

Perspectivas científicas del agro

Serie de documentos de trabajo

Vigilancia científica sobre bioprospección limitada al área de Ciencias Agrícolas y Biológicas

Leidy Johanna Cárdenas Solano
Diego Hernando Flórez Martínez

Colaboración de:
Ivette Marcela Cabrales Campo
Carol Viviana Amaya Gómez





Serie de documentos de trabajo

Perspectivas científicas del agro

Vigilancia científica sobre bioprospección limitada al área de Ciencias Agrícolas y Biológicas

Autores

Leidy Johanna Cárdenas Solano
Diego Hernando Flórez Martínez

Colaboración de:

Ivette Marcela Cabrales Campo
Carol Viviana Amaya Gómez

Mosquera, Diciembre 2024

La elaboración de este documento se deriva de las acciones de monitoreo y seguimiento de información científica, desarrollados por el Departamento de Inteligencia Científica y Tecnológica de la Dirección de Investigación y Desarrollo de Agrosavia.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Sede Central. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera, Cundinamarca. Código postal 250047,
Colombia.

Citación sugerida: Cárdenas-Solano, L.J., Flórez-Martínez, D.F., Cabrales-Campo, I.M., & Amaya-Gómez, C.V. (2024). *Vigilancia científica sobre bioprospección limitada al área de Ciencias Agrícolas y Biológicas*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

DOI: 10.21930/agrosavia.vigilanciainvestigativa.2024.4

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

<http://www.agrosavia.co>



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Tabla de Contenido

Introducción	7
Análisis temático general.....	10
Análisis según mapa de transformación del Foro Económico mundial.....	11
Estrategia de búsqueda.....	13
Indicadores bibliométricos	14
Dinámica de publicaciones	14
Indicadores de producción científica.....	16
Referentes temáticos en investigación	29
Tendencias temáticas y evolución en tópicos de investigación	32
Red de coocurrencia de tópicos.....	35
Mapa temático principales tendencias de investigación	38
Bibliografía.....	42

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de transformación de bioprospección	12
Figura 2. Producción de publicaciones científicas	15
Figura 3. Principales países según producción bibliográfica en bioprospección	18
Figura 4. Líneas temáticas en investigación.....	32
Figura 5. Tópicos tendenciales.....	33
Figura 6. Evolución temática	34
Figura 7. Red de coocurrencia temática – Tendencias Generales	36
Figura 8. Mapa temático principales tendencias de investigación	41

Lista de Tablas

Tabla 1. Indicadores bibliométricos de la producción científica	17
Tabla 2. Top 5 instituciones y Top 5 investigadores	20
Tabla 3. Principales fuentes de difusión y consulta	21
Tabla 4. Cinco Publicaciones más citadas	24
Tabla 5. Cinco Publicaciones más recientes	25
Tabla 6. Cinco referencias más citadas.....	28

Autores

Leidy Johanna Cardenas Solano, M.Sc.

Orcid: [0000-0001-5471-7160](https://orcid.org/0000-0001-5471-7160)

Ingeniera Industrial, MSc en Ingeniería Industrial enfocada en la gestión de la tecnología y la innovación, certificada como Ciudadana de Datos por Alianza Caoba y Científica de datos certificada por MinTIC y Correlation One, con conocimientos en ISO 27001:2013. Investigador reconocido por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia y Analista del Departamento de Inteligencia y Divulgación Científica de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. Formación en Platzi en Transformación Digital y más de 12 años de experiencia en valoración financiera de tecnologías, transferencia tecnológica y formulación de proyectos de I+D+i para el SGR, Minciencias, y CYTED. Docente universitaria, experiencia de investigación en Gestión de la Innovación Tecnológica y el Conocimiento y formulación de proyectos para la consecución de más de 13 mil millones que se ejecutan a través de proyectos financiados con beneficios tributarios. Las principales áreas de investigación comprenden la gestión del conocimiento, la gestión de la innovación, la gestión de la tecnología, la inteligencia competitiva, la vigilancia tecnológica, la cienciometría, el análisis de las cadenas de valor de la agricultura, la hoja de ruta tecnológica, el benchmarking, y la prospectiva tecnológica.

Diego Hernando Flórez Martínez

Orcid: [0000-0003-1246-6513](https://orcid.org/0000-0003-1246-6513)

Ingeniero químico, magíster en Ingeniería Industrial, MBA en transformación digital y doctor en Ingeniería-Industria y Organizaciones de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como jefe del Departamento de Inteligencia y Divulgación Científica y Tecnológica de AGROSAVIA, donde lidera las líneas de investigación en inteligencia y vigilancia estratégica para la I + D + i; divulgación pública de la ciencia, y gestión de datos e información científica. Su área de conocimiento y experticia abarca las líneas de gestión del conocimiento, vigilancia e inteligencia competitiva, planeación estratégica, cienciometría, prospectiva estratégica y tecnológica; el análisis de cadenas productivas agroindustriales y megatendencias, y el diseño de metodologías de planeación

estratégica a medida (Tailored methodologies). Es investigador asociado reconocido por el Minciencias y líder del grupo de investigación estudios socioeconómicos AGROSAVIA.

Ivette Marcela Cabrales Campo

Orcid: [0009-0007-0707-6058](https://orcid.org/0009-0007-0707-6058)

Microbióloga Industrial, Especialista en Gerencia Ambiental y Desarrollo Sostenible Empresarial, auditora interna certificada HSEQ ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018 e ISO/IEC 17025:2017. Con experiencia en aseguramiento y control de la calidad microbiológica a nivel industrial y en investigación en las áreas de microbiología ambiental y bioprospección de la diversidad microbiana. Actualmente se desempeña como Profesional de Apoyo a la Investigación del Departamento de Agrobiodiversidad de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, es facilitadora del Equipo Ágil de Bioprospección y miembro del Grupo de Investigación de Bioprospección de Biomoléculas y Microorganismos.

Carol Viviana Amaya Gómez

Orcid: [0000-0002-1881-7604](https://orcid.org/0000-0002-1881-7604)

Microbióloga Industrial de la Universidad Javeriana de Colombia, Maestría en Investigación y Avances en Microbiología y Doctorado con énfasis en microbiología y biología molecular de bacterias de La Universidad de Granada, España. Actualmente trabaja en el Centro de Investigación La Libertad de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia en Colombia en Villavicencio. Forma parte del equipo de curadores del Banco de Germoplasma Microbiano de Agrosavia. Dentro de su grupo de investigación, dirige el diseño y la realización de las estrategias de cribado para aislar y caracterizar microorganismos que puedan ser utilizados en procesos biotecnológicos o como ingredientes activos de bioproductos. Está especializada en la caracterización de fenotipos que emplean las cepas de bacterias y levaduras para establecer interacciones con animales o plantas, como la formación de biofilms, la motilidad o la producción de metabolitos secundarios. Es líder del Grupo de Investigación de Bioprospección de Biomoléculas y Microorganismos en AGROSAVIA.

Introducción

La bioprospección, definida como la búsqueda sistemática y organizada de productos útiles derivados de los recursos biológicos que pueden desarrollarse para la comercialización y los beneficios generales de la sociedad (Oyemitan, 2017), es considerada una herramienta esencial para explorar los recursos biológicos y aprovechar su potencial en sectores como la farmacéutica, la agricultura, la energía y la conservación ambiental. Este enfoque multidisciplinario integra conocimientos de biología, química, ecología y economía, consolidándose como un pilar para la sostenibilidad global y el desarrollo tecnológico. La creciente demanda por soluciones innovadoras y sostenibles ha puesto en evidencia la importancia de aprovechar los recursos naturales de manera responsable, promoviendo el equilibrio entre la explotación y la conservación de la biodiversidad.

Uno de los principales desafíos de la bioprospección radica en garantizar procesos sostenibles y éticos, especialmente en un contexto donde el acceso a recursos biológicos debe respetar la equidad y los derechos de las comunidades locales. En este sentido, el marco del Protocolo de Nagoya ha establecido lineamientos claros para la repartición justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de recursos genéticos, destacando la necesidad de una gobernanza efectiva. Este panorama adquiere mayor relevancia ante el creciente interés en productos naturales obtenidos de microorganismos, hongos, plantas e insectos.

Paralelamente, la bioprospección de organismos acuáticos ofrece oportunidades únicas en la producción de moléculas con aplicaciones biotecnológicas. Por ejemplo, se han investigado géneros de cianobacterias como *Nostoc sp.* capaces de fijar nitrógeno para el desarrollo de biofertilizantes empleados en agricultura o especies de microalgas como *Isochrysis galbana* capaces de producir fucoxantina que es usada como tratamiento contra el cáncer en el campo medicinal (Hosseini, Al-Jabri, Moheimani, Siddiqui, & Saadaoui, 2022). Sin embargo, estos avances enfrentan desafíos significativos. Las prácticas destructivas como la pesca de arrastre y la contaminación han generado una pérdida sustancial de biodiversidad y han alterado los ciclos biogeoquímicos, disminuyendo la capacidad de regeneración de estos ecosistemas. En este contexto, la implementación de tecnologías avanzadas y la aplicación de políticas de conservación son fundamentales para preservar estos entornos y garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

Además, la bioprospección no sólo debe centrarse en la explotación de recursos, sino también en la preservación de los ecosistemas que los sustentan. Estrategias como el análisis costo-beneficio en áreas de alta biodiversidad han demostrado ser efectivas para integrar los servicios ecosistémicos, como la captura de carbono y el potencial farmacéutico, en planes de conservación y desarrollo económico. Estos enfoques subrayan la necesidad de adoptar perspectivas interdisciplinarias que maximicen los beneficios de la bioprospección, al tiempo que minimizan sus impactos negativos.

En este contexto, este estudio tiene como objetivo principal realizar una vigilancia científica para identificar las tendencias emergentes asociadas con la bioprospección en el ámbito agrícola. Para ello, se empleará una metodología rigurosa que incluye la revisión de tendencias identificadas por el Foro Económico Mundial, el análisis de literatura científica, y la realización de análisis bibliométricos que permitan identificar a los principales autores, instituciones y tópicos relevantes. Este enfoque busca proporcionar una visión integral del estado actual y las perspectivas futuras de la bioprospección, destacando su potencial como motor para la innovación sostenible y la conservación de la biodiversidad.

El documento comprende un análisis tipo escaneo sobre la bioprospección limitada en el sector agropecuario a nivel mundial, utilizando herramientas de vigilancia científica. En este ejercicio se consultó la base de datos de Scopus® mediante una ecuación de búsqueda construida con las palabras clave identificadas para el tema de estudio con el equipo base del Programa de bioprospección, que surge en el marco de cumplimiento del objetivo de la DID que busca promover la estructuración y desarrollo de planes, programas y proyectos enmarcados en las agendas territoriales y alineados con los enfoques estratégicos, para recibir sus comentarios y ajustes. Posteriormente, se descargó el corpus de información sin limitar o restringir la ventana de observación en el área de agricultura y ciencias biológicas, priorizando publicaciones tipo artículo científico, conferencias o ponencias y artículos de revisión. Posteriormente, con los metadatos recuperados, se identificaron principales tendencias de investigación de acuerdo con la relevancia y el nivel de desarrollo mediante la elaboración de un mapa temático con indicadores cuantitativos elaborado con la herramienta Bibliometrix® v 4.3.0 (Aria & Cuccurullo, 2017).

Con relación a la identificación de clústeres con tópicos de investigación afines se utilizó software libre VOSviewer® v 1.6.20 (van Eck & Waltman, 2010), herramienta que a través

de cálculos algorítmicos permite analizar la coocurrencia de palabras claves visualizada en una red representada en un gráfico de nodos y líneas de relacionamiento.

Análisis temático general

La bioprospección tiene una importancia estratégica para AGROSAVIA, ya que se alinea directamente con los objetivos planteados en su "Marco Estratégico Corporativo 2018-2028" y sus redes de innovación. Este enfoque representa una oportunidad para explorar y aprovechar los recursos biológicos, promoviendo el desarrollo de tecnologías y soluciones sostenibles que beneficien al sector agropecuario colombiano. La bioprospección puede contribuir al desarrollo de soluciones innovadoras dentro de las áreas prioritarias identificadas por AGROSAVIA, como el cacao, frutales, cultivos transitorios y agroindustriales, raíces y tubérculos, y ganadería. Este enfoque permite el descubrimiento de compuestos bioactivos y genes de interés que pueden ser aplicados en el mejoramiento genético, manejo fitosanitario, desarrollo de productos agroindustriales y sostenibilidad ambiental.

En un contexto de cambio climático, se evidencia a través de los análisis realizados por AGROSAVIA en microorganismos y especies vegetales, su compromiso con la innovación en el sector agrícola y la sostenibilidad ambiental. Los estudios indican que la bioprospección es clave para identificar recursos biológicos con aplicaciones en la mejora de cultivos, desarrollo de biofertilizantes, agentes antimicrobianos y productos biotecnológicos. Este enfoque permite optimizar el uso de microorganismos endófitos y rizobacterias, ampliamente reconocidos por su capacidad de promover el crecimiento vegetal y contribuir a la resiliencia frente a enfermedades.

El análisis preliminar de bioprospección en microorganismos destaca cómo los géneros más representativos *Saccharomyces*, *Pseudomonas*, y *Trichoderma* identificándose que tienen un alto potencial para aplicaciones agrícolas entre las que se incluyen la biofertilización, el biocontrol y la biorremediación. La interacción entre clústeres temáticos sobre biodiversidad, bioactividad y genómica con sostenibilidad subraya la relevancia de este enfoque para abordar retos como el cambio climático y la seguridad alimentaria. AGROSAVIA, a través de estas investigaciones, busca posicionarse como líder en la generación de conocimiento y el aprovechamiento de estos recursos.

La priorización de especies vegetales por parte de AGROSAVIA refuerza su interés en el desarrollo de estrategias agrícolas más eficientes y sostenibles. Estas iniciativas integran

la bioprospección con las agendas territoriales para promover el uso racional y ético de los recursos naturales, impulsando soluciones adaptadas a las necesidades locales y globales. Dado que Colombia es el segundo país con mayor biodiversidad en el mundo, la bioprospección emerge como una alternativa que permite el uso sostenible de estos recursos, evitando su sobreexplotación. AGROSAVIA, al promover estrategias que integren conservación y desarrollo económico, puede liderar iniciativas que equilibren la protección del medio ambiente con el progreso agropecuario. Además, las estrategias de bioprospección fomentan la capacitación de investigadores, técnicos y agricultores, fortaleciendo las capacidades humanas para identificar, analizar y aprovechar los recursos biológicos. Asimismo, la construcción de infraestructura científica, como laboratorios de análisis genético y biotecnológico, se ve impulsada por la necesidad de realizar investigaciones avanzadas.

Análisis según mapa de transformación del Foro Económico mundial

Desde la perspectiva del Foro Económico Mundial, cuyo objetivo es fomentar conexiones significativas entre los actores clave para generar confianza y construir iniciativas que impulsen la cooperación y el progreso, se han identificado temas estratégicos alineados con el enfoque de bioprospección de AGROSAVIA. La Figura 1 presenta el mapa de transformación de la bioprospección elaborado a partir de la herramienta del World Economic Forum, donde se destacan diversos ejes temáticos y sus interconexiones en este campo interdisciplinario. Este mapa muestra visualmente las conexiones entre los temas mencionados, representados por nodos que están interrelacionados mediante líneas que indican las dependencias o influencias entre ellos.

En el centro, la palabra "Bioprospección" está rodeada por un círculo principal que conecta varios nodos temáticos principales y secundarios. Entre los nodos principales se encuentra el de biodiversidad, señalando el uso de los recursos biológicos en procesos de bioprospección. El nodo de bioinformática explora el papel de las tecnologías ómicas en la bioprospección, particularmente en el análisis de datos genómicos y la identificación de compuestos bioactivos.

Por otro lado, el nodo de conservación, restauración y cooperación enfatiza la interacción entre sectores públicos y privados para fomentar una bioeconomía sostenible que priorice

intermediarios y reguladores aborda las dinámicas económicas y legales en la bioprospección, incluyendo regulaciones, acceso justo y comercialización de recursos biológicos. Además, el nodo de difusión del conocimiento subraya la importancia de transferir tecnología y conocimiento, promoviendo una integración más efectiva de los avances en este campo. Finalmente, el nodo de soluciones basadas en la naturaleza explora cómo los recursos biológicos pueden ofrecer respuestas innovadoras a desafíos globales como la seguridad alimentaria, la salud y el cambio climático.

Este mapa también incluye referencias a regiones geográficas como América Latina, África, la Unión Europea y el sudeste asiático (ASEAN). Estas conexiones reflejan el enfoque geopolítico de la bioprospección, considerando tanto los desafíos regionales como las oportunidades de cooperación internacional. Además, se abordan temas complementarios como la innovación social, la salud global y la alimentación, la gobernanza de los recursos naturales, y la transición hacia energías renovables.

Este análisis permite entender cómo un enfoque integral y multidisciplinario puede abordar los retos asociados a la bioprospección. Desde la perspectiva de AGROSAVIA, el mapa destaca cómo la bioprospección se encuentra en la intersección de la conservación ambiental, la economía sostenible y la innovación tecnológica. Este enfoque integral es clave para avanzar hacia soluciones efectivas en este ámbito, y se subraya la importancia de la cooperación internacional, la integración tecnológica y la gobernanza de los recursos naturales para maximizar el impacto positivo de este campo.

Estrategia de búsqueda

Se descargó un corpus con 2564 registros de la base de datos de Scopus® utilizando la siguiente ecuación de búsqueda. Esta se compone de un conjunto de palabras o términos relevantes conectados mediante operadores booleanos y unas restricciones temporales, restricciones por tipo de documento, y restricciones por área temática:

(TITLE-ABS-KEY (("bioprospect*" OR "biodiversity bioprospect*" OR "biodiversity prospect*" OR "biological prospect*" OR "Bioprospecting-derived" OR "biodiversity use*" OR "bioresource* prospect*" OR "prospecting")) AND NOT TITLE-ABS-KEY (("cancer" OR "anticancer" OR "biogas" OR "biofuel*"))

OR "algae" OR "marine specie*" OR "human*"))) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI"))

La base de datos Scopus® fue consultada directamente para obtener detalles sobre los documentos seleccionados, incluyendo autores, campos de estudio y número de publicaciones. Esta plataforma recopila y organiza una amplia variedad de fuentes, como revistas científicas, artículos de investigación y revisión, libros, patentes y otros recursos. Esto se logra mediante la extracción de metadatos de títulos, autores, resúmenes y palabras clave. Este proceso es posible gracias al uso de algoritmos de búsqueda y análisis semántico, teniendo en cuenta factores como las palabras clave utilizadas, la relevancia de los documentos, la calidad de las revistas y las citas recibidas (Flórez-Martínez et al., 2023). Estos factores se describen a través de indicadores bibliométricos implementados por Scopus®.

Indicadores bibliométricos

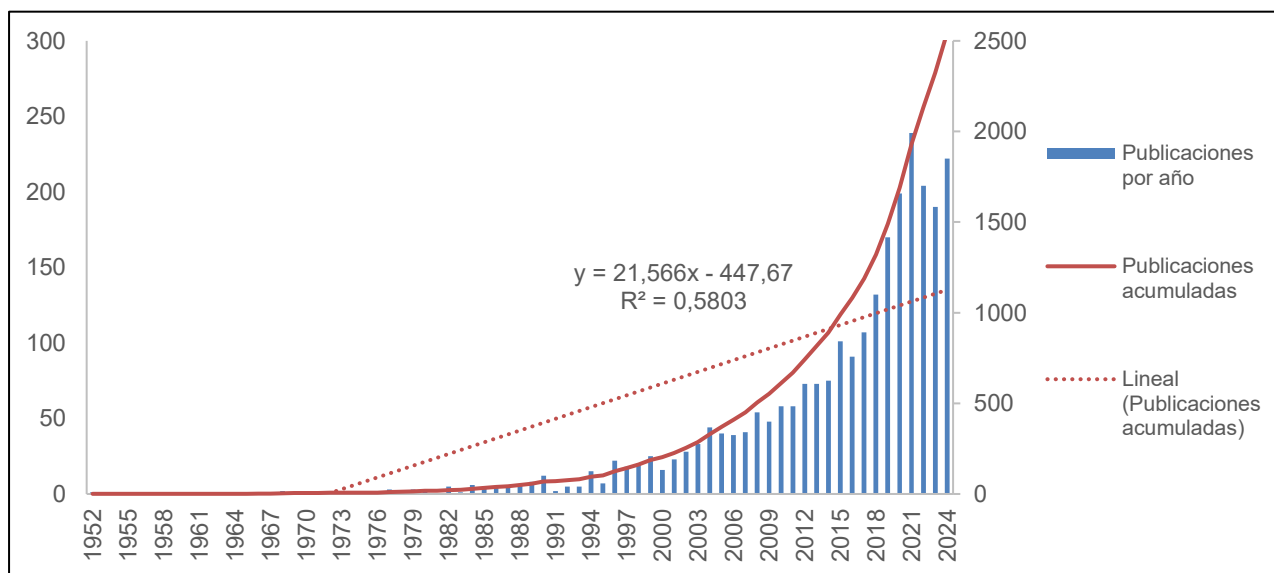
A continuación, se presenta un análisis exhaustivo de la producción científica sobre bioprospección en el área de Ciencias Agrícolas y Biológicas, fundamentado en los indicadores de actividad examinados. Este análisis abarca la dinámica de publicaciones, considerando el crecimiento promedio anual en términos de número de publicaciones, lo cual permite identificar cambios significativos en periodos específicos dentro de la ventana temporal analizada y reflejar posibles variaciones o tendencias emergentes en la generación de conocimiento en este ámbito. Asimismo, se analizan los referentes temáticos de investigación, los tópicos persistentes a lo largo del tiempo y la red de coocurrencia de temas, proporcionando una visión integral de las principales áreas de interés y las conexiones temáticas en este campo.

Dinámica de publicaciones

La dinámica de publicaciones del corpus de registros descargado graficada en la Figura 2 refleja un crecimiento constante desde 1952 hasta 2024, con una tasa compuesta anual (CAGR) del **8.74%**. Este comportamiento demuestra una tendencia sostenida a lo largo de más de siete décadas. Sin embargo, a partir del año 2000 se observa una aceleración

significativa, ya que las publicaciones crecieron a una tasa promedio anual del **10.99%** entre 2000 y 2024. Este aumento más rápido resalta un interés creciente en los temas relacionados con el corpus analizado durante los últimos años. Además, si nos enfocamos específicamente en el período más reciente, entre 2020 y 2024, la CAGR es del **10.74%**, mostrando que el ritmo de crecimiento se ha mantenido elevado en los últimos cinco años, con una tendencia alineada con la aceleración observada desde principios del siglo XXI. Esto sugiere un fortalecimiento continuo del interés y la producción científica en este ámbito.

Figura 2. Producción de publicaciones científicas



Fuente. Elaborado a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta enero de 2025. Software de análisis Excel®

El panorama actual de las publicaciones refleja una tendencia al fortalecimiento de esta línea de investigación, con una creciente integración de tecnologías avanzadas para responder a las necesidades de sectores clave como la agricultura y la biología. En particular, el año 2021 destacó por registrar el mayor número de publicaciones dentro de la ventana analizada, con un total de 239 documentos. Entre ellos, se identificaron los cinco trabajos con mayor número de citas, los cuales evidencian avances relevantes en áreas clave de la bioprospección y la biotecnología. Estos incluyen el uso de biofertilizantes como alternativas sostenibles a los fertilizantes químicos, impulsado por los progresos en

estudios multi-ómicos (Mitter et al., 2021, 187 citas), aunque aún enfrentan desafíos para su implementación comercial. Asimismo, se abordaron las capacidades de microorganismos para degradar plásticos (Gambarini et al., 2021, 123 citas), logrando identificar miles de genes relacionados con esta función, y se destacó el potencial de los recursos marinos para el desarrollo de bioproductos innovadores, pese a los retos éticos y de sostenibilidad que conlleva (Rotter et al., 2021, 114 citas). Por otro lado, los avances en la medición de compuestos volátiles orgánicos (VOCs) emitidos por plantas impulsan tecnologías agrícolas no invasivas (Tholl et al., 2021, 113 citas), mientras que los aerogeles ofrecen nuevas oportunidades en la industria alimentaria, desde ingredientes inteligentes hasta empaques biodegradables (Manzocco et al., 2021) 88 citas).

Estos estudios evidencian un enfoque multidisciplinario y tecnológico en la bioprospección, reflejando su relevancia y capacidad para abordar desafíos globales como la seguridad alimentaria, la sostenibilidad y la conservación de recursos naturales.

Indicadores de producción científica

De acuerdo con los indicadores bibliométricos de la Tabla 1, la comunidad científica, conformada por 10.293 autores y con 2.564 publicaciones que promedian 20,33 citas por artículo, sugiere un impacto moderado a alto. El promedio de 4,73 coautores por documento evidencia un buen nivel de colaboración. No obstante, la antigüedad promedio de 9,97 años señala una posible desactualización de la colección de documentos, lo que resalta la necesidad de renovar la producción científica, incrementar la participación activa de los investigadores y fortalecer la colaboración internacional para maximizar el impacto global. Con un 24,45% de colaboración internacional, se aprecia una participación significativa en redes globales; sin embargo, con una productividad promedio de 0,25 publicaciones por investigador, es evidente que no todos los autores están contribuyendo de manera equitativa, o bien enfrentan barreras para publicar. Por último, las publicaciones están distribuidas en 782 revistas, lo que refleja diversidad temática, aunque también una dispersión que podría estar diluyendo el impacto en revistas de mayor prestigio.

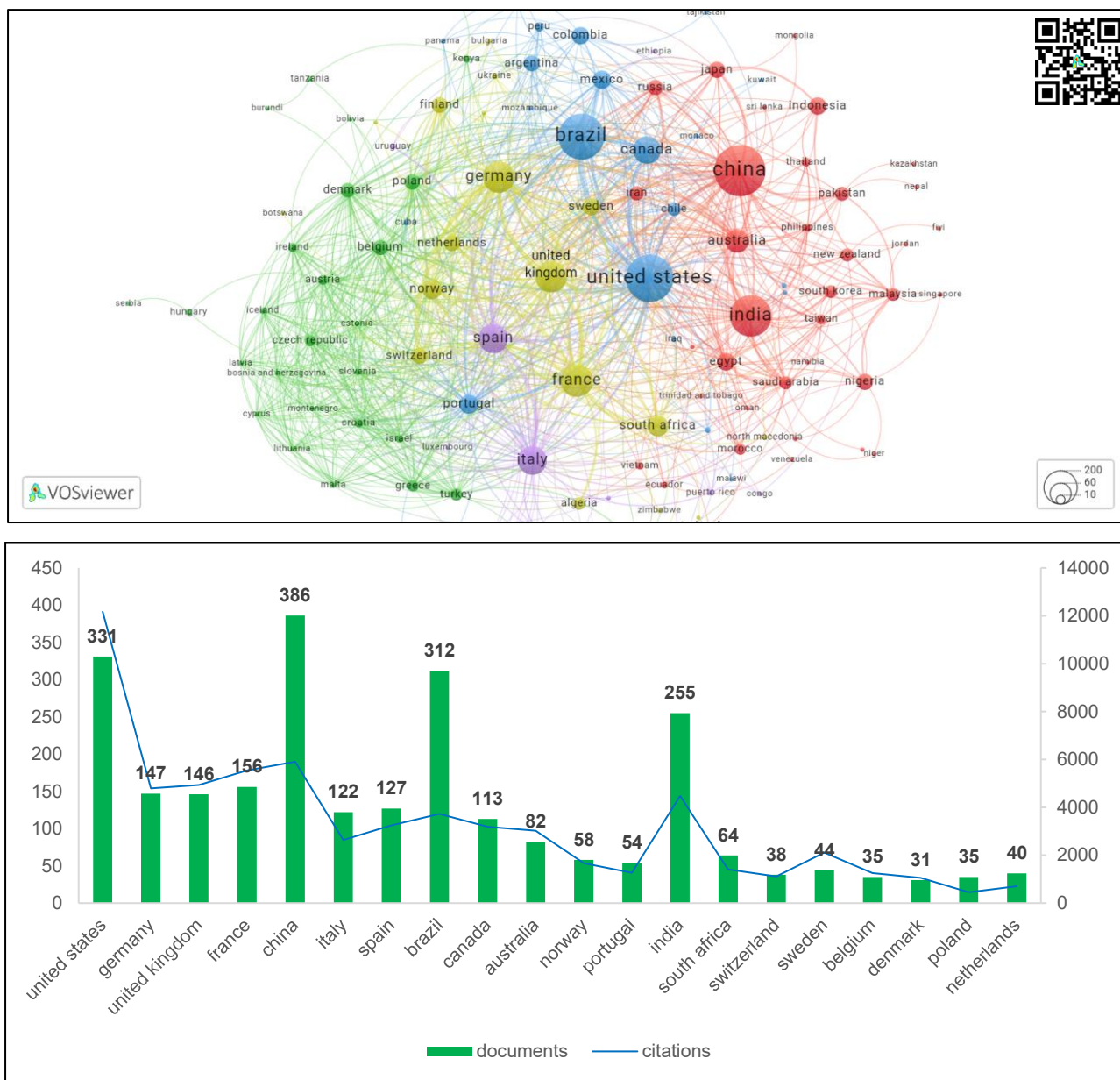
Tabla 1. Indicadores bibliométricos de la producción científica

Indicadores de Bibliometrix
<ul style="list-style-type: none"> • Número de publicaciones: 2.564 • Citaciones promedio por artículo: 20.33 • Coautores por documento: 4,73 • Antigüedad media del conjunto de documentos: 9,97 • Colaboración Internacional: 24,45% • Investigadores: 10.293 • Número de revistas: 782

Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta enero de 2025. Software de análisis Bibliometrix 4.4.2®

Según la Figura 3, China lidera ampliamente la producción científica con 386 publicaciones y 5.904 citaciones, reflejando una sólida inversión en investigación, especialmente en áreas estratégicas como la agricultura, bioproductos y ciencias ambientales. Le sigue Brasil con 312 publicaciones y 3.724 citaciones, consolidando su rol como actor relevante en la región latinoamericana. India ocupa el tercer lugar con 255 documentos y 4.482 citaciones, evidenciando un enfoque prioritario en innovación agrícola, recursos naturales y sostenibilidad. Estados Unidos, aunque con una producción científica superior en volumen de citaciones y en fuerza total de las conexiones bibliográficas o de coautoría (331 documentos y 12.172 citaciones), aparece en la cuarta posición por número de documentos, pero destaca por su alto impacto académico y colaborativo, seguido de España, que con 127 documentos y 3.248 citaciones se consolida como un nodo europeo estratégico. Colombia, con 45 publicaciones y 379 citaciones, muestra un crecimiento moderado, aunque con oportunidades de fortalecimiento institucional. Canadá (113 documentos), Francia (156), Alemania (147) y el Reino Unido (146) completan el grupo de países con producción científica robusta y alta vinculación internacional. Este panorama subraya la importancia de continuar fomentando colaboraciones científicas globales, ampliar la inversión en investigación en países emergentes y consolidar redes de conocimiento para potenciar el impacto de la bioprospección y el desarrollo sostenible basado en recursos naturales.

Figura 3. Principales países según producción bibliográfica en bioprospección



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta enero de 2025. Software de análisis VOSviewer®. <https://tinyurl.com/2awotedl>

En cuanto a las principales instituciones de investigación, se encuentra en primer lugar el CNRS Centre National de la Recherche Scientifique (57 documentos) y la Chinese Academy of Sciences (55 documentos) encabezan la producción científica en sus respectivas regiones, lo que refleja su capacidad para abordar múltiples disciplinas, atraer

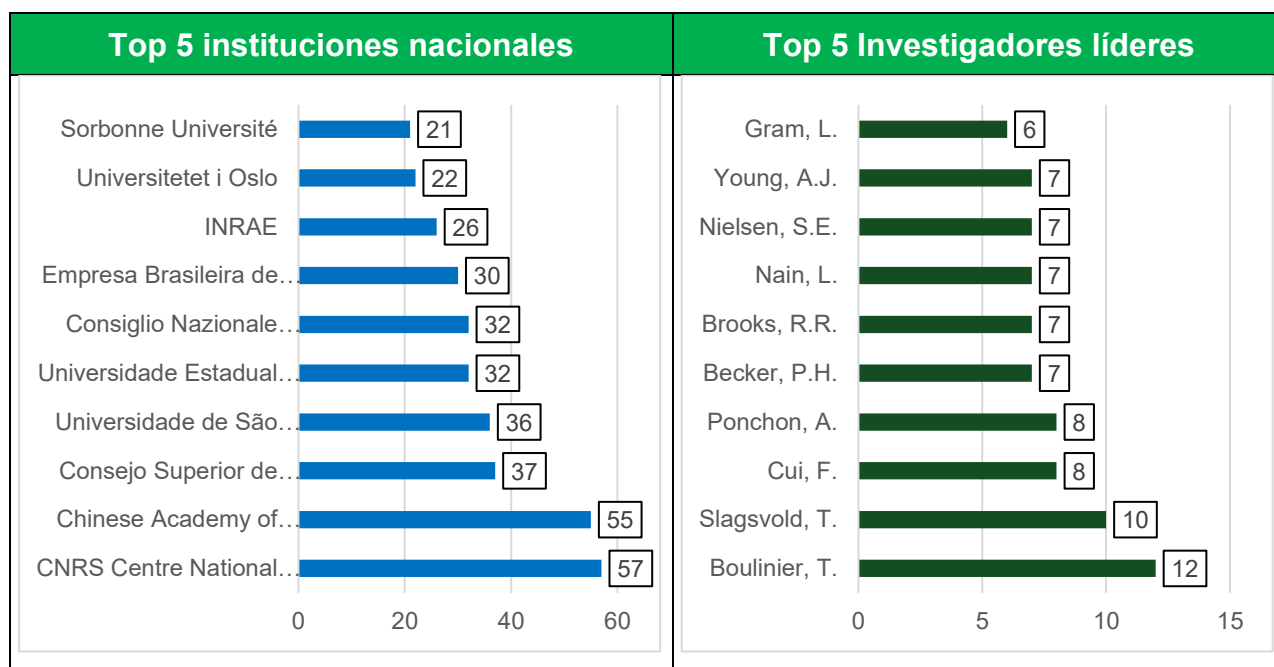
talento internacional y gestionar programas de financiamiento constantes. Estas instituciones funcionan como modelos de organización científica, maximizando el impacto de sus investigaciones mediante la integración eficiente de recursos humanos y tecnológicos (Ver Tabla 2). En Latinoamérica, tienen relevancia el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (37 documentos), la Universidade de São Paulo (36 documentos) y la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (30 documentos) quienes se enfocan en áreas estratégicas como la agricultura, biodiversidad y sostenibilidad. Sus esfuerzos incluyen el desarrollo de estrategias sostenibles para la fertilización de suelos, la validación clínica de alimentos funcionales como alternativas naturales en la prevención de enfermedades crónicas, el diseño de proyectos piloto para evaluar la eficacia de biosurfactantes en la remediación ambiental y la implementación de tecnologías avanzadas para el aprovechamiento industrial de residuos (Amorim et al., 2019; Bicca et al., 1999; Lammoglia & Filho, 2011; Mitter et al., 2021b; Okino Delgado & Fleuri, 2016).

Este top de instituciones no sólo se destaca por el volumen de su producción científica, sino también por la pertinencia de sus investigaciones. Por ejemplo, el CNRS aborda temas fundamentales como la selección de hábitats, la variabilidad funcional y la dinámica de poblaciones, contribuyendo tanto al conocimiento ecológico como a la conservación práctica (Albert et al., 2012; Boulinier et al., 1996; Boulinier & Danchin, 1997). En paralelo, la Chinese Academy of Sciences se centra en problemáticas críticas como la contaminación marina, la oceanografía y las tecnologías agrícolas, reforzando su papel como líder global y demostrando cómo vincular la investigación aplicada con el desarrollo de soluciones metodológicas innovadoras para desafíos ambientales y sociales (Liu et al., 2018; Pinheiro et al., 2010; Wang et al., 2015).

Instituciones como el INRAE (26 documentos) y la Sorbonne Université (21 documentos) también juegan un rol relevante en la promoción de redes internacionales, particularmente a través de proyectos interdisciplinarios. Este panorama resalta la necesidad de fortalecer la colaboración global, orientada a maximizar el impacto en áreas clave como la sostenibilidad ambiental, la mitigación del cambio climático y la seguridad alimentaria. Así, se fomenta una ciencia inclusiva y colaborativa que contribuya de manera efectiva a resolver desafíos comunes.

Respecto a los principales autores, los datos muestran que Boulinier, T. de la *Université de Montpellier* (12 publicaciones) y Slagsvold, T. de la *Universitetet i Oslo* (10 publicaciones) son actores destacados en sus campos. No obstante, sus investigaciones se centran en la prospección ecológica y comportamental¹, sin abordar directamente la bioprospección de recursos genéticos o bioquímicos. Sin embargo, podrían tener un valor complementario en estudios sobre dinámica poblacional de especies con interés biotecnológico o epidemiológico. Además, podría considerarse una vinculación indirecta si se entiende la bioprospección en un sentido amplio, que incluya la exploración de comportamientos adaptativos en especies silvestres con potencial para aplicaciones en biotecnología, diseño de hábitats artificiales o estrategias de conservación fundamentadas en señales ecológicas.

Tabla 2. Top 5 instituciones y Top 5 investigadores



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta enero de 2025. Software de análisis Bibliometrix 4.4.2®

Utilizando el software de análisis Bibliometrix, se identificaron las principales fuentes de difusión y consulta de las investigaciones analizadas, las cuales se detallan en la Tabla 3.

¹ La palabra prospecting puede llevar a error, ya que en ecología del comportamiento se refiere a la búsqueda de sitios futuros para reproducirse, mientras que en bioprospección (bioprospecting) alude a la exploración biológica con fines tecnológicos o comerciales. Son conceptos distintos, aunque usen términos similares.

Estas fuentes representan canales clave para la divulgación científica, facilitando la accesibilidad del conocimiento y potenciando su impacto en la comunidad académica y en sectores aplicados.

Tabla 3. Principales fuentes de difusión y consulta

Principales fuentes de difusión y consulta	Breve descripción
Environmental Earth Sciences (143 artículos)	Revista internacional dedicada al estudio de las interacciones alteradas por actividades humanas dentro de la geosfera y entre la geosfera y la biosfera. Su objetivo es avanzar en la evidencia científica que respalde la sostenibilidad de los recursos naturales y la gestión de riesgos geológicos, químicos y biológicos.
Water (Switzerland) (73 artículos)	Revista de acceso abierto que cubre todos los aspectos del agua, incluidos su ciclo, gestión, calidad, y la tecnología y política relacionadas con los recursos hídricos. Su objetivo es abordar la interdisciplinariedad de las cuestiones relacionadas con el agua, por lo que resulta pertinente para investigadores de diversos campos.
Solid Earth (58 artículos)	Revista sin fines de lucro que publica investigaciones multidisciplinarias sobre la composición, estructura y dinámica de la Tierra, abarcando desde su superficie hasta su interior profundo, en todas las escalas espaciales y temporales. Esta revista es interdisciplinaria, cubre una amplia gama de disciplinas, incluidas: geoquímica, mineralogía, petrología, vulcanología; geodesia y gravedad; geodinámica (modelado numérico y analógico de procesos geológicos); geoelectrónica y electromagnetismo; geomagnetismo; geomorfología, morfotectónica y paleosismología; física de rocas; sísmica y sismología; ciencias de la zona crítica (la capa permeable cercana a la superficie de la

Principales fuentes de difusión y consulta	Breve descripción
	Tierra); estratigrafía, sedimentología y paleontología; y deformación de rocas, geología estructural y tectónica.
Yantu Lixue/Rock and Soil Mechanics (54 artículos)	Revista científica indexada en la base de datos Scopus y con SJR (Scimago Journal Rank) en 2020 de 0.635, lo que la posiciona como una publicación relevante en su campo. Con sede en China, esta revista se especializa en áreas clave como ciencia del suelo, ingeniería geotécnica y geología de ingeniería, ingeniería civil y estructural, geociencias e ingeniería geológica. La revista se centra en la publicación de investigaciones relacionadas con el comportamiento de suelos y rocas, el diseño geotécnico, técnicas de construcción y aplicaciones prácticas en ingeniería. Su cobertura incluye desde estudios fundamentales hasta aplicaciones avanzadas en proyectos de infraestructura y desarrollo sostenible.
Environmental Geology (46 artículos)	Revista multidisciplinaria de acceso abierto y revisada por pares que proporciona una plataforma para el debate sobre la mejora del medio ambiente y la remediación de las interacciones entre los humanos y los ecosistemas terrestres. Aborda temas como la contaminación del agua y el suelo, la gestión de residuos, procesos geológicos que afectan sistemas biológicos, remediación de riesgos naturales y antrópicos, minería, gestión del uso de la tierra y difusión de técnicas para mejorar los ecosistemas. La revista invita a geólogos y especialistas en disciplinas como hidrogeología, geoquímica, geofísica e ingeniería geológica a contribuir con investigaciones y experiencias que promuevan la sostenibilidad ambiental.
Soil Dynamics and Earthquake	Revista centrada en promover y fortalecer el rol de la mecánica y disciplinas relacionadas en el campo de la ingeniería sísmica,

Principales fuentes de difusión y consulta	Breve descripción
Engineering (45 artículos)	proporcionando una plataforma para publicar investigaciones de matemáticos aplicados, ingenieros y científicos enfocados en resolver problemas relacionados con la ingeniería sísmica y geotécnica.
Marine Pollution Bulletin (32 artículos)	Revista dedicada al uso racional de los recursos marinos y marítimos en estuarios, mares y océanos, así como a la documentación de la contaminación marina y la introducción de nuevas metodologías de medición y análisis. La revista abarca una amplia variedad de temas, desde la gestión de desechos marinos y el control de la contaminación, hasta aspectos económicos y de protección ambiental en los ecosistemas marinos.
Acta Horticulturae (31 artículos)	Es una serie revisada por pares que publica principalmente las actas de los simposios de la International Society for Horticultural Science (ISHS) y del Congreso Internacional de Horticultura. La International Society for Horticultural Science (ISHS) es la principal organización independiente de horticultores a nivel mundial, reconocida por ser una plataforma global para la investigación, intercambio de información científica y colaboración en apoyo a la innovación sostenible en horticultura. La ISHS, que incluye a más de 70,000 miembros entre individuos, universidades, gobiernos e instituciones, promueve la investigación en todas las ramas de la horticultura y fomenta la cooperación internacional. Su éxito radica en la organización de más de 40 simposios especializados anuales y en la publicación de Acta Horticulturae, que se ha consolidado como una importante fuente de información global sobre investigación hortícola.
Geotechnical and Geological	Revista que publica investigaciones relacionadas con la ingeniería de suelos y rocas, así como la geología aplicada a las industrias

Principales fuentes de difusión y consulta	Breve descripción
Engineering (31 artículos)	de ingeniería civil, minería y petróleo. La revista se enfoca principalmente en los aspectos prácticos y de ingeniería relacionados con la mecánica de suelos y rocas, la geología y la hidrogeología. Sin embargo, también se consideran contribuciones teóricas y experimentales que representen avances en la mecánica del terreno. <i>Geotechnical and Geological Engineering</i> es una plataforma clave para la difusión de investigaciones que abordan desafíos críticos en diseño, construcción y mitigación en el ámbito de la geoingeniería.

Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta enero de 2025. Software de análisis Bibliometrix 4.4.2®.

En la tabla 4 se identifican las publicaciones más citadas y el número de citas de cada una, posteriormente, en la Tabla 5 se identifican las publicaciones más recientes y el número de citas de cada una dentro del corpus de la producción científica recuperada con la ecuación de búsqueda definida en el alcance de esta vigilancia científica; y en la Tabla 6 se muestran las referencias más citadas.

Tabla 4. Cinco Publicaciones más citadas

Autores	Título	Número de citas
(Watling & Norse, 1998)	Disturbance of the Seabed by Mobile Fishing Gear: A Comparison to Forest Clearcutting	626
(Ciez & Whitacre, 2019)	Examining different recycling processes for lithium-ion batteries	568
(Hamilton, 2004)	Medicinal plants, conservation, and livelihoods	562
(Aly et al., 2010)	Fungal endophytes from higher plants: a prolific source of phytochemicals and other bioactive natural products	517

Autores	Título	Número de citas
(Johansson & Jones, 2007)	The role of chemical communication in mate choice	475
(Danchin et al., 1998)	Conspecific reproductive success and breeding habitat selection: implications for the study of coloniality	460
(Naidoo & Ricketts, 2006)	Mapping the Economic Costs and Benefits of Conservation	362
(Pollastro, 1993)	Considerations and Applications of the Illite/Smectite Geothermometer in Hydrocarbon-Bearing Rocks of Miocene to Mississippian Age	295
(Ussiri & Lal, 2009)	Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio	292
(Mandal et al., 2018)	Recent developments in cold plasma decontamination technology in the food industry	278

Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta enero de 2025. Software de análisis Bibliometrix 4.4.2®

Tabla 5. Cinco Publicaciones más recientes

Autores	Título	Resumen
(Morley et al., 2025)	Detecting shallow subsurface anomalies with airborne and spaceborne remote sensing: A review	El artículo analiza las oportunidades que brindan las tecnologías avanzadas de sensores aéreos y espaciales, como fotogrametría, SAR y LiDAR, para detectar anomalías en el subsuelo de la Tierra. Evalúa más de setenta técnicas, discutiendo sus capacidades, tendencias de investigación y métodos de validación, destacando su aplicabilidad en terrenos

Autores	Título	Resumen
		<p>inaccesibles y su potencial futuro con datos de alta resolución y redes neuronales.</p>
(Saikia et al., 2025)	<p>Bioprospecting of bacterial endophytes from <i>Solanum pimpinellifolium</i> with antifungal activity against <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> causing vascular wilt</p>	<p>El estudio evalúa el uso de metabolitos antimicrobianos producidos por bacterias endófitas como herramienta para el manejo sostenible de la salud vegetal. Se identificó a <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> D1B como la cepa más eficaz contra <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> (FoL), causante de la marchitez en tomate, logrando reducir la incidencia de la enfermedad en experimentos in planta. Además, se detectaron compuestos antifúngicos como benzotiazol, ácido oleico y ácido fenil-láctico. Estos hallazgos destacan el potencial de <i>S. maltophilia</i> D1B como tratamiento biológico para cultivos de tomate, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles.</p>
(Zahaby et al., 2025)	<p>Comparison of gene expression and polycyclic aromatic compound profiles in hepatic tissue of black guillemot (<i>Cepphus grylle</i>) collected from an oil spill site and a non-spill site in the Arctic</p>	<p>El estudio evalúa el impacto de un derrame de petróleo en la Bahía Kaikopok (Canadá) sobre el frailecillo negro (<i>Cepphus grylle</i>), analizando compuestos aromáticos policíclicos (PACs) en el hígado y perfiles de expresión génica. Aunque se detectaron diferencias químicas entre aves de sitios contaminados y no contaminados, las variaciones en la expresión génica fueron menores de lo esperado. Algunos genes mostraron correlaciones útiles con las concentraciones de PACs, destacando el valor de combinar análisis químicos y genéticos para el monitoreo ambiental.</p>

Autores	Título	Resumen
(Yasika & Shivakumar, 2025)	A comprehensive account of functional role of insect gut microbiome in insect orders	Este artículo resalta la importancia de la microbiota intestinal de los insectos en funciones clave como la nutrición, digestión, inmunidad y homeostasis del hospedador, además de su capacidad para metabolizar pesticidas, plásticos y metabolitos secundarios de plantas. Dominada por los filos Proteobacteria, Actinobacteria, Firmicutes y Bacteroidetes, esta microbiota ofrece beneficios de supervivencia y abre oportunidades biotecnológicas para desarrollar productos biológicos, especialmente con los avances en metagenómica y bioinformática. La revisión explora estas asociaciones simbióticas y su impacto en el control nutricional e inmunológico en diferentes órdenes de insectos.
(Sudarshna & Sharma, 2025)	Bioprospecting of endophytic bacterial inoculation in intercropped <i>Trillium govanianum</i> (Wall. Ex. Royle) and Apple cv. Royal delicious	El estudio analiza los beneficios del cultivo intercalado de <i>Trillium govanianum</i> en huertos de manzanas del Himalaya indio, utilizando bioformulaciones basadas en bacterias endofíticas promotoras del crecimiento (<i>Pantoea spp.</i> , <i>Microbacterium spp.</i> y <i>Pseudomonas spp.</i>). Estas bioformulaciones mejoraron significativamente el desarrollo de <i>T. govanianum</i> y el rendimiento de los manzanos al combinarse con una dosis reducida de fertilizante químico (80 % NPK). Los resultados destacan el potencial de estas bioformulaciones para aumentar la productividad y promover

Autores	Título	Resumen
		prácticas agrícolas más sostenibles en climas fríos.

Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta enero de 2025. Software de análisis Bibliometrix 4.4.2®

Tabla 6. Cinco referencias más citadas

Autores	Número de citas	Cita
Doligez B., Danchin E., Clobert I., Public information and breeding habitat selection in a wild bird population, <i>Science</i> , 297, PP. 1168-1170, (2002)	31	(Doligez et al., 2002)
Danchin E., Boulinier T., Massot M., Conspecific reproductive success and breeding habitat selection: implications for the study of coloniality, <i>Ecology</i> Y, 79, PP. 2415-2428, (1998)	29	(Danchin et al., 1998)
Burnham K.P., Anderson D.R., Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, Springer New York, <i>Ecological Modelling</i> (2004)	21	(Burnham & Anderson, 2004)
Reed J.M., Boulinier T., Danchin E., Oring I.W., Informed dispersal: prospecting by birds for breeding sites, <i>Current Ornithology</i> , 15, PP. 189-259, (1999)	18	(Reed et al., 1999)
Ward M.P., Habitat selection by dispersing yellow-headed blackbirds: evidence of prospecting and the use of public information, <i>Oecologia</i> , 145, PP. 650-657, (2005)	17	(Ward, 2005)

Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta enero de 2025. Software de análisis Bibliometrix 4.4.2®

Referentes temáticos en investigación

La identificación de referentes en investigación a través del análisis de publicaciones científicas permite conocer investigadores, organizaciones, países líderes y las principales fuentes de consulta, información relevante para mapear una temática. Este proceso es valioso para mapear la temática y detectar referentes, potenciales aliados estratégicos para el desarrollo de proyectos de investigación, transferencias de tecnología, intercambio de conocimientos y la organización de misiones técnicas.

La Figura 4 presenta una visualización de tres variables (*Sankey plot*), la cual genera una visualización que permite generar una interrelación entre palabras claves (tópicos más frecuentes), organizaciones (instituciones líderes en investigación), y países (referentes mundiales). Este tipo de visualización permite identificar las conexiones y la concentración de esfuerzos en torno a la temática estudiada. Esta visualización facilita el análisis de cómo se concentra el conocimiento y los esfuerzos científicos en el campo.

China se posiciona como el país líder en investigaciones de bioprospección, con una significativa contribución de instituciones como la China University of Geosciences, la China Agricultural University (CAU) y la Zhejiang University. Estas universidades se vinculan principalmente a temas relacionados con biodiversidad, bioprospección y endófitos, mostrando un fuerte interés en el aprovechamiento de los recursos biológicos para aplicaciones sostenibles.

La universidad China University of Geosciences (CUG), a través del State Environmental Protection Key Laboratory of Source Apportionment and Control of Aquatic Pollution, se ha consolidado como un referente en investigaciones orientadas a la sostenibilidad ambiental. Un ejemplo destacado es su trabajo en la producción de biocombustibles a partir de microalgas, donde han superado desafíos como la baja productividad de biomasa y la limitada eficacia fotosintética. Este laboratorio ha desarrollado sondas poliméricas extracelulares compatibles, basadas en propiedades de emisión inducida por agregados (AIE), para el monitoreo *in situ* de la productividad de EPS (sustancias poliméricas extracelulares) en diferentes etapas de crecimiento de microalgas. Gracias a esta innovación, lograron clasificar las células de algas en cuatro poblaciones distintas y determinar características como alta resistencia al estrés, divisiones celulares aceleradas

y una mayor expresión de genes relacionados con la fotosíntesis y la producción de biopolímeros. Estas células seleccionadas y subcultivadas mostraron un crecimiento más rápido y una mayor capacidad fotosintética, resultando en un aumento de biomasa algal, clorofila y lípidos entre 1.2 y 1.8 veces. Este avance presenta una estrategia innovadora para impulsar la producción de biocombustibles basados en microalgas, contribuyendo al desarrollo de energías renovables.

Por su parte, la **China Agricultural University (CAU)** es reconocida por sus aportes en el uso de biochar como herramienta para mejorar la fertilidad de los suelos y aumentar la producción de cultivos. Desde 2009, el grupo de investigación en biochar de CAU ha llevado a cabo experimentos en campo utilizando materiales como paja de trigo y maíz, con resultados prometedores en la mejora de los procesos químicos del suelo y en cultivos bajo invernadero. Asimismo, la CAU lidera una red de experimentos en China para ampliar el uso del biochar en distintas regiones, enfocándose en la restauración de suelos degradados y la sostenibilidad agrícola. Además, ha establecido colaboraciones internacionales con organizaciones como la FAO y ha promovido actividades educativas para divulgar los beneficios del biochar en el contexto agrícola y ambiental.

Por otra parte, la universidad **Zhejiang University**, a través de su College of Agriculture and Biotechnology (CAB), se destaca como una institución pionera en educación e investigación agrícola con más de 100 años de historia. El CAB abarca cinco departamentos (Agronomía, Protección de Plantas, Horticultura, Ciencia del Té y Biología Aplicada) y nueve institutos de investigación en áreas clave como biotecnología, ciencias de cultivos e insectos, toxicología ambiental y agrícola, y arquitectura del paisaje. Además, alberga el Laboratorio Nacional de Biología del Arroz y tres laboratorios clave del Ministerio de Agricultura. Con una filosofía educativa centrada en formar líderes con una perspectiva internacional y enfocada en encontrar soluciones a desafíos globales, esta institución atrae talento de todo el mundo y desarrolla investigaciones innovadoras para mejorar la calidad de vida y la sostenibilidad agrícola.

Estas tres instituciones no sólo destacan por sus contribuciones científicas, sino también por liderar iniciativas prácticas y colaboraciones internacionales. Con un enfoque en áreas como la bioenergía, la sostenibilidad agrícola y la conservación ambiental, estas

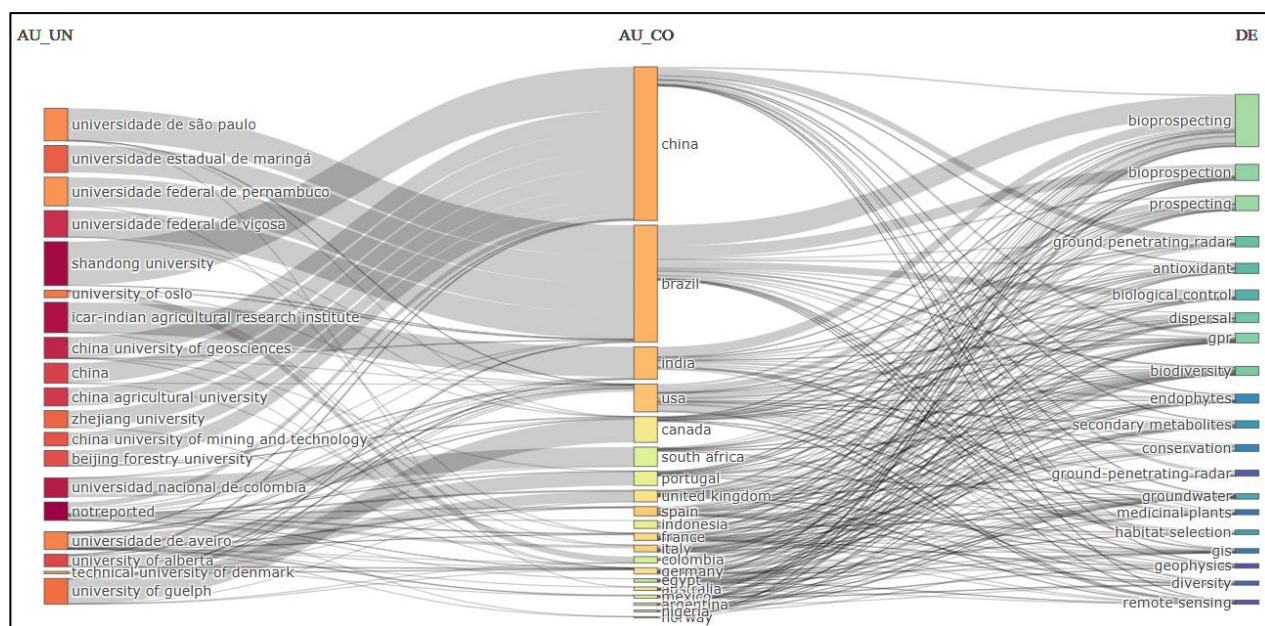
universidades posicionan a China como un referente global en bioprospección y aplicaciones biotecnológicas, respondiendo a las demandas actuales de los sectores agrícola, energético y ambiental.

Brasil también se destaca como un referente en este campo, con instituciones como la Universidade de São Paulo, la Universidade Estadual de Maringá y la Universidade Federal de Pernambuco, que se enfocan en áreas como control biológico, dispersión y antioxidantes. Esto refleja un esfuerzo regional por abordar temas de relevancia ambiental y agrícola.

India, representada por el ICAR-Indian Agricultural Research Institute, y países como Estados Unidos y Canadá, también juegan un papel relevante, con investigaciones centradas en metabolitos secundarios, conservación y tecnologías avanzadas como el uso del radar de penetración terrestre (GPR). Además, países como Sudáfrica, Portugal y Colombia aparecen con conexiones más limitadas, pero con intereses en temas específicos como la diversidad y la selección de hábitats.

En términos de palabras clave, las más recurrentes incluyen bioprospección, biodiversidad, metabolitos secundarios, y conservación, reflejando las prioridades globales en la explotación sostenible de recursos biológicos. Esto evidencia un enfoque multidisciplinario que conecta instituciones, países y tópicos de investigación en la transición hacia prácticas sostenibles.

Figura 4. Líneas temáticas en investigación



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en diciembre de 2024. Software de análisis Bibliometrix® 4.4.2

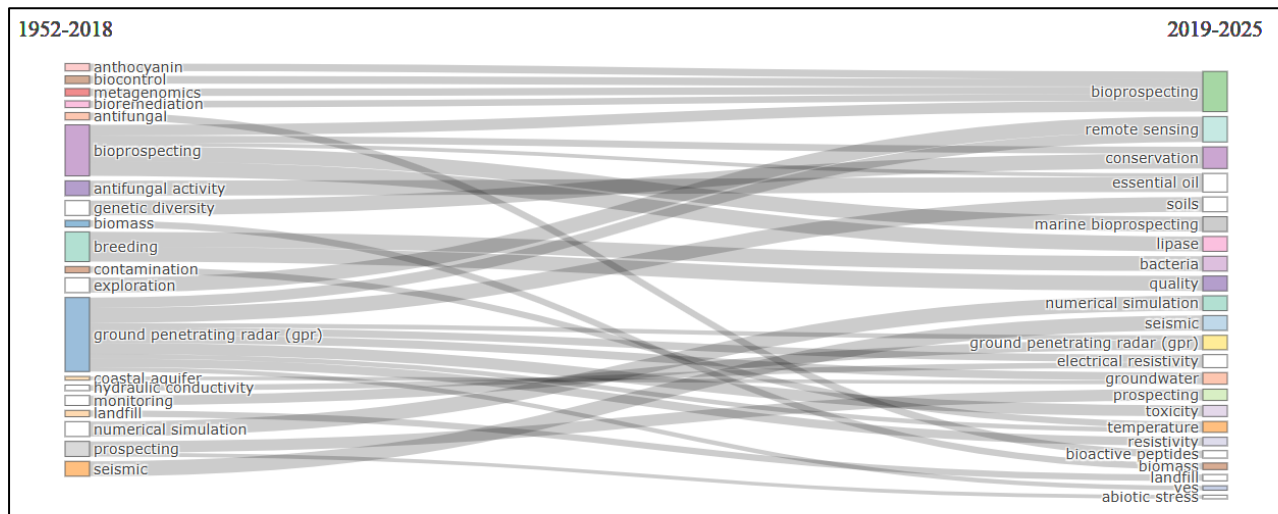
Tendencias temáticas y evolución en tópicos de investigación

Los tópicos tendenciales son aquellos que han tenido una mayor continuidad en su ocurrencia a lo largo de la ventana de tiempo. En la Figura 5 se muestra la evolución temporal de los tópicos tendenciales en investigaciones científicas, reflejando su frecuencia a lo largo del tiempo. Tópicos como control biológico (*biocontrol*), biodiversidad, (*biodiversity*), suelo (*soil*) e *información pública* (*public information*) han mostrado una presencia constante a lo largo de los años, subrayando su relevancia en investigaciones sobre medio ambiente, ecología y manejo sostenible de recursos. En contraste, términos emergentes como bioprospección (*bioprospecting*), biogeografía marítima (*marine biogeography*), resistencia antimicrobiana (*antimicrobial resistance*) y servicios ecosistémicos (*ecosystem services*) han ganado frecuencia recientemente, impulsados por desafíos globales como la sostenibilidad y la resistencia antimicrobiana. Además, tópicos especializados como aguas subterráneas (*groundwater*), interacción del suelo y su estructura (*soil-structure interaction*), riesgo sísmico (*seismic hazard*) y metales pesados (*heavy metals*) presentan un crecimiento significativo, reflejando su importancia en la gestión de riesgos geotécnicos y contaminación ambiental. Por último, términos como

En el análisis del periodo 1952-2018, se identifican términos relevantes que han perdido continuidad en el periodo 2019-2025, como antocianinas (*anthocyanin*), biorremediación (*bioremediation*), contaminación (*contamination*) y monitoreo (*monitoring*). Esto sugiere que áreas previamente amplias han dado paso a enfoques más específicos, como toxicidad (*toxicity*) y calidad (*quality*), o han sido integradas en investigaciones emergentes. Por ejemplo, biorremediación (*bioremediation*) se encuentra ahora vinculada a términos como péptidos bioactivos (*bioactive peptides*) y aceites esenciales (*essential oil*), reflejando un refinamiento en las prioridades de investigación.

En contraste, en el periodo 2019-2025 emergen tópicos como conservación (*conservation*), bioprospección marina (*marine bioprospecting*), estrés abiótico (*abiotic stress*), y resistividad (*resistivity*), evidenciando la exploración de nuevos recursos biológicos y la búsqueda de alternativas para aminorar los efectos del cambio climático como la sequía. Asimismo, términos como calidad (*quality*) y toxicidad (*toxicity*) muestran un enfoque en el cuidado del medio ambiente y la aplicabilidad de los recursos biológicos en la industria. Esta evolución temática resalta cómo las prioridades científicas se han adaptado a los desafíos contemporáneos mediante enfoques más aplicados y específicos.

Figura 6. Evolución temática



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en diciembre de 2024. Software de análisis Bibliometrix® 4.4.2

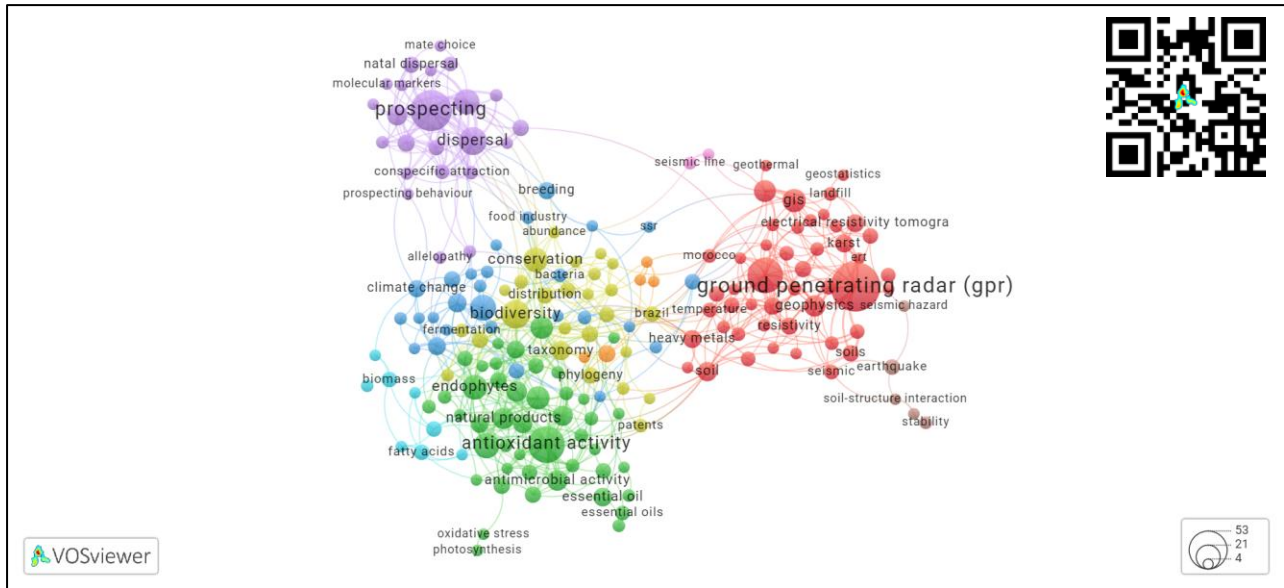
Red de coocurrencia de tópicos

El análisis de coocurrencia de palabras clave permite identificar de manera eficiente las principales áreas de investigación y desarrollo dentro de la temática estudiada. A través del uso de VOSviewer, se empleó una metodología de agrupación específica que facilita la organización de términos relacionados en clústeres bien definidos, utilizando el método de conteo fraccionado. Este enfoque, que toma como unidad de análisis las palabras clave proporcionadas por los autores y aquellas asignadas por los sistemas de indexación, genera una representación visual de las conexiones y relaciones temáticas presentes en las publicaciones.

En el mapa presentado en la Figura 7, cada clúster se distingue por un color único, lo que indica la existencia de subcampos temáticos interrelacionados. La visualización muestra una gran cantidad de tópicos interconectados, aplicando un umbral mínimo de cinco documentos asociados a cada palabra clave. Este tipo de análisis permite no sólo identificar líneas de investigación consolidadas, sino también áreas emergentes que podrían convertirse en futuras tendencias dentro del campo. La interpretación de los resultados se realiza observando tanto el tamaño de los nodos, que refleja la relevancia de cada término, como las conexiones, que indica la frecuencia de coocurrencia entre palabras clave.

La clasificación entre tópicos de investigación se construyó con la relación de las palabras clave de los 2.564 artículos científicos recuperados. A través de una limpieza supervisada de las temáticas relevantes (normalización de tesauros), se lograron identificar los siguientes clústeres temáticos generales usando el software de acceso libre VOSviewer (Perianes-Rodriguez et al., 2016) (Figura 7).

Figura 7. Red de coocurrencia temática – Tendencias Generales



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de OpenAlex®. Información recuperada en octubre de 2024. Software de procesamiento VOSViewer® 1.6.20

Clúster 1: Prospección (morado)

- **Términos destacados:** Prospección (*Prospecting*), dispersión (*dispersal*), dispersión natal (*natal dispersal*), atracción conespecífica (*conspespecific attraction*), elección de pareja (*mate choice*), marcadores moleculares (*molecular markers*), comportamiento en bioprospección (*prospección behavior*).
- Este clúster se centra en estudios ecológicos relacionados con la dispersión, selección de hábitats y comportamiento en la selección de pareja en animales. Es relevante en el ámbito de la conservación de la biodiversidad y el manejo de especies.

Clúster 2: Biocontrol y biofertilización (Azul claro)

- **Términos destacados:** Control biológico (*Biological control*), promoción del crecimiento vegetal (*plant growth promotion*), biorremediación (*biorremediation*), cambio climático (*climate change*).
- Enfocado en temas de producción agrícola de manera sostenible, teniendo en cuenta los efectos del cambio climático y la recuperación de ambientes contaminados.

Clúster 3: Actividad antioxidante (Verde)

- **Términos destacados:** Actividad antioxidante (*Antioxidant activity*), endofitos (*endophytes*), productos naturales (*natural products*), actividad antimicrobiana (*antimicrobial activity*), ácidos grasos (*fatty acids*), estrés oxidativo (*oxidative stress*), fotosíntesis (*photosynthesis*).
- Este clúster está relacionado con la bioprospección de compuestos bioactivos y metabolitos secundarios tanto de microorganismos, en especial de endófitos, como de plantas con aplicaciones en salud, agricultura y biotecnología.

Clúster 4: Radar de penetración en el suelo (Rojo)

- **Términos destacados:** Radar de penetración en el suelo (*Ground Penetrating Radar*), geofísica (*geophysics*), resistividad (*resistivity*), resistividad eléctrica (*tomografía de resistividad eléctrica (electrical resistivity tomography)*), riesgo sísmico (*seismic hazard*), suelos (*soils*), acuíferos (*aquifer*), estabilidad (*stability*).
- Este clúster se centra en tecnologías geofísicas avanzadas utilizadas para la exploración del subsuelo, recursos hídricos y la mitigación de riesgos geológicos.

Clúster 5: Biodiversidad (Amarillo)

- **Términos destacados:** Biodiversidad (*biodiversity*), conservación (*conservation*), distribución (*distribution*), taxonomía (*taxonomy*).
- Estudia la diversidad genética microbiana y su taxonomía y evolución para el desarrollo de investigación explorando su uso en nuevas aplicaciones biotecnológicas.

Clúster 6: Hábitats extremos (Naranja)

- **Términos destacados:** Hábitats extremos, Proteasa (*protease*), amilasa (*amilase*).
- Se enfoca en temas relacionados con el aislamiento y caracterización de organismos que habitan ambientes poco explorados y sometidos a estrés abióticos para la búsqueda de nuevas enzimas y proteínas.

Clúster 7: Interacción entre suelo y estructura (Marrón claro)

- **Términos destacados:** Interacción entre suelo y estructura (*Soil-structure interaction*), riego sísmico (*seismic hazard*), estabilidad (*stability*).
- Este clúster combina temas de ingeniería geotécnica y dinámica del suelo, centrándose en la interacción entre suelos y estructuras, especialmente en zonas sísmicas.

Clúster 8: Biomasa (Celeste)

- **Términos destacados:** Biomasa (*Biomass*), pirolisis (*pyrolysis*), microalgas (*microalgae*), biodisel.
- Representa temas relacionados con el aprovechamiento de biomasa de microalgas y su transformación mediante procesos biotecnológicos para la producción de biocombustibles.

Los clústeres reflejan la interdisciplinariedad de la bioprospección, abarcando desde tecnologías geofísicas avanzadas (Clúster 4 y 8) hasta biotecnología y salud (Clúster 3). Además, el enfoque en biodiversidad (Clúster 2 y 5) y la exploración de nuevos hábitats (Clúster 6) subraya la relevancia de estos temas para abordar problemas globales.

Mapa temático principales tendencias de investigación

La Figura 8 presenta el mapa temático que clasifica los principales tópicos de investigación en función de dos dimensiones clave: **relevancia** (centralidad), que mide la importancia de un tema dentro del campo y su conexión con otros tópicos, y **desarrollo** (densidad), que indica el grado de avance y especialización del conocimiento generado en torno a ese tema. Estas dimensiones permiten categorizar los clústeres en cuatro grupos, según su nivel de relevancia y desarrollo (Aria et al., 2022; Giannakos et al., 2020):

Cuadrante Superior Derecho: Temas Motores (Alta Centralidad y Alta Densidad): Este cuadrante agrupa los tópicos con un alto nivel de desarrollo y relevancia en el área de investigación. Estos temas son considerados motores de la disciplina, ya que lideran tanto el avance científico como el desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones. La alta densidad refleja un conocimiento consolidado que los convierte en pilares esenciales de la bioprospección en ciencias agrícolas y biológicas.

- **Radar de penetración en el suelo (*Ground Penetrating Radar, GPR*), Aguas subterráneas (*groundwater*), geofísica (*geophysics*), karst y resistividad (*resistivity*):** Estos tópicos están relacionados con técnicas avanzadas de exploración geofísica y gestión de recursos hídricos, con aplicaciones prácticas en terrenos complejos y problemas de sostenibilidad.
- **Suelos (*Soils*) y Acuíferos (*aquifer*):** Son subtemas fundamentales en agricultura y manejo ambiental, vinculados a prácticas sostenibles y la conservación de recursos naturales.

Cuadrante Inferior Derecho: Temas Base o Transversales (Alta Centralidad y Baja Densidad): Este cuadrante incluye temas de alta relevancia que aún no han alcanzado un desarrollo suficiente para ser considerados motores. Su alta centralidad refleja su conexión con diversas áreas del conocimiento, mientras que su baja densidad sugiere oportunidades para profundizar en su estudio.

- **Bioprospección (*Bioprospecting*), biodiversidad (*biodiversity*), actividad antimicrobiana (*antimicrobial activity*), endófitos (*endophyte*), metabolitos secundarios (*secondary metabolites*) y plantas medicinales (*medicinal plants*):** Constituyen el núcleo de la bioprospección, con aplicaciones clave en el descubrimiento de compuestos bioactivos, mejora agrícola y producción de medicamentos naturales.
- **Conservación (*Conservation*) y métodos químicos (*chemistry methods*):** Representan prácticas sostenibles y métodos analíticos esenciales para el análisis y aprovechamiento de productos biológicos y además para la recuperación de ambientes contaminados.

Cuadrante Superior Izquierdo: Temas de Nicho o Altamente Especializados (Alta Densidad y Baja Centralidad): Este cuadrante incluye temas con un alto grado de especialización, aunque su relevancia general dentro del campo es limitada. Se enfocan en problemas específicos que requieren conocimientos profundos:

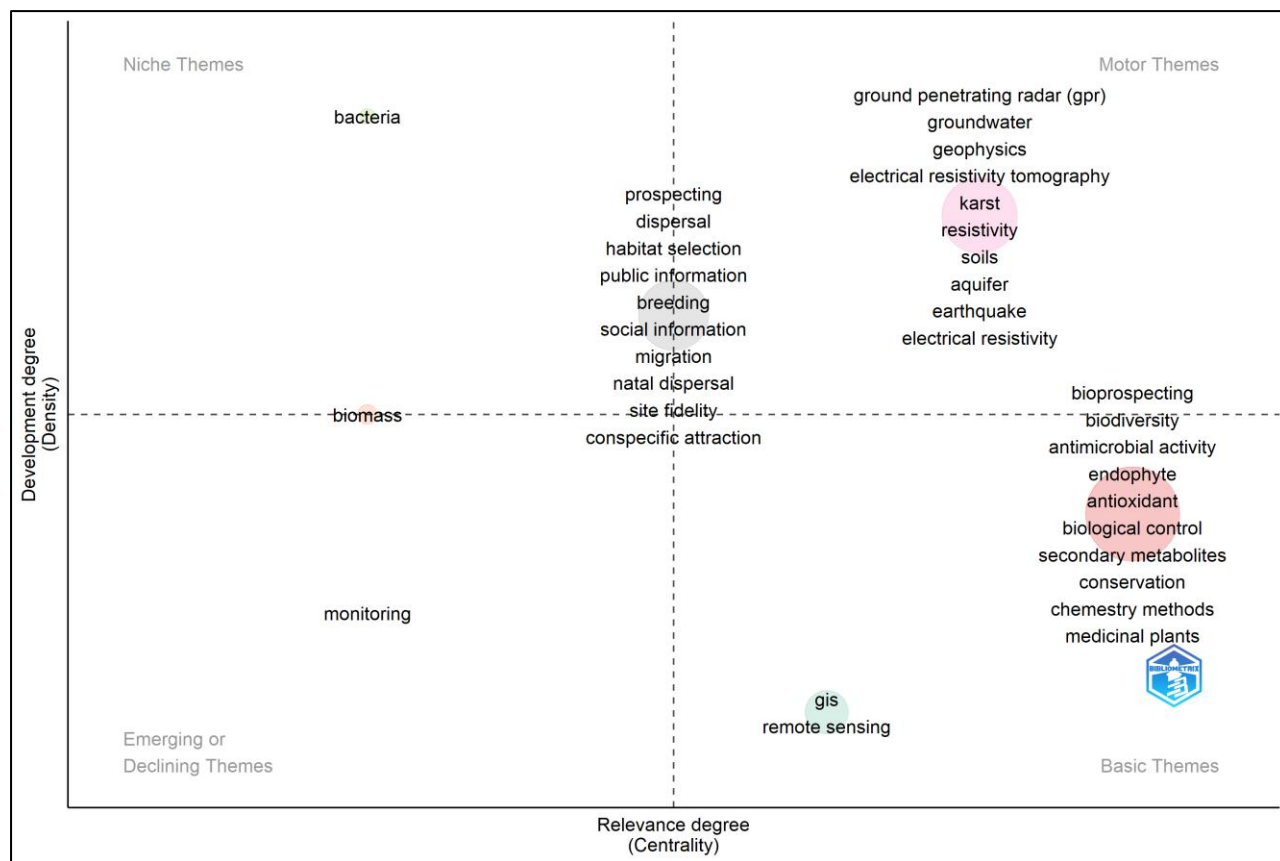
- **Bacteria:** Refleja investigaciones en la caracterización de microorganismos, con aplicaciones específicas en biotecnología y agricultura.

- **Dispersión (*dispersal*) y selección del hábitat (*habitat selection*):** Están relacionados con el estudio de dinámicas ecológicas, útiles en estudios ambientales para la conservación y monitoreo de la evolución de las especies y nichos ecológicos.

Cuadrante Inferior Izquierdo: Temas Emergentes o en Declive (Baja Centralidad y Baja Densidad): En este cuadrante se agrupan temas cuya importancia y desarrollo aún son bajos, lo que puede deberse a que se trata de tópicos relativamente nuevos o de áreas que han perdido relevancia en la comunidad científica. Algunos de estos temas están comenzando a desarrollarse en respuesta a nuevas demandas globales, mientras que otros reflejan una disminución en el interés de investigación, posiblemente al ser integrados en enfoques más avanzados o específicos:

- **Monitoreo (*monitoring*):** Indica una reducción en el interés por enfoques generales de monitoreo, posiblemente reemplazados por técnicas más avanzadas como *remote sensing* y *numerical simulation*.
- **Biomasa (*biomass*):** Aunque sigue siendo un tema relevante, parece haber sido integrado en enfoques más avanzados y específicos.

Figura 8. Mapa temático principales tendencias de investigación



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en enero de 2025. Software de procesamiento Bibliometrix® v4.3.0

El mapa temático refleja la dinámica de la bioprospección en ciencias agrícolas y biológicas, destacando cómo los temas motores, como *GPR* y resistividad (*resistivity*), lideran el campo gracias a su relevancia y alto nivel de desarrollo. Paralelamente, los temas base, como bioprospección (*bioprospecting*) y metabolitos secundarios (*secondary metabolites*), subrayan el núcleo teórico y aplicado de la disciplina. Sin embargo, los temas de nicho y emergentes, como bacteria (*bacteria*) y monitoreo (*monitoring*), ofrecen oportunidades para investigaciones más especializadas o para renovar el interés en áreas previamente amplias. Interesantemente temas como prospección (*prospection*) y otros afines a la selección del hábitat (*habitat selection*) como dispersión (natal *dispersion*) y migración (*migration*) al igual que aquellos relacionados con información pública (*public* y *social information*) se encuentran en la mitad de los dos cuadrantes superiores. Lo cual indica que bien estos temas avanzan en su grado de desarrollo o van hacia el declive. Teniendo en cuenta que la repartición equitativa de los recursos o *benefit sharing* es un

tema controversial actual y para el cual se están creando normativas en cada país, probablemente en unos años esta temática sea considerada como un tema motor. Este análisis evidencia una evolución temática hacia enfoques tecnológicos, sostenibles y específicos.

Bibliografía

- Albert, C. H., de Bello, F., Boulangeat, I., Pellet, G., Lavorel, S., & Thuiller, W. (2012). On the importance of intraspecific variability for the quantification of functional diversity. *Oikos*, *121*(1), 116–126. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19672.x>
- Aly, A. H., Debbab, A., Kjer, J., & Proksch, P. (2010). Fungal endophytes from higher plants: a prolific source of phytochemicals and other bioactive natural products. *Fungal Diversity*, *41*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s13225-010-0034-4>
- Amorim, F. G., Coitinho, L. B., Dias, A. T., Friques, A. G. F., Monteiro, B. L., Rezende, L. C. D. de, Pereira, T. de M. C., Campagnaro, B. P., De Pauw, E., Vasquez, E. C., & Quinton, L. (2019). Identification of new bioactive peptides from Kefir milk through proteopeptidomics: Bioprospection of antihypertensive molecules. *Food Chemistry*, *282*, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.010>
- Bicca, F. C., Fleck, L. C., & Ayub, M. A. Z. (1999). Production of biosurfactant by hydrocarbon degrading *Rhodococcus ruber* and *Rhodococcus erythropolis*. *Revista de Microbiologia*, *30*(3), 231–236. <https://doi.org/10.1590/S0001-37141999000300008>
- Boulinier, T., & Danchin, E. (1997). The use of conspecific reproductive success for breeding patch selection in terrestrial migratory species. *Evolutionary Ecology*, *11*(5), 505–517. <https://doi.org/10.1007/s10682-997-1507-0>
- Boulinier, T., Danchin, E., Monnat, J.-Y., Doutrelant, C., & Cadiou, B. (1996). Timing of Prospecting and the Value of Information in a Colonial Breeding Bird. *Journal of Avian Biology*, *27*(3), 252. <https://doi.org/10.2307/3677230>
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). Model selection and multimodel inference : a practical information-theoretic approach. *Springer* , 49–97.
- Ciez, R. E., & Whitacre, J. F. (2019). Examining different recycling processes for lithium-ion batteries. *Nature Sustainability*, *2*(2), 148–156. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0222-5>

- Danchin, E., Boulinier, T., & Massot, M. (1998). CONSPECIFIC REPRODUCTIVE SUCCESS AND BREEDING HABITAT SELECTION: IMPLICATIONS FOR THE STUDY OF COLONIALITY. *Ecological Society of America*.
- Doligez, B., Danchin, E., & Clobert, J. (2002). Public Information and Breeding Habitat Selection in a Wild Bird Population. *Science*, 297(5584), 1168–1170. <https://doi.org/10.1126/science.1072838>
- Flórez-Martínez, D. H., Contreras-Pedraza, C. A., Escobar-Parra, S., & Rodríguez-Cortina, J. (2023). Key Drivers for Non-Centrifugal Sugar Cane Research, Technological Development, and Market Linkage: A Technological Roadmap Approach for Colombia. *Sugar Tech*, 25(2), 373–385. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01200-9>
- Gambarini, V., Pantos, O., Kingsbury, J. M., Weaver, L., Handley, K. M., & Lear, G. (2021). Phylogenetic Distribution of Plastic-Degrading Microorganisms. *MSystems*, 6(1). <https://doi.org/10.1128/mSystems.01112-20>
- Hamilton, A. C. (2004). Medicinal plants, conservation and livelihoods. *Biodiversity and Conservation*, 13(8), 1477–1517. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000021333.23413.42>
- Hosseini, H., Al-Jabri, H., Moheimani, N., Siddiqui, S., & Saadaoui, I. (2022). Marine microbial bioprospecting: Exploitation of marine biodiversity towards biotechnological applications—a review. *Journal of Basic Microbiology*, Volume 62, Issue 9, 1030-1043.
- Johansson, B. G., & Jones, T. M. (2007). The role of chemical communication in mate choice. *Biological Reviews*, 82(2), 265–289. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2007.00009.x>
- Lammoglia, T., & Filho, C. R. de S. (2011). Spectroscopic characterization of oils yielded from Brazilian offshore basins: Potential applications of remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 115(10), 2525–2535. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.04.038>
- Liu, B., Wang, Y., Yang, F., Cui, H., & Wu, D. (2018). Development of a Chlorantraniliprole Microcapsule Formulation with a High Loading Content and Controlled-Release Property. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(26), 6561–6568. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01295>

- Mandal, R., Singh, A., & Pratap Singh, A. (2018). Recent developments in cold plasma decontamination technology in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.014>
- Manzocco, L., Mikkonen, K. S., & García-González, C. A. (2021). Aerogels as porous structures for food applications: Smart ingredients and novel packaging materials. *Food Structure*, 28, 100188. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100188>
- Mitter, E. K., Tosi, M., Obregón, D., Dunfield, K. E., & Germida, J. J. (2021a). Rethinking Crop Nutrition in Times of Modern Microbiology: Innovative Biofertilizer Technologies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606815>
- Mitter, E. K., Tosi, M., Obregón, D., Dunfield, K. E., & Germida, J. J. (2021b). Rethinking Crop Nutrition in Times of Modern Microbiology: Innovative Biofertilizer Technologies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606815>
- Morley, A. M., Mather, T. A., Pyle, D. M., & Kendall, J.-M. (2025). Detecting shallow subsurface anomalies with airborne and spaceborne remote sensing: A review. *Science of Remote Sensing*, 11, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2024.100187>
- Naidoo, R., & Ricketts, T. H. (2006). Mapping the Economic Costs and Benefits of Conservation. *PLoS Biology*, 4(11), e360. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040360>
- Okino Delgado, C. H., & Fleuri, L. F. (2016). Orange and mango by-products: Agro-industrial waste as source of bioactive compounds and botanical versus commercial description—A review. *Food Reviews International*, 32(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1041183>
- Oyemitan, I. A. (2017). Chapter 27: African Medicinal Spices of Genus Piper, 8. Bioprospecting and conservation status of the genus Piper. En *Medicinal Spices and Vegetables from Africa* (págs. 581-597). Dschang, Cameroon: Academic Press, edited by Victor Kuete.
- Pinheiro, L. M., Song, H., Ruddick, B., Dubert, J., Ambar, I., Mustafa, K., & Bezerra, R. (2010). Detailed 2-D imaging of the Mediterranean outflow and meddies off W Iberia from multichannel seismic data. *Journal of Marine Systems*, 79(1–2), 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2009.07.004>
- Pollastro, R. M. (1993). Considerations and Applications of the Illite/Smectite Geothermometer in Hydrocarbon-Bearing Rocks of Miocene to Mississippian Age.

- Clays and Clay Minerals*, 41(2), 119–133.
<https://doi.org/10.1346/CCMN.1993.0410202>
- Reed, J. M., Bouludier, T., Danchin, E., & Oring, L. W. (1999). Informed Dispersal. In *Current Ornithology* (pp. 189–259). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4901-4_5
- Rotter, A., Barbier, M., Bertoni, F., Bones, A. M., Cancela, M. L., Carlsson, J., Carvalho, M. F., Ceglowska, M., Chirivella-Martorell, J., Conk Dalay, M., Cueto, M., Dailianis, T., Deniz, I., Díaz-Marrero, A. R., Drakulovic, D., Dubnika, A., Edwards, C., Einarsson, H., Erdoğan, A., ... Vasquez, M. I. (2021). The Essentials of Marine Biotechnology. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.629629>
- Saikia, B., Bhattacharyya, A., Chandra Boro, R., Savani, A. K., & V, B. (2025). Bioprospecting of bacterial endophytes from *Solanum pimpinellifolium* with antifungal activity against *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* causing vascular wilt. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 136, 102566. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2025.102566>
- Sudarshna, & Sharma, N. (2025). Bioprospecting of endophytic bacterial inoculation in intercropped *Trillium govanianum* (Wall. Ex. Royle) and Apple cv. Royal delicious. *Ecological Genetics and Genomics*, 34, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2024.100315>
- Tholl, D., Hossain, O., Weinhold, A., Röse, U. S. R., & Wei, Q. (2021). Trends and applications in plant volatile sampling and analysis. *The Plant Journal*, 106(2), 314–325. <https://doi.org/10.1111/tpj.15176>
- Ussiri, D. A. N., & Lal, R. (2009). Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. *Soil and Tillage Research*, 104(1), 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.11.008>
- Wang, M., Wang, C., Hu, X., Zhang, H., He, S., & Lv, S. (2015). Distributions and sources of petroleum, aliphatic hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from Bohai Bay and its adjacent river, China. *Marine Pollution Bulletin*, 90(1–2), 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.11.017>
- Ward, M. P. (2005). Habitat selection by dispersing yellow-headed blackbirds: evidence of prospecting and the use of public information. *Oecologia*, 145(4), 650–657. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0179-0>

- Watling, L., & Norse, E. A. (1998). Disturbance of the Seabed by Mobile Fishing Gear: A Comparison to Forest Clearcutting. *Conservation Biology*, 12(6), 1180–1197. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1998.0120061180.x>
- Yasika, Y., & Shivakumar, M. S. (2025). A comprehensive account of functional role of insect gut microbiome in insect orders. *Journal of Natural Pesticide Research*, 11, 100110. <https://doi.org/10.1016/j.napere.2024.100110>
- Zahaby, Y., Crump, D., O'Brien, J., Dupuis-Smith, R., Dwyer-Samuel, F., Laing, R., Pilgrim, S., Gear, G., Pamak, C., Saunders, M., Denniston, M., Mallory, M. L., Tomy, G., Halldorson, T., Vitharana, N., Xia, Z., Francisco, O., & Provencher, J. F. (2025). Comparison of gene expression and polycyclic aromatic compound profiles in hepatic tissue of black guillemot (*Cepphus grylle*) collected from an oil spill site and a non-spill site in the Arctic. *Marine Pollution Bulletin*, 212, 117504. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117504>



AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria