



Revista MINERVA

Plataforma digital de la revista: <https://minerva.sic.ues.edu.sv>

Artículo Científico | Scientific Article

Evidencia preliminar del impacto de *Spathodea campanulata* en la diversidad funcional de abejas sin aguijón en el Parque Bicentenario, El Salvador

Preliminary evidence of the impact of *Spathodea campanulata* on the functional diversity of stingless bees in the Bicentennial Park

Balbina Guadalupe Rodríguez^{1,3}, Mario Alfredo Vides^{1,4}, Carlos Ruano^{2,5}, José Nilton Menjívar^{1,6}, Miguel Moreno^{1,7}

1 Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador

2 Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

3 <https://orcid.org/0000-0002-4639-0433>

4 <https://orcid.org/0009-0005-2568-129X1>

5 <https://orcid.org/0009-0006-2463-3242>

6 <https://orcid.org/0009-0008-5306-7790>

7 <https://orcid.org/0000-0002-9220-1015>

RESUMEN

Las abejas sin aguijón (tribu Meliponini) son polinizadores clave en los ecosistemas tropicales, pero enfrentan amenazas por especies invasoras como *Spathodea campanulata*, cuyo néctar puede ser tóxico. Este estudio evaluó el impacto de *S. campanulata* en la diversidad funcional de abejas sin aguijón en el Parque Bicentenario de San Salvador. Se recolectaron meliponinos muertos en flores de *S. campanulata* entre enero y diciembre de 2023, y se analizaron índices de diversidad funcional (riqueza, equitatividad y divergencia). Los resultados revelaron que el impacto de la planta invasora es no lineal y dependiente del contexto ecológico, en lugar de una simple función de su abundancia floral. Se observaron fluctuaciones marcadas en la riqueza y divergencia funcional, con mínimos en abril (baja floración) y septiembre. Notablemente, el colapso funcional de dicho mes ocurrió a pesar de un pico de floración de *S. campanulata*, coincidiendo con la floración masiva de la flora nativa, lo que sugiere que la competencia

DOI: <https://doi.org/10.66778/RM.v09ed01.03>

Enviado: 11 de abril de 2025

Aceptado: 16 de septiembre de 2025

Palabras clave: Abejas sin aguijón, *Spathodea campanulata*, diversidad funcional, especies invasoras, filtro funcional.

Keywords: Stingless bees, *Spathodea campanulata*, functional diversity, invasive species, functional filter.



Este contenido está protegido bajo la licencia CC BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

de recursos alternativos modula la exposición de las abejas. Los análisis de componentes principales (PCA) y clustering jerárquico revelaron que géneros como *Trigona* y *Scaptotrigona*, con rasgos de alta eficiencia en el forrajeo, mostraron mayor vulnerabilidad, mientras que géneros como *Nannotrigona* y *Plebeia*, con estrategias de bajo perfil, presentaron menor exposición. Estos hallazgos sugieren que *S. campanulata* actúa como un filtro funcional que selecciona negativamente contra estrategias de alto riesgo, reduciendo la diversidad funcional de las comunidades de meliponinos.

ABSTRACT

Stingless bees (tribe Meliponini) are key pollinators in tropical ecosystems, but they face threats from invasive species such as *Spathodea campanulata*, whose nectar can be toxic. This study evaluated the impact of *S. campanulata* on the functional diversity of stingless bees in the Bicentennial Park of San Salvador. Dead meliponine bees were collected from *S. campanulata* flowers between January and December 2023, and functional diversity indices (richness, evenness, and divergence) were analyzed. The results revealed that the impact of the invasive plant is nonlinear and context-dependent, rather than a simple function of its floral abundance. Marked fluctuations were observed in functional richness and divergence, with lows in April (low flowering) and September. Notably, the functional collapse in September occurred despite a flowering peak of *S. campanulata*, coinciding with the mass-flowering of native flora, which suggests that competition from alternative resources modulates bee exposure. Principal component analysis (PCA) and hierarchical clustering revealed that genera such as *Trigona* and *Scaptotrigona*, characterized by high-efficiency foraging traits, showed greater vulnerability, whereas genera such as *Nannotrigona* and *Plebeia*, with low-profile strategies, exhibited lower exposure. These findings suggest that *S. campanulata* acts as a functional filter that negatively selects against high-risk strategies, thereby reducing the functional diversity of meliponine communities.

INTRODUCCIÓN

Las abejas sin aguijón (tribu Meliponini) desempeñan un papel clave en la polinización de una gran variedad de especies vegetales, siendo fundamentales para la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas tropicales (Cortés et al., 2020). El análisis de su diversidad funcional, definida por el conjunto de rasgos morfológicos, conductuales y ecológicos que determinan el rol de las especies en el ecosistema, es crucial para comprender no solo las interacciones planta-polinizador, sino también los impactos de las perturbaciones ambientales. Sin embargo, las

comunidades de abejas sin aguijón están cada vez más sujetas a presiones como la fragmentación del hábitat, la alteración de los recursos florales y, notablemente, la exposición a especies exóticas potencialmente tóxicas (Baena-Díaz et al., 2023).

Entre estas, destaca *Spathodea campanulata*, un árbol de origen africano ampliamente introducido en regiones tropicales, incluyendo El Salvador (Ayala et al., 2024). Numerosos estudios previos han documentado que su néctar contiene compuestos tóxicos para los insectos, causando una alta mortalidad en las abejas que forrajean en sus flores (Castagnino et al., 2024; Queiroz et al., 2014; Trigo y Santos, 2000). Debido a su atractiva y abundante floración, *S. campanulata* puede actuar como una trampa ecológica, atrayendo a polinizadores nativos y provocando un impacto negativo en sus poblaciones. En este contexto, es esencial comprender cómo la exposición a esta especie exótica afecta no solo la abundancia, sino también la estructura funcional de las comunidades de abejas, para así evaluar su vulnerabilidad y resiliencia.

Este estudio presenta evidencia preliminar del impacto de *S. campanulata* sobre la comunidad de abejas sin aguijón en el Parque Bicentenario de San Salvador. Mediante el análisis de individuos muertos recolectados mensualmente y una matriz de rasgos funcionales basada en la literatura, se evaluó la dinámica temporal de la diversidad funcional. Concretamente, se plantearon los siguientes objetivos: (1) cuantificar la variación anual de la riqueza (FRic), equitatividad (FEve) y divergencia (FDiv) funcional; (2) identificar agrupaciones funcionales entre los géneros de abejas mediante análisis de componentes principales (PCA) y clustering jerárquico; y (3) explorar los patrones temporales en la mortalidad y la composición funcional en relación con la fenología floral de *S. campanulata*. Los resultados obtenidos proporcionan información clave sobre cómo esta especie invasora podría estar actuando como un filtro funcional, afectando diferencialmente a los géneros de abejas y reconfigurando la estructura de sus comunidades.

METODOLOGÍA

Fase de campo y laboratorio para la identificación taxonómica

Se realizaron muestreos mensuales de enero a diciembre de 2023 en el Área Natural Protegida: *Parque del Bicentenario El Espino-Bosque Los Pericos*, conocido como Parque Bicentenario, el cual está ubicado al suroriente del complejo volcánico de

San Salvador o Quezaltepeque (Linares, 2011), en los municipios La Libertad Este y San Salvador Centro. Según el mismo autor, este ecosistema se clasifica como bosque subcaducifolio. Se seleccionaron puntos de muestreo dentro del parque, distribuidos al azar a lo largo de senderos donde se observaron árboles de *Spathodea campanulata* con flores caídas en el suelo (Figura 1). En cada punto, se registraron las coordenadas geográficas de los árboles muestreados y se recolectaron las flores caídas para el conteo de insectos muertos. Los individuos de abejas sin aguijón encontrados dentro de las flores, se extrajeron con pinzas estériles y se depositaron en tubos Falcon y se preservaron en alcohol al 70%. Es importante aclarar que, utilizamos el número de flores caídas recolectadas en el suelo como una aproximación para estimar la fenología floral de *Spathodea campanulata*. Somos conscientes de que esta es una medida indirecta y que la dinámica de la caída de flores puede estar influenciada por otros factores, además de la producción floral. No obstante, asumimos que un mayor número de flores caídas se correlaciona positivamente con los picos de producción floral. Este supuesto se basa en que la abscisión floral es la etapa final del ciclo de vida de la flor, por lo que los patrones de caída deberían reflejar, los patrones de floración en el dosel.

Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Biodiversidad y Ecología de las Abejas de El Salvador (BEES), de la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad de El Salvador. Los insectos se lavaron con etanol al 70% para eliminar residuos y se secaron en condiciones controladas, posteriormente se identificaron hasta la categoría supra genérica de orden, para ello se utilizó un estereoscopio modelo Leica EZ4 HD y un microscopio óptico modelo Olympus CX23; los ejemplares se clasificaron dentro de los Ordenes Hymenoptera, Coleoptera y Diptera. Posteriormente, los individuos pertenecientes a la tribu Meliponini (abejas sin aguijón) se separaron para una identificación a nivel de género mediante las claves taxonómicas para meliponinos neotropicales de Espinoza et al., (2015), y Quic Cholutío et al., (2024) y comparaciones morfológicas con especímenes de referencia de la colección entomológica institucional; tomando en cuenta los caracteres diagnósticos como venación alar, estructura de las mandíbulas, pilosidad y morfología del metasoma. La información obtenida sobre los géneros y las abundancias se registraron en una base de datos con códigos únicos para cada individuo, asociados a su respectiva información de respaldo.

Figura 1

Recolección de flores de *S. campanulata* en los diferentes senderos



Matriz de rasgos funcionales

La metodología utilizada para la elaboración de la matriz de rasgos funcionales de los géneros de meliponinos integra información obtenida directamente de diferentes apartados del libro *Stingless Bees* (Gruter, 2020). Los rasgos funcionales seleccionados (Tabla Suplementaria S1 y S2) fueron elegidos para representar tres ejes ecológicos clave que hipotéticamente modulan la vulnerabilidad de las abejas a una fuente de néctar tóxica y abundante como *Spathodea campanulata*. Se incluyeron rasgos relacionados con (1) la estrategia de forrajeo y explotación de recursos, como la distancia máxima de forrajeo y el tamaño corporal (indicado por el ancho de cabeza), que determinan la probabilidad de encuentro y las necesidades energéticas; (2) la organización social y demográfica, como el tamaño de la colonia, que influye en la capacidad de movilizar obreras y en la resiliencia de la población; y (3) las estrategias de comunicación social, como el reclutamiento específico del sitio y el tipo de comunicación que son cruciales para la explotación eficiente de recursos masivos y, por tanto, pueden aumentar la exposición al riesgo.

La distancia máxima de forrajeo y el ancho de la cabeza, utilizados como indicadores del tamaño corporal, fueron obtenidos de la tabla 8.1 del libro. La distancia de forrajeo se clasificó en tres niveles (baja, mediana, amplia), dependiendo de la capacidad de las especies para explorar recursos a diferentes

distancias. Este rasgo es crucial para comprender la eficiencia de recolección de recursos y la adaptación a la distribución espacial de las flores, lo que a su vez influye en la competencia entre especies y la dinámica del ecosistema, en tanto que el tamaño afecta tanto la capacidad de vuelo como las necesidades energéticas, aspectos que están relacionados directamente con la ecología y el rol de las abejas en la polinización (Cappellari, 2022).

Los datos sobre el tamaño promedio de las colonias (número de individuos) fueron obtenidos de la tabla 1.3 del libro y se clasificaron como “Pequeñas”, “Medianas” o “Grandes”. Este rasgo refleja la organización social de las colonias y está vinculado a la capacidad de defensa del nido, la eficiencia en la recolección de recursos y la adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales (Johnson, L. K., Hubbell, S. P., 1974). Colonias más grandes tienen estructuras sociales más complejas y una mayor capacidad para defenderse de depredadores y competidores, lo que puede ser crucial para la persistencia de las especies en entornos diversos (Lindauer, 1976; Grüter, C., 2020).

La información sobre el reclutamiento específico del sitio fue obtenida de la tabla 10.1 del libro y clasificada como “No”, “Parcialmente” o “Sí”, dependiendo del nivel de especificidad reportado para cada género en términos de estrategias de reclutamiento hacia fuentes de alimento (Nieh, J. C., 2004). Este rasgo está directamente relacionado con la comunicación social dentro de la colonia y la habilidad para maximizar la recolección de recursos en un entorno competitivo. Es un indicador clave de la evolución del comportamiento cooperativo en las abejas sin aguijón.

La información sobre la estrategia de comunicación fue recuperada del apartado 10.2 del libro y clasificada como “Unidimensional”, “Exploración individual” o “Multimodal”, según las estrategias observadas en cada género.

Este rasgo subraya la diversidad en los mecanismos de intercambio de información entre individuos, lo que permite optimizar la eficiencia en la localización y explotación de recursos florales (Nieh, J. C., 2004). La comunicación multimodal, por ejemplo, representa un nivel avanzado de coordinación social, esencial para colonias grandes o en ambientes con recursos dispersos.

ANÁLISIS DE DATOS

Para evaluar la diversidad funcional de las comunidades de abejas sin aguijón, se calcularon

tres índices principales: Riqueza Funcional (FRic), Equitatividad Funcional (FEve) y Divergencia Funcional (FDiv). La Riqueza Funcional se determinó mediante el método de convex hulls multidimensionales, que cuantifica el volumen del espacio funcional ocupado por la comunidad. La Equitatividad Funcional midió la uniformidad en la distribución de las distancias funcionales entre especies, basándose en el árbol de distancias funcionales mínimo. Por su parte, la Divergencia Funcional evaluó la dispersión de las especies en el espacio funcional, ponderando la abundancia de cada género. Estos cálculos se realizaron utilizando el paquete *FD* en R v4.3.1 (Laliberté et al., 2014), con una matriz de rasgos funcionales que incluyó variables morfológicas, ecológicas y demográficas, como el ancho de cabeza, la distancia máxima de forrajeo, la estrategia de comunicación y el tamaño promedio de colonia. Los datos de abundancia mensual se estandarizaron para evitar sesgos derivados de diferencias en el esfuerzo de muestreo, utilizando las propiedades matemáticas del Índice de Bray-Curtis y la fórmula del *FDis* para relativizar la abundancia.

Para reducir la dimensionalidad de los rasgos funcionales y visualizar la distribución de los géneros en el espacio funcional, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (PCA). Las variables se escalaron (función de escalado Z-score) y centraron antes del análisis y los dos primeros componentes principales (Dim1 y Dim2) explicaron el 82.63% de la varianza acumulada. La contribución de cada rasgo a los componentes se evaluó mediante vectores de correlación y la calidad de representación de los géneros se determinó utilizando valores $\cos^2$. Este análisis se implementó con el paquete *FactoMineR* en R. Además, se realizó un clustering jerárquico aglomerativo con el método de Ward y distancia Euclidiana para identificar agrupaciones de géneros y meses basadas en similitudes funcionales o composicionales. Para los géneros, se utilizó la matriz de rasgos funcionales, mientras que para los meses se empleó una matriz de abundancia relativa.

Para visualizar la distribución funcional de los géneros activos cada mes, se generaron polígonos convexos (convex hulls) en el espacio PCA. Los meses sin suficientes datos, como abril y septiembre, se excluyeron automáticamente del cálculo. El área de cada polígono se interpretó como un indicador de la diversidad funcional mensual. Es importante señalar que la matriz de rasgos funcionales se construyó mediante revisión bibliográfica, priorizando rasgos reportados en estudios previos sobre meliponinos neotropicales (Grüter et al., 2023). Además, el mes de

marzo se excluyó de los análisis funcionales debido a la ausencia de individuos muertos, lo que imposibilitó el cálculo de índices dependientes de la presencia de géneros. Los valores de FEve se interpretaron con cautela, ya que este índice es sensible a la presencia de outliers funcionales. Todo el análisis se realizó utilizando R Studio (v2023.09.1) y los paquetes *FD*, *FactoMineR*, *ggplot2*, *cluster* y *vegan*. Para evaluar la relación entre la fenología floral y la mortalidad, se realizó un análisis de correlación de rangos de Spearman entre el número mensual de flores caídas y el total de individuos de abejas muertas. Se seleccionó esta prueba no paramétrica debido a la ausencia de una relación lineal esperada entre las variables.

RESULTADOS

La figura 2 muestra las variaciones mensuales en los índices de diversidad funcional: FRic (Riqueza Funcional), FEve (Equitatividad Funcional) y FDiv (Divergencia Funcional). Se observa que FRic y FDiv presentan patrones marcados de fluctuación a lo largo del año, con mínimos en los meses de abril y septiembre, seguidos de incrementos significativos, lo que indica una mayor dispersión y diferenciación funcional en ciertos periodos. Por otro lado, FEve se mantiene relativamente constante durante todo el año, lo que sugiere una equitatividad estable en la distribución de las funciones dentro de las comunidades. La gráfica muestra, además, los cambios en la abundancia de flores caídas como una aproximación a la floración de *S. campanulata*

(número de flores) a lo largo del año, con picos de floración entre junio y noviembre. Estos resultados podrían reflejar variaciones estacionales en la disponibilidad de recursos o cambios en la composición de las comunidades funcionales.

El biplot del Análisis de Componentes Principales (PCA) representa la distribución de los géneros de abejas sin aguijón en función de sus rasgos funcionales, con los ejes Dim 1 y Dim 2 explicando el 51.24% y el 31.39% de la varianza total, respectivamente (figura 3). Cada punto en el gráfico corresponde a un género y los colores reflejan la calidad de representación en el espacio PCA, medida a través de los valores de $\cos^2$.

Los géneros como *Cephalotrigona* y *Tetragonisca* se agrupan cerca del origen, indicando una baja asociación con los rasgos analizados, mientras que *Nannotrigona* y *Plebeia* muestran una fuerte relación con características como el *Ancho de cabeza* y el *Tamaño promedio de colonia* (individuos), desplazándose hacia valores positivos en Dim 1. Por otro lado, *Trigona* y *Scaptotrigona* presentan una moderada asociación con rasgos como la *Estrategia de comunicación* y el *Reclutamiento específico del sitio*. Los vectores azules reflejan la contribución de los rasgos funcionales, siendo más largos aquellos que tienen mayor influencia en la diferenciación de los géneros. Rasgos como el *Ancho de cabeza* y el *Tamaño promedio de colonia* (individuos) dominan a lo largo de Dim 1, mientras que *Distancia máxima de forraje* y *Anidación compartida*

Figura 2

Variación mensual de los índices de diversidad funcional (FRic, FEve, FDiv) y el número de flores caídas de *Spathodea campanulata*

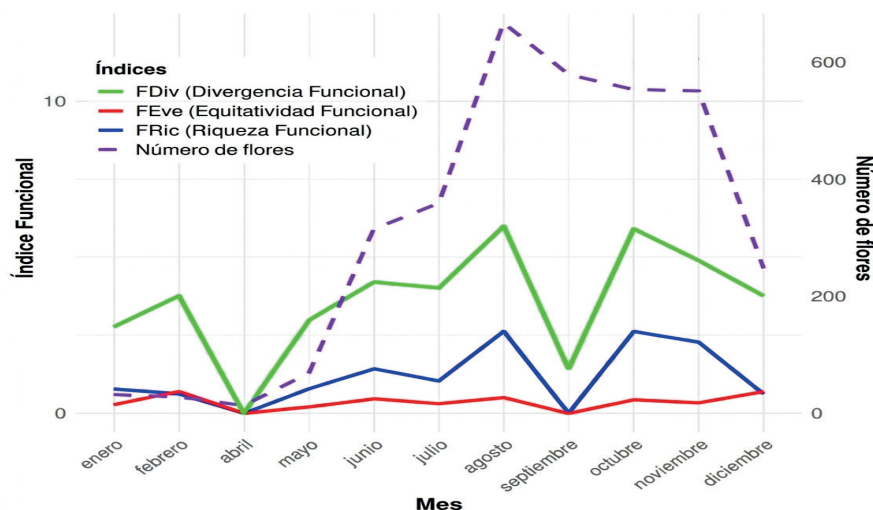
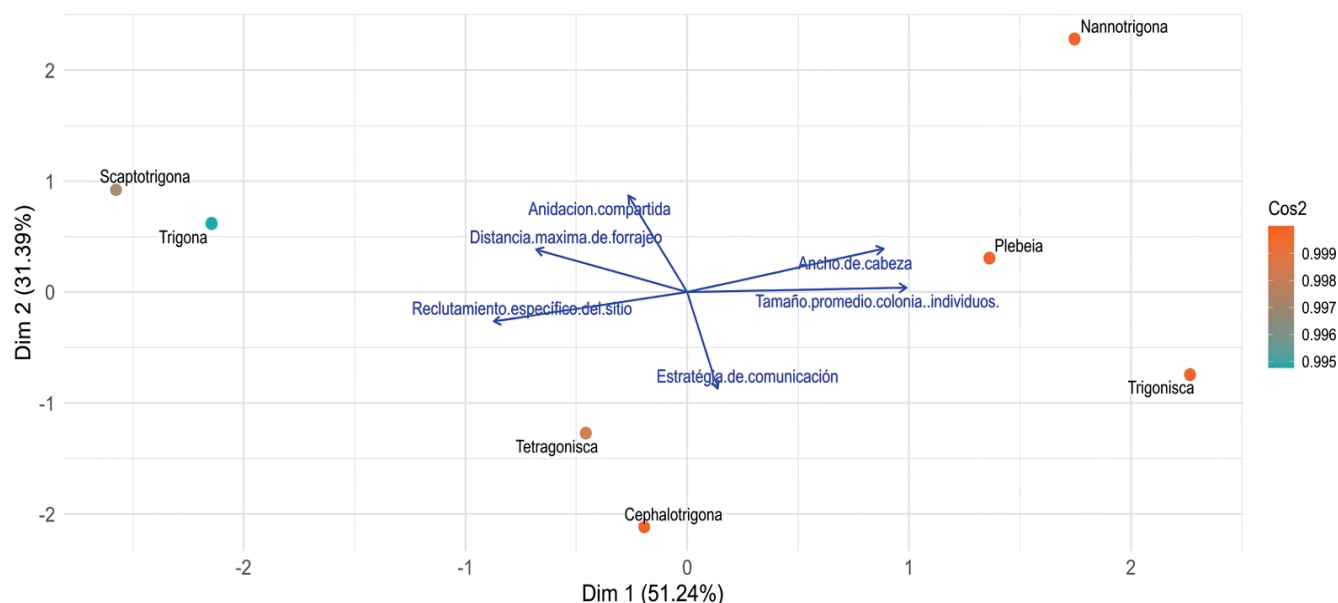


Figura 3

Biplot de Análisis de Componentes Principales (PCA) de géneros de abejas sin aguijón y sus rasgos funcionales

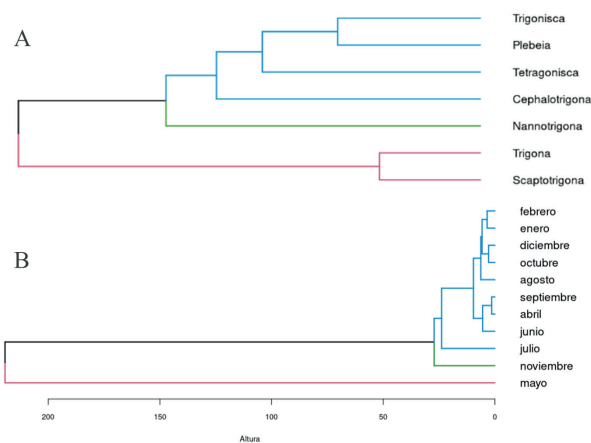


destacan en Dim 2. Estos resultados sugieren que los géneros de abejas sin aguijón exhiben diferencias funcionales significativas, probablemente reflejando adaptaciones ecológicas y de comportamiento particulares, con algunos rasgos desempeñando un papel clave en su diferenciación funcional.

En la figura 4A, se observa un dendrograma jerárquico que agrupa los géneros de abejas sin aguijón en función de sus rasgos funcionales. Los géneros *Trigona* y *Scaptotrigona* forman un clúster bien diferenciado, mientras que *Cephalotrigona*, *Tetragonisca*, *Plebeia* y *Trigona* se agrupan más cercanamente, reflejando similitudes funcionales en los rasgos analizados. Por otro lado, el género *Nannotrigona* muestra una separación intermedia, evidenciando características únicas que lo distinguen parcialmente de los otros grupos. En la figura 4B, se presenta un dendrograma jerárquico que agrupa los meses en función de la composición de géneros y su abundancia relativa. Meses como mayo y noviembre se diferencian claramente del resto, mientras que meses como enero, febrero y diciembre forman un clúster más estrechamente relacionado, lo que podría reflejar patrones estacionales o dinámicas específicas en la estructura de las comunidades. Ambas figuras evidencian cómo los rasgos funcionales y las abundancias varían tanto entre géneros como a lo largo del tiempo, resaltando la influencia de factores ecológicos y temporales en la organización de estas comunidades.

Figura 4

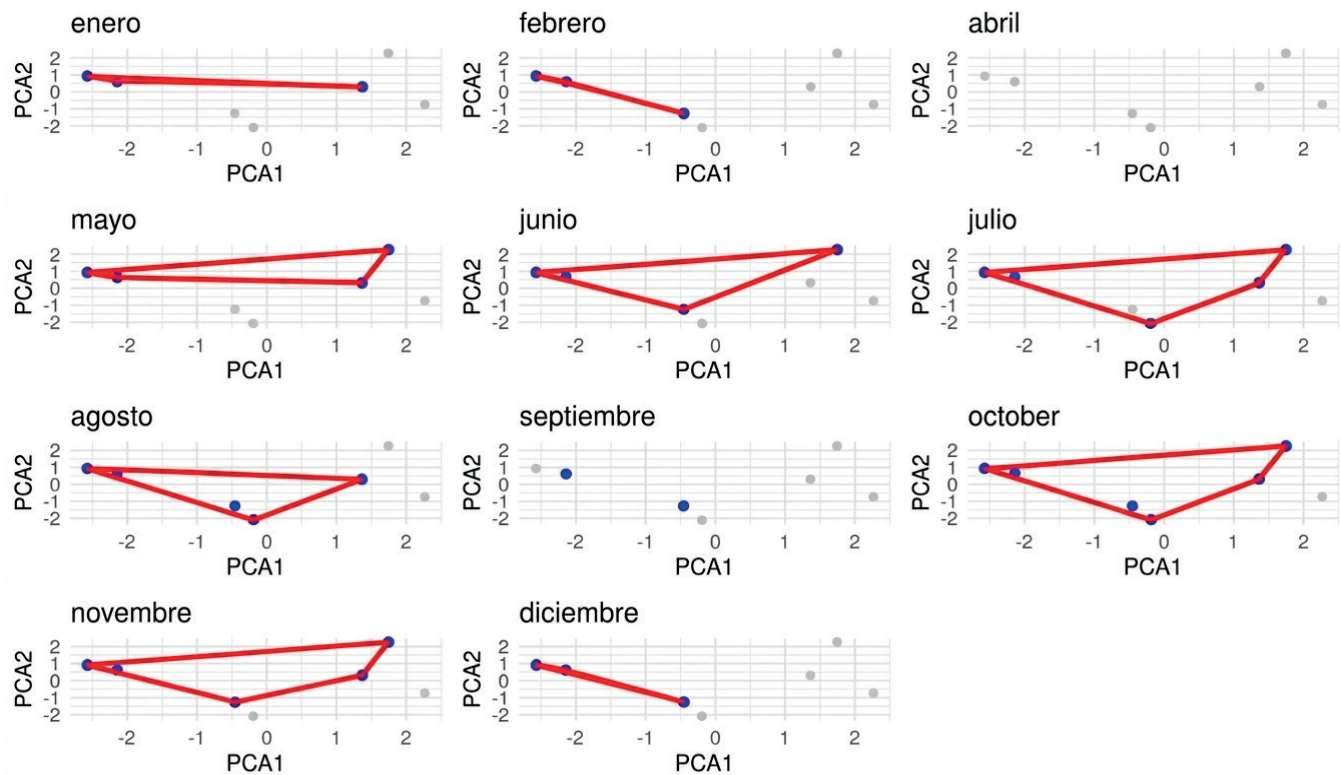
Dendrograma de clustering jerárquico basado en similitudes funcionales. A. Géneros de abejas sin aguijón, B. Meses del año



El gráfico convex hulls para cada mes (Figura 5), muestra la distribución funcional de los géneros de abejas sin aguijón en el espacio definido por los dos primeros componentes principales (PCA1 y PCA2). Los puntos grises representan todos los géneros disponibles en el espacio funcional, mientras que los puntos azules destacan los géneros presentes en cada

Figura 5

Distribución funcional mensual de géneros de abejas sin aguijón en el espacio PCA: Gráficos convex hull



mes. Los polígonos rojos, cuando están presentes, abarcan el área funcional ocupada por los géneros activos en un mes determinado. Se observa que meses como abril y septiembre no generan convex hulls, probablemente debido a la baja diversidad funcional o a la ausencia de suficientes géneros en esos periodos, mientras que meses como mayo, julio, y octubre muestran convex hulls amplios, indicando mayor diversidad funcional en esos momentos. Este patrón sugiere cambios estacionales en la estructura funcional de las comunidades de abejas, posiblemente vinculados a la disponibilidad de recursos o factores ambientales.

DISCUSIÓN

El análisis de la interacción entre *Spathodea campanulata* y las comunidades de abejas sin aguijón revela una dinámica compleja que no puede explicarse únicamente por la fenología floral de la especie invasora. De hecho, un análisis formal no encontró una correlación estadísticamente significativa entre la abundancia mensual de flores caídas y el número total de individuos muertos (Correlación de Spearman, $\rho = 0.14$, $p = 0.67$). Este

hallazgo cuantitativo es crucial, ya que subraya que la mortalidad no es una simple función de la exposición y que la relación entre floración y riesgo es no lineal y dependiente del contexto ecológico.

Esta dinámica se ilustra claramente al contrastar dos escenarios clave. Por un lado, en meses de baja disponibilidad floral como marzo y abril, la mortalidad fue nula, sugiriendo que la escasez de recursos en la planta tóxica efectivamente limita el contacto, como era de esperar. Por otro lado, el escenario se invierte en septiembre, cuando, a pesar de registrarse un pico de floración de *S. campanulata* (579 flores), la mortalidad observada fue mínima y la diversidad funcional colapsó ($FRic=0$, $FDiv=0$). Esta aparente paradoja es fundamental para entender la interacción y sugiere que está modulada por un factor externo predominante: la disponibilidad de recursos florales alternativos en el ecosistema, o el “mercado floral” competitivo. La floración masiva del bosque subcaducifolio nativo durante la transición seca-lluviosa (Borchert et al., 2004) aumenta la oferta de flora nativa (e.g., Fabaceae, Malvaceae), la cual representa fuentes de néctar más seguras y atractivas que probablemente desvían la presión

de forrajeo lejos de la especie tóxica. Por lo tanto, el impacto de *S. campanulata* no depende solo de su propia fenología, sino de su contexto dentro de la fenología de toda la comunidad vegetal.

La complejidad de esta interacción también se refleja en la variabilidad de la respuesta comunitaria a lo largo del año. En mayo, por ejemplo, un pico moderado de floración de *S. campanulata* (69 flores) coincidió con valores elevados de riqueza (FRic = 24) y divergencia funcional (FDiv = 167), reflejando una comunidad diversa dominada por *Trigona*, género que explotó intensivamente el néctar disponible. Este contraste con septiembre subraya una vez más que la disponibilidad floral de *S. campanulata* no actúa de forma aislada, sino en sinergia con la oferta floral del ecosistema completo.

Adicionalmente, la exposición sostenida al néctar tóxico durante los meses de alta floración (junio-agosto) parece funcionar como un filtro ecológico. Es plausible que esta presión selectiva elimine gradualmente a los géneros más vulnerables, como *Trigona* y *Scaptotrigona* —caracterizados por rasgos de alta competitividad como comunicación multimodal y reclutamiento específico de sitio (Gruter, 2020)—, o fomenta comportamientos de evitación en las comunidades supervivientes (Leonhardt y Blüthgen, 2011). Como resultado, la baja diversidad funcional en septiembre reflejaría una homogenización de la comunidad, donde solo persisten géneros con rasgos de bajo perfil de riesgo, como tamaños corporales y de colonias pequeños o distancias de forrajeo cortas (*Nannotrigona*, *Plebeia*). De este modo, tanto abril (por escasez de flores) como septiembre (por una combinación de filtro acumulativo y competencia de recursos) resultan en una interacción mínima con *S. campanulata*, explicando su cercanía en los análisis de clustering a pesar de sus contextos florales opuestos.

Los análisis de clustering y los gráficos convex hulls refuerzan esta interpretación. Los géneros se agruparon según similitudes funcionales: *Trigona* y *Scaptotrigona* formaron un clúster vinculado a rasgos de alta competitividad, mientras que *Nannotrigona* y *Plebeia* se asociaron por rasgos de menor exposición al riesgo. Visualmente, los polígonos convexos amplios en mayo y julio reflejaron una diversidad funcional robusta, mientras que su ausencia en abril y septiembre evidenció la pérdida de grupos funcionales completos. Estos patrones confirman que la presión selectiva de *S. campanulata* no solo reduce la abundancia, sino que contrae el espacio funcional disponible, seleccionando negativamente contra

estrategias de alto perfil y limitando la capacidad de las comunidades para mantener servicios ecológicos críticos.

Finalmente, es importante señalar que este análisis tiene como limitante crítica la construcción de la matriz de rasgos funcionales a partir de revisión bibliográfica, no de mediciones directas en el campo. Esta aproximación podría introducir sesgos si los rasgos reportados en la literatura no reflejan variaciones locales. La falta de datos medidos *in situ* limita la capacidad para detectar rasgos emergentes o plasticidad fenotípica frente a la presión tóxica, factores clave para entender la resiliencia a largo plazo (Hanberry et al., 2020). Estas limitaciones subrayan la necesidad de validar los rasgos funcionales en futuros estudios.

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades del Personal Administrativo del Parque Bicentenario, que nos facilitaron los permisos correspondientes, para acceder al área natural. A Elsa Cristina Moreno Beltrán y María Beatriz Rodríguez Chávez, ambas estudiantes de la licenciatura en Biología, por el apoyo en las visitas de campo.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los investigadores declaran no tener conflictos de intereses.

REFERENCIAS

- Ayala, F. E., Álvarez, A. A., y Carrillo, R. (2024). El tulipanero africano *Spathodea campanulata* (Bignoniaceae) en la Argentina: impacto de una planta exótica sobre la mortalidad de entomofauna nativa. *Ecología Austral*, 34(3), 322–329. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/243129/CONICET_Digital_Nro.8dd45dac-336f-4c95-96c6-b587ae858cbf_B.pdf?sequence=2
- Baena-Díaz, F., Chévez, E., y Porter-Bolland, L. (2023). ¿Qué sabemos de las abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae, ¿Meliponini) en México?: diversidad, ecología y polinización. *Acta Zoológica Mexicana (n. s.)*, 39, 1–17. <https://doi.org/10.21829/azm.2023.3912565>
- Borchert, R., Meyer, S. A., Felger, R. S., & Porter-Bolland, L. (2004). Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forests. *Global Ecology and Biogeography*, 13(5), 409–425. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822x.2004.00111.x>

- Cappellari, A., Bonaldi, G., Mei, M., Paniccia, D., Cerretti, P., & Marini, L. (2022). Functional traits of plants and pollinators explain resource overlap between honeybees and wild pollinators. *Oecología*, 198(4), 1019–1029. <https://doi.org/10.1007/s00442-022-05151-6>
- Castagnino, G. L. B., De Simón, M. T. C., Meana, A., & Pinto, L. F. B. (2024). Mortality of stingless bees on *Spathodea campanulata* Beauv. (Bignoniaceae) flowers. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 25. <https://doi.org/10.1590/s1519-994020230031>
- Chase, M. H., Fraterrigo, J. M., & Harmon-Threatt, A. (2023). Bee functional traits and their relationship to pollination services depend on many factors: A meta-regression analysis. *Insect Conservation and Diversity*, 16(3), 313–323. <https://doi.org/10.1111/icad.12645>
- Cortés, L. E. U. C., García, A. V., Maya, E. M. A., y Rivas, J. M. (2020). Conocimiento de las abejas nativas sin aguijón y cambio generacional entre los mayas lacandones de Nahá, Chiapas. *Estudios de Cultura Maya*, 56(2), 205–225. <https://doi.org/10.19130/iifl.ecm.2020.56.2.0008>
- Espinoza, F., Padilla, S., Hernández, P., y Zamora, L. (2015). *Guía práctica de identificación de abejas sin aguijón*. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Grüter, C. (2020). *Stingless bees: Their behaviour, ecology and evolution*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60090-7>
- Hanberry, B. B., DeBano, S. J., Kaye, T. N., Rowland, M. M., Hartway, C. R., & Shorrock, D. (2020). Pollinators of the Great Plains: Disturbances, stressors, management, and research needs. *Rangeland Ecology & Management*, 73(6), 841–853. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.08.006>
- Johnson, L. K., & Hubbell, S. P. (1974). Aggression and competition among stingless bees: Field studies. *Ecology*, 55(1), 120–127. <https://doi.org/10.2307/1934624>
- Laliberté, E., Legendre, P., & Shipley, B. (2014). *FD: Measuring functional diversity (FD) from multiple traits, and other tools for functional ecology* (Versión 1.0-12.3) [Paquete de software R]. CRAN. <https://CRAN.R-project.org/package=FD>
- Leonhardt, S. D., & Blüthgen, N. (2012). The same, but different: Pollen foraging in honeybee and bumblebee colonies. *Apidologie*, 43(4), 449–464. <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0112-y>
- Linares, J. L. (2011). *Inventario de flora vascular, Área Natural Protegida El Espino – Bosque Los Pericos*, Parque del Bicentenario. SalvaNATURA. http://www.salvanatura.org.sv/wp-content/uploads/2015/08/INVENTARIO-FLORA-VASCULAR_PDB_MLQ-2012.pdf
- Lindauer, M. (1976). The social behavior of the bees: A comparative study. *Insectes Sociaux*, 23, 199–200. <https://doi.org/10.1007/BF02223852>
- Nieh, J. C. (2004). Recruitment communication in stingless bees (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). *Apidologie*, 35(2), 159–182. <https://doi.org/10.1051/apido:2004007>
- Queiroz, A. C. M., Contrera, F. A. L., & Venturieri, G. C. (2014). The effect of toxic nectar and pollen from *Spathodea campanulata* on the worker survival of *Melipona fasciculata* Smith and *Melipona seminigra* Friese, two Amazonian stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Sociobiology*, 61(4), 536–540. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v61i4.536-540>
- Quic Cholotío, P. J., Marroquín Juárez, A. E., y Guzmán Flores, C. D. (2024). *Guía ilustrada básica para identificación de las especies de meliponinos (abejas sin aguijón) de los municipios de Sololá*, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://digi.usac.edu.gt/edigi/pdf/P-2024-09.pdf>
- Stevenson, P. R., Castellanos, M. C., Cortés, A. I., & Link, A. (2008). Flowering patterns in a seasonal tropical lowland forest in Western Amazonia. *Biotropica*, 40(5), 559–567. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2008.00417.x>
- Trigo, J. R., & Santos, W. F. dos. (2000). Insect mortality in *Spathodea campanulata* Beauv. (Bignoniaceae) flowers. *Brazilian Journal of Biology*, 60(3), 537–538.