



**Microbial Diversity and Its Relationship with Environmental
Quality in Natural Ecosystems**

**Diversidad microbiana y su relación con la calidad
ambiental en ecosistemas naturales**

Para citar este trabajo:

Terrón, R. P. y, & García Pérez, G. . (2025). Diversidad microbiana y su relación con la calidad ambiental en ecosistemas naturales. Educational Regent Multidisciplinary Journal, 2(4), 1-12. <https://doi.org/10.63969/t3d7jm17>

Autores:

Rocío Pérez y Terrón

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla - México

rocio.perez@correo.buap.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7773-4729>

Guillermo García Pérez

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla - México

guillermo.garciapz@udlap.mx

<https://orcid.org/0009-0009-4915-7045>

Autor de Correspondencia: Rocío Pérez y Terrón, rocio.perez@correo.buap.mx

RECIBIDO: 03-Diciembre-2025

ACEPTADO: 17-Diciembre-2025

PUBLICADO: 31-Diciembre-2025



Resumen

La diversidad microbiana constituye un componente estructural y funcional esencial de los ecosistemas naturales, debido a su participación directa en procesos ecológicos clave como el ciclo de nutrientes, la regulación de los flujos biogeoquímicos y el mantenimiento de la estabilidad ambiental. Las comunidades microbianas, integradas por bacterias, arqueas, hongos y protistas, actúan como reguladores fundamentales del funcionamiento ecosistémico, influyendo en la productividad primaria, la descomposición de la materia orgánica y la capacidad de respuesta frente a perturbaciones naturales y antrópicas. El objetivo de este estudio fue examinar de forma sistemática y crítica la evidencia científica disponible sobre la relación entre la diversidad microbiana y la calidad ambiental en ecosistemas naturales, mediante el análisis de literatura especializada. La investigación se desarrolló a partir de un análisis documental sistemático, sin contemplar la ejecución de estudios experimentales o de campo, y adoptó un diseño de revisión sistemática con enfoque descriptivo-analítico, siguiendo los lineamientos de la declaración PRISMA 2020 para garantizar transparencia y trazabilidad metodológica. El análisis de la producción científica revisada permite reconocer que las variaciones en la composición y funcionalidad de las comunidades microbianas se asocian de manera consistente con procesos de degradación o recuperación ambiental, lo que posiciona a la diversidad microbiana como un indicador sensible y estratégico para la evaluación integral de la calidad ambiental y la sostenibilidad de los ecosistemas naturales.

Palabras clave: diversidad microbiana; calidad ambiental; ecosistemas naturales; ecología microbiana; revisión sistemática.

Abstract

Microbial diversity constitutes an essential structural and functional component of natural ecosystems, owing to its direct involvement in key ecological processes such as nutrient cycling, the regulation of biogeochemical fluxes and the maintenance of environmental stability. Microbial communities, comprising bacteria, archaea, fungi and protists, act as fundamental regulators of ecosystem functioning by influencing primary productivity, organic matter decomposition and the capacity of ecosystems to respond to natural and anthropogenic disturbances. The aim of this study was to systematically and critically examine the available scientific evidence on the relationship between microbial diversity and environmental quality in natural ecosystems through the analysis of specialised literature. The research was conducted using a systematic documentary analysis, without the implementation of experimental or field-based studies, and adopted a systematic review design with a descriptive-analytical approach, following the PRISMA 2020 guidelines to ensure methodological transparency and traceability. The analysis of the reviewed scientific literature indicates that variations in the composition and functionality of microbial communities are consistently associated with processes of environmental degradation or ecological recovery, positioning microbial diversity as a sensitive and strategic indicator for the comprehensive assessment of environmental quality and the sustainability of natural ecosystems.

Keywords: microbial diversity; environmental quality; natural ecosystems; microbial ecology; systematic review.



1. Introducción

La diversidad microbiana representa un componente estructural y funcional esencial de los ecosistemas naturales, debido a su participación directa en procesos ecológicos clave como el ciclado y la transformación de nutrientes, la regulación de los flujos biogeoquímicos y el sostenimiento de la estabilidad ecológica. Las comunidades microbianas, integradas principalmente por bacterias, arqueas, hongos y protistas, operan como sistemas reguladores fundamentales del funcionamiento ecosistémico, al influir de manera decisiva en la productividad primaria, la descomposición de la materia orgánica y la capacidad de los ecosistemas para responder y adaptarse a perturbaciones tanto naturales como de origen antrópico.

Durante las últimas décadas, el desarrollo y la consolidación de herramientas moleculares avanzadas, junto con el análisis bioinformático de datos de alta complejidad, han ampliado significativamente la comprensión de los vínculos entre la diversidad microbiana y la calidad ambiental. Estos avances han demostrado que las variaciones en la composición, estructura y funcionalidad de las comunidades microbianas pueden actuar como indicadores sensibles y tempranos de procesos de degradación ambiental, así como de dinámicas de recuperación ecológica. En este marco, el estudio de la diversidad microbiana se ha posicionado como un eje estratégico de investigación en ecología microbiana y ciencias ambientales, al aportar evidencia clave para la evaluación integral del estado y la sostenibilidad de los ecosistemas naturales.

A pesar del reconocimiento progresivo de la relevancia ecológica de los microorganismos, la diversidad microbiana continúa siendo insuficientemente incorporada en los enfoques convencionales de evaluación ambiental, los cuales priorizan principalmente indicadores físico-químicos o comunidades de organismos macroscópicos. Esta subrepresentación limita una comprensión holística de la calidad ambiental, al excluir componentes biológicos altamente sensibles que responden de manera temprana a las modificaciones del entorno, reduciendo así la capacidad de detección precoz de procesos de alteración ecológica.

De manera paralela, la intensificación de actividades antrópicas tales como la expansión de la agricultura extensiva, la deforestación, la contaminación de origen industrial y los efectos asociados al cambio climático ha generado modificaciones sustanciales en la composición taxonómica y en la funcionalidad de las comunidades microbianas en una amplia variedad de ecosistemas naturales. No obstante, los efectos reportados de estas perturbaciones presentan una alta variabilidad y escasa comparabilidad, atribuible a la heterogeneidad metodológica, escalas de análisis divergentes y marcos conceptuales no unificados empleados en los estudios existentes.

Finalmente, la producción científica relacionada con la interacción entre diversidad microbiana y calidad ambiental se encuentra dispersa y fragmentada, lo que dificulta la integración sistemática de evidencias empíricas y la identificación de patrones ecológicos robustos y consistentes. Esta situación evidencia la necesidad de desarrollar una revisión bibliográfica rigurosa y estructurada que permita sintetizar los principales avances científicos, enfoques teóricos predominantes y vacíos de conocimiento, contribuyendo a una comprensión más coherente y fundamentada de este campo de estudio.

Diversos estudios fundacionales han establecido que la diversidad microbiana mantiene una relación directa con la estabilidad y el funcionamiento de los ecosistemas naturales, al favorecer la redundancia funcional y la complementariedad ecológica entre especies. Esta diversidad permite que los sistemas ecológicos mantengan procesos clave aún bajo condiciones de perturbación, lo que se traduce en una mayor capacidad de amortiguación frente a cambios ambientales. En este contexto, Rojas et al. (2024) demostró que los ecosistemas con mayor diversidad biológica presentan una respuesta más eficiente ante disturbios, debido a la coexistencia de múltiples grupos funcionales. Estos hallazgos sentaron las bases conceptuales



para comprender el papel estabilizador de las comunidades microbianas. Asimismo, se evidenció que la pérdida de diversidad incrementa la vulnerabilidad ecológica. Por tanto, la diversidad microbiana emerge como un componente crítico de la resiliencia ecosistémica.

Investigaciones posteriores profundizaron en la vinculación entre diversidad biológica y procesos ecológicos, ampliando el enfoque hacia la eficiencia funcional de los ecosistemas. En particular, se ha demostrado que una mayor diversidad microbiana favorece la optimización del ciclo de nutrientes y la productividad primaria. Saavedra et al. (2024) sostuvo que la diversidad no solo incrementa la biomasa total, sino que mejora la eficiencia con la que los recursos son utilizados dentro del sistema. Desde esta perspectiva, los microorganismos desempeñan un rol determinante en la regulación de flujos energéticos y materiales. Además, la diversidad microbiana contribuye a la estabilidad temporal de los procesos ecológicos. Estos aportes consolidaron la relación entre biodiversidad microbiana y funcionamiento ecosistémico

Desde una escala global, los estudios de biogeoquímica microbiana han destacado el papel central de los microorganismos en la regulación de los ciclos elementales del planeta. En este sentido, se ha evidenciado que bacterias y arqueas controlan procesos como la fijación de carbono, la nitrificación y la desnitrificación. Ortiz et al. (2023) demostró que las alteraciones en la estructura de las comunidades microbianas pueden generar desequilibrios significativos en los ciclos biogeoquímicos globales. Estos cambios repercuten directamente en la calidad ambiental tanto a nivel local como regional. Asimismo, se reconoce que los microorganismos actúan como mediadores entre la biosfera y la atmósfera. De este modo, su diversidad resulta clave para la regulación ambiental global.

En ecosistemas terrestres, particularmente en el suelo, la diversidad microbiana ha sido identificada como un indicador altamente sensible de cambios ambientales. Los microorganismos del suelo responden rápidamente a variaciones en el uso del territorio, contaminación y prácticas agrícolas intensivas. Hidayah et al. (2025) evidenció que la reducción de la diversidad microbiana se asocia con procesos de degradación del suelo, pérdida de fertilidad y disminución de la funcionalidad ecológica. Estas alteraciones afectan la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes. Además, la simplificación de las comunidades microbianas limita la capacidad de recuperación del suelo. Por ello, la diversidad microbiana edáfica es clave para evaluar la calidad ambiental.

Desde un enfoque funcional, la ecología microbiana ha resaltado que no solo la composición taxonómica, sino también la organización estructural de las comunidades, determina su desempeño ecológico. La diversidad funcional permite que múltiples rutas metabólicas coexistan dentro de un mismo ecosistema. Dos Santos et al. (2025) argumentó que la estructura de las comunidades microbianas condiciona la estabilidad de procesos ecológicos esenciales, incluso bajo escenarios de estrés ambiental. Esta perspectiva destaca la importancia de comprender la diversidad más allá del número de especies. Asimismo, se reconoce que comunidades funcionalmente diversas son más resistentes a perturbaciones. En consecuencia, la diversidad microbiana se vincula directamente con la calidad ambiental.

En ambientes acuáticos, la diversidad microbiana desempeña un papel determinante en la regulación de la calidad del agua y en el flujo de energía dentro de los ecosistemas. Las comunidades microbianas acuáticas participan activamente en la degradación de la materia orgánica disuelta y particulada. Toninato et al. (2024) demostró que las redes tróficas microbianas constituyen un componente central en la transferencia de energía hacia niveles tróficos superiores. Estos procesos influyen en la transparencia del agua, la disponibilidad de nutrientes y la productividad del sistema. Además, las alteraciones en la diversidad microbiana



pueden desencadenar procesos de eutrofización. Por tanto, la diversidad microbiana acuática es un indicador clave de calidad ambiental.

La interacción entre microorganismos y plantas constituye otro eje relevante en la relación entre diversidad microbiana y calidad ambiental. En los suelos, las comunidades microbianas influyen directamente en la nutrición, crecimiento y resistencia de las plantas. Castro et al. (2024) evidenció que una mayor diversidad microbiana del suelo favorece la estabilidad de las comunidades vegetales y mejora la productividad del ecosistema. Estas interacciones simbióticas incrementan la eficiencia en la absorción de nutrientes. Asimismo, contribuyen a la resistencia frente a patógenos y estrés ambiental. En este sentido, la diversidad microbiana actúa como un factor regulador de la salud del ecosistema terrestre.

Finalmente, estudios recientes han integrado escalas locales y globales para evaluar la diversidad microbiana como indicador ambiental. Mediante análisis comparativos a gran escala, se ha demostrado que la diversidad microbiana responde de manera consistente a gradientes de degradación ambiental. Bustos et al. (2023) mostró que la pérdida de diversidad microbiana se correlaciona con la disminución de funciones ecosistémicas esenciales. Estos resultados refuerzan el valor de la diversidad microbiana como un indicador robusto de sostenibilidad ecológica. Además, permiten establecer umbrales de calidad ambiental basados en componentes microbianos. Así, la diversidad microbiana se consolida como una herramienta clave en la evaluación ambiental.

Desde la ecología de sistemas, los ecosistemas son comprendidos como unidades funcionales integradas en las que el flujo de energía y la circulación de la materia dependen de interacciones biológicas multiescales. En este enfoque, los microorganismos cumplen una función esencial como mediadores metabólicos de los procesos ecosistémicos. Barbero et al. (2023) señaló que el funcionamiento ambiental no puede interpretarse adecuadamente sin considerar la actividad microbiana. Esta perspectiva permitió reconocer la diversidad microbiana como un componente estructural del ecosistema. Asimismo, sentó las bases para su incorporación en evaluaciones ambientales. De este modo, los microorganismos se consolidan como reguladores del equilibrio ecológico.

El enfoque funcional de la biodiversidad amplió la comprensión de la diversidad biológica al integrar los roles ecológicos desempeñados por las especies. En este marco, la diversidad microbiana se interpreta a partir de su contribución a procesos ecosistémicos específicos. Santana et al. (2023) destacaron que la presencia de múltiples grupos funcionales mejora la eficiencia y estabilidad de los sistemas naturales. En el caso de los microorganismos, esta diversidad funcional favorece la redundancia ecológica. Además, permite una respuesta más eficaz ante perturbaciones ambientales. Por tanto, la calidad ambiental se vincula estrechamente con la funcionalidad microbiana.

El concepto de resiliencia ecológica permite analizar la capacidad de los ecosistemas para absorber disturbios y reorganizarse sin perder sus funciones esenciales. En este contexto, la diversidad microbiana desempeña un papel clave en la recuperación de los sistemas naturales. Cardoso et al. (2023) indicó que los ecosistemas con mayor diversidad biológica presentan una mayor capacidad adaptativa. Aplicado a comunidades microbianas, este enfoque explica su rápida respuesta a cambios ambientales. Asimismo, resalta su valor como indicadores tempranos de degradación o recuperación. Así, la resiliencia microbiana se asocia directamente con la calidad ambiental.

Desde la ecología microbiana, se reconoce que la organización interna de las comunidades condiciona la estabilidad de los procesos ecológicos. La estructura comunitaria, expresada en la distribución y abundancia relativa de los microorganismos, determina su desempeño funcional.



Gómez et al. (2022) sostuvo que la complejidad estructural de las comunidades microbianas es clave para mantener procesos ecológicos bajo condiciones de estrés. Este planteamiento resulta especialmente relevante en ambientes antropizados. Además, permite vincular cambios estructurales con alteraciones en la calidad ambiental. En consecuencia, la estructura microbiana es un componente crítico del funcionamiento ecosistémico.

El concepto de nicho ecológico ofrece una herramienta explicativa para comprender cómo las condiciones ambientales influyen en la composición de las comunidades microbianas. Factores como el pH, la disponibilidad de nutrientes y la humedad determinan la presencia y actividad microbiana. Carscadden et al. (2020) definió el nicho como el conjunto de condiciones que permiten la persistencia de una especie. En microbiología ambiental, este concepto explica la distribución espacial y funcional de los microorganismos. Además, permite interpretar la diversidad microbiana como una respuesta directa a la calidad del entorno. De este modo, el ambiente regula la composición microbiana.

Desde la biogeoquímica ambiental, los microorganismos son considerados agentes clave en la transformación de elementos esenciales. Su actividad regula procesos como la mineralización del carbono y el nitrógeno, fundamentales para la productividad ecosistémica. Soto et al. (2022) destacó que las comunidades microbianas controlan la disponibilidad de nutrientes en los ecosistemas naturales. Las alteraciones en estos procesos afectan directamente la calidad ambiental. Asimismo, los cambios en la diversidad microbiana modifican la eficiencia de los ciclos biogeoquímicos. Por ello, la biogeoquímica microbiana resulta central en la evaluación ambiental.

El enfoque metagenómico ha revolucionado el estudio de la diversidad microbiana al permitir el análisis directo del ADN ambiental. Esta aproximación supera las limitaciones de los métodos tradicionales basados en cultivo. Shaikenova et al. (2025) introdujeron este enfoque para explorar comunidades microbianas complejas en su contexto natural. Gracias a ello, se ha ampliado significativamente el conocimiento sobre la estructura y función microbiana. Además, se ha fortalecido su aplicación como indicador de calidad ambiental. En consecuencia, la metagenómica se posiciona como una herramienta conceptual clave en ecología microbiana.

Finalmente, el enfoque de los sistemas socioecológicos integra los procesos ecológicos con las dinámicas humanas y sociales. Desde esta perspectiva, la diversidad microbiana es reconocida como un componente esencial de la sostenibilidad ambiental. Rathe (2017) señalaron que la resiliencia de los sistemas depende de la interacción entre biodiversidad y actividades humanas. En este marco, los microorganismos contribuyen al mantenimiento de servicios ecosistémicos fundamentales. Asimismo, su diversidad refleja el impacto de las acciones humanas sobre el ambiente. De este modo, la diversidad microbiana se consolida como un indicador estratégico de sostenibilidad.

La revisión bibliográfica se establece como la herramienta metodológica fundamental del presente estudio, al permitir la recopilación, evaluación crítica y síntesis sistemática de la producción científica relacionada con la diversidad microbiana y su vínculo con la calidad ambiental. Mediante este procedimiento, es posible identificar patrones de investigación, enfoques conceptuales dominantes, estrategias metodológicas empleadas y vacíos de conocimiento aún no abordados, lo que asegura una comprensión integral, estructurada y actualizada del estado del conocimiento en este campo de estudio.

Examinar de forma sistemática y crítica la evidencia científica disponible sobre la relación entre la diversidad microbiana y la calidad ambiental en ecosistemas naturales, mediante el análisis de la literatura especializada.



La revisión se organiza a partir de la pregunta ¿qué evidencias científicas sustentan la relación entre la diversidad microbiana y la calidad ambiental en los ecosistemas naturales?, la cual guía el análisis crítico y sistemático de la producción científica disponible. Esta interrogante permite delimitar con claridad el alcance del estudio, estructurar la síntesis de los principales hallazgos y reconocer patrones conceptuales y vacíos de conocimiento relevantes, contribuyendo a una comprensión integrada del papel de la diversidad microbiana en la evaluación de la calidad ambiental.

2. Metodología

El trabajo se desarrolló mediante un análisis documental de carácter sistemático, orientado a examinar de forma rigurosa la producción científica relacionada con la diversidad microbiana y su vínculo con la calidad ambiental en ecosistemas naturales. El propósito metodológico fue estructurar, evaluar críticamente y sintetizar el conocimiento disponible para comprender cómo esta relación ha sido abordada desde la ecología microbiana, la biogeoquímica y las ciencias ambientales, considerando atributos estructurales y funcionales de las comunidades microbianas, sin contemplar la ejecución de estudios experimentales o de campo.

El estudio adoptó un diseño de revisión sistemática con enfoque descriptivo-analítico. Para asegurar consistencia metodológica, transparencia en el proceso y trazabilidad en la selección de las fuentes, la revisión se desarrolló conforme a los lineamientos establecidos por la declaración PRISMA 2020, los cuales guiaron de manera ordenada las etapas de identificación, depuración, evaluación de elegibilidad e inclusión final de los documentos analizados.

La búsqueda de información se efectuó entre enero y marzo de 2025 en bases de datos científicas de reconocido prestigio y amplia cobertura en biología y ciencias ambientales, específicamente Scopus, Web of Science, PubMed, SciELO, Redalyc y Latindex. Estas plataformas fueron seleccionadas por su relevancia en la difusión de investigaciones relacionadas con biodiversidad microbiana, funcionamiento ecosistémico y evaluación ambiental. Se emplearon estrategias de búsqueda estructuradas mediante combinaciones de descriptores en español e inglés, tales como microbial diversity, environmental quality, microbial ecology, ecosystem functioning y bioindicators, adaptadas a las particularidades de cada base de datos para maximizar la pertinencia de los resultados.

Los criterios de inclusión y exclusión fueron definidos previamente en coherencia con el objetivo de la revisión. Se consideraron estudios publicados entre 2015 y 2025 que abordaran explícitamente la relación entre diversidad microbiana y calidad ambiental en ecosistemas naturales, tanto terrestres como acuáticos. Se incluyeron artículos teóricos, revisiones y estudios empíricos con distintos enfoques metodológicos, siempre que presentaran claridad conceptual y estuvieran publicados en revistas indexadas en español o inglés. Se excluyeron trabajos centrados exclusivamente en contextos clínicos o biotecnológicos, publicaciones sin sustento metodológico explícito, estudios anteriores a 2015 y aquellos desarrollados en sistemas artificiales sin referencia ecológica.

La selección de los estudios siguió las cuatro fases establecidas por el protocolo PRISMA 2020. En la fase inicial se identificaron 162 registros; tras la eliminación de duplicados, se procedió al cribado de títulos y resúmenes, descartándose aquellos que no cumplieran con los criterios establecidos. Posteriormente, se evaluaron los textos completos elegibles, lo que permitió conformar una muestra final de 31 estudios que integraron el corpus analítico de la revisión.

La extracción de la información se realizó mediante una matriz de sistematización elaborada específicamente para el estudio, la cual permitió organizar de manera homogénea los datos relevantes. Se registraron variables como año de publicación, tipo de ecosistema, región



geográfica, grupos microbianos analizados, enfoques metodológicos, indicadores de diversidad utilizados y principales aportes en relación con la calidad ambiental. Este proceso se desarrolló con control cruzado para garantizar la coherencia y consistencia de la información recopilada.

El análisis de los estudios se llevó a cabo mediante un enfoque narrativo-comparativo, orientado a identificar convergencias, contrastes y tendencias en la literatura revisada. Dada la heterogeneidad metodológica de los trabajos incluidos, no se aplicaron procedimientos estadísticos de evaluación del sesgo; no obstante, se priorizaron estudios con solidez conceptual, coherencia interna y relevancia ecológica. El proceso completo fue documentado mediante un diagrama PRISMA 2020, asegurando transparencia, replicabilidad y rigor metodológico.

3. Resultados

El análisis de la producción científica permitió evidenciar que el conocimiento sobre la interacción entre diversidad microbiana y calidad ambiental se encontraba ampliamente disperso entre distintas disciplinas, escalas espaciales y enfoques metodológicos. Esta fragmentación dificultó la integración coherente de evidencias empíricas y limitó la identificación de patrones ecológicos consistentes. Sin embargo, la revisión sistemática hizo posible reconocer regularidades conceptuales, vacíos de información y líneas de investigación convergentes, lo que aportó una base sólida para una comprensión integrada del campo.

La evidencia examinada mostró que la diversidad microbiana se asoció de manera consistente con la estabilidad y el funcionamiento de los ecosistemas naturales. Se observó que comunidades microbianas más diversas favorecieron la redundancia funcional y la complementariedad ecológica, lo que permitió la continuidad de procesos ecosistémicos esenciales bajo condiciones de perturbación. En contraste, la reducción de la diversidad microbiana se vinculó con una mayor vulnerabilidad ecológica y una menor capacidad de respuesta ante cambios ambientales.

Asimismo, la literatura analizada indicó que la diversidad microbiana estuvo estrechamente relacionada con la eficiencia funcional de los ecosistemas. Se identificó que una mayor diversidad contribuyó a la optimización del ciclado de nutrientes y al uso más eficiente de los recursos disponibles, favoreciendo la productividad y la estabilidad temporal de los procesos ecológicos. Estos hallazgos reforzaron la importancia de los microorganismos como reguladores clave de los flujos energéticos y materiales.

Desde una perspectiva biogeoquímica, se constató que los microorganismos desempeñaron un papel central en la regulación de los ciclos del carbono y del nitrógeno. Las alteraciones en la estructura de las comunidades microbianas se asociaron con desequilibrios en estos ciclos, generando impactos directos sobre la calidad ambiental a diferentes escalas. De este modo, la diversidad microbiana emergió como un componente crítico en el mantenimiento del equilibrio ambiental.

En ecosistemas terrestres, particularmente en suelos, se identificó que la diversidad microbiana respondió de manera sensible a cambios en el uso del suelo, prácticas agrícolas intensivas y procesos de contaminación. La disminución de esta diversidad se relacionó con la degradación edáfica, la pérdida de fertilidad y la reducción de la funcionalidad ecológica, afectando procesos como la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes.

El enfoque funcional permitió reconocer que la organización estructural de las comunidades microbianas fue determinante para su desempeño ecológico. La coexistencia de múltiples rutas metabólicas dentro de un mismo sistema favoreció la resistencia de los procesos ecológicos frente a escenarios de estrés ambiental. En este sentido, comunidades funcionalmente diversas mostraron una mayor capacidad de adaptación y estabilidad.



En ambientes acuáticos, la diversidad microbiana se vinculó con la regulación de la calidad del agua y el flujo de energía dentro del ecosistema. Las comunidades microbianas participaron activamente en la transformación de la materia orgánica, influyendo en la disponibilidad de nutrientes y en la productividad del sistema. Las alteraciones en esta diversidad se asociaron con procesos de deterioro ambiental, como la eutrofización.

Las interacciones entre microorganismos y plantas también se evidenciaron como un componente relevante en la relación entre diversidad microbiana y calidad ambiental. Una mayor diversidad microbiana del suelo se asoció con una mejor nutrición vegetal, mayor estabilidad de las comunidades vegetales y una mayor productividad ecosistémica, además de una mayor resistencia frente a patógenos y condiciones adversas.

De manera integradora, se observó que la diversidad microbiana respondió de forma consistente a gradientes de degradación ambiental, lo que permitió su consideración como un indicador sensible y robusto de calidad ambiental. La pérdida progresiva de diversidad se correlacionó con la disminución de funciones ecosistémicas esenciales, reforzando su valor para la evaluación de la sostenibilidad ecológica.

Finalmente, la revisión puso en evidencia que los enfoques moleculares y metagenómicos ampliaron significativamente la comprensión de la estructura y función de las comunidades microbianas. Estas aproximaciones permitieron caracterizar con mayor precisión la diversidad microbiana y fortalecieron su aplicación como herramienta clave en la evaluación ambiental de ecosistemas naturales y antropizados.

4. Discusión

El análisis integrado de la evidencia científica pone de manifiesto que la diversidad microbiana constituye un componente central para la comprensión de la calidad ambiental en los ecosistemas naturales. La información revisada muestra que las comunidades microbianas no solo reflejan el estado ecológico de un sistema, sino que participan activamente en la regulación de procesos fundamentales que sostienen su funcionamiento. En este sentido, la diversidad microbiana se interpreta como un elemento estructural y funcional del ambiente, más que como un indicador aislado.

Los hallazgos analizados confirman que una mayor diversidad microbiana se asocia con una mayor estabilidad ecosistémica, debido a la coexistencia de múltiples funciones metabólicas que permiten amortiguar los efectos de perturbaciones ambientales. Esta diversidad funcional favorece la continuidad de procesos ecológicos clave, incluso bajo condiciones de estrés, lo que refuerza la idea de que los microorganismos desempeñan un papel determinante en la resiliencia de los sistemas naturales.

Desde una perspectiva funcional, la discusión evidencia que la calidad ambiental no depende únicamente de la presencia de microorganismos, sino de la complejidad estructural y organizativa de sus comunidades. La diversidad microbiana permite la redundancia funcional, lo que reduce la dependencia de especies específicas y aumenta la capacidad adaptativa del ecosistema frente a cambios ambientales progresivos o abruptos.

Asimismo, la revisión pone en relieve que las alteraciones en la diversidad microbiana están estrechamente vinculadas con modificaciones en los ciclos biogeoquímicos del carbono, el nitrógeno y otros elementos esenciales. Estos cambios repercuten directamente en la disponibilidad de nutrientes, la productividad biológica y el equilibrio ambiental, lo que posiciona a los microorganismos como mediadores clave entre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema.



En ecosistemas terrestres y acuáticos, la diversidad microbiana emerge como un indicador particularmente sensible frente a procesos de degradación ambiental. La evidencia discutida muestra que las comunidades microbianas responden de manera temprana a presiones antrópicas como el cambio en el uso del suelo, la contaminación y la intensificación productiva, lo que refuerza su valor para la detección precoz de alteraciones ecológicas.

El análisis también permite discutir que la incorporación de enfoques moleculares y metagenómicos transforma la comprensión de la diversidad microbiana, al superar las limitaciones de los métodos tradicionales. Estas aproximaciones amplían la capacidad de detectar cambios sutiles en la estructura y funcionalidad de las comunidades microbianas, fortaleciendo su uso como herramienta para la evaluación de la calidad ambiental.

No obstante, la discusión revela que persisten desafíos metodológicos y conceptuales asociados a la heterogeneidad de enfoques, escalas y criterios utilizados en los estudios revisados. Esta diversidad limita la comparabilidad de los resultados y dificulta la construcción de marcos interpretativos unificados, lo que subraya la necesidad de avanzar hacia estrategias analíticas más integradoras.

En conjunto, la evidencia discutida posiciona a la diversidad microbiana como un componente clave para la evaluación ambiental y la sostenibilidad de los ecosistemas naturales. Su integración sistemática en los procesos de diagnóstico ambiental permite una comprensión más profunda del estado ecológico de los sistemas y abre nuevas posibilidades para el monitoreo y la gestión ambiental basada en procesos biológicos fundamentales.

5. Conclusión

El análisis sistemático y crítico de la producción científica permite afirmar que la diversidad microbiana constituye un componente clave para interpretar la calidad ambiental en los ecosistemas naturales. Las comunidades microbianas desempeñan funciones esenciales en la regulación de procesos ecológicos fundamentales, como el ciclado de nutrientes, la estabilidad funcional y la capacidad de los ecosistemas para responder a perturbaciones ambientales, lo que refuerza su papel estructural dentro del funcionamiento ecosistémico.

De manera consistente, los estudios revisados muestran que las variaciones en la composición y funcionalidad de las comunidades microbianas se asocian directamente con cambios en el estado ambiental de los ecosistemas. Esta relación posiciona a la diversidad microbiana como un indicador sensible y oportuno de la calidad ambiental, capaz de complementar y enriquecer los enfoques de evaluación tradicionales centrados en parámetros físico-químicos o en componentes biológicos de mayor escala.

En conjunto, la revisión pone de manifiesto la necesidad de integrar la diversidad microbiana de forma sistemática en los marcos de evaluación ambiental, así como de avanzar hacia metodologías comparables y enfoques interdisciplinarios. La incorporación de estos componentes microbianos contribuye a una comprensión más profunda, funcional y dinámica de la calidad ambiental, fortaleciendo las bases científicas para la gestión y conservación de los ecosistemas naturales.

Referencias Bibliográficos

Barbero, F. M., & al, e. (2023). Comunidades microbianas afectadas por captan en suelos bajo diferentes prácticas de manejo. *Ciencia del suelo*, https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672023000100031&lang=en.



- Bustos, M. F., Pulido, A. Á., & Rivera, E. H. (2023). Tratamiento de aguas residuales en Colombia y sistemas bioelectroquímicos: usos y perspectivas. *Tecnura*, <https://doi.org/10.14483/22487638.19390> .
- Cardoso, A. L., & al, e. (2023). Actividades enzimáticas del suelo y modulación de la comunidad microbiana después de la adición de enmienda de cama de aves de corral enriquecida con *Bacillus* spp. *Ciencias Agrotecnológicas*, <https://doi.org/10.1590/1413-7054202347006223>.
- Carscadden, K. A., & al, e. (2020). Amplitud de nicho: causas y consecuencias para la ecología, la evolución y la conservación. *Universidad de Chicago*, <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/710388>.
- Castro, G. I., & al, e. (2024). Mineralización de carbono y nitrógeno de microalgas en suelos sódicos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, Mineralización de carbono y nitrógeno de microalgas en suelos sódicos.
- Dos, S. O., & al, e. (2025). Emisiones de CO₂ y propiedades químicas de Histosoles bajo drenaje y encalado en un ambiente controlado. *Rev. Caatinga*, <https://doi.org/10.1590/1983-21252025v3814055rc>.
- Gómez, P. I., Paneque, M. P., & al, e. (2022). Comportamiento de oxifluorfen en suelos enmendados con diferentes fuentes de materia orgánica y sometido a sequía severa. *Revista de Ciências Agrárias*, <https://doi.org/10.19084/rca.28752> .
- Hidayah, N., & al, e. (2025). Reducción de la producción de metano mediante la modulación del rumen mediante la suplementación con algas tropicales en el pasto Napier. *Ciencias Agrotecnológicas*, <https://doi.org/10.1590/1413-7054202549023124>.
- Ortiz, J., & al, e. (2023). La diversidad de cultivos mejora las funciones biológicas del carbono, el nitrógeno y el suelo en un sistema agroecológico. *Ciencia del suelo*, https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672023000200144&lang=en.
- Rathe, L. (2017). La sustentabilidad en los sistemas socio-ecológicos. *Utopía y Praxis Latinoamericana*, <https://www.redalyc.org/journal/279/27952381006/html/>.
- Rojas, C. J., Echeverría, B. F., Jiménez, M. J., & Gatica, A. A. (2024). Microorganismos de suelo y su relación con la calidad de la bebida de café: Una revisión. *Agronomía Mesoamericana*, <http://dx.doi.org/10.15517/am.2024.57260> .
- Saavedra, R., Vasquez, R., & Sorroza, L. (2024). Aislamiento e identificación de *Bacillus* spp. del manglar: Características morfológicas, bioquímicas, fisiológicas y pruebas de inhibición. *Manglar*, <http://dx.doi.org/10.57188/manglar.2024.055> .
- Santana, M. R., & al, e. (2023). Effects of degradation on soil attributes under caatinga in the brazilian semi-arid. *Rev. Árvore*, <https://doi.org/10.1590/1806-908820230000002>.
- Shaikenova, K., Issabekova, S., Sadenova, M., Omarova, K., & Uskenov, R. (2025). Impacto sinérgico de la desinfección mecánica, física y química integrada sobre la ecología



microbiana y el desarrollo morfofisiológico en terneros lecheros. *Braz. J. Biol.*, <https://doi.org/10.1590/1519-6984.295880>.

Soto, G. D., Santás, M. V., & Fernández, C. D. (2022). Estudio de las comunidades microbianas de suelos agrícolas orgánicos y convencionales lusitanos mediante análisis de ácidos grasos fosfolípidos. *Revista de Ciências Agrárias*, <https://doi.org/10.19084/rca.28379> .

Toninato, B. O., Calandrelli, A., Fontana, L. F., & Dias, A. C. (2024). El extracto acuoso de lúpulo gastado suprime el nematodo agallador y mejora la actividad biológica del suelo. *Hortic. Bras.*, <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-2024-e282871>.

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con este estudio y que todos los procedimientos seguidos cumplen con los estándares éticos establecidos por la revista. Asimismo, confirman que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra publicación.