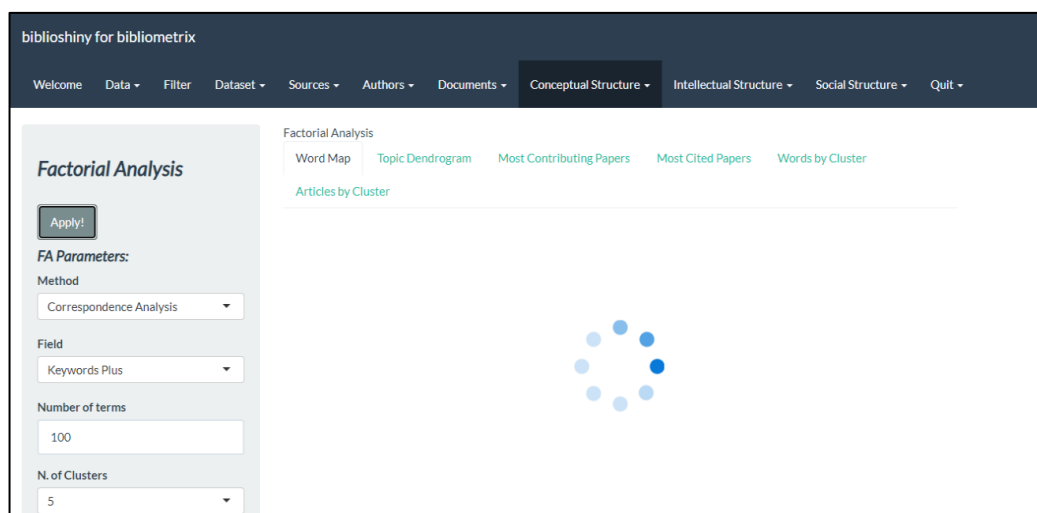


Figura 2. Parámetros establecidos para el análisis factorial de correspondencia.

2.4. Generación de redes bibliométricas

Para la generación de las redes bibliométricas, se utilizó el software VOSviewer. La red presentada se creó en base a un análisis de coocurrencia, en el cual se eligió como unidad de análisis a las palabras claves (el programa no diferencia entre palabras clave plus y palabras clave generadas por el autor). El método de conteo se configuró en completo (*full counting*), no se empleó ningún archivo de *thesaurus* (eliminación de palabras repetidas), y se estableció el diez como número mínimo de ocurrencias de la palabra clave. (Figuras 3 y 4).

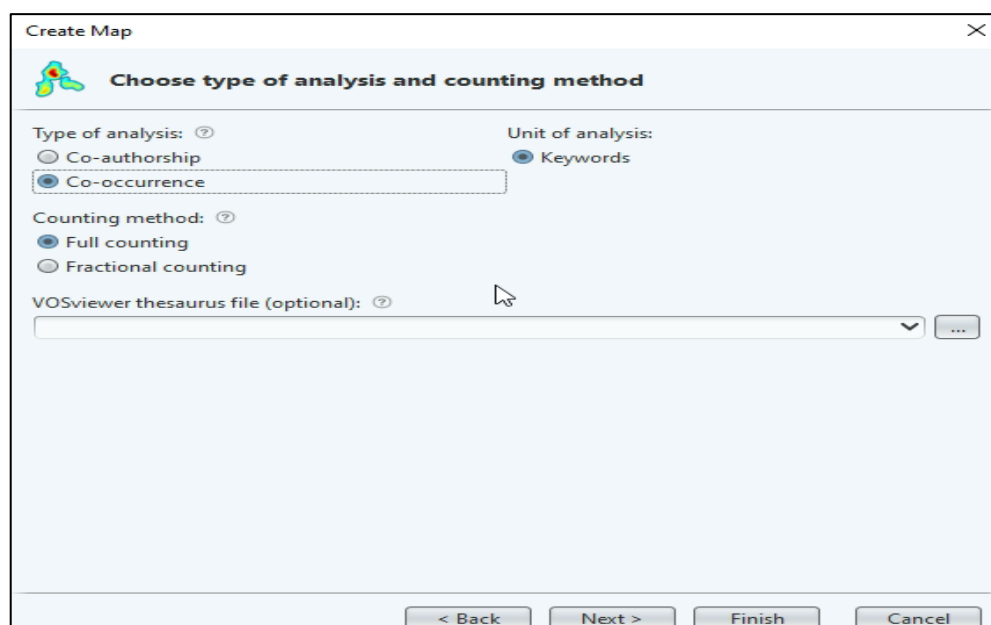


Figura 3. Parámetros establecidos para la creación de la red de coocurrencia, unidad de análisis y método de conteo.

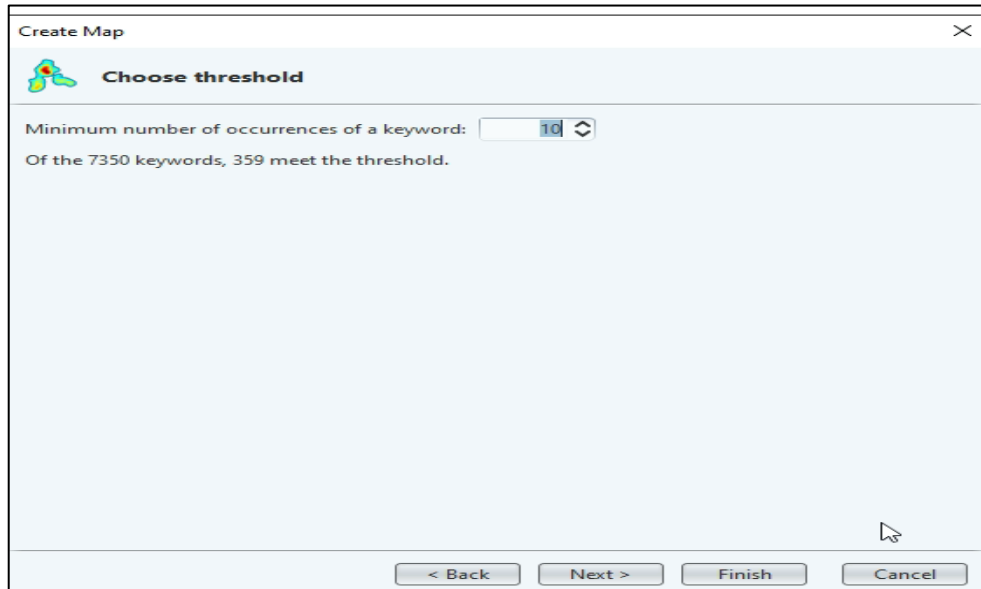


Figura 4. Parámetros establecidos para la creación de la red de coocurrencia, número mínimo de ocurrencias de la palabra clave.

La red que se obtuvo contiene 359 palabras, que fueron las que cumplieron los requisitos del filtro, de un total de 7350 palabras claves disponibles. No obstante, previo a la generación de la red, se solicitó al programa que no se represente ciertos términos que no tienen relación con la calidad del suelo como: *paper*, *sampling*, *countries*, entre otros. (Figura 5). Por esta razón, la red presentada en los resultados ilustra 188 palabras agrupadas en cuatro clústeres).

Create Map

Verify selected keywords

Selected	Keyword	Occurrences	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	bioindicator	560	7762
<input checked="" type="checkbox"/>	soil quality	289	4165
<input type="checkbox"/>	article	168	3904
<input type="checkbox"/>	nonhuman	126	3049
<input checked="" type="checkbox"/>	soil	142	2886
<input type="checkbox"/>	soils	165	2878
<input type="checkbox"/>	environmental monitoring	132	2824
<input checked="" type="checkbox"/>	soil pollution	132	2515
<input type="checkbox"/>	water quality	122	2080
<input type="checkbox"/>	controlled study	78	1972
<input type="checkbox"/>	animals	75	1545
<input type="checkbox"/>	chemistry	57	1485
<input type="checkbox"/>	soil pollutants	54	1393
<input checked="" type="checkbox"/>	biomass	88	1360
<input checked="" type="checkbox"/>	lead	56	1354
<input type="checkbox"/>	soil analysis	53	1330
<input checked="" type="checkbox"/>	heavy metal	64	1321
<input checked="" type="checkbox"/>	soil microorganism	87	1315
<input checked="" type="checkbox"/>	zinc	56	1276
<input type="checkbox"/>	microbiology	55	1268

< Back Next > Finish Cancel

Figura 5. Parámetros establecidos para la creación de la red de coocurrencia, exclusión de términos. Las palabras que se desmarcan no se agregan a la red.

2.5. Cálculo del índice global

En esta propuesta, nosotros realizamos un cálculo del índice global, el cuál definimos como: la suma entre las ocurrencias de las palabras clave proporcionadas por el autor y las palabras clave plus (palabras clave generadas por la base de datos).

La expresión matemática es la siguiente:

$$IG = (PCA + PCP)$$

Dónde:

IG = Índice global

PCA = Palabras clave proporcionadas por el autor

PCP = Palabras clave plus

Para obtener las frecuencias de ocurrencia, tanto de las palabras clave plus, como las otorgadas por el autor, se realizó un análisis de frecuencia empleando el paquete bibliometrix y la aplicación Biblioshiny (Figura 6 y 7).

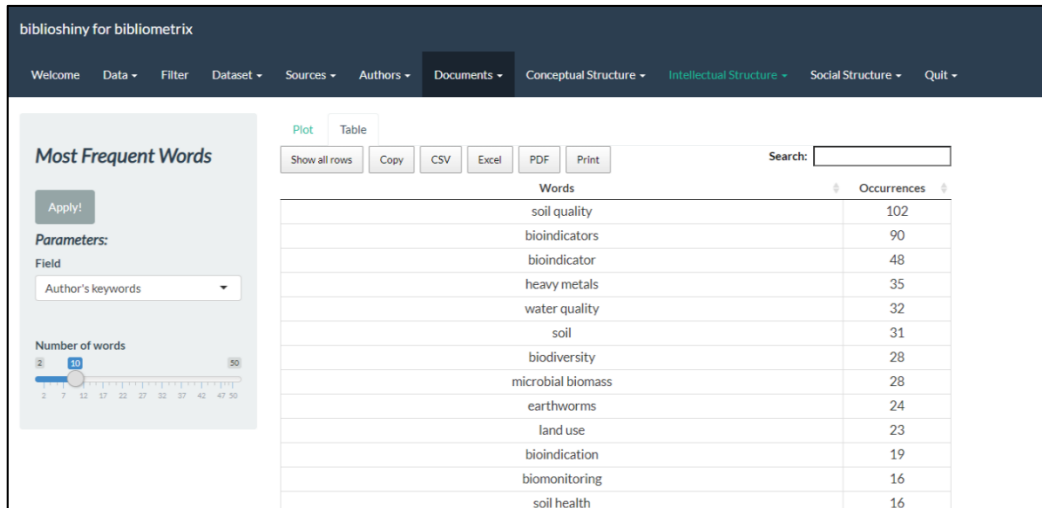


Figura 6. Análisis de frecuencia de las palabras clave seleccionadas por el autor.

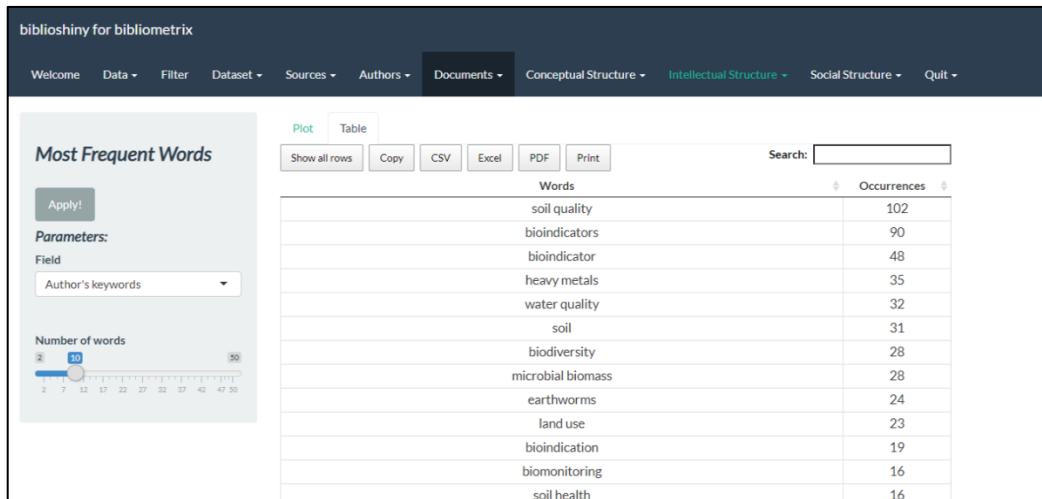


Figura 7. Análisis de frecuencia de las palabras clave plus.

2.5.1. Análisis de las palabras clave del autor

Después de realizar el análisis de frecuencia de las palabras clave del autor, se procedió a descargar los datos en formato xlsx (Excel) y se realizó una selección de aquellas palabras que tuvieron cinco o más ocurrencias (Figura 8).

Words (Author)	Occurrences
soil quality	102
bioindicators	90
bioindicator	48
heavy metals	35
water quality	32
soil	31
biodiversity	28
microbial biomass	28
earthworms	24
land use	23
bioindication	19
biomonitoring	16
soil health	16
monitoring	15
biological indicators	14
indicator	14
air pollution	12
indicators	11
microbial activity	11
collembola	10
enzyme activity	10
soil biodiversity	10
soil enzymes	10
e coli	9
microarthropods	9

Figura 8. Palabras clave proporcionadas por el autor. Selección de las palabras con cinco o más ocurrencias.

Posteriormente, se eliminó aquellas palabras y conceptos que fueron generados por el análisis y que no proporcionaban referencia directa hacia los bioindicadores de la calidad del suelo, ejemplos: *soil properties*, *ecotoxicology*, *air quality*, entre otros. (Nuestros criterios de selección de las palabras se basaron en las [definiciones de bioindicador](#) presentadas previamente en este documento) (Figura 9).

	A	B	C	D	E
1	Words	Occurrences			
2	soil quality	102			
3	bioindicators	90			
4	bioindicator	48			
5	heavy metals	35			
6	water quality	32			
7	soil	31			
8	biodiversity	28			
9	microbial biomass	28			
10	earthworms	24			
11	land use	23			
12	bioindication	19			
13	biomonitoring	16			
14	soil health	16			
15	monitoring	15			
16	biological indicators	14			
17	indicator	14			
18	air pollution	12			
19	indicators	11			
20	microbial activity	11			
21	collembola	10			
22	enzyme activity	10			
23	soil biodiversity	10			
24	soil enzymes	10			
25	e coli	9			
26	microarthropods	9			
27	soil fauna	9			

Figura 9. Palabras clave proporcionadas por el autor. Exclusión de las palabras que no hacen referencia directa a los bioindicadores.

Una vez eliminadas las palabras sobrantes, se procedió a sumar las ocurrencias de aquellas palabras que hacían referencia un solo concepto, pero el análisis no logró discriminar como palabras similares, ejemplos: *soil biodiversity* / *biodiversity*, *soil enzyme activities* / *enzyme activities*, *soil organic matter* / *organic matter*, entre otras.

En la figura 10 se encuentra señalado el procedimiento de sumatoria que se realizó, por ejemplo: *soil organic matter* (8 ocurrencias) y *organic matter* (5 ocurrencias), hacen referencia a un mismo concepto, por lo cual se suman sus respectivas ocurrencias (5+8).

	A	B	C	D
1	Words	Occurrences		
2	biodiversity	28		
3	microbial biomass	28		
4	earthworms	24		
5	microbial activity	11		
6	collembola	10		
7	enzyme activity	10		
8	soil biodiversity	10		
9	soil enzymes	10		
10	e coli	9		
11	microarthropods	9		
12	soil fauna	9		
13	nematodes	8		
14	organic matter	8		
15	soil enzyme activities	8		
16	soil invertebrates	8		
17	bacteria	7		
18	enzyme activities	7		
19	soil microbial biomass	7		
20	mites	6		
21	soil microorganisms	6		
22	mesofauna	5		
23	microbial diversity	5		
24	microbial respiration	5		
25	organic carbon	5		
26	soil organic matter	5		
27	springtails	5		

Figura 10. Palabras clave proporcionadas por el autor. Suma de ocurrencias de las palabras análogas.

Finalmente, para presentar el gráfico final, se procedió a traducir al español las palabras que discriminamos previamente (Figura 11). ([Acceder al procedimiento completo](#)).

	A	B	C	D	E	F
1	Words	Occurrences		Palabras	Ocurrencias	
2	mesofauna	5		Mesofauna	5	
3	microbial diversity	5		Diversidad microbiana	5	
4	microbial respiration	5		Respiración microbiana	5	
5	organic carbon	5		Carbón orgánico	5	
6	mites	6		Ácaros	6	
7	soil microorganisms	6		Microorganismos del suelo	6	
8	bacteria	7		Bacterias	7	
9	nematodes	8		Nemátodos	8	
10	soil invertebrates	8		Invertebrados del suelo	8	
11	e coli	9		E. coli	9	
12	microarthropods	9		Microartrópodos	9	
13	soil fauna	9		Fauna del suelo	9	
14	soil enzymes	10		Enzimas del suelo	10	
15	microbial activity	11		Actividad microbiana	11	
16	organic matter	13		Materia orgánica	13	
17	collembola	15		Colembola	15	
18	earthworms	24		Lombrices de tierra	24	
19	enzyme activity	25		Actividad enzimática	25	
20	microbial biomass	35		Biomasa microbiana	35	
21	biodiversity	38		Biodiversidad	38	

Figura 11. Palabras clave proporcionadas por el autor. Traducción de las palabras discriminadas mediante la aplicación de los distintos filtros establecidos.

2.5.2. Análisis de las palabras clave plus

Después de utilizar la aplicación Biblioshiny para realizar el análisis de frecuencia de las palabras clave plus, se procedió a descargar los datos y se realizó una selección de aquellas palabras que tuvieron más de veinte ocurrencias (Figura 12). No se realizó una selección basada en cinco ocurrencias como en el análisis de las palabras clave del autor, debido a que los resultados globales de las palabras clave plus que tuvieron cinco o más ocurrencias fueron 6 087, en contraste con el resultado global de 82 palabras con cinco o más ocurrencias generadas para las palabras clave del autor.

Words	Occurrences
bioindicator	550
soil quality	327
soil	210
environmental monitoring	201
water quality	201
soil pollution	193
article	168
soils	165
biomass	126
nonhuman	126
biodiversity	112
escherichia coli	103
enzyme activity	93
heavy metal	88
soil microorganism	87
lead	85
agriculture	83
animals	81
forestry	80
controlled study	78
china	72
microbial activity	72
bacteria (microorganisms)	71
nitrogen	69
zinc	69

Figura 12. Palabras clave plus. Selección de las palabras con veinte o más ocurrencias.

Después de la selección de las palabras, se procedió a eliminar aquellas palabras y conceptos que fueron generados por el análisis y no proporcionaban referencia directa hacia los bioindicadores de la calidad del suelo, ejemplos: *procedures*, *monitoring*, *sampling*, entre otros. (Nuestros criterios de selección de las palabras se basaron en las [definiciones de bioindicador](#) presentadas previamente en este documento) (Figura 13).

	A	B	C	D	E
1	Words	Occurrences			
2	bioindicator	550			
3	soil quality	327			
4	soil	210			
5	environmental monitoring	201			
6	water quality	201			
7	soil pollution	193			
8	article	168			
9	soils	165			
10	biomass	126			
11	nonhuman	126			
12	biodiversity	112			
13	escherichia coli	103			
14	enzyme activity	93			
15	heavy metal	88			
16	soil microorganism	87			
17	lead	85			
18	agriculture	83			
19	animals	81			
20	forestry	80			
21	controlled study	78			
22	china	72			
23	microbial activity	72			
24	bacteria (microorganisms)	71			
25	nitrogen	69			
26	zinc	69			
27	land use	68			

Figura 13. Palabras clave plus. Exclusión de las palabras que no hacen referencia directa a los bioindicadores.

Una vez eliminadas las palabras sobrantes, se procedió a sumar las ocurrencias de aquellas palabras que hacían referencia a lo mismo, pero el análisis no logró discriminar, ejemplos: *fungi* / *fungus*, *nematode* / *nematoda*, *soil organic matter* / *organic matter*, *soil enzyme activities* / *enzyme activities*, entre otros.

En la tabla que se observa en la figura 14, se encuentra señalado el procedimiento de sumatoria que realizó, por ejemplo: *fungus* (30 ocurrencias) y *fungi* (62 ocurrencias), hacen referencia a un mismo concepto, por lo cual se suman sus respectivas ocurrencias (92).

	A	B	C	D
7	animals	81		
8	microbial activity	72		
9	bacteria (microorganisms)	71		
10	soil organic matter	65		
11	microbial community	63		
12	fungi	62		
13	bacterium	53		
14	carbon	48		
15	bacteria	44		
16	earthworm	42		
17	organic carbon	42		
18	metabolism	38		
19	soil fauna	36		
20	invertebrata	35		
21	animalia	34		
22	soil biota	34		
23	collembola	33		
24	fecal coliform	32		
25	feces	32		
26	nematoda	32		
27	species richness	31		
28	fungus	30		
29	zea mays	30		
30	vegetation	29		
31	nematode	28		
32	plants (botany)	26		
33	organic matter	25		

Figura 14. Palabras clave plus. Suma de ocurrencias de las palabras análogas.

Finalmente, para presentar el gráfico final, se procedió a traducir al español las palabras que discriminamos previamente (Figura 15). ([Acceder al procedimiento completo](#)).

	A	B	C	D	E	F
1	Words	Occurrences		Palabra	Frecuencia	
2	bacteria	168		Bacterias	168	
3	animals	129		Animales	129	
4	biomass	126		Biomasa	126	
5	biodiversity	112		Biodiversidad	112	
6	escherichia coli	103		Escherichia coli	103	
7	enzyme activity	93		Actividad enzimática	93	
8	fungi	92		Hongos	92	
9	soil organic matter	90		Materia orgánica del suelo	90	
10	soil microorganism	87		Microorganismo del suelo	87	
11	microbial activity	72		Actividad microbiana	72	
12	microbial community	63		Comunidad microbiana	63	
13	nematoda	60		Nematoda	60	
14	vegetation	55		Vegetación	55	
15	earthworm	42		Lombriz	42	
16	organic carbon	42		Carbón orgánico	42	
17	species diversity	39		Diversidad de especies	39	
18	soil microbiology	37		Microbiología del suelo	37	
19	soil fauna	36		Fauna del suelo	36	

Figura 15. Palabras clave plus. Traducción de las palabras discriminadas mediante la aplicación de los distintos filtros establecidos.

2.5.3. Cálculo del índice global

Para identificar y proporcionar una lista definitiva de los bioindicadores más utilizados (y por lo tanto los más prioritarios), se realizó una suma entre las ocurrencias de los veinte bioindicadores identificados mediante el análisis de las palabras clave del autor, que coincidían con los treinta bioindicadores identificados mediante el análisis de las palabras clave plus; no obstante, debido a que existieron palabras cuyas ocurrencias no pudieron sumarse, estas palabras fueron agregadas como independientes. (Figuras 35-37).

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS PRELIMINARES

Tabla 1.*Información global de los metadatos obtenidos de Scopus.*

Información principal sobre los datos	
Período	1990-2021
Fuentes (revistas, libros, etc.)	314
Documentos	754
Años promedio desde la publicación	7,76
Promedio de citas por documentos	27,84
Citas promedio por año por documento	2.839
Referencias	39946
Tipos de documentos	
Artículo	678
Capítulo de libro	12
Documento de conferencia	32
Revisión de conferencia	1
Revisión	30
Encuesta corta	1
Contenidos del documento	
Palabras clave Plus	6087
Palabras clave del autor	2388
Información de los autores	
Autores	3162
Apariciones del Autor	3544
Autores de documentos de un solo autor	41
Autores de documentos de varios autores	3121
Colaboración de los autores	
Documentos de un solo autor	42
Documentos por autor	0,238
Autores por documento	4,19
Coautores por documento	4,7
Índice de colaboración	4,38

Nota: Tabla elaborada, descargada y traducida de Biblioshiny.

Debido a que no se delimitó el rango de fecha, ni el estado de la publicación en la búsqueda en Scopus, podemos observar que pese a que se realizó la descarga de los metadatos en diciembre del 2020; los metadatos descargados compilaban información desde 1990 hasta el 2021.

Asimismo, podemos constatar que existe una gran diferencia entre el número de palabras clave proporcionadas por el autor y el número las palabras clave plus, siendo este último hasta 2,5 veces mayor.

De igual manera, podemos notar que ~90 % de los documentos pertenecen a la categoría de artículo científico. Además, de todos los documentos recopilados más del 90 % son documentos que han sido realizados en colaboración.

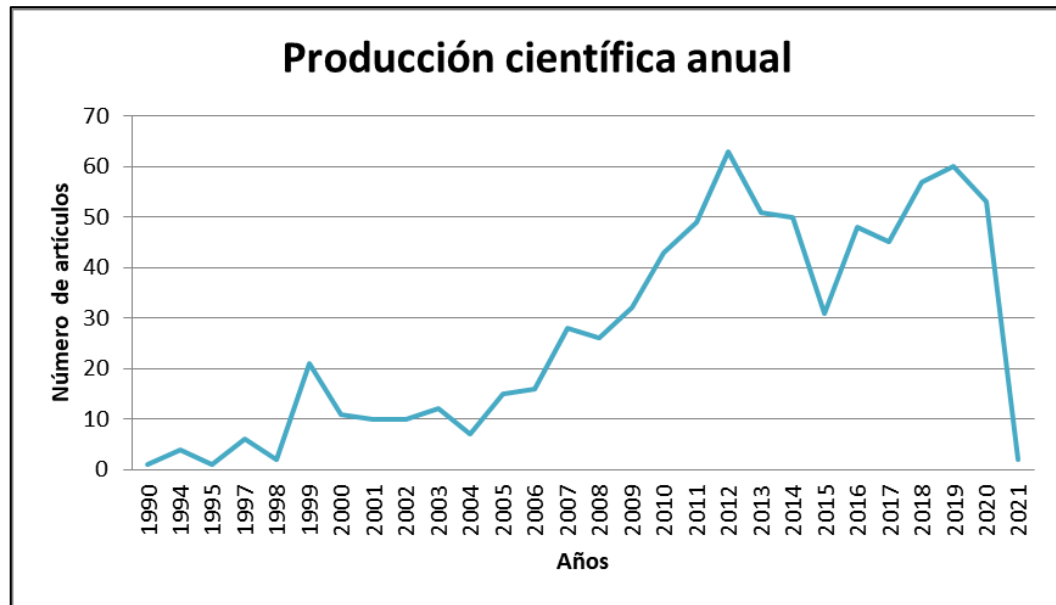


Figura 16. Producción científica anual de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo (tasa de crecimiento anual de 2.6%).

Podemos notar que la producción científica de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo, es relativamente reciente; sin embargo, se observa que ha existido una tasa de crecimiento importante, especialmente durante los últimos tres lustros. Lo anterior puede interpretarse como una muestra de la relevancia que han ganado los bioindicadores, en relación al análisis y diagnóstico de la calidad del suelo en las últimas décadas.

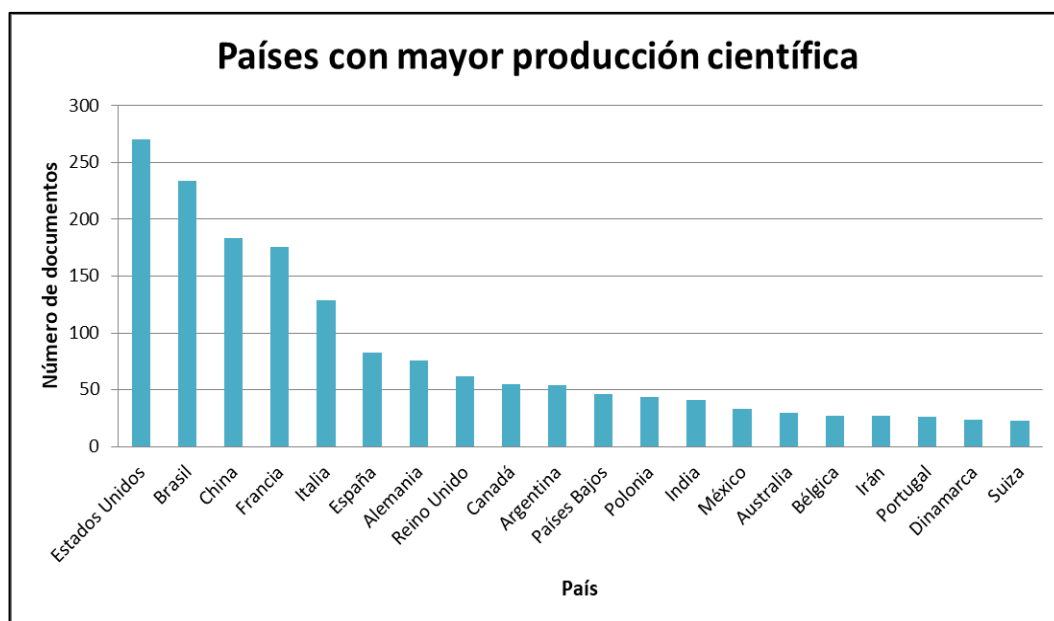


Figura 17. Países con mayor producción científica de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

Los cinco países con la mayor producción de artículos sobre bioindicadores de la calidad del suelo son: Estados Unidos, Brasil, China, Francia e Italia, con al menos más de 100 artículos cada uno.

Debido a que la gráfica anterior solo muestra una lista de los veinte países que más documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo producen; la figura 18 nos permite apreciar a aquellos otros países cuya producción de documentos ha sido limitada o inexistente en este campo como: Ecuador (1), Perú (1), Venezuela (1), Filipinas (2), Japón (3), Tailandia (3), entre otros.

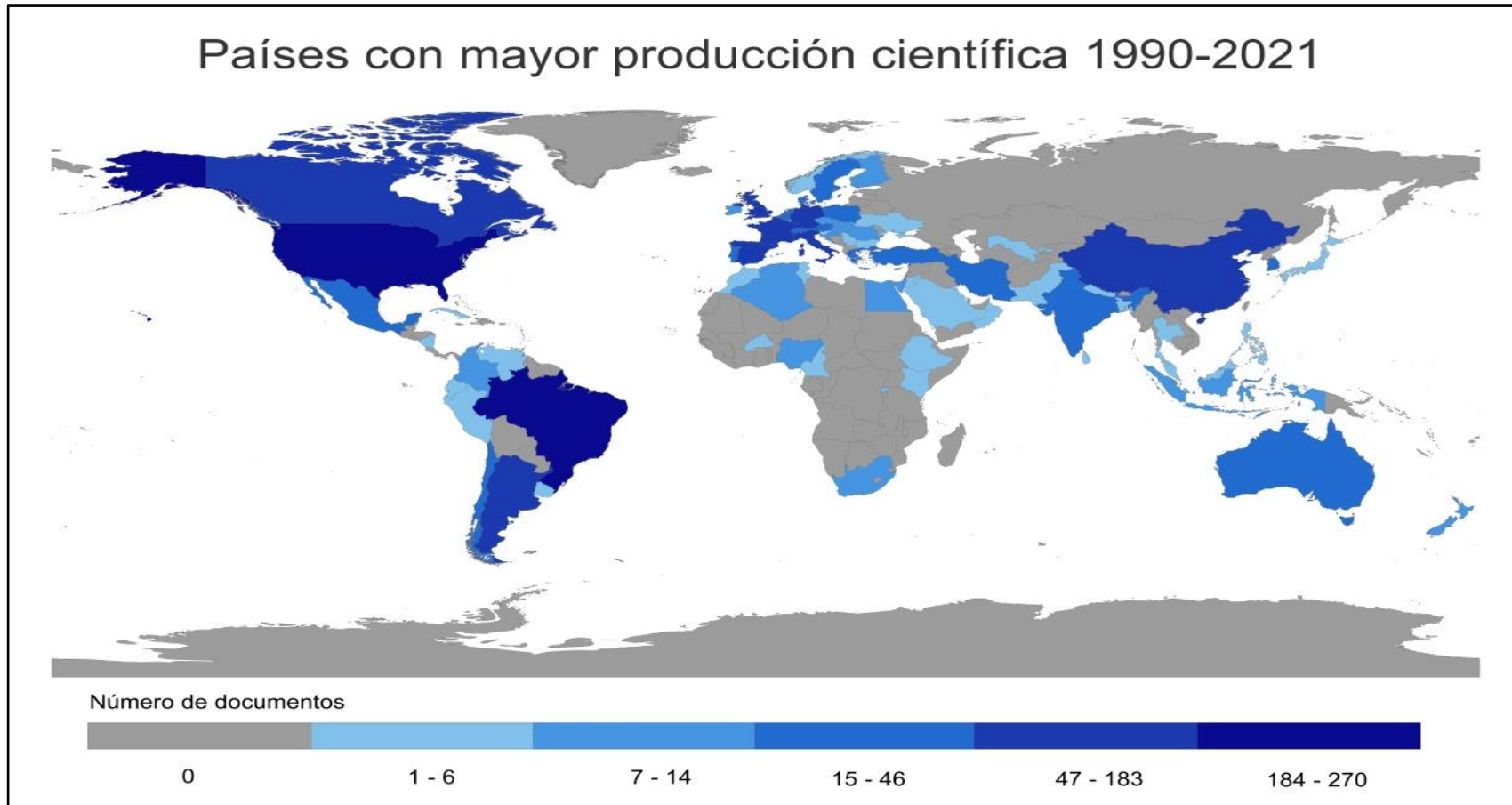


Figura 18. Mapa coroplético de los países con mayor producción científica de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo. [Descargar figura original.](#)

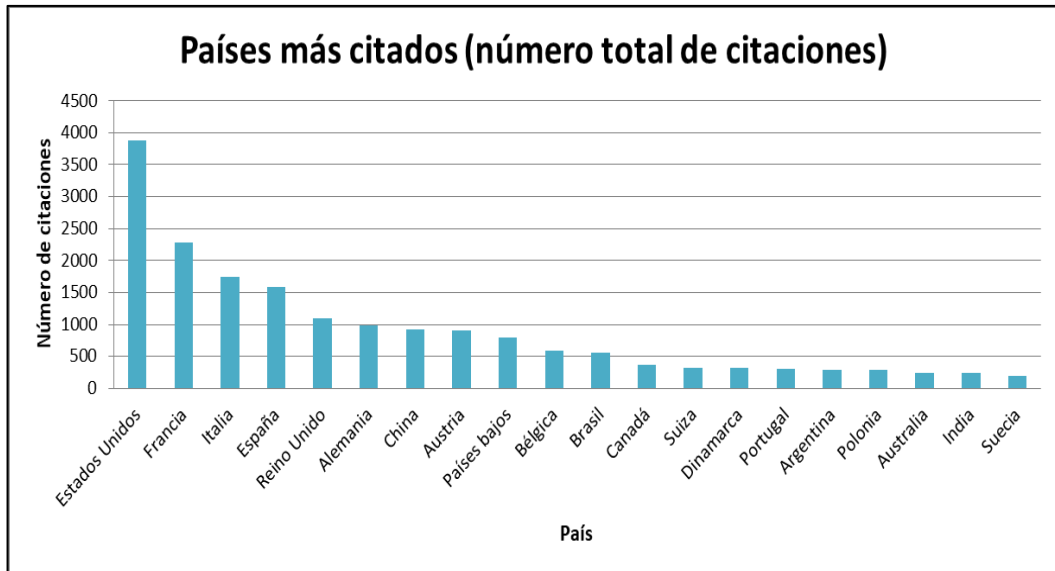


Figura 19. Países más citados en los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo, según el número total de citaciones.

Los cinco países más citados, según el número total de citaciones son: Estados Unidos, Francia Italia, España y Reino Unido, cada uno con más de mil citaciones. Lo anterior es interesante debido a que ni Brasil, ni China, quienes ostentan el segundo y tercer lugar de los países con más producción de documentos, aparecen dentro de los cinco países más citados, situación que se mantiene para Francia, Italia y España.

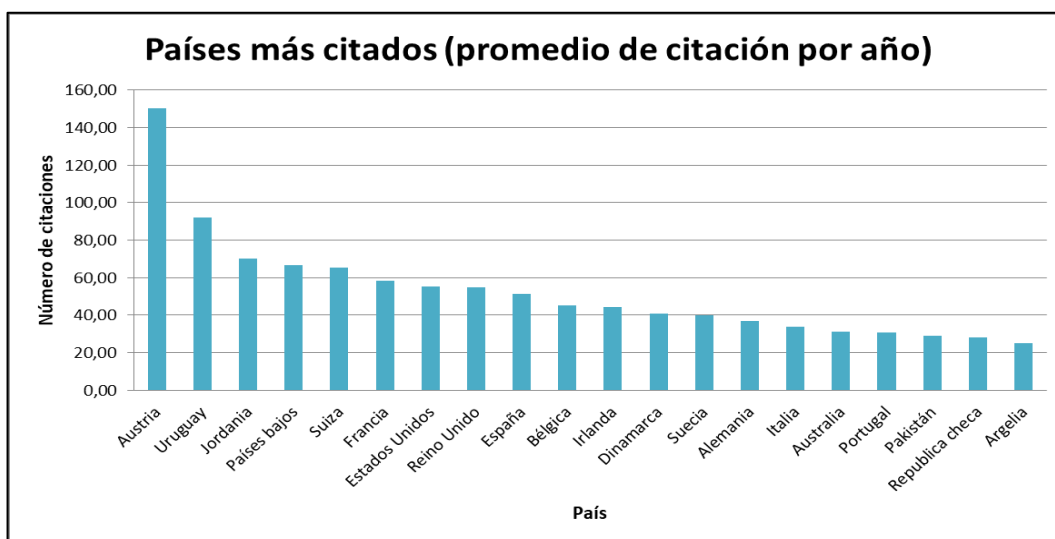


Figura 20. Países más citados en los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo, según el promedio de citación por año.

Austria, Uruguay, Jordania, los Países Bajos y Suiza, cada uno con más de sesenta citas por año, son los cinco países más citados según el promedio de citación por año. Lo anterior es interesante debido a que ninguno de estos países se encuentra dentro de los cinco países que mayor número de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo producen, por lo cual podemos inferir que su número elevado de citas puede estar justificado por la repercusión que poseen los documentos que se publican en dichos países.

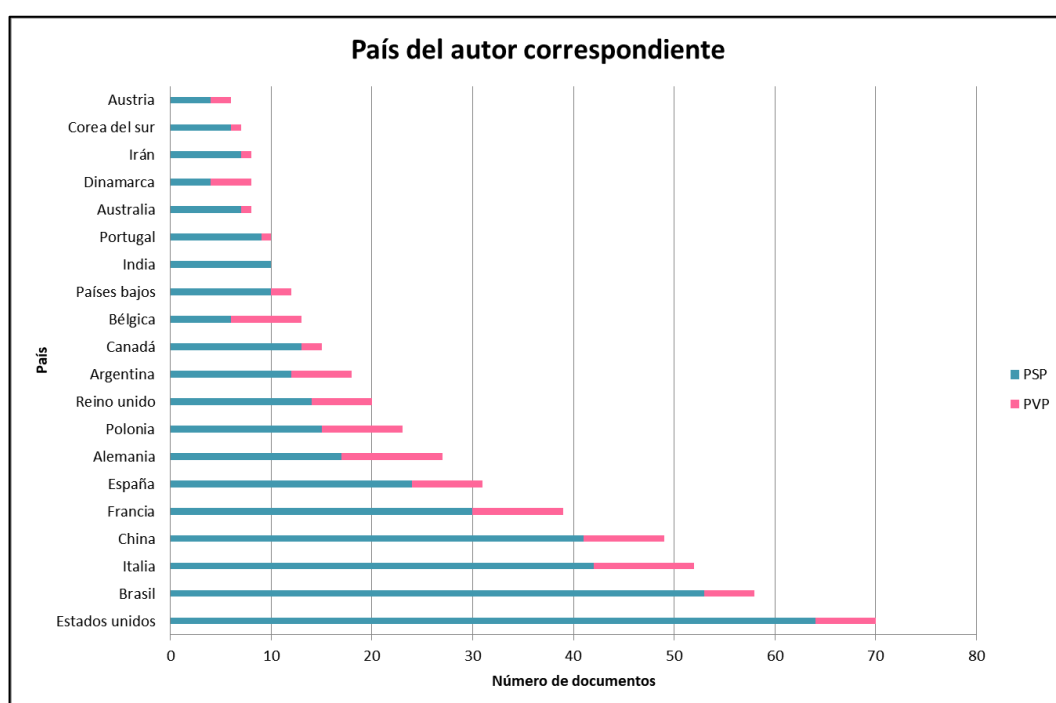


Figura 21. País del autor correspondiente en los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

La mayoría de documentos corresponden a publicaciones de un solo país (PSP: publicaciones de un solo país; PVP: publicaciones de varios países), por lo cual podemos notar que en torno a la temática de los bioindicadores de la calidad del suelo, todavía no hay una colaboración internacional importante. Sin embargo, hay referentes interesantes como Bélgica, donde de trece publicaciones realizadas,

más de la mitad son publicaciones realizadas en colaboración con otro país (Figura 21).

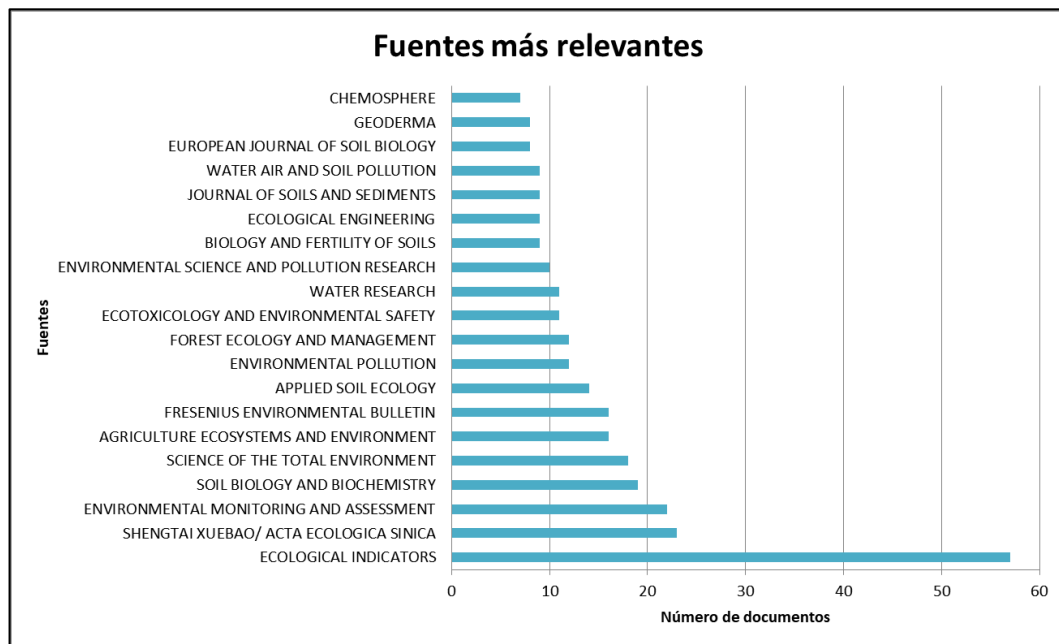


Figura 22. Fuentes más relevantes de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

La fuente más relevante de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo, es la revista *Ecological Indicators* con 57 documentos; sin embargo, también existen otra fuentes importantes como las revistas: *Acta Ecologica Sinica* (23), *Environmental Monitoring and Assessment* (22) y *Soil Biology and Biochemistry* (19) (Figura 22).

Es necesario recalcar que debido a que la relevancia está calculada en base al número de documentos publicados en estas plataformas, esto no significa que la relevancia se mantenga al analizar otros indicadores como el factor de impacto o el CiteScore que poseen estas revistas. Por ejemplo, a la fecha actual (3 de enero de 2021), [Ecological Indicators](#) posee un factor de impacto de 4,229 y un CiteScore de 7,6, en contraste con [Chemosphere](#) la cual posee un factor de impacto de 5,778 y un CiteScore de 8,8; lo anterior siendo relevante debido a que en la presente gráfica, estas revistas son identificadas como la de mayor y menor relevancia respectivamente.

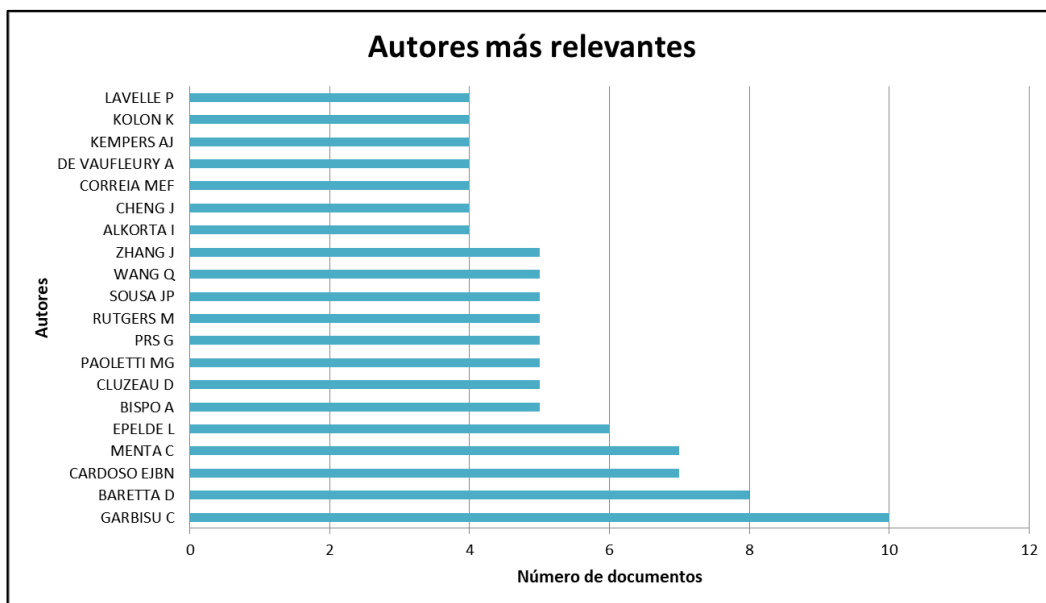


Figura 23. Autores más relevantes de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

Los cinco autores más relevantes en torno a la temática de los bioindicadores de la calidad del suelo son: Garbisu, Baretta, Cardoso, Menta y Epelde, cada uno con más de cinco publicaciones. No obstante, debido a que la relevancia de los autores se calcula en torno al número de documentos realizados, esto no significa esta relevancia se mantenga si analizamos otro indicador como el número de citas que ha recibido cada autor.

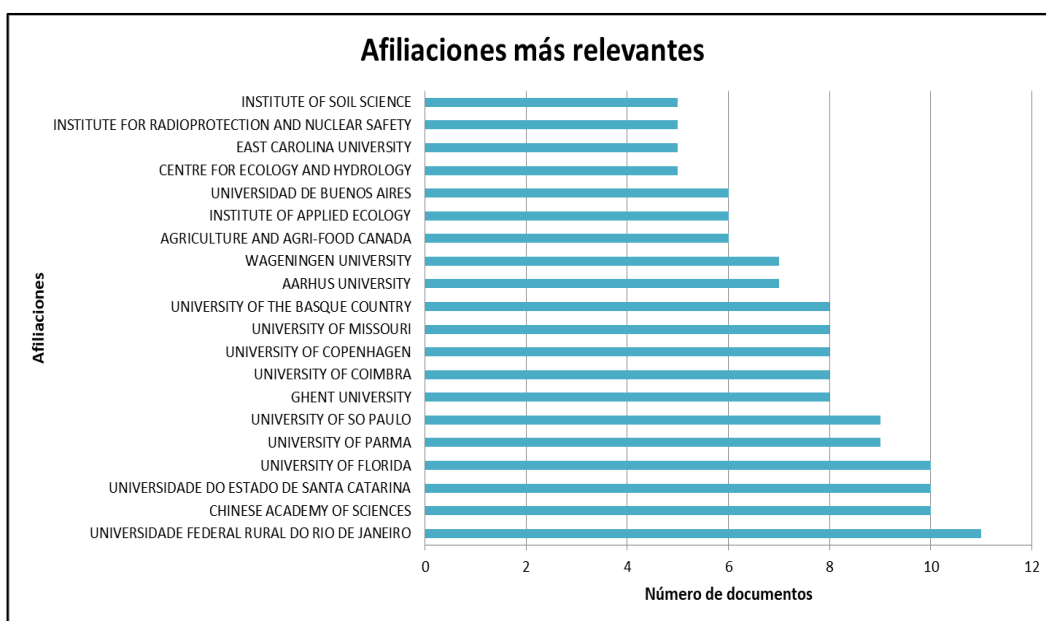


Figura 24. Afiliaciones más relevantes en torno a la producción de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

Las cinco afiliaciones más importantes en relación a la producción de documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo son: la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, la Academia China de Ciencias, la Universidad Estatal de Santa Catarina, la Universidad de Florida y la Universidad de Parma, cada una de ellas con más de nueve publicaciones. Es importante resaltar que la información anterior se corresponde con los países que más número de documentos producen.

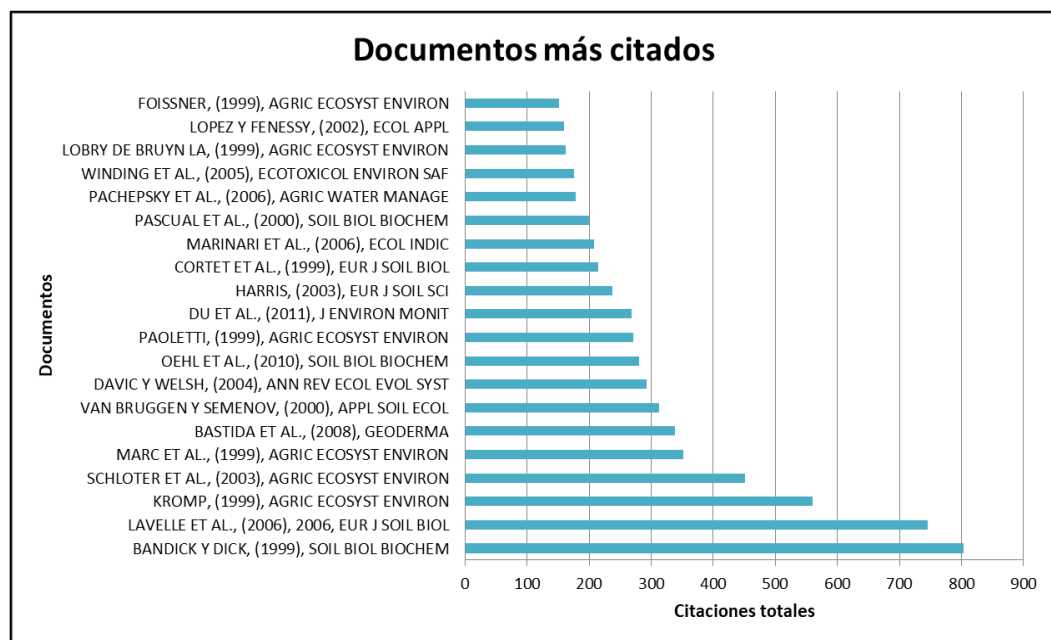


Figura 25. Documentos más citados relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo. [Descargar figura original.](#)

En la gráfica (y tabla posterior), podemos observar que el número de citas de los documentos más citados, en relación a los bioindicadores de la calidad del suelo, varía entre 152 y 803; siendo el documento de Bandick y Dick, (1999) el documento más citado (803), seguido por Lavelle et al., (2006) (746) y Kromp, (560).

Tabla 2.
Documentos más citados.

Documento	DOI	Citaciones totales	Citaciones totales por año
Bandick y Dick, (1999). Field management effects on soil enzyme activities. <i>Soil Biology and Biochemistry</i> .	10.1016/S0038-0717(99)00051-6	803	36,5
Lavelle et al., (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. <i>European Journal of Soil Biology</i> .	10.1016/j.ejsobi.2006.10.002	746	49,7333
Kromp, (1999). Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. <i>Agriculture, Ecosystems & Environment</i> .	10.1016/S0167-8809(99)00037-7	560	25,4545
Schlöter et al., (2003). Indicators for evaluating soil quality. <i>Agriculture, Ecosystems & Environment</i> .	10.1016/S0167-8809(03)00085-9	451	25,0556
Marc et al., (1999). Spiders (Araneae) useful for pest limitation and bioindication. <i>Agriculture, Ecosystems & Environment</i> .	10.1016/S0167-8809(99)00038-9	352	16
Bastida et al., (2008). Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. <i>Geoderma</i> .	10.1016/j.geoderma.2008.08.007	339	26,0769

Van Bruggen y Semenov, (2000). In search of biological indicators for soil health and disease suppression. <i>Applied Soil Ecology</i> .	10.1016/S0929-1393(00)00068-8	313	14,9048
Davic y Welsh, (2004). On the Ecological Roles of Salamanders. <i>Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics</i> .	10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130116	293	17,2353
Oehl et al., (2010). Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. <i>Soil Biology and Biochemistry</i> .	10.1016/j.soilbio.2010.01.006	281	25,5455
Paoletti, (1999). The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. <i>Agriculture, Ecosystems & Environment</i> .	10.1016/S0167-8809(99)00034-1	271	12,3182
Du et al., (2011). TiO ₂ and ZnO nanoparticles negatively affect wheat growth and soil enzyme activities in agricultural soil. <i>Journal of Environmental Monitoring</i> .	10.1039/c0em00611d	268	26,8
Harris, (2003). Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. <i>European Journal of Soil Science</i> .	10.1046/j.1351-0754.2003.0559.x	237	13,1667
Cortet et al., (1999). The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. <i>European Journal of Soil Biology</i> .	10.1016/S1164-5563(00)00116-3	215	9,7727

Marinari et al., (2006). Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. <i>Ecological Indicators</i> .	10.1016/j.ecolind.2005.08.029	208	13,8667
Pascual et al., (2000). Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. <i>Soil Biology and Biochemistry</i> .	10.1016/S0038-0717(00)00161-9	200	9,5238
Pachepsky et al., (2006). Transport and fate of manure-borne pathogens: Modeling perspective. <i>Agricultural Water Management</i> .	10.1016/j.agwat.2006.06.010	178	11,8667
Winding et al., (2005). The use of microorganisms in ecological soil classification and assessment concepts. <i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i> .	10.1016/j.ecoenv.2005.03.026	176	11
Lobry de Bruyn, (1999). Ants as bioindicators of soil function in rural environments. <i>Agriculture, Ecosystems & Environment</i> .	10.1016/S0167-8809(99)00047-X	162	7,3636
Lopez y Fennessy, (2002). TESTING THE FLORISTIC QUALITY ASSESSMENT INDEX AS AN INDICATOR OF WETLAND CONDITION. <i>Ecological Applications</i> .	10.1890/1051-0761(2002)012[0487:TTFQAI]2.0.CO;2	160	8,4211
Foissner, (1999). Soil protozoa as bioindicators: pros and cons, methods, diversity, representative	10.1016/S0167-8809(99)00032-8	152	6,9091

*examples. Agriculture, Ecosystems &
Environment.*

Nota: Tabla elaborada, descargada, traducida y modificada de Biblioshiny (se completaron los nombres de los autores, el título y el nombre de la revista en la sección de “Documento”. [Descargar tabla original.](#)

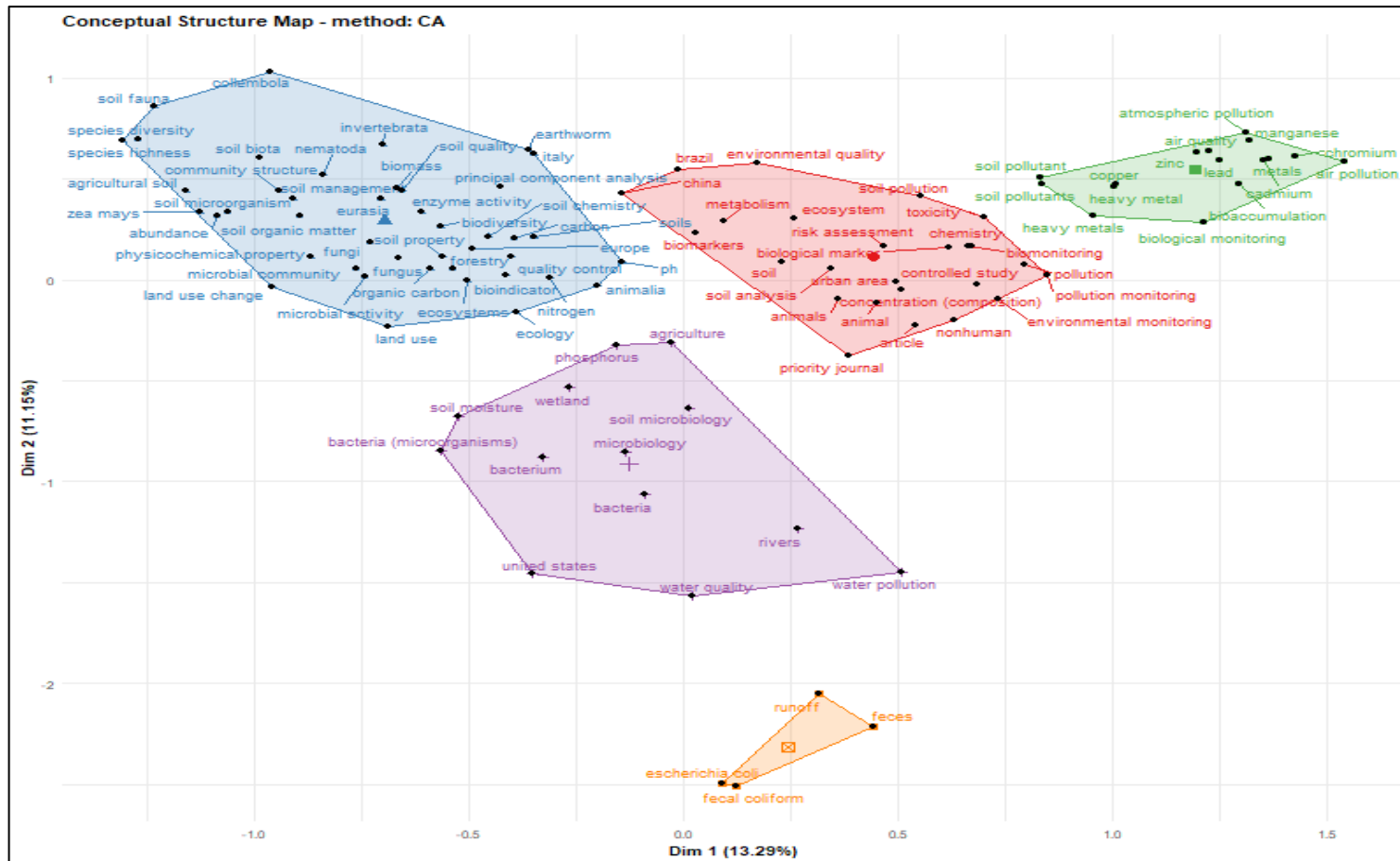


Figura 26. Análisis factorial de correspondencia de las palabras clave plus de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

El análisis factorial de correspondencia de las palabras clave plus, nos presenta cinco clústeres, que se agrupan de manera distinta; por ejemplo podemos observar que en el clúster azul se agrupan aquellos términos relacionados de manera más directa a los bioindicadores de la calidad del suelo como: *fungi, nematoda, biomass, earthworm, species diversity, organic carbón*, entre otros.

No obstante, en el clúster rojo podemos observar términos como: *environmental quality, toxicity, soil analysis, risk assessment*, entre otros., que son términos que se relacionan indirectamente con la evaluación de la calidad del suelo, pero no directamente con los bioindicadores.

En el clúster azul ocurre algo similar que en el clúster rojo, debido a que podemos observar que aparecen términos como: *heavy metal, copper, lead, zinc, manganese, bioaccumulation*, entre otros.; que pese a que son términos que se relacionan con la evaluación de la calidad del suelo, no proporcionan una referencia directa hacia los bioindicadores.

Del mismo modo, en el clúster morado y naranja podemos apreciar que existen términos como: *soil moisture, phosphorus, runoff, agriculture*, entre otros; que si bien se relacionan y pueden asociarse con la calidad de un suelo determinado, no hacen referencia directa a los bioindicadores.

Por lo cual, pese a que el análisis factorial de correspondencia nos permite identificar ciertos indicadores biológicos relacionados a la calidad del suelo como: las lombrices de tierra, la biota del suelo, la actividad enzimática, entre otros.; debido a que en los diferentes clústeres todavía podemos observar la aparición de diferentes palabras como: China, Brasil, calidad del aire, entre otras.; es complicado establecer una lista definitiva de cuáles son los bioindicadores más utilizados para evaluar la calidad del suelo.

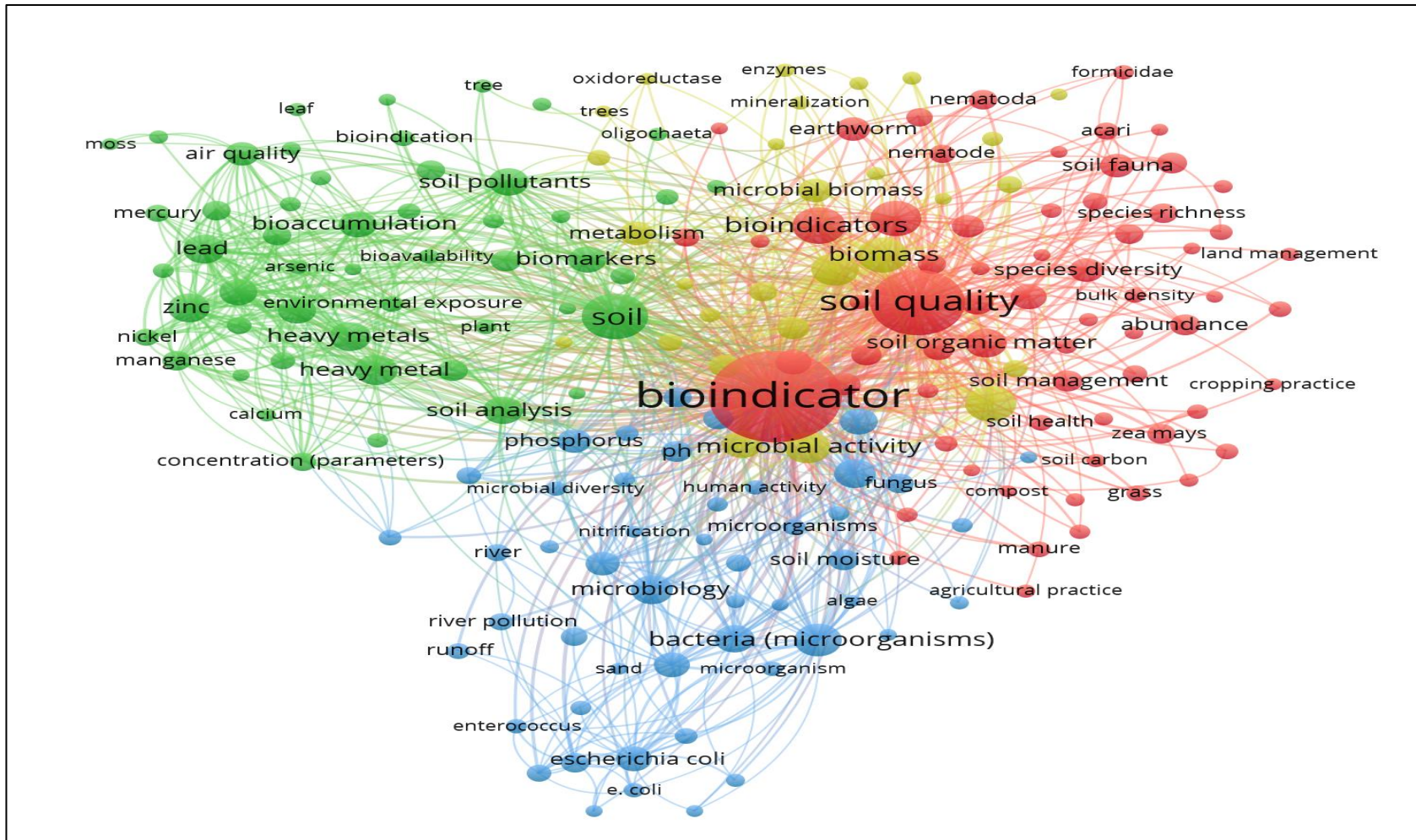


Figura 27. Red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

En la red de coocurrencia podemos observar 188 palabras agrupadas en cuatro clústeres: rojo (66 ítems), verde (51 ítems), azul (43 ítems) y amarillo (28 ítems). Puesto a que a diferencia del análisis factorial de correspondencia, en la red de coocurrencia se logró omitir algunos términos irrelevantes como: *countries*, *sampling*, *risk assessment*, entre otros.; la lectura e identificación de los términos relacionados a la calidad del suelo y los bioindicadores es más clara e inteligible.

Además, la visualización de los diferentes clústeres no permite obtener un mayor detalle que nos favorece el reconocimiento de ciertos términos que pasan desapercibidos en el análisis factorial de correspondencia como: *formicidae*, *acari*, *oxidoreductase*, *phosphatases*, entre otros.

Asimismo, la red coocurrencia, mediante la visualización de sobreposición nos permite reconocer la evolución de los términos empleados en la investigación relacionada a los bioindicadores de la calidad del suelo; debido a que como se observa en la figura 28, podemos constatar que la mayoría de términos relacionados a la mesofauna y macrofauna del suelo como: *earthworm*, *formicidae*, *acari*, han sido empleados en torno al año 2005-2010. Sin embargo, desde el período de 2010 en adelante se pueden reconocer una mayor cantidad de términos relacionados a la microfauna y microbiología del suelo como: *environmental biomarkers*, *microbial activity* y *soil microorganism*.

No obstante, debido a que como podemos observar en las distintas figuras en que se representa la red, todavía existen términos que si bien hacen referencia a propiedades y componentes utilizados para inferir y diagnosticar la calidad del suelo (elementos químicos, propiedades físicas, reacciones químicas, entre otros.), todavía no es posible establecer una lista definitiva de los bioindicadores más utilizados para evaluar la calidad del suelo.

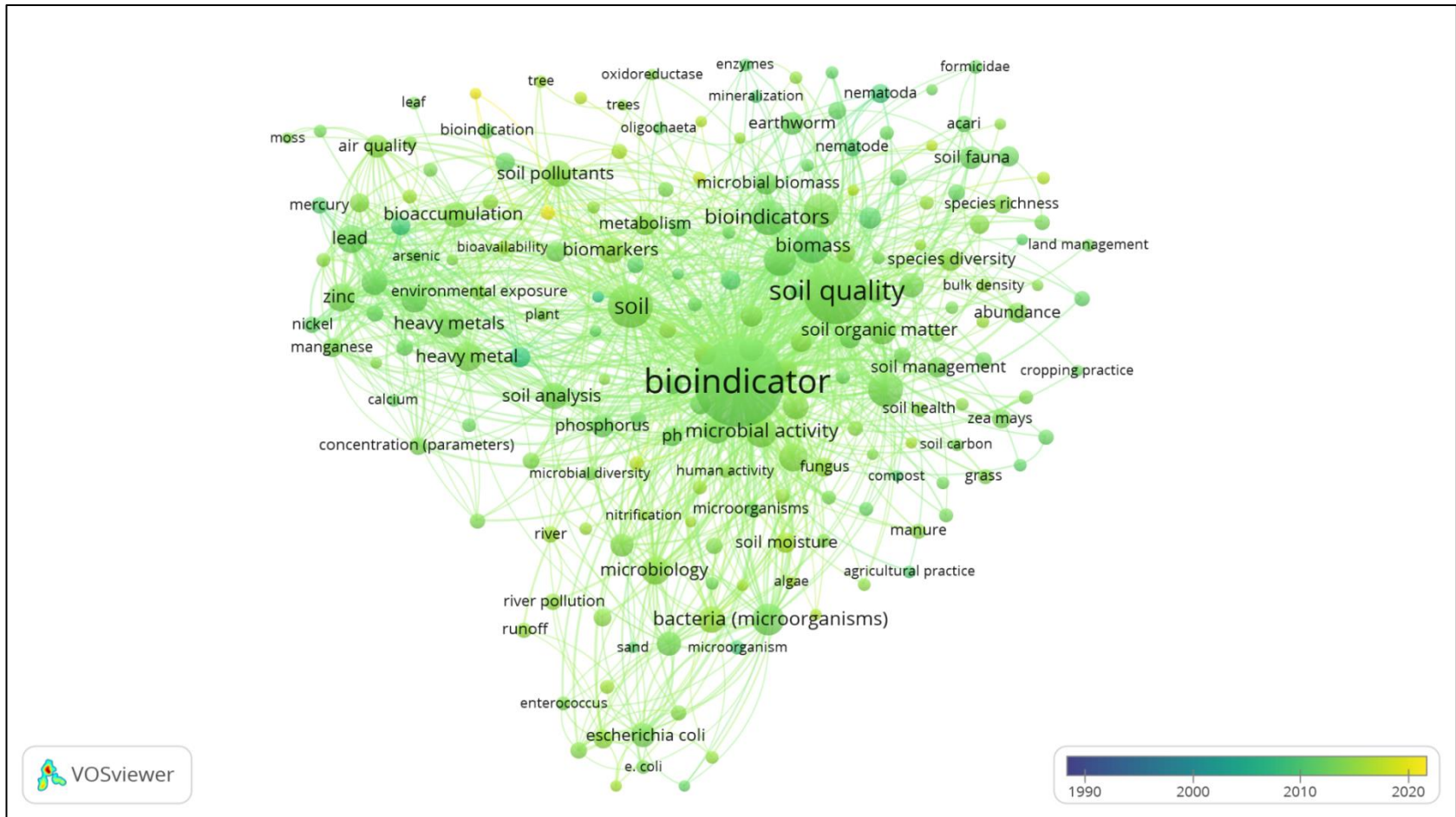


Figura 28. Visualización de sobreposición de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

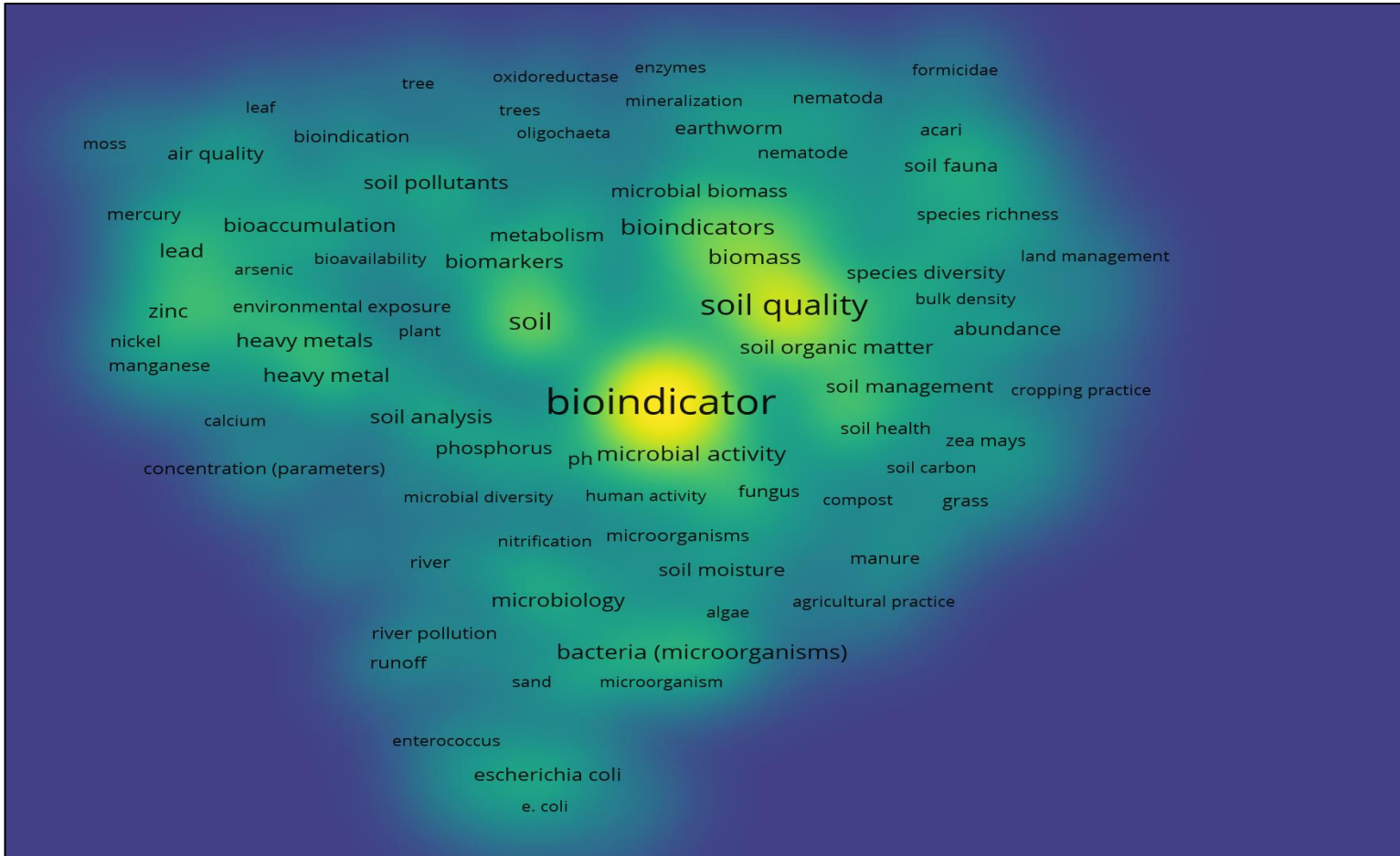


Figura 29. Visualización de densidad (por ítems), de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

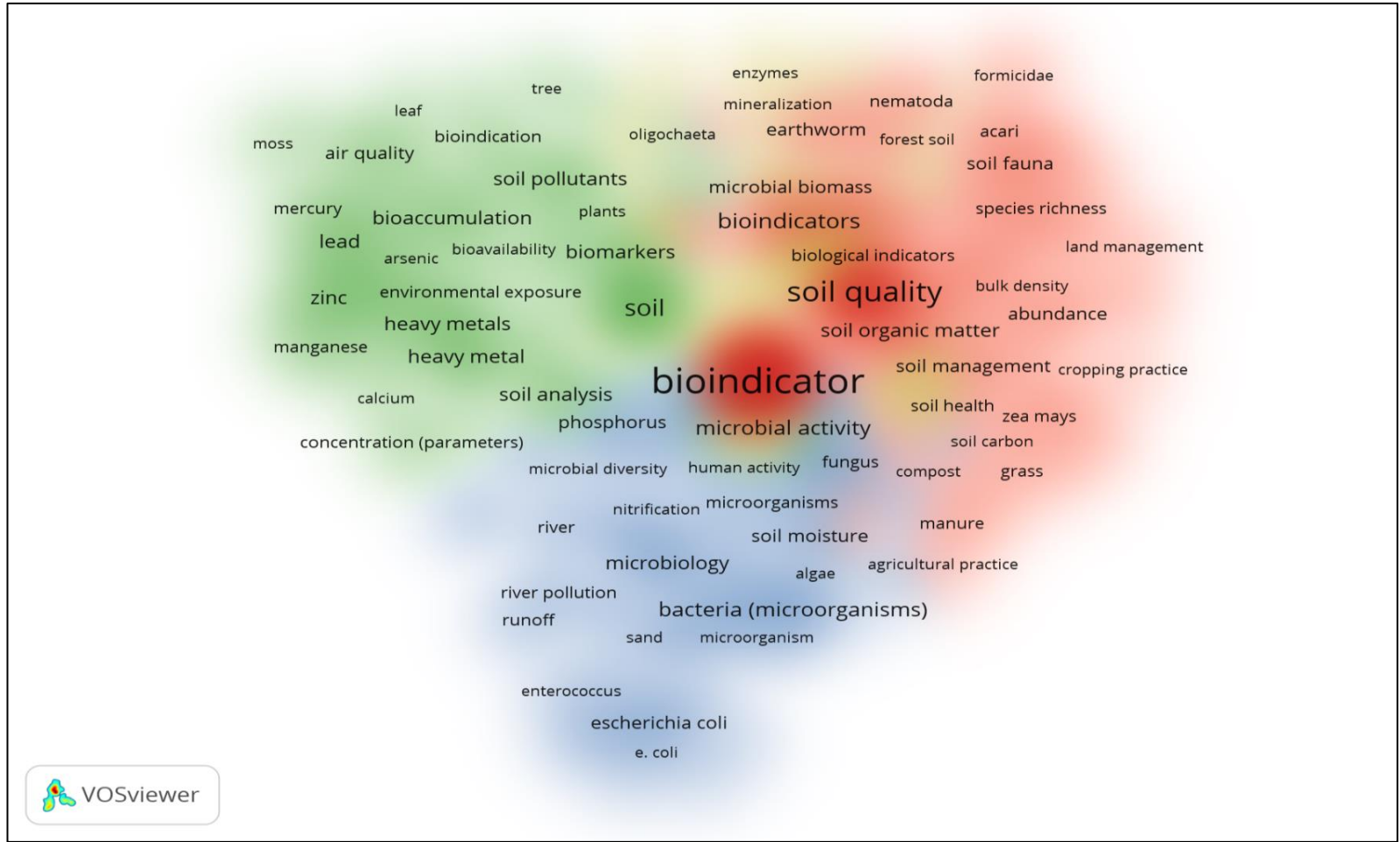


Figura 30. Visualización de densidad (por clústeres), de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

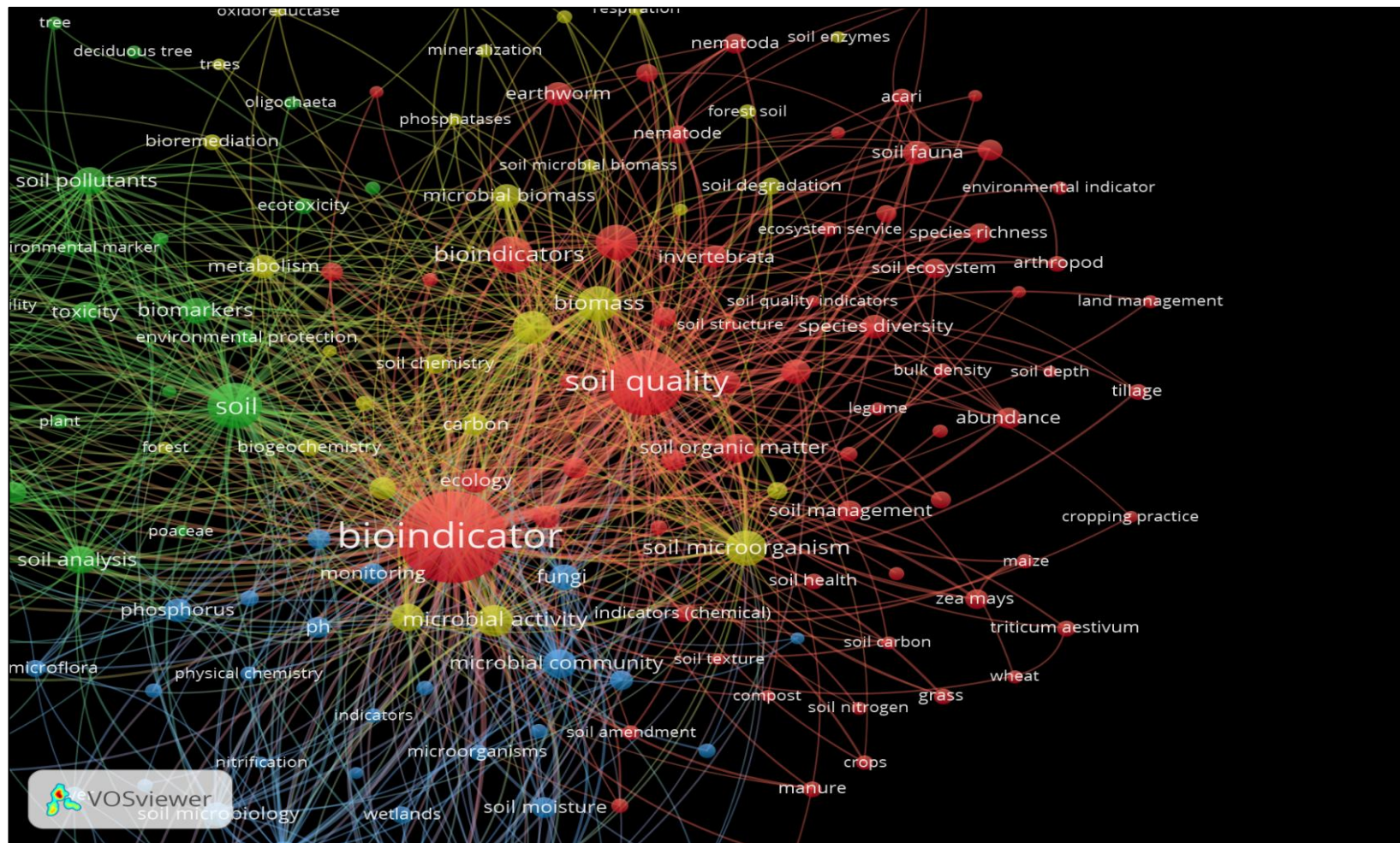


Figura 31. Visualización del clúster número uno (rojo, 66 ítems), de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

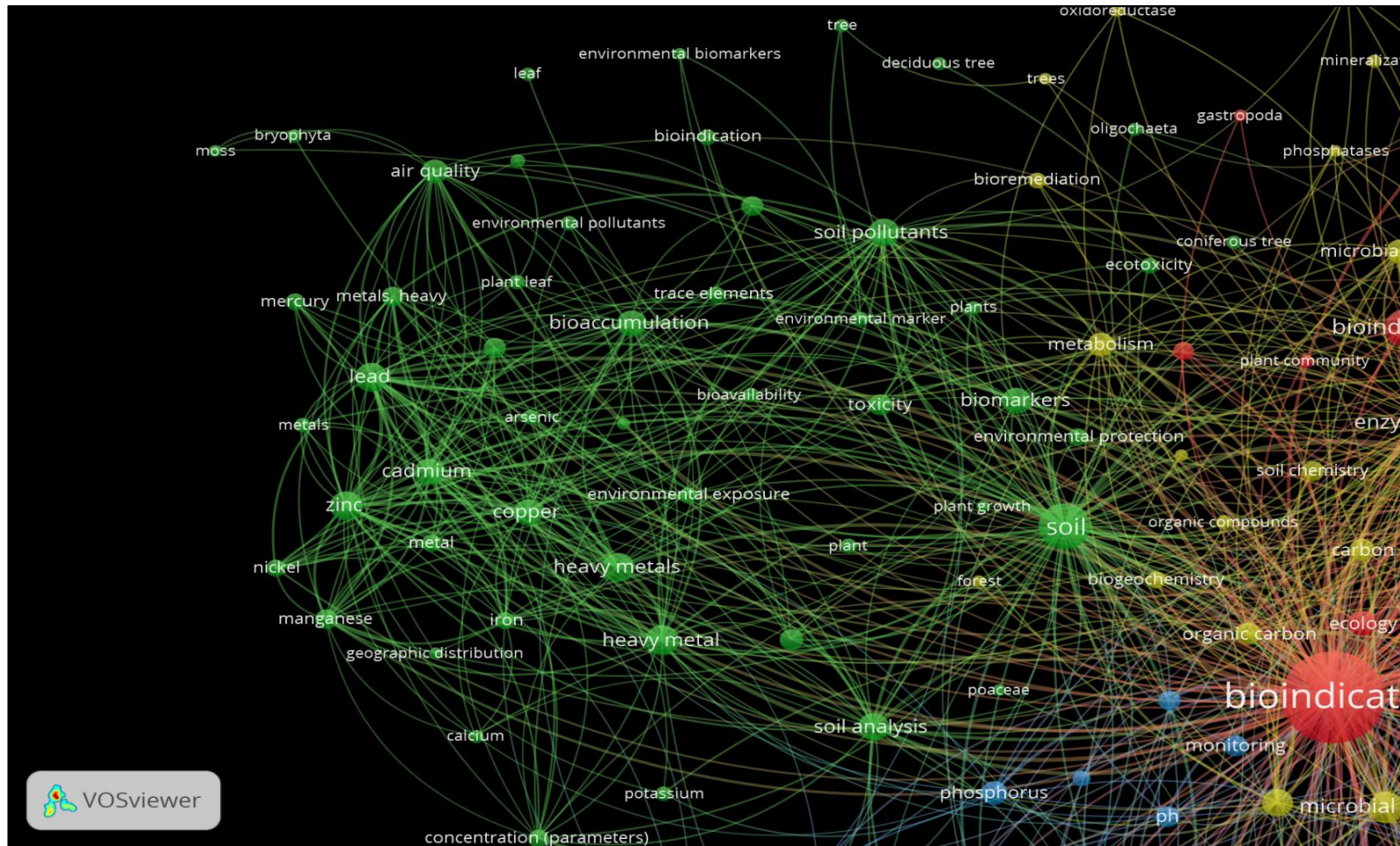


Figura 32. Visualización del clúster dos (verde, 51 ítems), de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

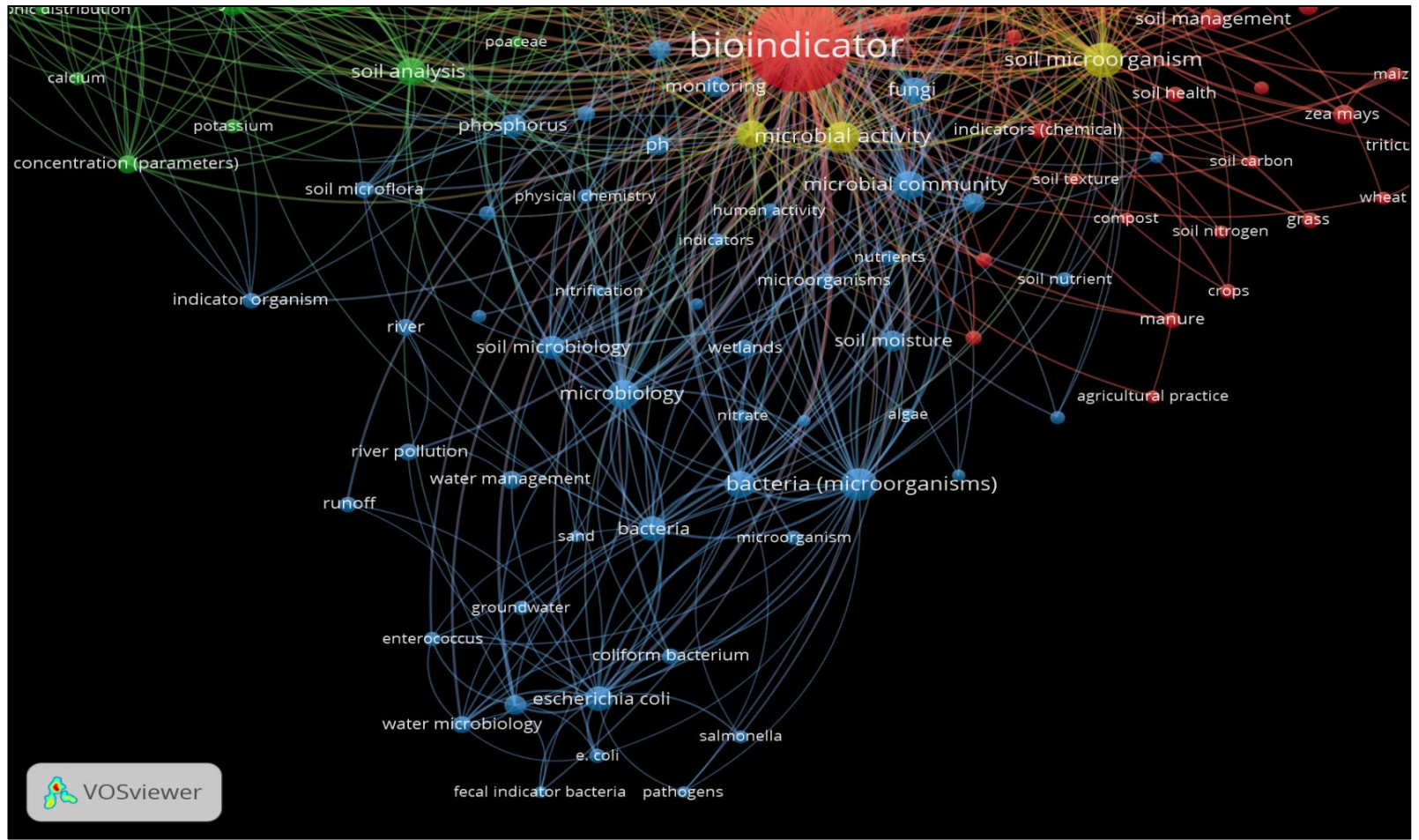


Figura 33. Visualización del clúster tres (azul, 43 ítems), de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

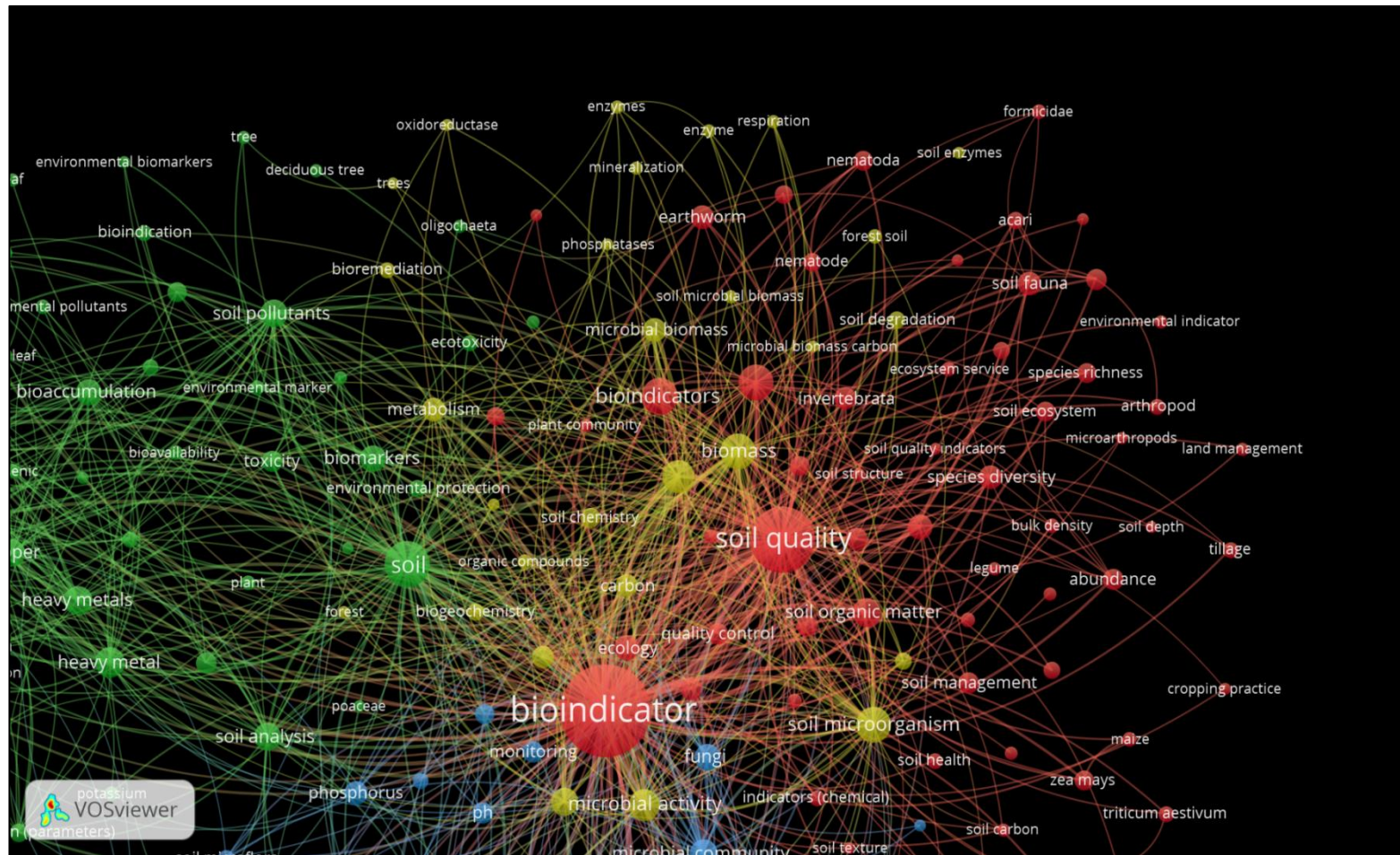


Figura 34. Visualización del clúster cuatro (amarillo, 28 ítems), de la red de coocurrencia de las palabras clave de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

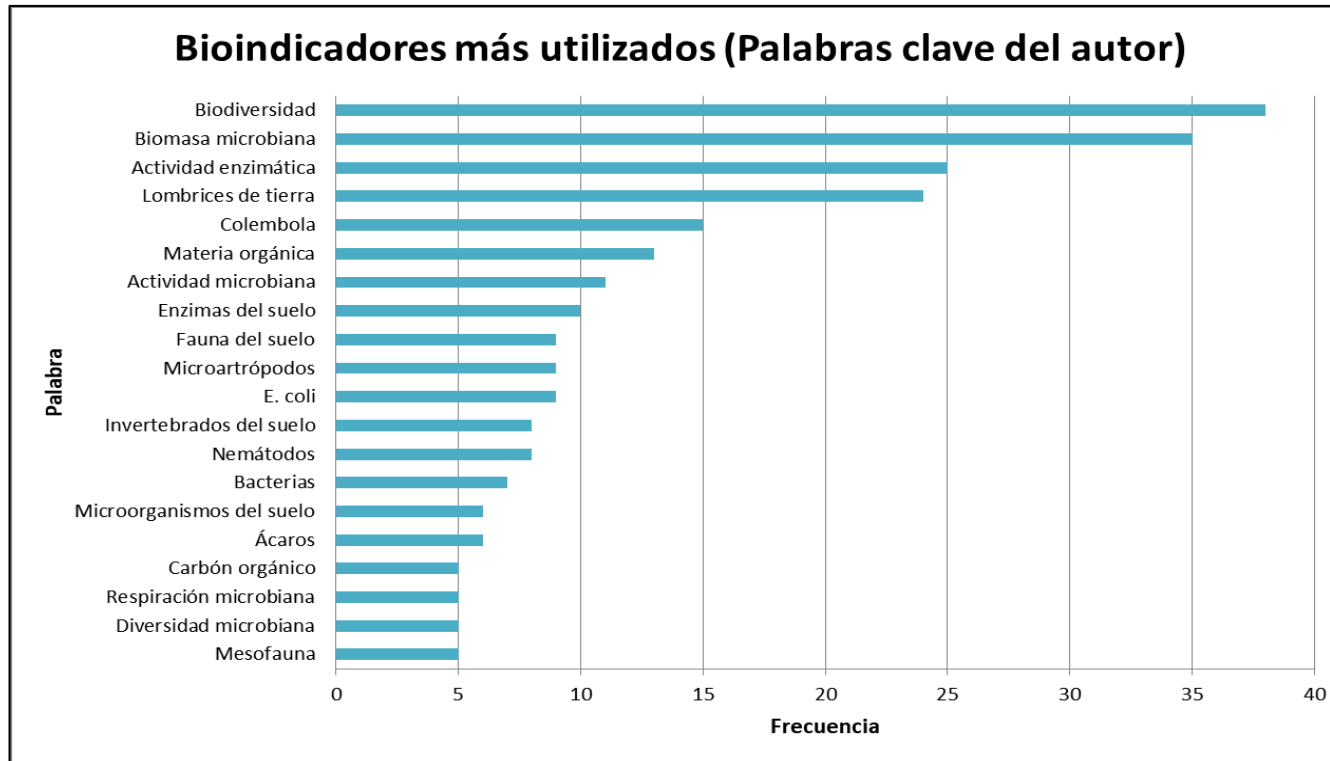


Figura 35. Bioindicadores más utilizados identificados mediante las palabras clave proporcionadas por los autores de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

El análisis de frecuencia de las palabras clave del autor y los respectivos filtros aplicados, nos proporcionan una lista de veinte bioindicadores que se podrían utilizar para evaluar la calidad del suelo. De esta lista de bioindicadores los más destacados son: la biodiversidad, la biomasa microbiana, la actividad enzimática, las lombrices de tierra, los colémbolos y la materia orgánica.

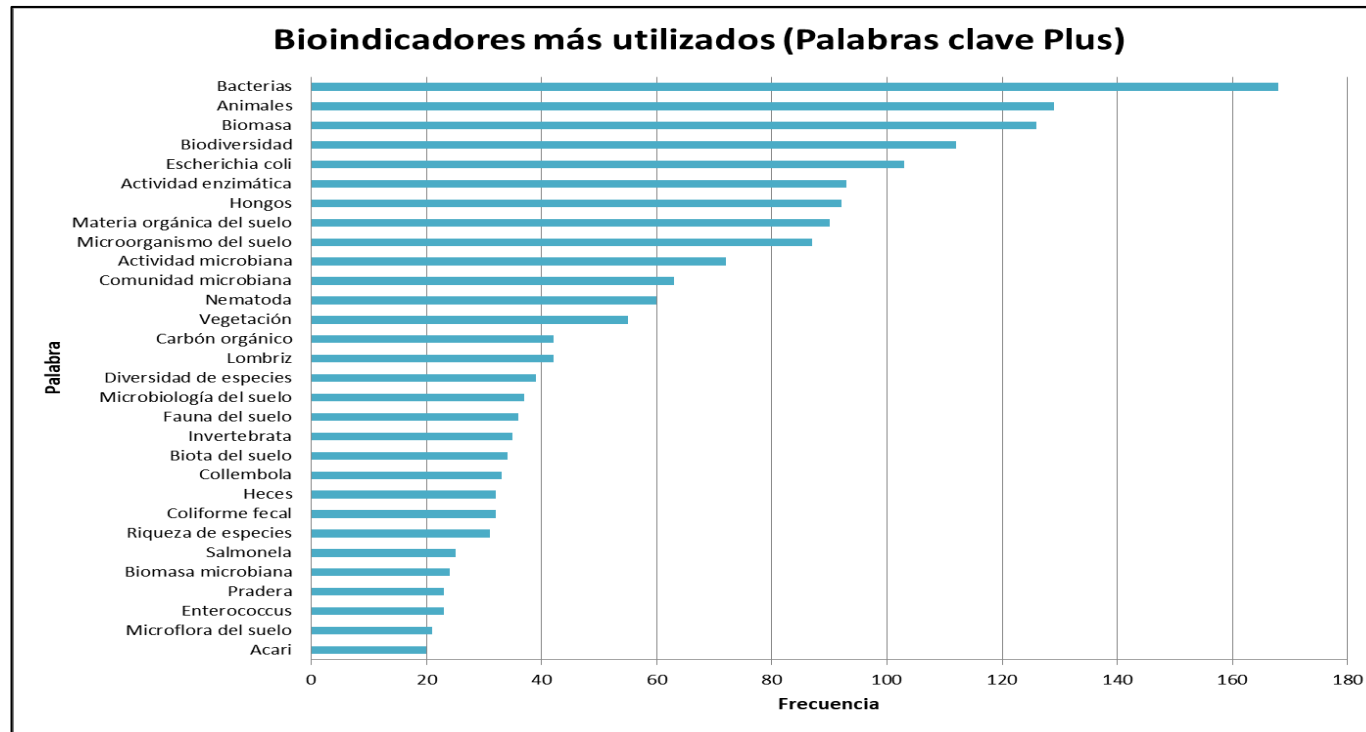


Figura 36. Bioindicadores más utilizados identificados mediante las palabras plus de los documentos relacionados a los bioindicadores de la calidad del suelo.

El análisis de frecuencia de las palabras clave plus y los respectivos filtros aplicados, nos proporcionan una lista de treinta bioindicadores que se podrían utilizar para evaluar la calidad del suelo. De esta lista de bioindicadores los más destacados son: las bacterias, los animales, la biomasa, la biodiversidad, la bacteria *Escherichia coli* y la actividad enzimática.

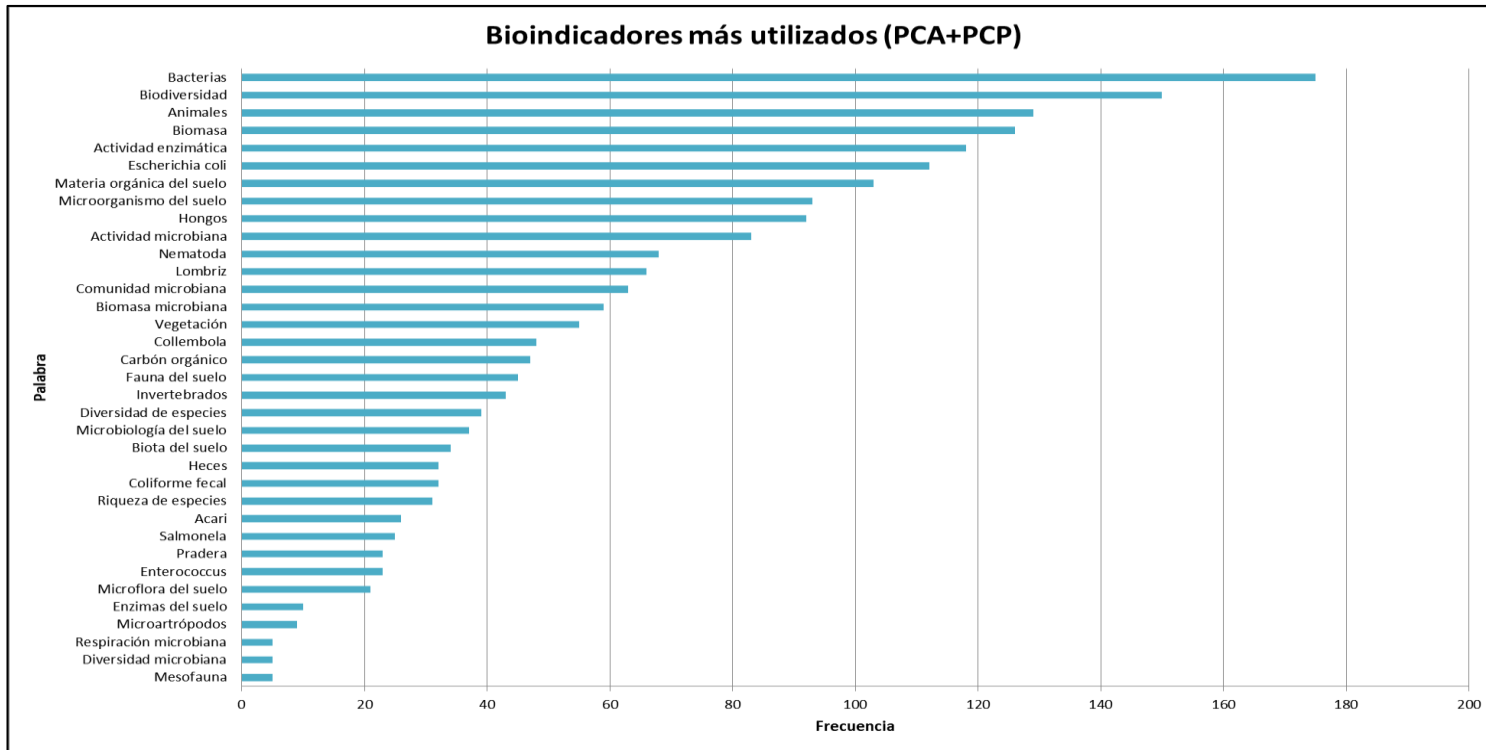


Figura 37. Bioindicadores más utilizados identificados mediante la aplicación del índice global (PAC+PCP).

La sumatoria entre las ocurrencias de los veinte bioindicadores identificados mediante el análisis de las palabras clave del autor, que coincidían con los treinta bioindicadores identificados mediante el análisis de las palabras clave plus, nos proporciona una lista global de treinta y cinco bioindicadores; de los cuales se destacan: las bacterias, la biodiversidad, los animales, la biomasa y la actividad enzimática.

4. DISCUSIÓN

La metodología aplicada en la presente propuesta, nos permitió identificar y proponer una lista de bioindicadores potencialmente aplicables para evaluar e inferir la calidad del suelo. Entre el compendio de términos obtenidos, logramos identificar algunos bioindicadores como: materia orgánica, lombrices de tierra, biomasa microbiana, hongos, microartrópodos, actividad enzimática, diversidad de especies, carbono orgánico, invertebrados, nematodos, bacterias, colémbolos, respiración microbiana, ácaros y mesofauna. Los anteriores bioindicadores, han sido ampliamente señalados e identificados en distintos trabajos como los realizados por (Bünemann et al., 2018; Martínez et al., 2010; Ritz et al., 2009; Stone et al., 2016).

No obstante, también logramos identificar términos como: *Salmonella*, *Esterococcus*, heces y coliforme fecal, que hacen evidente la no muy explícita relación que suele presentarse entre la calidad del suelo y la calidad y manejo de las aguas residuales como lo mencionan (Abd-Elwahed, 2018; Bedbabis et al., 2015; Pachepsky et al., 2006; Sánchez et al., 2017).

Asimismo, en nuestro índice global aparecen términos como pradera (*grassland*), animales y vegetación, que suelen ser utilizados como indicadores en diferentes metodologías visuales para la evaluación de la calidad del suelo, como las establecidas por (Alaoui et al., 2020; Mueller et al., 2014; Rutgers et al., 2008). No obstante, debido a que el índice general se calculó en base a la ocurrencia de palabras, estos términos también pueden considerarse como el producto de una falencia que presenta la actual metodología.

Pese a que en el índice global no aparecen algunos bioindicadores considerados importantes para evaluar la calidad del suelo como: las hormigas, las enzimas fosfatasas, las leguminosas, entre otros., (Ritz et al., 2009; Schloter et al., 2018); estos bioindicadores, junto a otros términos importantes relacionados con la calidad del suelo, como: las prácticas de manejo de la tierra, los biomarcadores, la

bioacumulación, entre otros., pueden ser identificados en la red de coocurrencias generada a partir de las palabras clave de los documentos.

Como demuestran nuestros resultados preliminares, con la metodología aquí aplicada pudimos identificar a varios de los bioindicadores para evaluar la calidad del suelo, más utilizados por la comunidad científica. Sin embargo, a diferencia de las revisiones e identificaciones relacionadas a la calidad del suelo, realizadas con el enfoque de revisión bibliográfica tradicional, como las desarrolladas por (Bünemann et al., 2018; Jamil et al., 2016; Martinez et al., 2010; Schoenholtz et al., 2000; Teng et al., 2014; Wienhold et al., 2004); nuestra aproximación basada en diferentes análisis bibliométricos y en la generación de redes de coocurrencias, también nos permitió obtener información adicional relevante como: la producción científica anual, la producción científica por países, las fuentes, instituciones y autores más relevantes, así como las palabras clave más otorgadas por los autores y las palabras clave plus más asignadas por la plataforma Scopus.

Asimismo, tal y como menciona (Holden et al., 2005), pese a que el nivel de análisis de los documentos, no permite realizar una revisión y presentación en detalle de los diferentes bioindicadores de la calidad del suelo, como la que realizan (Bünemann et al., 2018; Martinez et al., 2010); al poder analizar un mayor número de documentos podemos presentar un panorama más comprensivo, que puede ser utilizado como una referencia inicial, para los diferentes agentes interesados en incluir a los bioindicadores dentro de los parámetros establecidos para el análisis de la calidad del suelo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los análisis y resultados preliminares de esta propuesta, nos muestran que la generación de la investigación relacionada a los bioindicadores de la calidad del suelo, presenta un desarrollo relativamente temprano en comparación con los indicadores y parámetros químicos y físicos. No obstante, aunque en un principio incipiente, la producción relacionada a la identificación, implementación y

consideración de los indicadores biológicos, ha ganado popularidad en las últimas décadas, tal y como lo señalan (Bastida et al., 2008; Bünemann et al., 2018; Fazekašová, 2012; García, 2012).

Asimismo, la producción científica relacionada a los bioindicadores de la calidad del suelo todavía no presenta una colaboración internacional importante, siendo la mayoría de documentos producidos entre la colaboración de autores de un solo país, los cuales pertenecen principalmente a los cinco países que más producción científica y más afiliaciones relevantes en torno a esta temática presentan (estos son: Estados Unidos, Brasil, China, Francia e Italia).

El análisis factorial de correspondencia, al igual que las redes de coocurrencias de palabras clave, nos permitieron identificar aquellos términos relacionados con los bioindicadores de la calidad del suelo, más empleados por la comunidad científica. Asimismo, mediante la aplicación del índice global pudimos delimitar y generar una lista de treinta bioindicadores entre los cuales aparecen: las bacterias, la biodiversidad, la biomasa, la actividad enzimática, las lombrices, los nematodos, la actividad microbiana, los hongos, entre otros.

La lista anterior puede ser utilizada como punto de referencia para futuros análisis y proyectos de monitoreo relacionados con la calidad del suelo, como aquellos direccionados al análisis y cuantificación de la resiliencia de los suelos periurbanos en ciudades andinas. No obstante, debe recalarse que tal y como menciona (Wienhold et al., 2009), los indicadores para evaluar la calidad del suelo necesitan ser ajustados, tanto para los distintos usos, como para las características presentan los suelos en las diferente regiones y localidades de planeta.

Por lo tanto, los bioindicadores identificados en esta propuesta se presentan como términos de referencia que pueden ser utilizados para la creación de diversos índices de monitoreo y evaluación, adaptados a las diferentes condiciones y objetivos a los que aspiran los distintos gestores del recurso suelo.

Por lo cual, basados en esta aproximación teórica, se recomienda que mediante el establecimiento de diferentes zonas de muestreo, como las que implementó (Rutgers et al., 2008), se realicen más índices de referencia que determinen cuales son los indicadores biológicos más apropiados para evaluar la calidad de los suelos tropicales y andinos, bajo los distintos parámetros e intereses que se presentan en relación con el uso y aprovechamiento del suelo.

Igualmente, con la metodología aquí presentada, se sugiere realizar un análisis general de la información relacionada con los indicadores de la calidad del suelo (incluyendo los enfoques físicos, químicos y biológicos), debido a que en su gran mayoría, las revisiones bibliográficas relacionadas con esta temática, han sido realizadas aplicando el método tradicional de revisión bibliográfica (Bastida et al., 2008; Bünemann et al., 2018; Jamil et al., 2016; Martinez et al., 2010; Schoenholtz et al., 2000; Teng et al., 2014; Wienhold et al., 2004); por lo cual, resultaría interesante realizar una comparación de los resultados obtenidos con la aplicación de ambas metodologías.

6. LITERATURA CITADA

- Abd-Elwahed, M. S. (2018). Influence of long-term wastewater irrigation on soil quality and its spatial distribution. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(2), 191-199. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2018.11.004>
- Achard, F., Beuchle, R., Mayaux, P., Stibig, H. J., Bodart, C., Brink, A., Carboni, S., Descleé, F., Donnay, F., Eva, H., Lupi, A. Rasi, R., Seliger, R., y Simonetti, D. (2014). Determination of tropical deforestation rates and related carbon losses from 1990 to 2010. *Global change biology*, 20(8), 2540-2554. <https://doi.org/10.1111/gcb.12605>
- Alaoui, A., Barão, L., Ferreira, C. S., Schwilch, G., Basch, G., Garcia-Orenes, F., Morugan, A., Mataix-Solera, J., Kosmas, C., Glavan, M., Szabó, B., Hermann, T., Vizitiu, O., Lipiec, J., Fraç, M., Reintam, E., Xu, M., Di, J., Fan, H., Sukkel, W., Lemesle, J., Geissen, V., y Fleskens, L. (2020).

Visual assessment of the impact of agricultural management practices on soil quality. *Agronomy journal*, 112(4), 2608-2623. DOI: 10.1002/agj2.20216

Alexandratos, N. (1999). World food and agriculture: outlook for the medium and longer term. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(11), 5908-5914. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.11.5908>

Anderson, E., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., Cordero, D., Gast, F., Jaimes, E. y Ruiz, D. (2011). Consequences of climate change for ecosystems and ecosystem services in the tropical Andes. *Climate change and biodiversity in the tropical Andes*, 1, 1-18.

Aria, M., y Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

Austin, K., González, M., Schaffer, D., Schwantes, A., y Swenson, J. (2017). Trends in size of tropical deforestation events signal increasing dominance of industrial-scale drivers. *Environmental Research Letters*, 12(5), 054009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6a88>

Bai, Z. G., Dent, D. L., Olsson, L., y Schaepman, M. (2008). Proxy global assessment of land degradation. *Soil use and management*, 24(3), 223-234. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2008.00169.x>

Bandick, A., y Dick, R. (1999). Field management effects on soil enzyme activities. *Soil biology and biochemistry*, 31(11), 1471-1479. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00051-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00051-6)

Baskin, Y. (2006). *Under ground: how creatures of mud and dirt shape our world*. Island Press.

Bastida, F., Zsolnay, A., Hernández, T., & García, C. (2008). Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. *Geoderma*, 147(3-4), 159-171. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.08.007>

- Bedbabis, S., Trigui, D., Ahmed, C. B., Clodoveo, M. L., Camposeo, S., Vivaldi, G. A., y Rouina, B. B. (2015). Long-terms effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil, yield and olive oil quality. *Agricultural Water Management*, 160, 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.023>
- Bhowmik, A., Fortuna, A. M., Cihacek, L. J., Bary, A. I., y Cogger, C. G. (2016). Use of biological indicators of soil health to estimate reactive nitrogen dynamics in long-term organic vegetable and pasture systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 103, 308-319. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.09.004>
- Bipin, B., Richa, R., Ajay, K., Sanjay, K. (2019). Soil and Human. *Agri Res y Tech: Open Access J*; 20(3): 556127. DOI: 10.19080/ARTOAJ.2019.20.556127
- Bouma, J. (2002). Land quality indicators of sustainable land management across scales. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 88(2), 129-136. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00248-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00248-1)
- Bünemann, E., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R., Deyn, G., Goede, R., Fleskens, L., Geissend, V., Kuyper, T., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., Groenigen, J., y Brussaard, L. (2018). Soil quality—A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Buytaert, W., Cuesta-Camacho, F., y Tobón, C. (2011). Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 19-33. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00585.x>
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., y Schiavo, H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del suelo*, 25(2).

- Cohen, B. (2004). Urban growth in developing countries: a review of current trends and a caution regarding existing forecasts. *World development*, 32(1), 23-51. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2003.04.008>
- Cortet, J., Gomot-De Vaufleury, A., Poinso-Balaguer, N., Gomot, L., Texier, C., y Cluzeau, D. (1999). The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. *European Journal of Soil Biology*, 35(3), 115-134. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(00\)00116-3](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(00)00116-3)
- Crutzen, P. J. (2016). Geology of mankind. In Paul J. Crutzen: A Pioneer on Atmospheric Chemistry and Climate Change in the Anthropocene (pp. 211-215). Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-27460-7
- Cueto, O. G., Coronel, C., y Suárez, M. H. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2), 57-63.
- De Bruyn, L. (1999). Ants as bioindicators of soil function in rural environments. In *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes* (pp. 425-441). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00047-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00047-X)
- Dillehay, T. D., Rossen, J., Andres, T. C., y Williams, D. E. (2007). Preceramic adoption of peanut, squash, and cotton in northern Peru. *Science*, 316(5833), 1890-1893. DOI: 10.1126/science.1141395
- Ding, X., y Yang, Z. (2020). Knowledge mapping of platform research: a visual analysis using VOSviewer and CiteSpace. *Electronic Commerce Research*, 1-23. <https://doi.org/10.1007/s10660-020-09410-7>
- Dion, P. (2010). *Soil Biology and Agriculture in the Tropics*. Springer. DOI: 10.1007/978-3-642-05076-3
- Du, W., Sun, Y., Ji, R., Zhu, J., Wu, J., y Guo, H. (2011). TiO₂ and ZnO nanoparticles negatively affect wheat growth and soil enzyme activities in agricultural soil. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(4), 822-828. <https://doi.org/10.1039/C0EM00611D>

- Esfahani, H., Tavasoli, K., y Jabbarzadeh, A. (2019). Big data and social media: A scientometrics analysis. *International Journal of Data and Network Science*, 3(3), 145-164. DOI:10.5267/J.IJDNS.2019.2.007
- Fazekašová, D. (2012). Evaluation of soil quality parameters development in terms of sustainable land use. *Sustainable development-authoritative and leading edge content for environmental management*, 435-458. <http://dx.doi.org/10.5772/48686>
- Foissner, W. (1999). Soil protozoa as bioindicators: pros and cons, methods, diversity, representative examples. In *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes* (pp. 95-112). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00032-8)
- Foley, J., DeFries, R., Asner, G., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S., Chapin, S., Coe, M., Daily, G., Gibbs, H., Helkowsky, J., Holloway, T., Howard, E., Kucharik, C., Monfreda, C., Patz, J., Prentice, C., Ramankutty, N., y Helkowski, J. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574. DOI: 10.1126/science.1111772
- Fonte, S. J., Vanek, S. J., Oyarzun, P., Parsa, S., Quintero, D. C., Rao, I. M., y Lavelle, P. (2012). Pathways to agroecological intensification of soil fertility management by smallholder farmers in the Andean highlands. In *Advances in agronomy* (Vol. 116, pp. 125-184). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394277-7.00004-X>
- Food and Agriculture Organization y United Nations Environment Programme. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Garbisu, C., Becerril, J. M., Epelde, L., y Alkorta, L. (2007). Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. *Revista Ecosistemas*, 16(2).

- García, Y., Ramírez, W., y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y forrajes*, 35(2), 125-138.
- Gibbs, H. K., Ruesch, A. S., Achard, F., Clayton, M. K., Holmgren, P., Ramankutty, N., y Foley, J. A. (2010). Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(38), 16732-16737. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910275107>
- Hallett, P., Mooney, S., y Whalley, R. (2013). Soil physics: New approaches and emerging challenges. *European Journal of Soil Science*, 64(3), 277-278. <https://doi.org/10.1111/ejss.12053>
- Harris, J. (2003). Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. *European Journal of Soil Science*, 54(4), 801-808. <https://doi.org/10.1046/j.1351-0754.2003.0559.x>
- Hartemink, A. E. (2016). The definition of soil since the early 1800s. In *Advances in Agronomy* (Vol. 137, pp. 73-126). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.001>
- Hernandez, M., Lambán, M., Albajez, J., Santolaria, J., Ng Corrales, L., y Royo, J. (2020). Systematic literature review: Integration of additive manufacturing and industry 4.0. *Metals*, 10(8), 1061. <https://doi.org/10.3390/met10081061>
- Holden, G., Rosenberg, G., y Barker, K. (2005). Tracing thought through time and space: A selective review of bibliometrics in social work. *Social Work in Health Care*, 41(3-4), 1-34. https://doi.org/10.1300/J010v41n03_01
- Hooke, R. L., Martín-Duque, J. F., y Pedraza, J. (2012). Land transformation by humans: a review. *GSA today*, 22(12), 4-10. DOI: 10.1130/GSAT151A.1
- Hosonuma, N., Herold, M., De Sy, V., De Fries, R., Brockhaus, M., Verchot, L., Angelden, A., y Romijn, E. (2012). An assessment of deforestation and

forest degradation drivers in developing countries. *Environmental Research Letters*, 7(4), 044009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044009>

Igwe, C.A. (2011). *Tropical Soils, Physical Properties*. Encyclopedia of Agrophysics. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1_258

Intergovernmental Panel On Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*.

Jamil, N., Sajjad, N., Ashraf, H., Masood, Z., Bazai, Z. A., Khan, R., Anjum, N., Akmal, F., Arbab, N., Tareen, P., y Khan, R. (2016). Physical and Chemical Properties of Soil Quality Indicating Forests Productivity: A Review. *American-Eurasian Journal of Toxicological Sciences*. DOI: 10.5829/idosi.aejts.2016.8.2.10312

Jie, C., Jing-Zhang, C., Man-Zhi, T., y Zi-tong, G. (2002). Soil degradation: a global problem endangering sustainable development. *Journal of Geographical Sciences*, 12(2), 243-252. <https://doi.org/10.1007/BF02837480>

Karimi, A., Borujeni, I. E., y Ganjehie, M. G. (2018). Description of Soil Evolution in Southern Mashhad City Using Jenny's and Johnson and Watson-Stegner's Conceptual Models. *Pedosphere*, 28(4), 656-665. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60398-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60398-9)

Klein, K., Beusen, A., Van Dreht, G., y De Vos, M. (2011). The HYDE 3.1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12,000 years. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 73-86. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00587.x>

Kromp, B. (1999). Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1-3), 187-228. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00037-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00037-7)

- Lambin, E. F., Geist, H. J., y Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources*, 28(1), 205-241. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Larson, G., Piperno, D., Allaby, R., Purugganan, M., Andersson, L., Arroyo, M., Barton, L., Vigueira, C., Denham, T., Dobney, K., Doust, A., Gepts, P., Gilbert, T., Gremillion, K., Lucasa, L., Lukens, L., Marshall, F., Olsen, K., Pires, C.,... Fuller, D. (2014). Current perspectives and the future of domestication studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(17), 6139-6146. <https://doi.org/10.1073/pnas.1323964111>
- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., y Rossi, J. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European journal of soil biology*, 42, S3-S15. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.002>
- Lewis, S., y Maslin, M. A. (2015). Defining the anthropocene. *Nature*, 519(7542), 171-180. <https://doi.org/10.1038/nature14258>
- Lopez, R., y Siobhan Fennessy, M. (2002). Testing the floristic quality assessment index as an indicator of wetland condition. *Ecological Applications*, 12(2), 487-497. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2002\)012\[0487:TTFQAI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[0487:TTFQAI]2.0.CO;2)
- Maranguit, D., Guillaume, T., y Kuzyakov, Y. (2017). Land-use change affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils. *Catena*, 149, 385-393. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.10.010>
- Marc, P., Canard, A., y Ysnel, F. (1999). Spiders (Araneae) useful for pest limitation and bioindication. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1-3), 229-273. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00038-9)
- Marinari, S., Mancinelli, R., Campiglia, E., y Grego, S. (2006). Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming

- systems in Central Italy. *Ecological Indicators*, 6(4), 701-711.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.08.029>
- Martinez, M. M., Gutiérrez, V., Janssens, M., y Ortega-Blu, R. (2010). Biological soil quality indicators: a review. *Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology*, 1, 319-328.
- Minami, K. (2009). Soil and humanity: Culture, civilization, livelihood and health. *Soil science and plant nutrition*, 55(5), 603-615.
<https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00401.x>
- Molina, V., Pando-Moreno, M., Sánchez-Salas, J., González, H., Alanís, E., y Cantú, I. (2012). La resiliencia del recurso suelo. *Editorial Contenido*, 6(1), 15.
- Mothersill, C., y Seymour, C. (2016). Genomic instability and the spectrum of response to low radiation doses. In *Genome Stability* (pp. 601-614). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803309-8.00035-5>
- Mueller, L., Schindler, U., Shepherd, T., Ball, B. C., Smolentseva, E., Pachikin, K., Hu, C., Hennings, V., Sheudshen, A., Behrendt, A., Eulenstein, F., y Dannowski, R. (2014). The Muencheberg Soil Quality Rating for assessing the quality of global farmland. In *Novel measurement and assessment tools for monitoring and management of land and water resources in agricultural landscapes of Central Asia* (pp. 235-248). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01017-5_13
- Oehl, F., Laczko, E., Bogenrieder, A., Stahr, K., Bösch, R., van der Heijden, M., y Sieverding, E. (2010). Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(5), 724-738.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.01.006>

- Oldeman, L., Hakkeling, R. T., y Sombrock, W. G. (1991). Global assessment of soil degradation (GLASOD). World map of the status of human-induced soil degradation, ISRIC Wageningen.
- O'Neill, B., Oppenheimer, M., Warren, R., Hallegatte, S., Kopp, R., Pörtner, H., Scholes, R., Birkmann, J., Foden, W., Licker, R., Mach, K., Marbaix, P., Mastrandrea, M., Price, J., Takahashi, K., Ypersele, J. P., y Mach, K. (2017). IPCC reasons for concern regarding climate change risks. *Nature Climate Change*, 7(1), 28-37. <https://doi.org/10.1038/nclimate3179>
- Pachepsky, Y. A., Sadeghi, A. M., Bradford, S. A., Shelton, D. R., Guber, A. K., y Dao, T. (2006). Transport and fate of manure-borne pathogens: Modeling perspective. *Agricultural water management*, 86(1-2), 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.06.010>
- Paoletti, M. (1999). The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1-3), 137-155. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00034-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00034-1)
- Pascual, J. A., Garcia, C., Hernandez, T., Moreno, J. L., y Ros, M. (2000). Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(13), 1877-1883. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00161-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00161-9)
- Pennock, D., McKenzie, N., y Montanarella, L. (2015). Status of the World's Soil Resources. Technical Summary FAO, Rome, Italy.
- Perianes, A., Waltman, L., y Van Eck, N. (2016). Constructing bibliometric networks: A comparison between full and fractional counting. *Journal of Informetrics*, 10(4), 1178-1195. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.10.006>
- Poulenard, J., Podwojewski, P., Janeau, J. L., y Collinet, J. (2001). Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: effect of tillage and burning. *Catena*, 45(3), 185-207. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00148-5](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00148-5)

- Ritsema, C., Lynden, G. W., Jetten, V. G., y Jong, S. M. (2005). DEGRADATION. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 370–377. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00091-6>
- Ritz, K., Black, H. I., Campbell, C. D., Harris, J. A., y Wood, C. (2009). Selecting biological indicators for monitoring soils: a framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. *Ecological Indicators*, 9(6), 1212-1221. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.02.009>
- Roa, M., y Brown, S. (2016). Caracterización de la acumulación de carbono en pequeños humedales andinos en la cuenca alta del Río Barbas (Quindío, Colombia). *Caldasia*, 38(1), 117-135. <http://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v38n1.57833>
- Rutgers, M., Mulder, C., Schouten, A. J., Bloem, J., Bogte, J. J., Breure, A. M., Brussaard, L., De Goede, R., Faber, J., Jagers, G., Keidel, H., Korthals, G., Smeding, F.W., Ter Berg, C., y Van Eekeren, N. (2008). Soil ecosystem profiling in the Netherlands with ten references for biological soil quality. RIVM report 607604009.
- Sánchez-González, A., Chapela-Lara, M., Germán-Venegas, E., Fuentes-García, R., del Río-Portilla, F., y Siebe, C. (2017). Changes in quality and quantity of soil organic matter stocks resulting from wastewater irrigation in formerly forested land. *Geoderma*, 306, 99-107. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.07.009>
- Schlöter, M., Dilly, O., y Munch, J. C. (2003). Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1-3), 255-262. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00085-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00085-9)
- Schlöter, M., Nannipieri, P., Sørensen, S., y van Elsas, J. D. (2018). Microbial indicators for soil quality. *Biology and Fertility of Soils*, 54(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00374-017-1248-3>
- Schoenholtz, S. H., Van Miegroet, H., y Burger, J. A. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality:

- challenges and opportunities. *Forest ecology and management*, 138(1-3), 335-356. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00423-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00423-0)
- Seybold, C., Herrick, J. E., y Brejda, J. J. (1999). Soil resilience: a fundamental component of soil quality. *Soil Science*, 164(4), 224-234. DOI: 0038-075C/99/1644-224-234
- Silv, T., Christofolletti, C. A., Bozzatto, V., y Fontanetti, C. S. (2014). The use of diplopods in soil ecotoxicology – A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 103, 68-73. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.10.025>
- Steffen, W., Crutzen, P. J., y McNeill, J. R. (2007). The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(8), 614-621. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614: TAAHNO\] 2.0.CO; 2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614: TAAHNO] 2.0.CO; 2)
- Stone, D., Ritz, K., Griffiths, B. G., Orgiazzi, A., y Creamer, R. E. (2016). Selection of biological indicators appropriate for European soil monitoring. *Applied Soil Ecology*, 97, 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.005>
- Tan, Q., y Wang, G. (2016). Decoupling of nutrient element cycles in soil and plants across an altitude gradient. *Scientific reports*, 6, 34875. <https://doi.org/10.1038/srep34875>
- Teng, Y., Wu, J., Lu, S., Wang, Y., Jiao, X., y Song, L. (2014). Soil and soil environmental quality monitoring in China: a review. *Environment international*, 69, 177-199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.04.014>
- Van Bruggen, A. H., y Semenov, A. M. (2000). In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 13-24. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00068-8](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00068-8)

- Van Eck, N., y 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, H. (2017). A new definition of soil. *Crops, Soils, Agronomy News*, 62(10), 20-21. <https://doi.org/10.2134/csa2017.62.1016>
- Vargas, R. (2010). Indicadores biológicos para la evaluación de la calidad de los suelos. In XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Granada: Estación Experimental del Zaidín, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEZ-CSIC).
- Vuille, M., Bradley, R. S., Werner, M., y Keimig, F. (2003). 20th century climate change in the tropical Andes: observations and model results. In *Climate variability and change in high elevation regions: Past, present and future* (pp. 75-99). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-015-1252-7_5
- Welsh, R. (2004). On the ecological roles of salamanders. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 405-434. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130116>
- Wienhold, B. J., Andrews, S. S., y Karlen, D. L. (2004). Soil quality: a review of the science and experiences in the USA. *Environmental Geochemistry and Health*, 26(2), 89-95. <https://doi.org/10.1023/b:egah.0000039571.59640.3c>
- Wienhold, B. J., Karlen, D. L., Andrews, S. S., y Stott, D. E. (2009). Protocol for indicator scoring in the soil management assessment framework (SMAF). *Renewable agriculture and food systems*, 260-266. DOI: 10.1017/S1742170509990093
- Wilson, M. (2017). Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. Ediciones Inta.
- Winding, A., Hund-Rinke, K., y Rutgers, M. (2005). The use of microorganisms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology*

and Environmental Safety, 62(2), 230-248.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.03.026>

Yang, X., Wei, K., Chenhua, C., y Chen, L. Soil phosphorus composition and phosphatase activities along altitudes of alpine tundra in Changbai Mountains, China. Chinese Geographical Science, 26(1): 90–98.<https://doi.org/10.1007/s11769-015-0786-6>

Yarzabal L, Chica E.J., Quichimbo P. (2017) Microbial Diversity of Tropical Andean Soils and Low-Input Sustainable Agriculture Development. En:Meena V., Mishra P., Bisht J., Pattanayak A. (eds) Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture (pp. 207–234). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-981-10-5589-8_10

Zhang, J., Yu, Q., Zheng, F., Long, C., Lu, Z., y Duan, Z. (2016). Comparing keywords plus WOS and author keywords: A case study of patient adherence research. Journal of the Association for Information Science and Technology, 67(4), 967-972. <https://doi.org/10.1002/asi.23437>