

Primeros hallazgos de la diversidad y abundancia de microorganismos aéreos cultivables en el noroeste del Amazonas

Lizeth Russy-Velandia, Omar Ramírez, María Camila Patiño-Ramírez,
Sebastián Mendoza-Téllez, Jaime Barrera, Juan Vitar, Camilo Alvarado, Harry Álvarez,
Luis A. Ladino

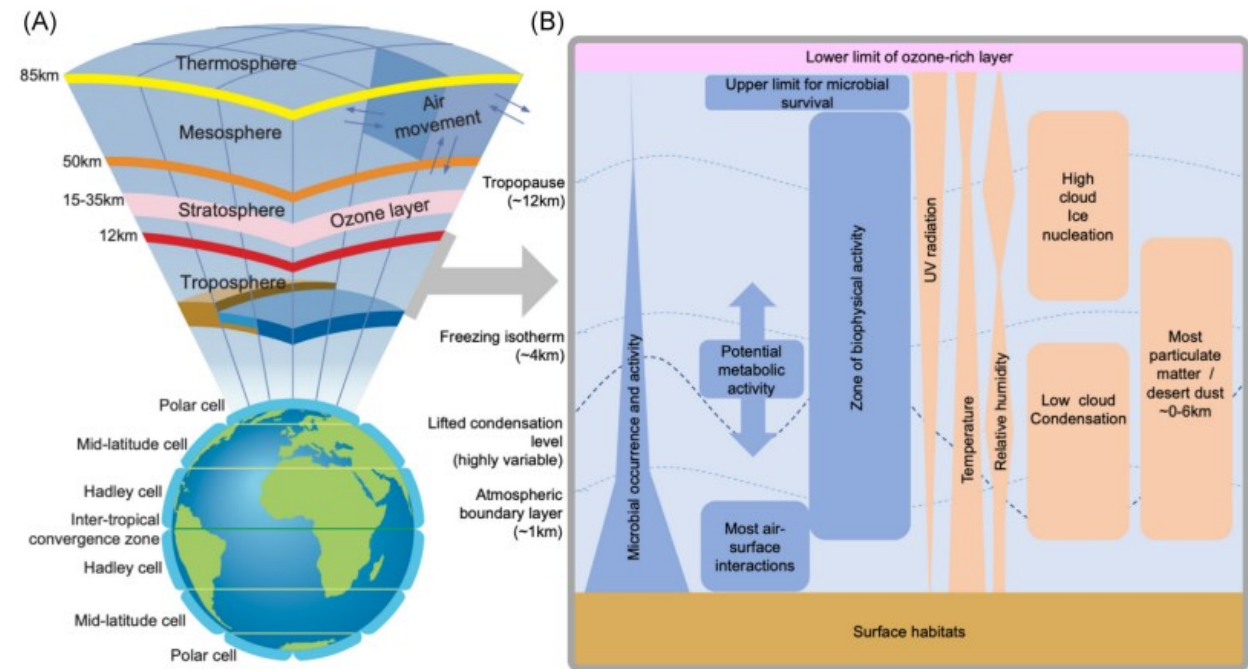
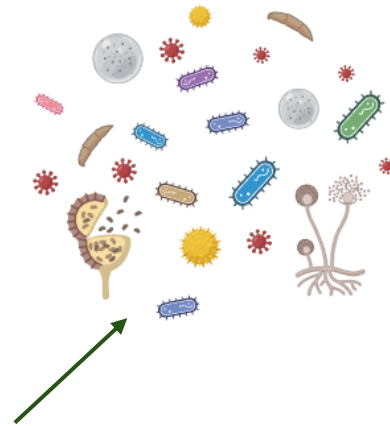


est.lizeth.russy@unimilitar.edu.co
omar.ramirez@unimilitar.edu.co
luis.ladino@atmosfera.unam.mx

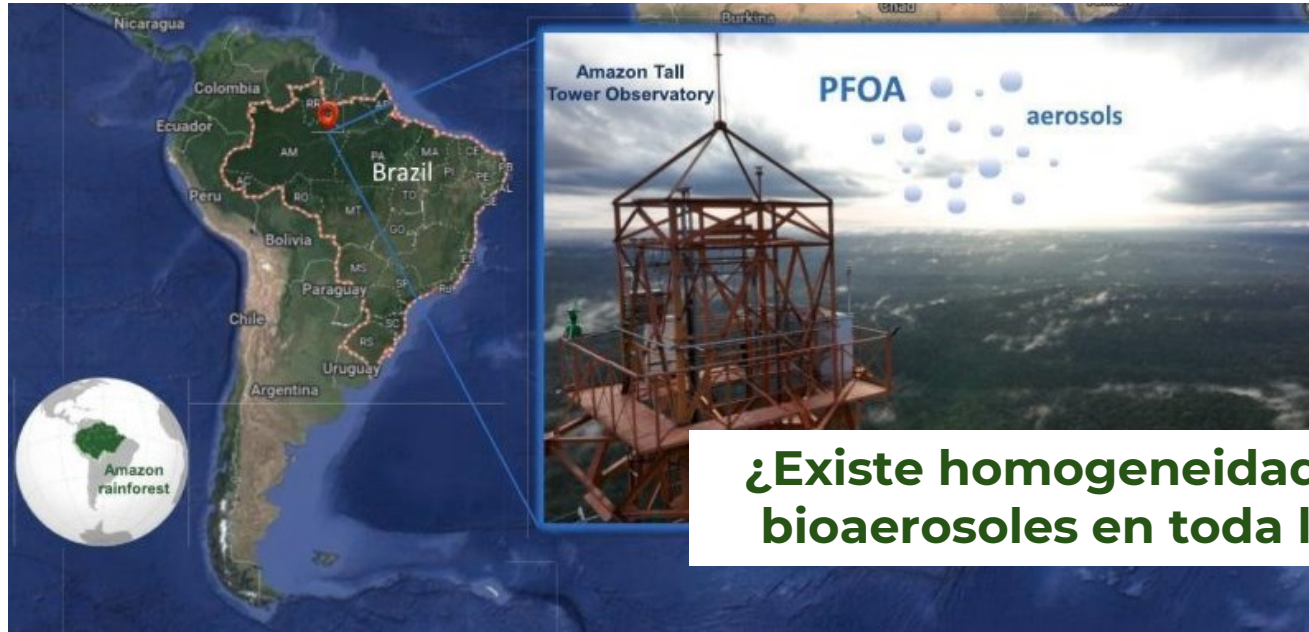


Contexto

Bioaerosoles



Contexto



Tomado de: https://www.attoproject.org/wpcontent/uploads/2018/07/ATTO_Logo_Amazon.jpg

En estas zonas se ha identificado una alta diversidad de microorganismos aerotransportados, incluyendo géneros como: *Ottowia*, *Acinetobacter*, *Cloacibacterium*, *Pseudomonas* y *Sphingomonas*; sin embargo, la mayoría de estos hallazgos provienen de un único punto de muestreo, el Amazon Tall Tower Observatory (ATTO).

Los estudios más relevantes sobre bioaerosoles se han llevado a cabo en el centro de la cuenca amazónica, particularmente en Manaos y otras regiones del Amazonas central.

¿Existe homogeneidad en la composición de bioaerosoles en toda la cuenca amazónica?

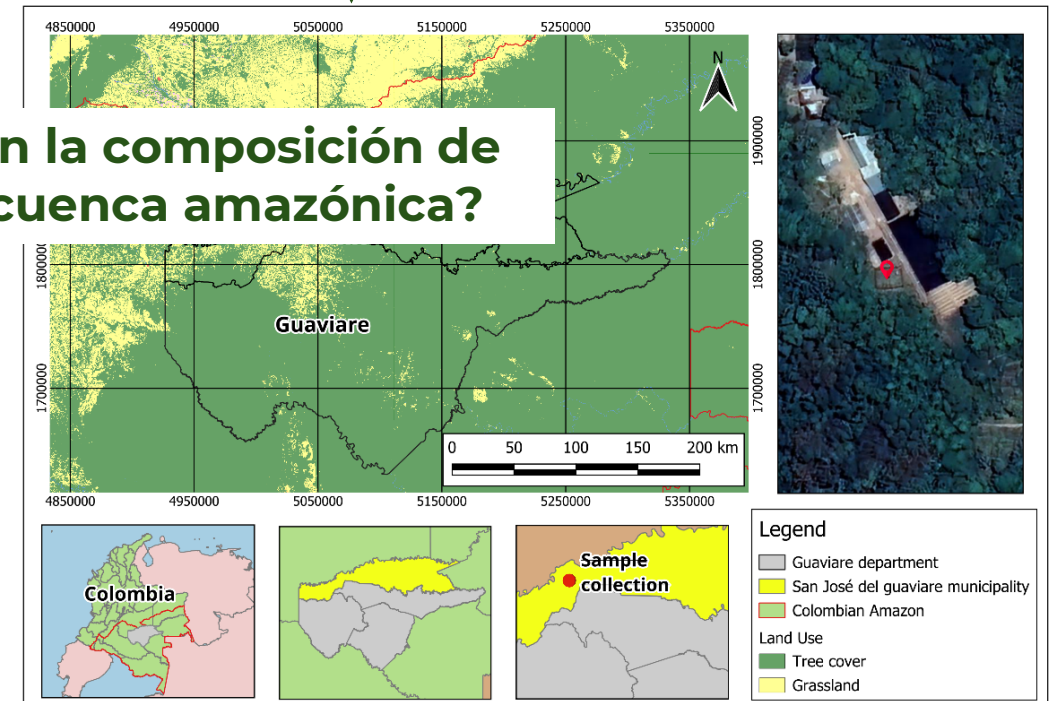


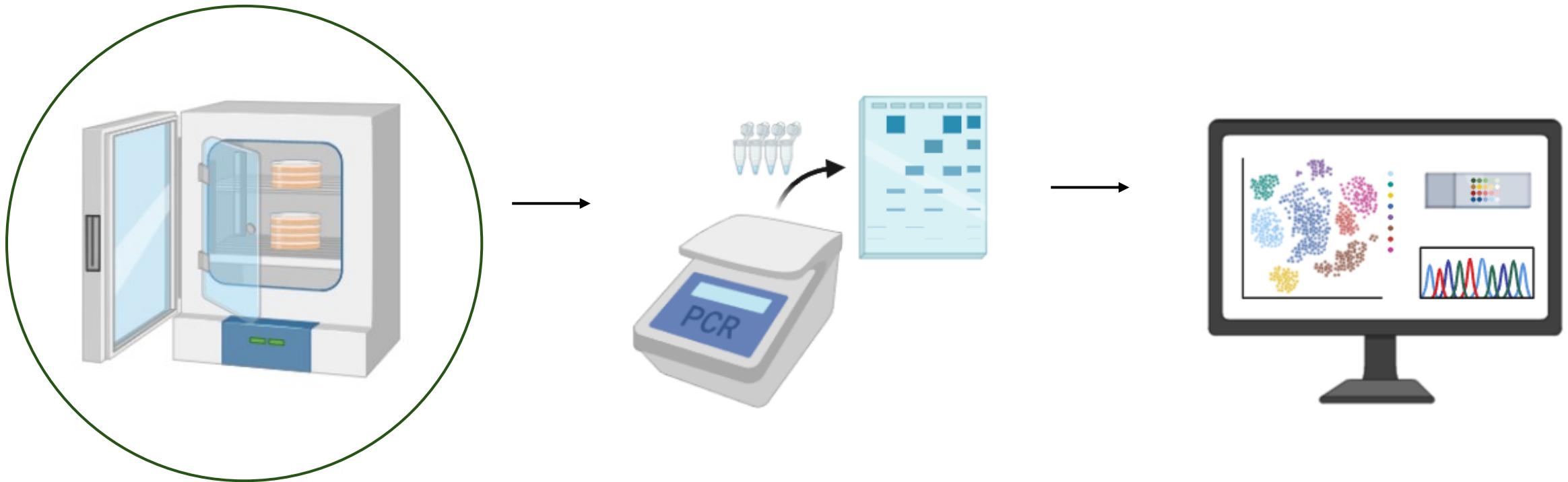
Figura 1. Mapa de localización del punto de recolección de muestras en la estación experimental El Trueno.

■ Objetivos del proyecto

Cuantificar la carga microbiana, riqueza, diversidad y patrones de abundancia de los microorganismos del aire

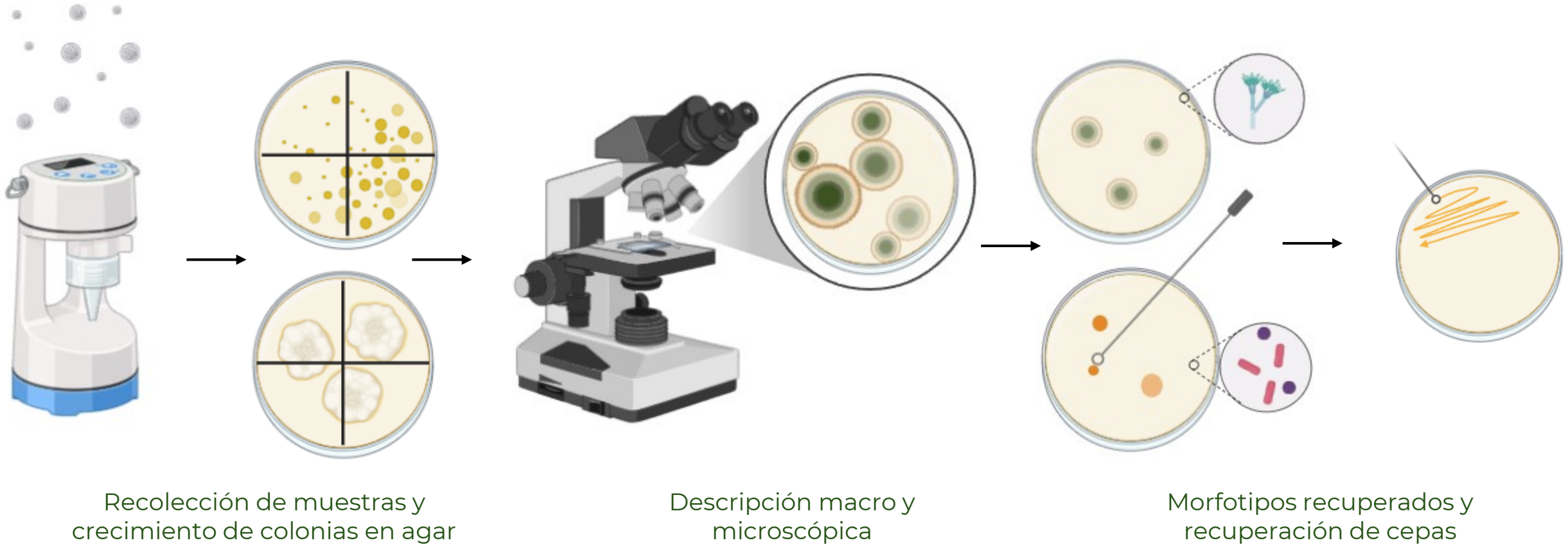
Identificar a nivel molecular y taxonómico los morfotipos de bacterias y hongos filamentosos recuperados

Analizar la relación entre la composición y concentración de los morfotipos identificados con los factores ambientales



Metodología

Objetivo 1



Resultado

Objetivo 1

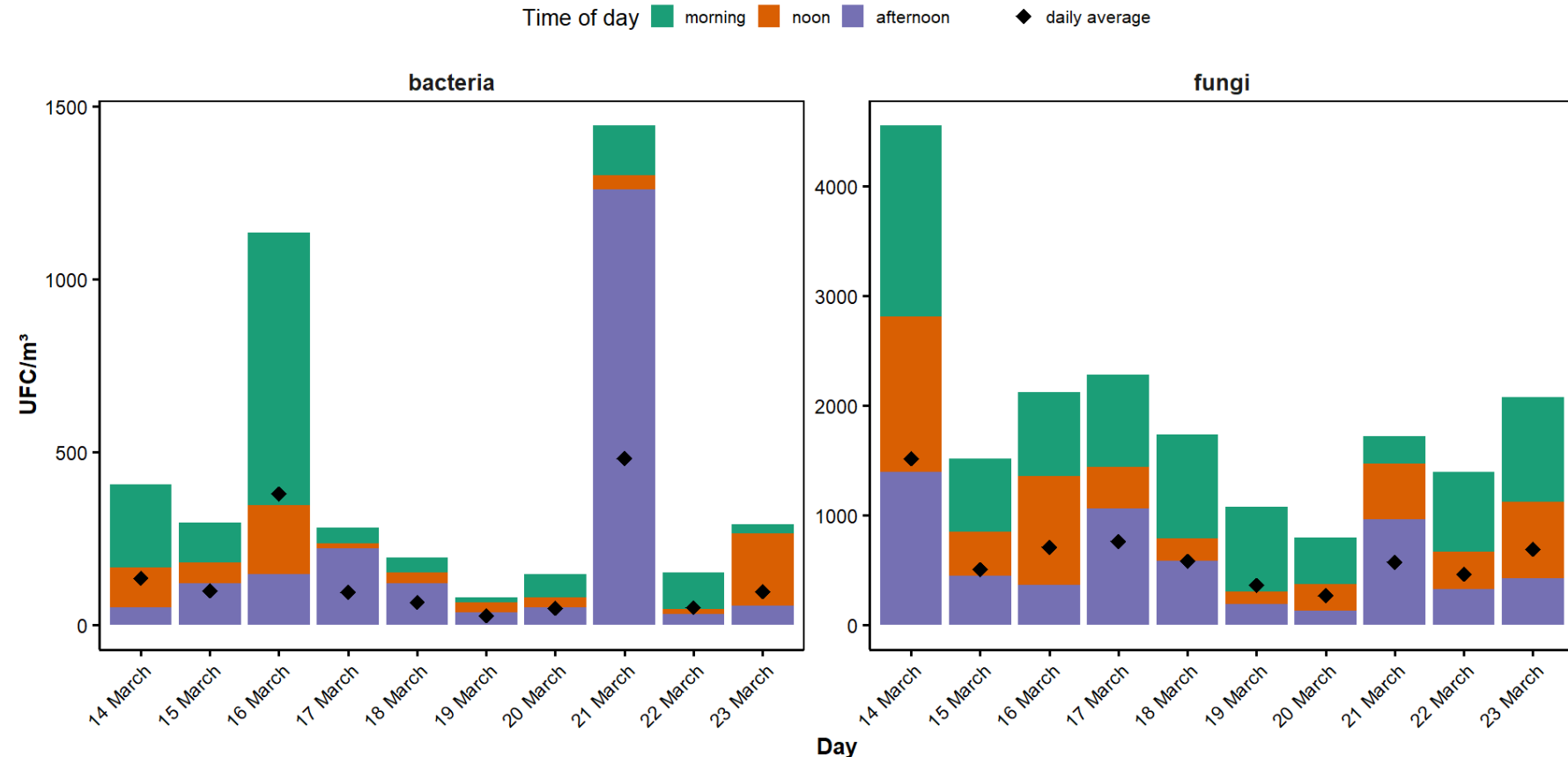
- Se obtuvo un **promedio diario** de 228 UFC/m³ para bacterias y 642 UFC/m³ para hongos.
- Mayor carga microbiana en la mañana:

Hongos: 810 UFC/m³
Bacterias: 231 UFC/m³

- Aumentos notables en bacterias durante lluvias con dispersión por salpicaduras y viento 0,5 m/s.

16 de marzo en la mañana
(0,034 mm)

21 de marzo en la tarde
(2,63 mm)



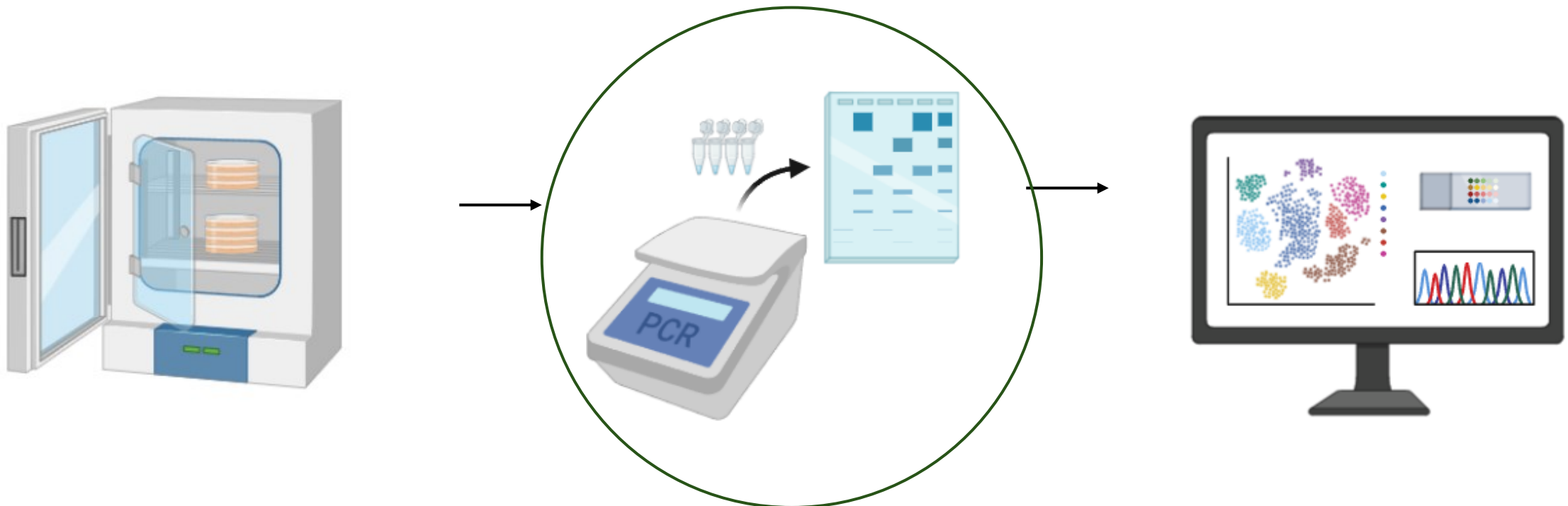
Grafica 1. Carga microbiana (UFC/m³) de bacterias y hongos en el aire del noroeste de la Amazonia colombiana. Cada barra representa la carga microbiana total diaria distribuida por franja horaria: verde (mañana), naranja (medio día) y morado (tarde). El rombo negro indica el promedio diario de carga microbiana.

■ Objetivos del proyecto

Cuantificar la carga microbiana, riqueza, diversidad y patrones de abundancia de los microorganismos del aire

Identificar a nivel molecular y taxonómico los morfotipos de bacterias y hongos filamentosos recuperados

Analizar la relación entre la composición y concentración de los morfotipos identificados con los factores ambientales

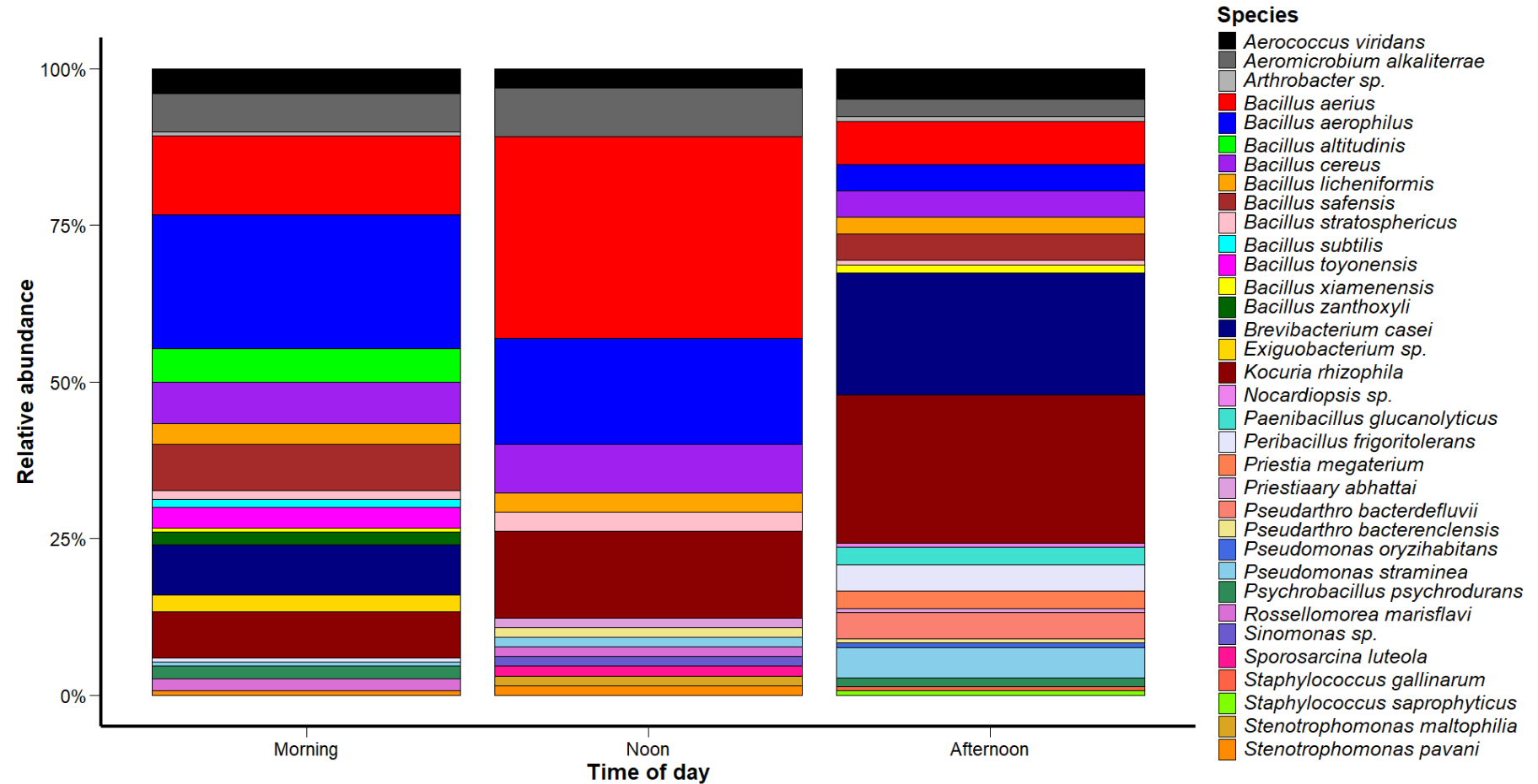


Objetivo 2



Resultados

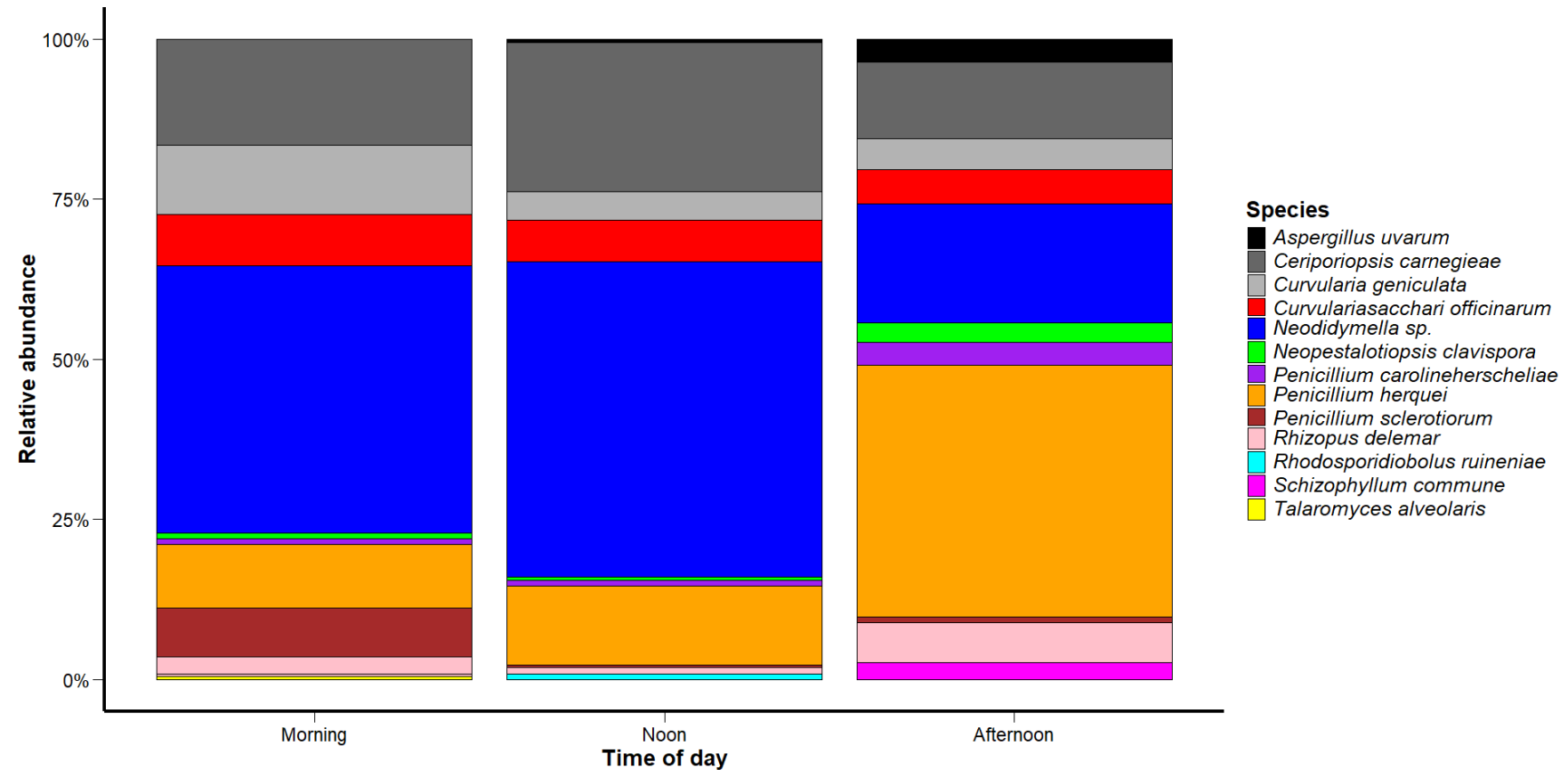
- Mayor diversidad bacteriana en la mañana, dominada por bacilos Gram-positivos como *Bacillus* y *Exiguobacterium*.
- Presencia de especies únicas por franja horaria, como *Stenotrophomonas pavani* y *Psychrobacillus psychrodurans* por la tarde.
- Filo bacteriano más abundante Firmicutes (56.36%) destacando la familia Bacillaceae (42.4%).



Grafica 2. Composición relativa de especies/géneros de bacterias en el aire según franja horaria.

Resultados

- Mayor diversidad y presencia de hongos filamentosos en la mañana, destacando *Aspergillus*, *Penicillium* y *Schizophyllum*.
- Incremento en la tarde de hongos con crecimiento rápido o descomponedores, como *Rhizopus delemar* y *Ceriporiopsis carnegieae*.
- Filo fúngico más abundante Ascomycota (53.74%) destacando la familia Trichocomaceae (23.08%) y Pleosporaceae (15.38%).



Grafica 3. Composición relativa de especies/géneros de hongos en el aire según franja horaria.

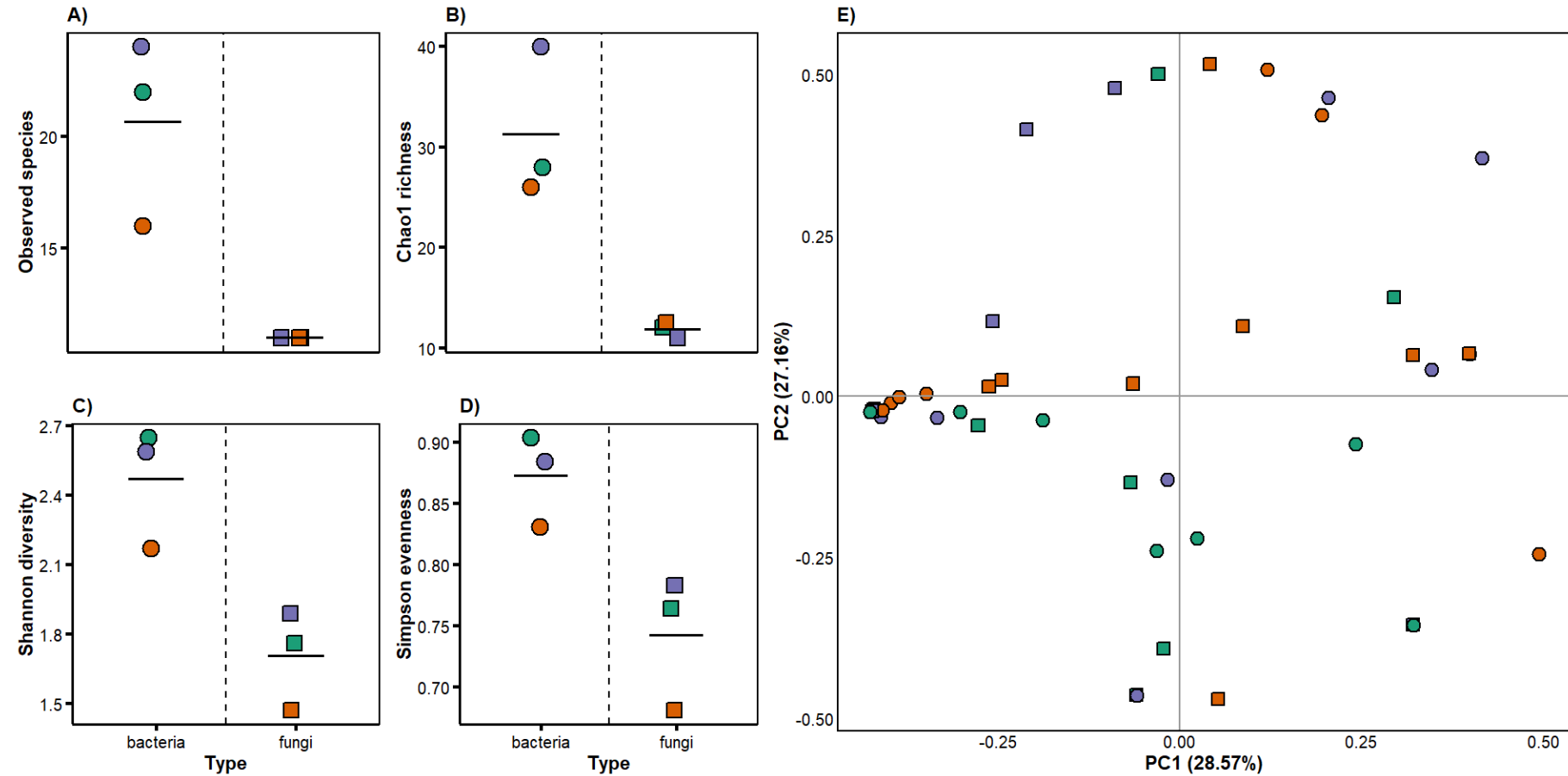
Resultados

- **Mayor diversidad bacteriana que fúngica**

Los índices de Chao1 y Shannon mostraron más riqueza y uniformidad en bacterias que en hongos, aunque sin diferencias significativas ($p > 0.05$).

- **Composición microbiana estable durante el día**

El análisis PCoA y ANOSIM ($R = 0.0094$, $p = 0.367$) indicaron que no hubo cambios importantes en la comunidad microbiana según el horario.



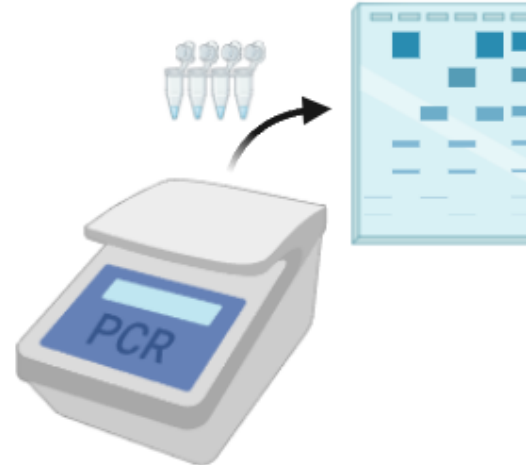
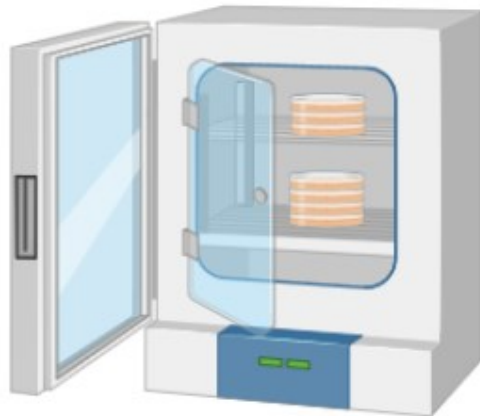
Grafica 4. Índices de biodiversidad y análisis de ordenación de hongos en diferentes franjas horarias. **(A)** Riqueza de especies, **(B)** Riqueza Chao1, **(C)** Índice de diversidad de Simpson, **(D)** Equitatividad de Simpson, **(E)** Análisis de Coordenadas Principales (PCoA) basado en la distancia de Bray-Curtis, mostrando la distribución de la comunidad microbiana según la franja horaria. Los círculos corresponden a bacterias y los cuadrados a hongos. Los colores indican las franjas horarias: verde (mañana), naranja (medio día) y morado (tarde).

Objetivos del proyecto

Cuantificar la carga microbiana, riqueza, diversidad y patrones de abundancia de los microorganismos del aire

Identificar a nivel molecular y taxonómico los morfotipos de bacterias y hongos filamentosos recuperados

Analizar la relación entre la composición y concentración de los morfotipos identificados con los factores ambientales



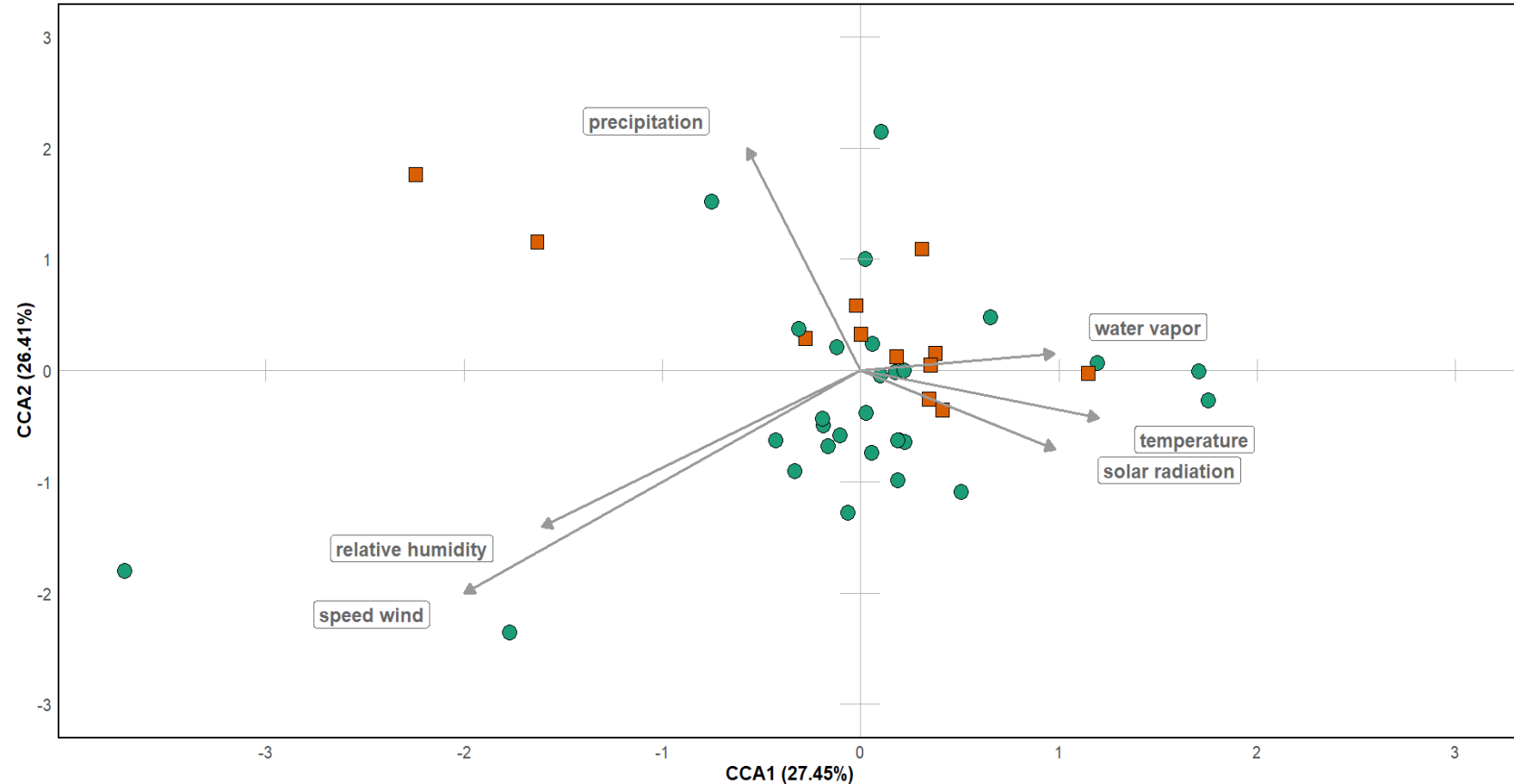
Resultados

- **Baja influencia ambiental en la comunidad microbiana**

El CCA explicó solo el 23.6% de la variabilidad y PERMANOVA el 21.8%, sin significancia estadística ($p = 0.531$ y $p = 0.324$, respectivamente).

- **Distribución microbiana no está determinada por el ambiente**

Los análisis multivariados indican que las condiciones ambientales no explican de forma determinante la composición microbiana del aire.



Grafica 5. Análisis de correspondencia canónica (CCA) de la relación entre las variables ambientales y la estructura de la comunidad microbiana en muestras de aerosol biológico. Los círculos verdes representan las comunidades bacterianas, mientras que los cuadrados naranjas corresponden a las comunidades fúngicas. Las flechas indican la influencia de las variables ambientales en la distribución microbiana. 13

Resultados

- Bacillus altitudinis* y *Rossellomorea marisflavi*:

Influenciados por velocidad del viento ($p = 0.002$, $R^2 = 0.45$)

Aumento en abundancia con incremento del viento (+0.3 y +0.7 unidades)

- Staphylococcus saprophyticus*:

Relación negativa con temperatura y humedad ($p = 0.011$ y 0.035 , $R^2 = 0.27$)

Tabla 1. Relación entre la abundancia de microorganismos y los factores ambientales basada en modelos de regresión lineal múltiple. La tabla presenta los coeficientes de regresión (Estimación), errores estándar (Error estándar), estadísticas de prueba (Estadístico), niveles de significancia (valor p) y la proporción de variabilidad explicada por el modelo (R^2).

Microorganism	Term	Estimate	Std.error	Statistic	p-value	R ²
<i>Bacillus altitudinis</i>	Speed wind	0.3	0.1	3.5	0.002	0.45
<i>Rossellomorea marisflavi</i>	Speed wind	0.7	0.2	3.5	0.002	0.45
<i>Bacillus aerophilus</i>	Speed wind	0.1	0.0	2.3	0.034	0.29
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	Temperature	-1.2	0.4	-2.7	0.011	0.27
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	Relative humidity	-0.8	0.4	-2.2	0.035	0.27
<i>Rhodospiridiobolus ruineniae</i>	Relative humidity	2.8	1.3	2.2	0.036	0.37
<i>Penicillium sclerotiorum</i>	Precipitation	0.9	0.4	2.0	0.047	0.20
<i>Schizophyllum commune</i>	Relative humidity	10.8	4.7	2.2	0.034	0.40
<i>Ceriporiopsis carnegieae</i>	Temperature	-1.8	0.6	-2.9	0.007	0.60
<i>Ceriporiopsis carnegieae</i>	Relative humidity	-1.3	0.4	-2.7	0.011	0.60
<i>Ceriporiopsis carnegieae</i>	Precipitation	0.6	0.2	3.0	0.005	0.60
<i>Ceriporiopsis carnegieae</i>	Water vapor	0.9	0.3	3.1	0.004	0.60
<i>Penicillium herquei</i>	Precipitation	5.9	1.6	3.7	0.001	0.44
<i>Talaromyces alveolaris</i>	Temperature	-0.7	0.3	-2.4	0.021	0.31
<i>Talaromyces alveolaris</i>	Water vapor	0.4	0.1	2.9	0.007	0.31
<i>Curvulariasacchari officinarum</i>	Temperature	-2.0	0.8	-2.4	0.021	0.31
<i>Curvulariasacchari officinarum</i>	Water vapor	1.2	0.4	2.9	0.007	0.31

Resultados

- Diversos orígenes potenciales para los bioaerosoles**

Suelo, cuerpos de agua, vegetación circundante y actividades humanas o animales.

- Predominio de masas de aire del noreste (49.54%)**

Originadas principalmente en los Llanos venezolanos en época de incendios, cruzando departamentos como Arauca, Casanare, Vichada, Guainía y Meta, así como el Parque Nacional Natural El Tuparro.

- Influencia del sureste (36.22%)**

Aires provenientes del norte de Brasil, específicamente de la estación ecológica Juami-Japurá, cruzando los departamentos de Vaupés y Guaviare, incluyendo la Reserva Nacional Natural Nukak.

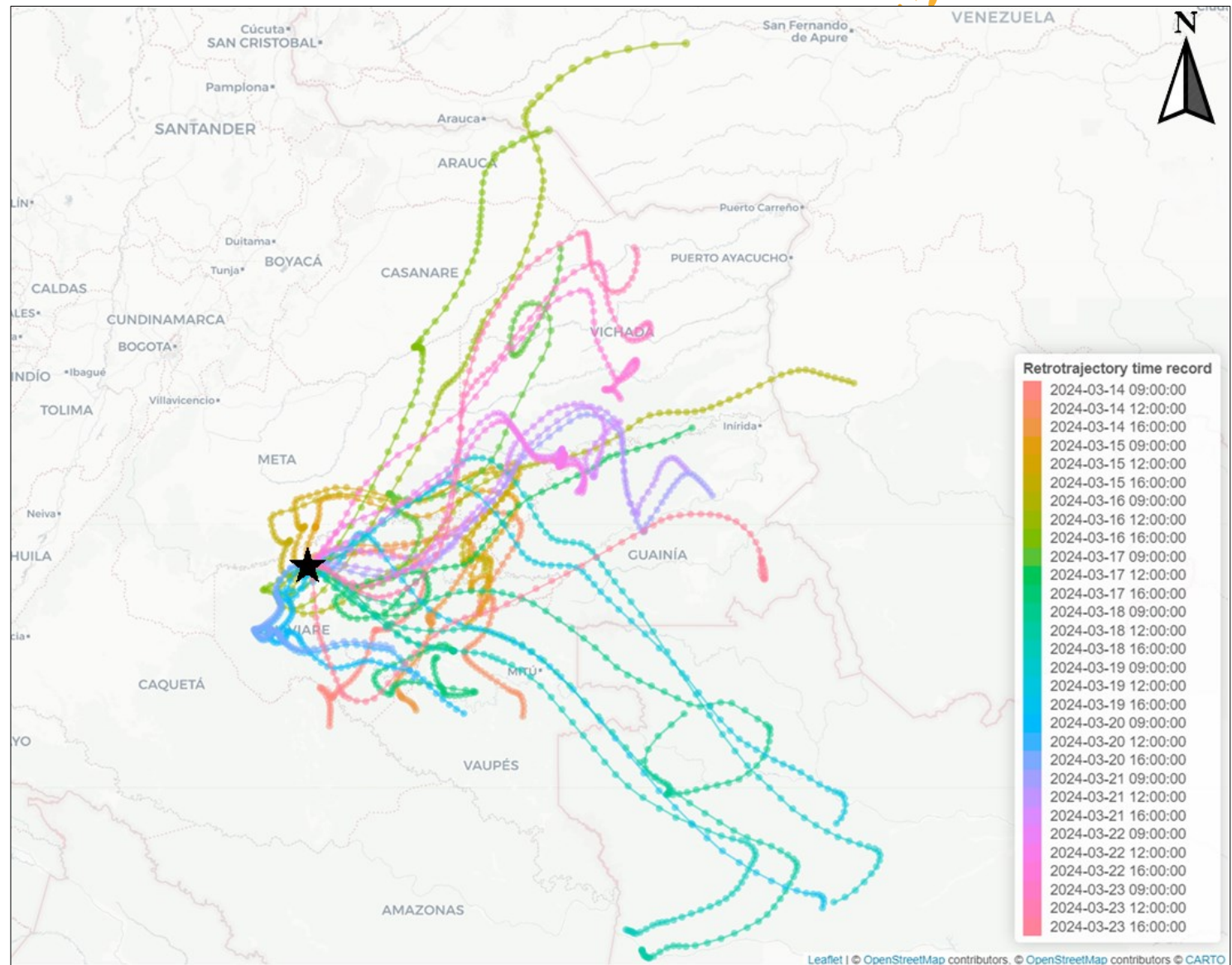


Figura 2. Mapa de retrotrayectorias de masas de aire calculadas para el noroeste del Amazonas colombiano. Se representan las trayectorias de las masas de aire en las 72 horas previas al punto de muestreo (★), ubicado en San José del Guaviare. La leyenda indica el tiempo en que fueron registradas las retrotrayectorias, donde cada color representa un rango temporal específico dentro de los 10 días.

■ Conclusiones

- Existe una mayor concentración de hongos que bacterias en el aire del noroeste de la Amazonía, relacionada con su adaptación a humedad alta. Con un promedio diario de 228 UFC/m³ para bacterias y 642 UFC/m³ para hongos.
- Hay una variación diurna de microorganismos: mayor abundancia por la mañana y tarde, con disminución al mediodía, influenciada por factores ambientales como humedad, temperatura, viento y radiación solar.
- Relaciones específicas con variables ambientales:
 - Humedad relativa favorece hongos como *Schizophyllum commune*, *Ceriporiopsis carnegieae*
 - Velocidad del viento afecta la dispersión de bacterias como *Bacillus altitudinis* y *Rossellomorea marisflavi*
- Gran diversidad microbiana reportando especies pertenecientes a tres filos bacterianos (Firmicutes, Actinobacteria, Proteobacteria) y hongos (Mucoromycota, Ascomycota, Basidiomycota).

■ Conclusiones

- Se obtuvieron coincidencias con estudios previos en otras regiones del Amazonas sobre algunas especies pertenecientes a familias como Bacillaceae, Planococcaceae, Staphylococcaceae, Brevibacteriaceae, Xanthomonadaceae, Microbacteriaceae. Muchas de estas bacterias tienen un origen vegetal, especialmente asociado a hojas y raíces, o provienen del suelo, y pueden incorporarse al aire mediante procesos de dispersión por viento, lluvia o partículas en suspensión.
- El origen de las masas de aire proviene en su mayoría del noreste (49,54%) y sureste (33.22%) desde fuentes locales y regionales (suelo, vegetación, cuerpos de agua, actividades humanas).
- Se logro destacar la importancia ecológica y climática de los bioaerosoles en la regulación climática global y la necesidad de investigar el impacto de actividades humanas en su dispersión, como la dispersión de patógenos: *Staphylococcus saprophyticus* y *Aerococcus viridans*.

Agradecimientos

Financiador

Instituto de investigaciones científicas SINCHI

Alianzas académicas

Universidad Nacional Autónoma de México

Orientadores

Omar Ramírez

María Camila Patiño

Colegas de laboratorio

Camila Deaquiz
Camilo Alvarado
Ana Lucia Noguera
Heliairis Alfonso
Carolina Díaz
Gladys Cardona
Elizabeth Domínguez
Camila Clivio
Catalina Ruíz

Equipo de Campaña

Luis Ladino
Sebastián Téllez
Harry Alvarado
Juan Vitar
Omar Ramírez
Investigadores SINCHI
San José Del Guaviare

Familiares

Querida abuela Adelaida y
querido Pancho, todo este
trabajo es dedicado a ustedes.
En su memoria 2025.

Madre, gracias por abrir mi
mente más allá de mis límites.



Medellín, Colombia

CASAP X

CONGRESO COLOMBIANO Y
CONFERENCIA INTERNACIONAL

DE CALIDAD DE AIRE, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD PÚBLICA



Más información



<https://casap.science/>



casap@casap.science