

## PAUTAS Y PRIORIDADES EN LA INVESTIGACIÓN DE LA DIVERSIDAD MICROBIANA

**Importancia de la DM en términos de conocimiento, conservación y uso sostenible, recomendando pautas de acción sobre el tema para Colombia)**

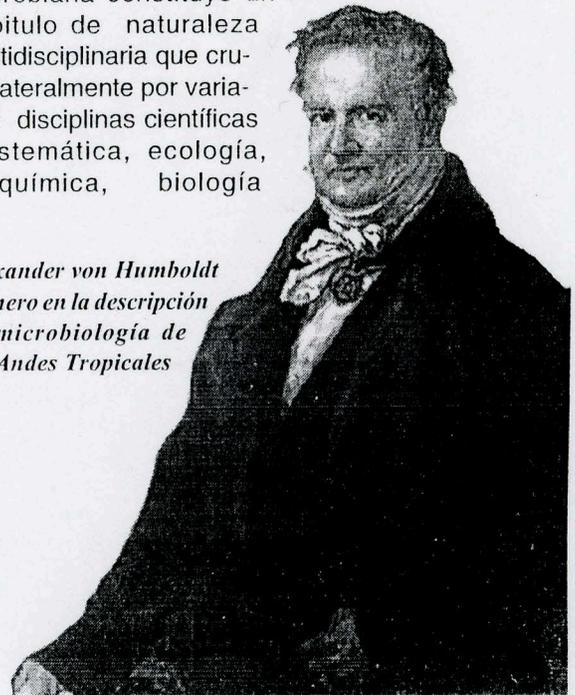
El territorio donde se ubica Colombia (0.7% de la superficie terrestre) constituye un pequeño espacio del planeta dentro del cual converge una alta diversidad biológica. Flora y fauna han sido por tradición el eje del conocimiento de los recursos biológicos de la Nación. No en vano, tenemos una tradición de más de dos siglos de expediciones e historia natural que han contribuido a la elaboración de un retrato parcial de su riqueza biológica. Por consiguiente, Colombia es considerado uno de los 17 países megadiversos del globo y su superficie alberga el 14% de las especies de plantas y animales conocidas por la ciencia. Sin embargo, hay un recurso natural mucho menos conocido –carente de retrato– en cuanto a su origen, historia, desarrollo y distribución geográfica; cumpliendo el papel de sostén básico de nuestra supervivencia, así como la de plantas y animales: la diversidad microbiana.

Este conjunto particular de vida incluye una amplia variabilidad orgánica que hace posible la conexión a manera de red de toda forma animal y vegetal en el planeta. Ya sea sirviendo a las plantas en la captura de nutrientes en sus raíces o a los animales en la descomposición interna de los alimentos. Respecto al hombre, la importancia de los microorganismos es notable en la agricultura, la nutrición, la biotecnología y la salud, entre otras. En general, la vida microbiana regula y mantiene los procesos geofisiológicos –temperatura, química atmosférica, circulación de nutrientes– a escala planetaria (global) haciendo que se mantenga el balance que sostiene la biosfera y en particular (local) no podríamos tener bosques, páramos, sabanas y manglares y demás biomas sin la presencia de bacterias, hongos, protozoos, algas y virus los cuales conforman la diversidad microbiana. Por ello no cabe duda que nuestros biomas y ecosistemas constituyan un reservorio importante de diversidad microbiana y por lo tanto ésta se encuentra expuesta a las mismas fuerzas y condiciones que amenazan actualmente la biodiversidad en general y la de especies de flora y fauna en particular.

Dada la relación de interdependencia entre uno y otro conjunto de la biodiversidad, es necesario llamar la atención y despertar el interés sobre la microbiodiversidad y la importancia de su conocimiento, conservación y uso en la perspectiva de los compromisos adquiridos por Colombia en el marco del Convenio sobre Diversidad Biológica de las Naciones Unidas (Ley 165 de 1994), al igual que dentro del desarrollo de la Política Nacional de Biodiversidad. En consecuencia, el Instituto Alexander von Humboldt en cumplimiento de su misión y consciente de la importancia de este reto, coloca a disposición de su audiencia (tomadores de decisiones, comunidad científica y medios de comunicación) por medio del presente Biosíntesis, un conjunto de información que pueden desembocar en pautas de acción prioritarias sobre el tema para Colombia.

En términos de conocimiento, la diversidad microbiana constituye un capítulo de naturaleza multidisciplinaria que cruza lateralmente por varias disciplinas científicas –sistemática, ecología, bioquímica, biología

*Alexander von Humboldt  
Pionero en la descripción  
de microbiología de  
los Andes Tropicales*



moleculár, etc- las cuales sirven como soporte científico para el desarrollo de la investigación dentro de los programas de manejo, conservación y uso sostenible de los recursos biológicos. Dichos programas pueden soportar los proyectos de inventarios, estudios ecológicos a largo plazo (LTER), etnomicrobiología, bioprospección, restauración de paisajes y biotecnología que se llevan a cabo en diversas instituciones del país.

Para el cumplimiento de los temas mencionados es indispensable un diseño de estrategias metodológicas particulares –que escapen a los propósitos del presente documento- y que están estrechamente asociadas a la naturaleza de cada problema en cuestión. Es necesario tener en cuenta que la investigación en diversidad microbiana demanda de una adecuada infraestructura que permita las buenas prácticas de laboratorio en general y un adecuado marco teórico en particular. Somos conscientes que sólo mediante una clara y eficiente planificación de objetivos, el conocimiento que generemos sobre la diversidad microbiana en Colombia puede ser de amplia utilidad para la toma de decisiones dentro del Sistema Nacional Ambiental (SINA), y en consecuencia servir en el apoyo de diversas estrategias de conservación de flora y fauna y uso sostenible de la biodiversidad en Colombia.

Los puntos que se presentan a continuación constituyen una contribución en términos de señalar una guía de navegación. No obstante, esperamos que el debate quede abierto y podamos entre todos los interesados seguir desarrollando la agenda que el interés público y privado demandan de los múltiples beneficios que albergan los recursos microbiológicos para la Nación.

### **Una ventana en Microbiología**

La biología de microorganismos se inicia como ciencia formal con la aparición del microscopio en la segunda mitad del siglo XVII. Es desde entonces, el instrumento central para la exploración de las formas y estructuras invisibles al ojo humano. En el siglo XIX se desarrollan las teorías en torno a la fermentación, la salud y la enfermedad en la cual los microorganismos eran considerados elementos determinantes en el desarrollo de las mismas. Tal influencia llegó a Colombia de manera formal a través de la investigación médica y de la botánica a partir de las primeras décadas del siglo XX con la creación de algunos institutos nacionales de investigación. Anterior a esta etapa, Alexander von Humboldt en su paso por las cumbres andinas de la Nueva Granada -en inmediaciones del volcán Puracé- reportó el crecimiento microbiano de Gallinolae y Cofervae, bacterias del hierro y misceláneas de algas verdes, respectivamente.

A lo largo del siglo XX la tradición institucional de la investigación microbiológica en Colombia ha estado centrada en atender soluciones a problemas en los campos de la salud

y la agricultura, dejando un invaluable legado y un conjunto de colecciones de germoplasma que constituyen la base de futuras investigaciones. Entre las más importantes se encuentran los ceparios o colecciones microbianas de la Universidad Nacional de Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), CORPOICA, la Universidad de Antioquia, la Universidad Industrial de Santander, la Universidad de los Andes, el Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Aquí reposa gran parte del legado de la patología animal y vegetal del país, así como un reservorio de interés para estudios básicos y aplicados.

No obstante, no existe un inventario sistemático sobre diversos puntos de la geografía nacional, haciendo que nuestro conocimiento sobre la presencia, distribución y función de la diversidad microbiana sea bastante reducido. Un centímetro de suelo de un bosque primario en la amazonía o un gramo de lodo de un manglar en el pacífico, en términos de diversidad microbiana, continua siendo un misterio. Escasamente podemos dar cuenta de algunos grupos taxonómicos en particular. Ante futuros retos, debemos tener en cuenta que al intentar llenar tales vacíos de conocimiento nos vamos a ver enfrentados a un conjunto de obstáculos. La sistemática o taxonomía es el principal cuello de botella en el estudio de los microorganismos, seguido por el manejo y conservación del material biológico.

### **La Sistemática Microbiana**

Dentro de los microorganismos, las bacterias constituyen la caja negra de la sistemática. Aunque cerca de 4,000 especies han sido formalmente descritas por la ciencia, algunas estimaciones pronostican que pueden llegar a existir entre 1 a 10 millones de especies de bacterias. Estudios recientes señalan que un gramo de suelo no tropical contiene en promedio 10 mil millones de células bacterianas con 4,000 a 5,000 especies diferentes. Esta alta biodiversidad es tan solo una mínima fracción (1%) con respecto a la existente en los sedimentos subterráneos. En el reino Hongo cerca de 70,000 especies han sido descritas, pero se cree que existen cerca de 1.5 millones.

Los microbiólogos usan la taxonomía polifásica –se tiene en cuenta sólo las bacterias cultivables- y la filogenética – aplicable a microorganismos cultivables y no cultivables- para establecer la identificación de bacterias, hongos y protozoarios. En la polifásica se tiene en cuenta múltiples características del organismo (ecológicas, morfológicas, genéticas, etc). La filogenética sólo se realiza a partir de marcadores moleculares (genes o proteínas). El marcador rRNA –molécula presente en todos los organismos y asociada a la síntesis de proteínas- constituye la base comparativa en el esquema del “Árbol Filogenético Universal” de la sistemática actual. Dentro de éste enfoque se han dinamizado los estudios en sistemática microbiana y por consiguiente se ha logrado

ampliar tanto el cuadro de diversidad como la relación genealógica entre los organismos. Un ejemplo de ello, lo constituye la controvertida organización respecto a los reinos biológicos. Del esquema de cinco reinos hemos pasado al de ocho: Bacteria, Arquibacterias, Arquizoa, Protista, Chromista, Plantae, Hongo y Animalia. Del esquema de ocho reinos hemos pasado al esquema de Dominios, el cual alberga un número mayor de reinos: Dominio Bacteria (18 reinos), Dominio Archibacteria (3 reinos) y Dominio Eucarya (reinos Arqueozoa, Euglenozoa, Alveolata, Stramenopila, Rhodophyta, Plantae, Hongos, Animalia). Cada Dominio contiene variadas formas de vida microbiana, siendo esto un ejemplo de su amplia y compleja taxonomía.

### La Biogeografía Microbiana

De los dominios señalados, Bacteria es el de mayor distribución. Los límites de la biosfera están dados por la distribución de sus especies. Un amplio espectro de ellas pueden ser encontradas dentro de un espacio de 8 km por encima y 12 km por debajo de la superficie terrestre. Es decir, por encima de nuestras cumbres andinas más altas y más allá de los límites de perforación de nuestro subsuelo se expande la riqueza biológica microbiana en Colombia. Aunque parezca exótico el estudio de la microbiología del subsuelo y de los cielos, por ser la del suelo y la de aguas más corriente, no se deben ahorrar esfuerzos en la ampliación y fortalecimiento de la investigación en dichos hábitats. No cabe duda que la naturaleza energética de los procesos microbianos en el subsuelo resultan un valioso conocimiento para la innovación biotecnológica para el sector energético.

Por el momento queremos llamar la atención sobre la necesidad de estudiar los patrones biogeográficos de especies y comunidades microbianas de interés en conservación y uso sostenible para Colombia. El mapa de ecosistemas de Colombia elaborado por el Humboldt y el IDEADE (Etter, 1997) constituye una herramienta útil para la selección de áreas tendientes a ser caracterizadas en términos de diversidad microbiana.

### Un estudio piloto en diversidad microbiana

En un esfuerzo por documentar la diversidad microbiana en Colombia, el Instituto Humboldt con el apoyo financiero de Colciencias y la colaboración interinstitucional – Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ; Universidad del Quindío, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá; CIAT- ha realizado un estudio pionero sobre la abundancia y diversidad del género *Streptomyces* en seis coberturas sobre la franja cafetera del Quindío. Este trabajo es un capítulo dentro del estudio "Biodiversidad en Sistema de Producción Agraria" el cual integra diversos componentes de la diversidad local.

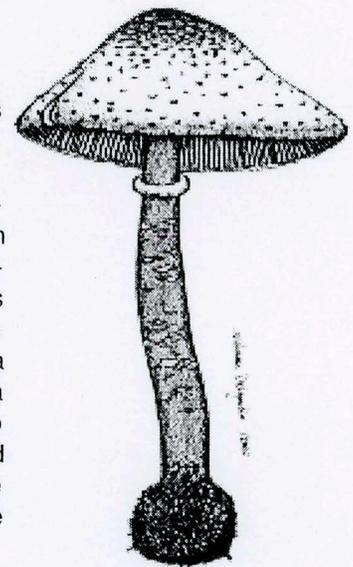
La presencia de Estreptomycetos fue determinada mediante métodos tradicionales y de genética molecular usando muestras de suelo procedente de todas las coberturas - café con sombrío, café a libre exposición, guadales, pasturas y relictos de bosque- distribuidas sobre la franja cafetera (1,100-1,800 m). Se encontraron diferencias significativas en la abundancia del género entre las coberturas y diferencias en la biodiversidad entre los dos sistemas metodológicos usados. Nuestro estudio concuerda con otras investigaciones internacionales, señalando que tan sólo una fracción inferior al 10% de bacterias del suelo pueden ser observadas en medios de cultivo.

Es prioritario que el uso de métodos tradicionales sea complementado con observaciones que permitan corregir los errores de estimación que produce la fracción cultivable. Esto es importante cuando se pretende evaluar diferentes tipos de suelos y evitar que las características físico-químicas de los mismos interfiera de modo negativo con los resultados generales. De igual forma, es necesario ajustar la estrategia de muestreo al caso de estudio correspondiente. La evaluación del muestreo por curvas de acumulación puede ser adecuado pero no en todos los casos. El tipo de patrón de distribución de las especies y la dificultad en la identificación taxonómica constituyen elementos indispensables para el racionamiento de costos, tiempo y esfuerzo en la investigación. El estudio piloto mencionado nos facilitó elaborar un primer diagnóstico sobre el patrón de diversidad microbiana en un paisaje cafetero local (Quindío).

Es prematuro establecer conclusiones generales al respecto. Sin embargo, este primer paso resulta útil para la planificación de un estudio a más largo plazo. El Instituto cuenta con las bases para apoyar el diseño de proyectos de inventarios y evaluación de la distribución geográfica de éste y otros géneros de microorganismos. Sin duda un paso significativo para los estudios futuros en la región Andina y otras regiones naturales de Colombia.

### Recomendación de pautas y prioridades

Las tablas adjuntas en el presente Biosíntesis contienen de manera resumida las principales prioridades y pautas que el Instituto Humboldt pone a consideración en pro de la elaboración de una estrategia para el desarrollo del estudio de la Biodiversidad Microbiana en el contexto de la agenda nacional de Biodiversidad.



### LA IMPORTANCIA DE LOS MICROORGANISMOS

- Son importante fuente de conocimiento acerca de las estrategias y límites de la vida.
- Son de importancia crítica para la sostenibilidad de la vida en el planeta.
- La diversidad microbiana es una fuente de productos para la biotecnología.
- Los patrones de diversidad microbiana pueden ser usados para monitorear y predecir cambios ambientales.
- Los microorganismos juegan un papel en la conservación de plantas y animales y restauración de hábitats.
- Las comunidades microbianas son un excelente modelo para entender las interacciones e historia evolutiva.

### Zonas y ecosistemas de interés para la caracterización de la Diversidad Microbiana en Colombia

1. Ecosistemas dentro del Sistema Nacional de Parques Naturales y área protegidas
2. Zonas de transición o ecotonos (gradientes)
3. Paisajes rurales (Agroecosistemas y mosaicos productivos)
4. Relictos de bosque seco
5. Relictos de bosque andino
6. Páramos
7. Manglares y arrecifes de coral
8. Sabanas
9. Ambientes extremos (fuentes termales, ambientes hipersalinos, anóxicos, aparato digestivo de insectos, etc)

### Prioridades en la investigación de diversidad Microbiana

Áreas	Justificación
1. Conocer los patrones de distribución	La ubicación espacial de especies o comunidades microbianas de interés científico o particular constituye un elemento de línea base que resulta de utilidad para el desarrollo de estrategias de monitoreo y restauración ambiental, bioprospección y conservación, entre otras.
2. Estudios de sistemática	La caracterización taxonómica, así como el estudio de la filogenia –relaciones genealógicas entre especies- contribuyen a entender la naturaleza organizativa de la biodiversidad.
3. Conservación y uso sostenible	Conocer cómo trabajan los microorganismos nos permite encontrar soluciones a problemas ambientales complejos, tales como: degradación y pérdida de suelos, regeneración de plantaciones forestales, contaminación ambiental, etc. El uso de tales agentes debe tener implícito una estrategia de conservación y preservación.
4. Infraestructura científica	Ninguno de los anteriores programas es viable sin la formación del recurso humano necesario para ello. Por ello, resulta necesario que el SINA apoye un plan de organización y dotación de infraestructura científica para implementar los estudios de monitoreo ambiental de microorganismos involucrados en problemas y soluciones ambientales.

Pautas	Justificación
1. Investigación multidisciplinaria	Es necesario entender la diversidad microbiana como un componente conectado al entorno ambiental, el cual incluye otras formas de vida y hábitats interrelacionados e interdependientes, facilitando así el trabajo en equipo que facilita cruzar disciplinas.
2. Trabajo en cooperación intersintitucional	Debe evitarse la atomización de la investigación y permitir que las instituciones compartan sus intereses dentro del plano de metas comunes de forma organizada y eficiente.
3. Consolidación de un sistema nacional de información en DM	Crear una base de datos con toda la información disponible sobre diversidad microbiana en Colombia. Mantener información actualizada sobre infraestructura y desarrollos adelantados. Ceparios y bancos de germoplasma microbiano. Metodologías y áreas geográficas estudiadas.
4. Establecimiento de metodologías básicas unificadas	Basado en el sistema de buenas prácticas de laboratorio se pueden tener estándares de aplicación para el estudio de grupos microbianos de particular interés y por consiguiente su preservación.

El presente documento fue elaborado por Camilo José Flórez Investigador del programa Uso y Valoración del Instituto Humboldt