

<https://doi.org/10.15517/9gqvfy52>

Diversidad de abejas (Hymenoptera: Apoidea) en coberturas heterogéneas de bosque seco tropical, Huila Colombia

Mateo Carvajal-Cardona¹;  <https://orcid.org/0009-0004-9664-0279>David Felipe Bulla-Guaqueta¹;  <https://orcid.org/0009-0009-4647-9516>Adriana Ortiz-Reyes^{1*};  <https://orcid.org/0000-0002-1668-713X>Mailyn Adriana González-Herrera²;  <https://orcid.org/0000-0001-9150-5730>Allan Smith-Pardo¹;  <https://orcid.org/0000-0003-1905-6226>

1. Posgrado Ciencias-Entomología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Cra. 65 #59a-110, Medellín, Colombia; mcarvajalca@unal.edu.co, dfbullag@unal.edu.co, alitosmith@gmail.com, adortizr@unal.edu.co (*Correspondencia)
2. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia; magonzalez@hum-boldt.org.co

Recibido 28-X-2025. Corregido 03-IV-2026. Aceptado 02-VII-2026.

ABSTRACT

Diversity of bees (Hymenoptera: Apoidea) in heterogeneous tropical dry forest cover in Huila, Colombia

Introduction: Tropical forests are one of the world's most biodiverse ecosystems. Tropical Dry Forests (TDFs) exhibit high levels of endemism reflected in their diverse flora and fauna; however, these ecosystems are under threat from human activity. Restoring TDFs ecologically is therefore essential for preserving their biodiversity. In this context, pollination is an essential ecosystem service that needs to be preserved due to its importance for the exchange of genes between vegetation communities.

Objective: To characterize the diversity of the bee communities and their association with different types of cover.

Methods: In three parcels (La Tribuna, Chaparral and San Francisco) of a fragment of BTS in the Department of the Huila, Colombia, sampling over an 11-month period was taken place from October 2021 and September 2022 using fixed trapping methods (essences and Van Someren-Rydon traps) and manual collection with an entomological net.

Results: A total of 1 241 specimens were identified and classified into 74 species of bees from 15 genera for all cover types (vegetation). La Tribuna (representative of one of such TDF's types) encompassed the highest diversity indices in all cases, while Chaparral (another vegetation type for TDFs) on the other hand, showed the lowest values. Permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA) analysis revealed significant differences in wild bees' community composition between the three areas under evaluation, suggesting that level of TDF's restoration impacts community structure. Indicator Value Index revealed seven morph-species with significant associations in total. These morph-species exhibited a high frequency and specificity when analyzed together on two of the cover types (La Tribuna and Chaparral). No indicator species exclusive to San Francisco (the third parcel of cover type) were detected. In terms of functional characteristics, most of the identified species of wild bees were solitary and nested in cavities or soil. A higher proportion of eusocial species were observed in La Tribuna.

Conclusions: The ecological restoration of the Eco-Reserve is generating bee communities that are more diverse, functionally complex and structurally coherent, and that are consistent with advanced stages of TDF's recovery.

Key words: native bees; abundance; diversity; mining; restoration.



RESUMEN

Introducción: Los bosques tropicales constituyen los ecosistemas más variados a nivel mundial, en particular, el Bosque Seco Tropical (BST) exhibe una amplia diversidad de flora y fauna, lo que ocasiona elevadas tasas de endemismo, lo cual está amenazado por la actividad humana. La restauración ecológica de los BST es clave para conservar su biodiversidad. En este escenario, la polinización, es uno de los servicios ecosistémicos esenciales para la conservación y el intercambio genético entre las comunidades de vegetación.

Objetivo: Caracterizar la diversidad de las comunidades de abejas y su asociación con diferentes tipos de cobertura.

Métodos: En tres parcelas (La Tribuna, Chaparral y San Francisco) un fragmento de BTS en el Departamento del Huila, Colombia, se realizó el muestreo de abejas durante 11 meses entre octubre de 2021 a septiembre de 2022, a partir del uso de diferentes métodos de trampa (esencias y Van Someren-Rydon) y recolecta manual con red entomológica.

Resultados: Se identificaron 1 241 ejemplares, clasificados en 102 taxones principalmente morfoespecies de abejas de 15 géneros en las coberturas evaluadas. La Tribuna registró los índices de diversidad más elevados en todos, siendo Chaparral el siguiente con los valores más bajos. El análisis realizado por una prueba estadística multivariada no paramétrica (PERMANOVA) reveló diferencias notables en la composición de las comunidades de abejas silvestres entre las tres coberturas, lo que sugiere que el tipo de entorno tiene un impacto en la estructura de la comunidad. La evaluación de especies indicadoras detectó un total de siete morfoespecies con asociaciones significativas. Estas morfoespecies exhibieron una elevada frecuencia y especificidad al ser analizadas en conjunto en ambas coberturas (Tribuna y Chaparral). Respecto a las características funcionales, la mayoría de las especies identificadas eran solitarias y habitaban en cavidades o suelo. Se observó una mayor proporción de especies eusociales en La Tribuna.

Conclusiones: La restauración ecológica en la Eco-Reserva está generando comunidades de abejas más diversas, funcionalmente complejas y estructuralmente coherentes con las etapas avanzadas de recuperación del BST.

Palabras clave: abejas nativas; abundancia; diversidad; minería; restauración.

INTRODUCCIÓN

El Bosque Seco Tropical (BST) se caracteriza por una estacionalidad pronunciada, con períodos de sequía extendidos de tres a nueve meses y precipitaciones anuales que oscilan entre 250 y 2 000 mm, condiciones que han propiciado la aparición de elevados niveles de endemismo (Espinosa et al., 2012; Tanjina-Hasnat & Hossain, 2020). A nivel global, los bosques secos tropicales constituyen el segundo tipo de bosque más extenso, cubriendo cerca del 42 % del área forestal tropical y subtropical. No obstante, actualmente se ven afectados por una pérdida aproximada del 95 % de su cobertura original (Tanjina-Hasnat & Hossain, 2020). En Colombia, estos ecosistemas han sufrido una profunda transformación debido a la expansión de la agricultura y ganadería, la urbanización, el cambio climático y actividades de extracción como la minería y la extracción de petróleo lo que ha generado altos niveles de fragmentación y pérdida de conectividad (García et al., 2014; Lessmann et al., 2016; Mallinger et al., 2015).

La restauración ecológica de los BST es prioritaria para la conservación de su biodiversidad y el restablecimiento de sus funciones ecológicas. En este contexto, la polinización, uno de los servicios ecosistémicos fundamentales, desempeña un papel crucial en la preservación del intercambio genético entre las poblaciones vegetales y en el mantenimiento de la productividad del ecosistema. Las abejas, los agentes polinizadores primordiales, son bioindicadores sensibles de la calidad del hábitat y del éxito de los procedimientos de restauración ambiental. La distribución y abundancia de estas especies están determinadas por la disponibilidad de recursos florales, la diversidad estructural del paisaje y las características funcionales propias de cada especie, tales como el tipo de nidos que construyen y el nivel de sociabilidad (Danforth et al., 2019; González, 2014; Potts et al., 2023). En Colombia, la información sobre la respuesta de las comunidades de abejas a los procesos de restauración en BTS es aún limitada. Durante los últimos 30 años, la Eco-Reserva La Tribuna, situada en un área operativa de una empresa de

hidrocarburos en el departamento del Huila, ha dedicado el área para la investigación, promoviendo un proceso de restauración pasiva y convirtiendo este fragmento de BST en un laboratorio de estudio para caracterizar la fauna y flora de este ecosistema.

La finalidad de la presente investigación fue caracterizar la diversidad de las comunidades de abejas y su asociación a diferentes tipos de cobertura, en un gradiente que va de áreas altamente degradadas a un bosque seco maduro. Así mismo buscamos comprender cómo la estructura del paisaje influye en los rasgos funcionales de las abejas, particularmente en su tipo de sociabilidad y estrategias de nidificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El estudio se desarrolló en un fragmento de BTS de aproximadamente 254 ha, localizado en la Eco-Reserva La Tribuna, departamento del Huila, Colombia (Fig. 1). La reserva se encuentra en un rango de elevación entre los 500 y 850 m.s.n.m., una temperatura media anual de 24 °C y una precipitación promedio de 1 200 mm (Ardila-Bayona et al., 2025). La reserva la Tribuna desde hace aproximadamente 30 años está destinada a la restauración pasiva, dando como resultado la conservación de un relicto de BST y de su biodiversidad asociada (Pizano & García, 2014). Durante el año 2022 se establecieron

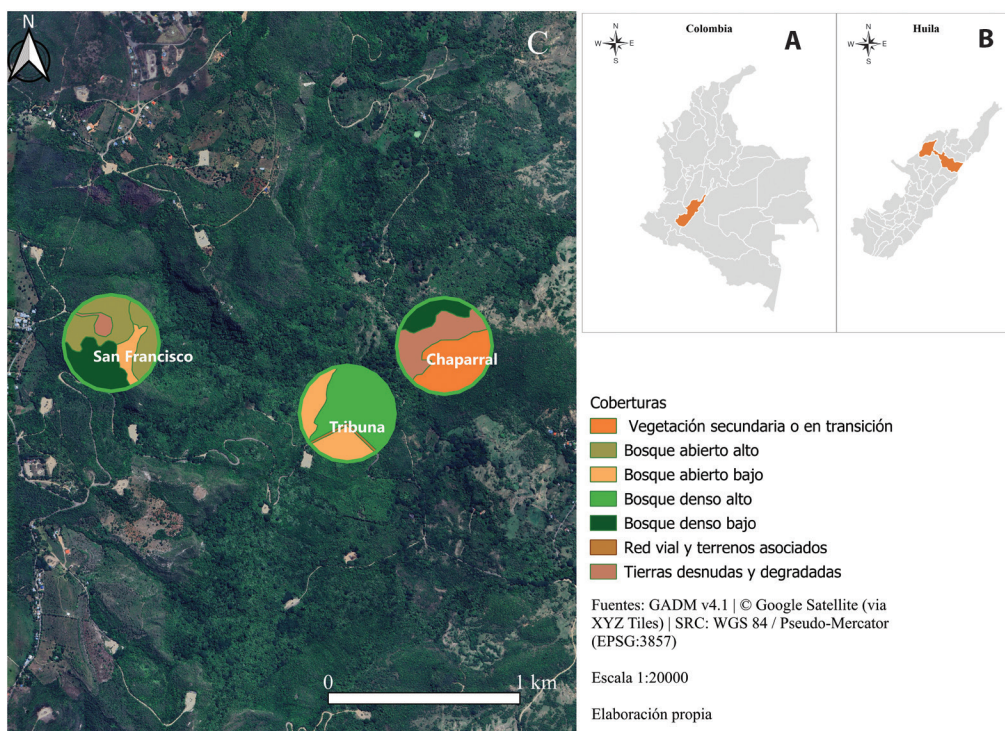


Fig. 1. Área de estudio. **A.** Localización del departamento del Huila (naranja) en el territorio colombiano. **B.** Departamento del Huila; en naranja se destaca el municipio de estudio (Neiva). **C.** Imagen satelital del área de muestreo con las coberturas vegetales identificadas en los tres sitios de estudio: San Francisco, Tribuna y Chaparral. / **Fig. 1.** Study area. **A.** Location of the department of Huila (orange) within Colombian territory. **B.** Department of Huila; the study municipality (Neiva) is highlighted in orange. **C.** Satellite image of the sampling area showing the vegetation cover types identified at the three study sites: San Francisco, Tribuna, and Chaparral.



nueve parcelas permanentes de 0.1 ha para comprender el estado de la Eco-reserva La Tribuna y proponer un plan de monitoreo (Ardila-Bayona et al., 2025).

Las tres coberturas evaluadas en el presente estudio resultan de una interacción entre los procesos de intervención diferencial que han recibido las áreas, así como de microhábitats propios a este fragmento de Bosque. La recolección de datos para de la presente investigación se realizó en las parcelas 1, 6 y 9

establecidas en la Eco-reserva con base en la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2010), que reflejan distintos grados de conservación, estructura y complejidad vegetal dentro del paisaje de la reserva (Tabla 1).

Estas unidades permitieron establecer un gradiente de heterogeneidad e integridad del hábitat, empleado como base para analizar las variaciones en la composición y funcionalidad

Tabla 1

Clasificación, descripción y porcentaje de cobertura vegetal registrada en las tres áreas de muestreo de la Eco-Reserva La Tribuna (Huila, Colombia). / **Table 1.** Classification, description and percentage of plant cover recorded in the three sampling areas of the La Tribuna Eco-Reserve (Huila, Colombia).

Sitio	Clasificación	Descripción	Porcentaje
Chaparral (parcela 1)	Tierras desnudas y degradadas	Áreas con escasa cobertura vegetal y suelos erosionados, dominadas por herbáceas pioneras y matorrales dispersos como <i>Angelonia salicariifolia</i> , <i>Cnidoscolus urens</i> y <i>Croton hibiscifolius</i> .	35.823
	Vegetación secundaria o en transición	Sectores en proceso de regeneración natural con abundancia de arbustos y árboles jóvenes, donde predominan <i>Casearia corymbosa</i> , <i>Senna dariensis</i> y <i>Passiflora coriácea</i> , representa una fase intermedia entre zonas abiertas y bosques secundarios.	46.861
	Bosque bajo abierto	Bosque secundario bajo (5-10 m) con dosel discontinuo y alta incidencia lumínica, destacan especies heliófitas y frutales como <i>Malpighia glabra</i> , <i>Combretum fruticosum</i> y <i>Attalea butyracea</i> .	17.316
San Francisco (parcela 6)	Bosque denso bajo	Bosque cerrado con árboles medianos (10-15 m) y sotobosque abundante, dominado por <i>Henriettea goudotiana</i> , <i>Jacaranda caucana</i> , <i>Siparuna guianensis</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i> , típicas de estadios sucesionales avanzados.	45.117
	Bosque abierto alto	Bosque heterogéneo de dosel alto (15-20 m) con mezcla de especies maduras y secundarias como <i>Piper tuberculatum</i> , <i>Lantana camara</i> y <i>Croton hibiscifolius</i> , presencia moderada de claros naturales.	54.884
	Tierras desnudas y degradadas	Zona alterada correspondiente a un pozo petrolero cerrado, con vegetación rala compuesta por herbáceas dispersas como <i>Clidemia hirta</i> , <i>Funastrum clausum</i> y <i>Miconia prasina</i> , suelos compactados y pobre cobertura vegetal.	11.380
La Tribuna (parcela 9)	Red vial y terrenos asociados	Áreas adyacentes a caminos con vegetación ruderal, dominadas por gramíneas y especies tolerantes a perturbación como <i>Turnera lineata</i> y <i>Croton hibiscifolius</i> .	2.926
	Bosque abierto bajo	Bosque secundario en regeneración, con dosel discontinuo y presencia de especies como <i>Psidium guineense</i> , <i>Capsicum annuum</i> y <i>Piper peltatum</i> , estructura intermedia entre coberturas abiertas y densas.	35.265
	Bosque denso alto	Bosque maduro con estructura compleja y buena cobertura de dosel, dominado por <i>Alchornea tenuinervia</i> , <i>Pera glabrata</i> , <i>Tapirira guianensis</i> y otras especies arbóreas características de condiciones conservadas.	61.808

Las categorías se basan en la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra (IDEAM, 2010) e incluyen observaciones de campo sobre la composición florística dominante. Se destacan las especies más representativas de cada tipo de cobertura, las cuales reflejan distintos grados de conservación y etapas del proceso sucesional del BTS.

de las comunidades de abejas. Los círculos indican las tres parcelas evaluadas: San Francisco, La Tribuna y Chaparral, que representan distintos estados sucesionales del BTS. Los colores muestran las coberturas vegetales predominantes en cada área, clasificadas según la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra (IDEAM, 2010). La Fig. 1A muestra la ubicación del departamento del Huila en el territorio colombiano, y la Fig. 1B la localización de la Eco-Reserva en el municipio de Neiva, departamento del Huila.

Protocolo de muestreo de especímenes:

Entre octubre de 2021 y septiembre de 2022 se realizaron muestreos mensuales en cada parcela, para un total de 11 eventos de muestreo. Se emplearon métodos de recolecta pasiva y activa con el objetivo de maximizar la representatividad de las comunidades de abejas registradas. En total se establecieron 12 puntos de muestreo, cada uno compuesto por nueve trampas de esencia y tres transectos de recolecta manual. Las trampas de esencia fueron elaboradas siguiendo protocolos estandarizados para la captura de abejas euglosinas y se activaron con tres tipos de atrayentes químicos: salicilato de metilo, eugenol y eucaliptol. Cada trampa permaneció activa durante ocho horas (07:00-16:00 h) y fue revisada periódicamente para evitar la deshidratación del cebo. La recolecta manual se llevó a cabo en transectos de 50 × 2 m, utilizando red entomológica durante un periodo de dos horas por área, dentro del mismo intervalo horario de las trampas de esencia. Como complemento, se instalaron trampas Van Someren-Rydon cebadas con pescado en descomposición, con el fin de capturar especies no atraídas por esencias florales. Todos los ejemplares recolectados fueron conservados en alcohol al 96 %, y posteriormente congelados a -20 °C hasta su procesamiento, montaje e identificación en el Laboratorio de Insectos y Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Identificación de abejas: Cada espécimen fue montado siguiendo los protocolos

establecidos por el Museo Entomológico Francisco Luis Gallego (Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín). La identificación taxonómica se realizó hasta el nivel más específico posible (género o especie) mediante el uso de claves morfológicas y comparaciones de referencia, apoyadas con la verificación de especialistas. Se emplearon como principales fuentes de consulta las claves y descripciones de (Michener, 2007; Nates-Parra & Fernández, 1992; Celis & Cure, 2017; Jaramillo et al., 2019; Flórez-Gómez et al., 2023; Sandoval, 2022; Sardi-Saavedra & Acuña-Figueroa, 2024) junto con materiales de referencia del Museo Entomológico Francisco Luis Gallego (MEFLG) y bases de datos digitales de colecciones entomológicas.

Rasgos funcionales: Para caracterizar los grupos funcionales de abejas, se recopilaron tres tipos de rasgos ecológicos y conductuales: tipo de nidificación, nivel de sociabilidad y fuente de recursos florales. La información provino de literatura especializada sobre abejas neotropicales (González et al., 2022; Jaramillo et al., 2019; Michener, 2007), complementada con bases de datos regionales y observaciones propias. El tipo de nidificación se clasificó según el sustrato utilizado (suelo, cavidades, resina/barro o aéreo), la sociabilidad según el grado de organización social (solitaria, sub-social, semisocial o eusocial) y la fuente de recursos según la dieta (polínívora, aceitera, resinífera o mixta). Cada especie fue asignada a las categorías correspondientes y se calcularon las frecuencias relativas por área de muestreo para obtener el perfil funcional de cada cobertura.

Variables paisajísticas: Con el fin de caracterizar la estructura del paisaje y su posible influencia sobre las comunidades de abejas, se delimitó una zona de amortiguación de 250 m alrededor del centro de cada parcela. Este radio se seleccionó siguiendo las recomendaciones de Plascencia & Philpott (2017) y Zurbuchen et al. (2010), considerando el rango de desplazamiento promedio de las abejas silvestres

en ambientes tropicales. La distancia establecida permitió evitar el traslape entre parcelas y garantizar la independencia espacial de las unidades de muestreo. Para la caracterización de las coberturas vegetales dentro de cada zona de amortiguación se utilizaron los inventarios forestales previamente realizados en las parcelas de estudio, los cuales proporcionaron información sobre la composición y estructura de la vegetación en diferentes etapas del proceso de restauración.

Análisis estadísticos: Se elaboró una matriz de abundancia por especie y cobertura a partir de los registros mensuales. Con esta información se calcularon los índices de diversidad alfa: riqueza de especies (S), diversidad de Shannon (H') y números de Hill (q_0 , q_1 , q_2), empleando el paquete *vegan* (Oksanen et al., 2022) en R (R Core Team, 2024).

La normalidad y homogeneidad de varianzas se evaluaron mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Cuando se cumplieron los supuestos paramétricos ($p > 0.05$), se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía seguido de la prueba de Tukey (HSD), en caso contrario, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis con comparaciones post hoc de Dunn ajustadas con el método de Benjamini-Hochberg.

Las diferencias en la composición de especies entre coberturas se evaluaron mediante una prueba estadística multivariada no paramétrica (PERMANOVA) (distancia Bray-Curtis, 9.999 permutaciones), seguido de comparaciones por pares ajustadas con el método de Benjamini-Hochberg para controlar el error tipo I. La estructura de las comunidades se visualizó mediante un análisis de escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) (Bray-Curtis, $k = 2$) con elipses de confianza al 95 %, en el que se representaron los géneros y especies con mayor contribución a las diferencias entre áreas.

Para identificar las especies que más contribuyeron a la disimilitud entre coberturas se aplicó un análisis de porcentaje de similitud (SIMPER), calculando el porcentaje medio de contribución de cada taxón a la disimilitud total

entre pares de coberturas. Adicionalmente, se determinó el conjunto de especies indicadoras mediante el *IndVal.g* del paquete *indicspecies*, empleando permutaciones restringidas por mes como bloques temporales para controlar la autocorrelación temporal.

Todos los análisis se realizaron en R (R Core Team, 2024) empleando los paquetes *vegan* (Oksanen et al., 2022), *iNEXT* (Hsieh et al., 2022), *indicspecies* (De Cáceres & Legendre, 2009), *ggplot2* (Wickham, 2016), *dplyr* (Wickham, François et al., 2023), *tidyr* (Wickham, Vaughan et al., 2023) y *officer* (Gohel & Skintzos, 2023).

RESULTADOS

Se registraron 1 241 individuos, divididos en 102 taxones principalmente morfoespecies de abejas pertenecientes a 15 géneros en las tres coberturas evaluadas (Chaparral, La Tribuna y San Francisco). La mayor riqueza y abundancia se observó en La Tribuna, seguida de Chaparral y San Francisco. Los géneros *Euglossa*, *Eulaema*, *Augochloropsis* y *Augochlora* concentraron el mayor número de especies y ejemplares.

En particular, *Euglossa* sp.1, *Euglossa* sp.3 y *Eulaema cingulata* fueron las especies más abundantes en todas las coberturas, mientras que otras, como *Apis mellifera*, *Centris flavirostris* y *Coelioxys* sp., se registraron de manera esporádica o exclusiva en un solo sitio. La composición específica varió entre áreas: La Tribuna presentó la mayor abundancia de euglosinas (*Euglossa*, *Eulaema*, *Exaerete*), Chaparral mostró una mayor representación de halictinos (*Augochlora*, *Augochloropsis*), y San Francisco concentró un menor número de especies, con registros aislados de varios géneros (Tabla 2).

Diversidad alfa: Se registraron un total de 1 214 individuos en tres coberturas con distintos grados de complejidad estructural: Chaparral, La Tribuna y San Francisco. La cobertura La Tribuna presentó los valores más altos en los índices de diversidad alfa, con una S de 74 especies, una H' de 3.44 y un número de Hill q_1 de 31.1, seguida de Chaparral ($S = 56$,

Tabla 2

Especies de abejas recolectadas en tres coberturas del BTS Eco Reserva la Tribuna, Colombia. / **Table 2** Bee species collected in three cover types of the BTS La Tribuna Eco-Reserve, Colombia.

Morfoespecie / Especie	Área		
	Chaparral	La Tribuna	San Francisco
<i>Anthidium</i> sp.	10	24	6
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	3	0	0
<i>Augochlora</i> sp.1	0	1	0
<i>Augochlora</i> sp.10	2	2	0
<i>Augochlora</i> sp.11	0	1	0
<i>Augochlora</i> sp.2	1	0	0
<i>Augochlora</i> sp.3	0	0	1
<i>Augochlora</i> sp.4	0	4	0
<i>Augochlora</i> sp.5	6	8	3
<i>Augochlora</i> sp.6	0	1	0
<i>Augochlora</i> sp.7	4	6	0
<i>Augochlora</i> sp.8	1	2	0
<i>Augochlora</i> sp.9	0	2	0
<i>Augochloropsis</i> sp.6	5	3	0
<i>Augochloropsis</i> sp.1	23	26	0
<i>Augochloropsis</i> sp.2	1	1	0
<i>Augochloropsis</i> sp.3	0	6	0
<i>Augochloropsis</i> sp.4	12	0	1
<i>Augochloropsis</i> sp.5	11	7	0
<i>Augochloropsis</i> sp.7	2	1	0
<i>Augochloropsis</i> sp.8	1	1	1
<i>Augochloropsis</i> sp.9	0	1	0
<i>Bombus</i> cf. <i>pullatus</i>	1	0	1
<i>Caenaugochlora</i> sp.1	0	2	0
<i>Caenaugochlora</i> sp.2	0	0	1
<i>Caenaugochlora</i> sp.3	0	1	0
<i>Centris flavifrons</i> (Fabricius, 1775)	0	0	1
<i>Centris</i> sp.1	0	0	1
<i>Centris</i> sp.2	5	0	0
<i>Centris</i> sp.3	0	0	1
<i>Ceratina</i> sp.1	6	0	0
<i>Ceratina</i> sp.2	0	1	0
<i>Ceratinula</i> sp.	2	3	0
<i>Chilicola</i> sp.	0	1	0
<i>Coelioxys</i> sp.	0	0	1
<i>Colletes</i> sp.1	0	6	0
<i>Colletes</i> sp.2	0	1	0
<i>Epeolus</i> sp.	1	0	0
<i>Epicharis</i> sp.1	0	1	0
<i>Epicharis</i> sp.2	0	3	0
<i>Eufriesea</i> cf. <i>surinamensis</i>	1	2	0
<i>Euglossa</i> sp.1	33	42	8
<i>Euglossa</i> sp.2	1	0	1



Morfoespecie / Especie	Área		
	Chaparral	La Tribuna	San Francisco
<i>Euglossa</i> sp.3	29	18	36
<i>Euglossa</i> sp.4	5	11	8
<i>Euglossa</i> sp.5	2	1	7
<i>Euglossa</i> sp.6	0	1	4
<i>Eulaema cingulata</i> (Fabricius, 1804)	12	26	13
<i>Eulaema meriana</i> (Olivier, 1789)	4	4	1
<i>Eulaema nigrita</i> Lepeletier, 1841	1	3	3
<i>Exaerete frontalis</i> (Guérin, 1844)	3	2	0
<i>Exaerete smaragdina</i> (Guérin, 1844)	12	21	7
<i>Exomalopsis</i> sp.	1	1	0
<i>Frieseomelitta</i> cf. <i>paupera</i>	79	4	0
<i>Halictus ligatus</i> Say, 1837	1	0	0
<i>Hylaeus</i> sp.1	0	1	0
<i>Hylaeus</i> sp.2	0	1	0
<i>Hylaeus</i> sp.3	0	1	0
<i>Hypanthidium</i> sp.1	1	2	0
<i>Hypanthidium</i> sp.2	0	1	0
<i>Lasioglossum</i> sp.1	0	2	0
<i>Lasioglossum</i> sp.10	1	0	0
<i>Lasioglossum</i> sp.11	0	1	0
<i>Lasioglossum</i> sp.2	0	4	0
<i>Lasioglossum</i> sp.3	0	4	0
<i>Lasioglossum</i> sp.4	3	0	0
<i>Lasioglossum</i> sp.5	1	0	0
<i>Lasioglossum</i> sp.6	0	3	0
<i>Lasioglossum</i> sp.7	0	2	0
<i>Lasioglossum</i> sp.8	1	1	0
<i>Lasioglossum</i> sp.9	1	0	0
<i>Lestrimelitta niitkib</i> Ayala, 1999	0	1	0
<i>Megachile</i> sp.1	0	0	1
<i>Megachile</i> sp.2	0	0	1
<i>Megachile</i> sp.3	0	0	1
<i>Megachile</i> sp.4	2	0	0
<i>Megalopta</i> sp.	-	1	0
<i>Melipona fasciata</i> Latreille, 1811	3	1	0
<i>Melipona favosa</i> (Fabricius, 1798)	1	-	0
<i>Melissodes</i> sp.	9	1	0
<i>Mesoplia rufipes</i> (Perty, 1833)	1	0	0
<i>Nannotrigona gaboi</i> (Jaramillo et al., 2019)	5	13	0
<i>Nannotrigona tristella</i> Cockerell	0	3	0
<i>Neocorynura</i> sp.	0	4	0
<i>Osiris</i> sp.	0	6	0
<i>Oxytrigona daemoniaca</i> Camargo, 1984	0	3	0
<i>Oxytrigona mellicolor</i> (Packard, 1869)	3	0	0
<i>Paratetrapedia</i> sp.1	11	29	1
<i>Paratetrapedia</i> sp.2	1	5	0

Morfoespecie / Especie	Área		
	Chaparral	La Tribuna	San Francisco
<i>Paratetrapedia</i> sp.3	0	0	1
<i>Paratetrapedia</i> sp.5	4	2	0
<i>Protosiris</i> sp.	0	2	0
<i>Pseudaugochlora graminea</i> (Fabricius, 1804)	0	2	1
<i>Pseudaugochlora</i> sp.	1	1	0
<i>Scaptotrigona pectoralis</i> (Dalla Torre, 1896)	87	45	0
<i>Tetragona</i> sp.1	37	34	0
<i>Tetragona</i> sp.2	8	1	4
<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	6	15	83
<i>Tetrapedia</i> sp.	0	5	1
<i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Ménéville, 1845	9	68	11
<i>Trigona</i> sp.	2	0	0
<i>Xylocopa frontalis</i> (Olivier, 1789)	0	1	6

$H' = 3.08$, $q_1 = 21.8$) y San Francisco ($S = 32$, $H' = 2.36$, $q_1 = 10.6$). Los valores de los números de Hill (q_0 , q_1 y q_2) confirmaron este patrón, indicando una mayor riqueza y diversidad efectiva en La Tribuna, seguida por Chaparral y San Francisco (Tabla 3). El análisis de varianza mostró diferencias significativas (ANOVA: $F = 9.67$ - 13.39 , $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.37$ - 0.45). La prueba post hoc de Tukey reveló que San Francisco presentó valores significativamente menores de abundancia y diversidad en comparación con Chaparral ($p < 0.05$) y La Tribuna ($p < 0.001$), mientras que Chaparral y La Tribuna no mostraron diferencias entre sí ($p > 0.05$).

Las curvas de rarefacción confirmaron el patrón observado en los índices de diversidad, con una mayor riqueza esperada para La Tribuna, seguida de Chaparral y San Francisco. Los

resultados del análisis iNEXT mostraron que, incluso al extrapolar el esfuerzo de muestreo, la riqueza acumulada de La Tribuna se mantuvo superior, sugiriendo una comunidad más diversa y estable (Fig. 2).

Las líneas muestran el número esperado de especies en función del número acumulado de individuos muestreados en cada cobertura (Chaparral, La Tribuna y San Francisco), las sombras representan los intervalos de confianza del 95 %. El análisis PERMANOVA basado en la distancia Bray-Curtis mostró diferencias significativas en la composición de especies entre todas las parcelas ($p < 0.01$). Las comparaciones por pares evidenciaron que las comunidades de abejas de La Tribuna difieren significativamente de las de Chaparral ($F = 2.61$, $R^2 = 0.106$, $p = 0.0011$) y San Francisco ($F = 4.87$, $R^2 = 0.181$,

Tabla 3

Índices de diversidad alfa de abejas registradas en tres coberturas de la Eco-Reserva La Tribuna (Huila, Colombia) / **Table 3**
Alpha diversity indices of bees recorded in three cover types of the La Tribuna Eco-Reserve (Huila, Colombia).

Cobertura	N	S	H_Shannon	Hill_q ₀	Hill_q ₁	Hill_q ₂
Chaparral	479	56	3.08	56	21.8	12.09
La Tribuna	518	74	3.44	74	31.1	18.95
San Francisco	217	32	2.36	32	10.6	5.33

Se presentan la abundancia total de individuos (N), la riqueza de especies (S), el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), la equidad de Pielou (J), el índice de Gini-Simpson (1-D), los números de Hill para órdenes 0, 1 y 2 (q_0 , q_1 , q_2) y el índice de Margalef (Dmg). Los valores indican una mayor riqueza y equitatividad en La Tribuna, seguida de Chaparral y San Francisco.

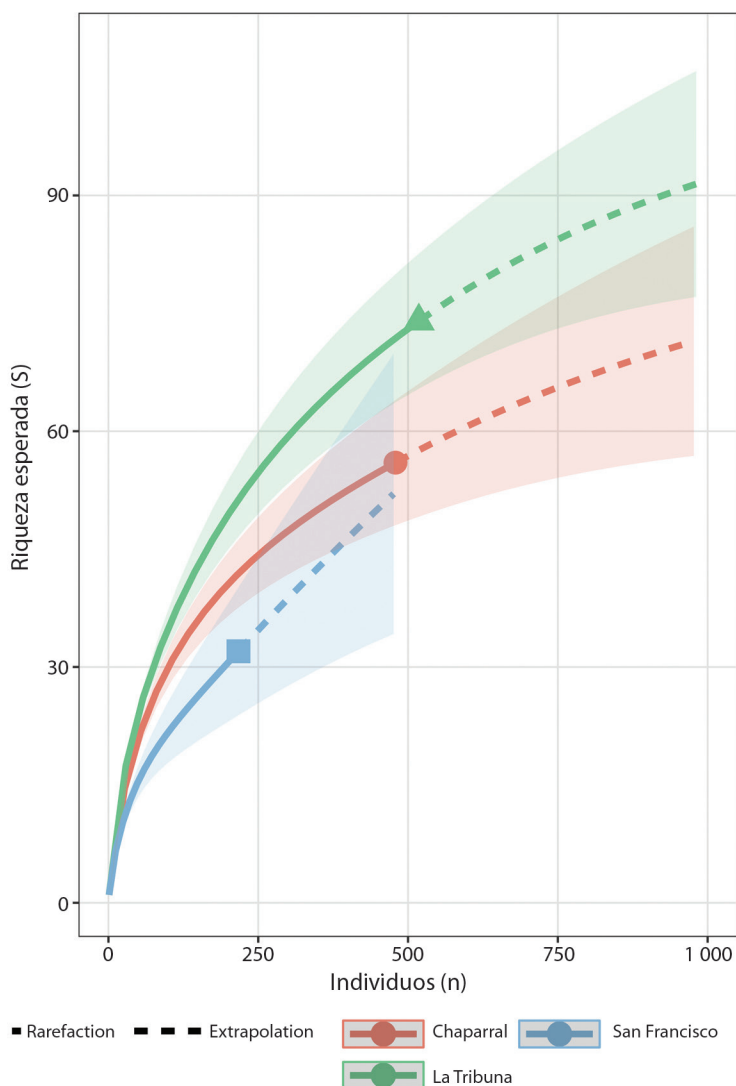


Fig. 2. Curvas de rarefacción y extrapolación de la riqueza de especies ($q = 0$) de abejas registradas en tres coberturas de la Eco-Reserva La Tribuna (Huila, Colombia). / **Fig. 2.** Rarefaction and extrapolation curves of bee species richness ($q = 0$) recorded in three cover types of the La Tribuna Eco-Reserve (Huila, Colombia).

$p = 0.0003$). La diferencia más marcada se observó entre Chaparral y San Francisco ($F = 5.82$, $R^2 = 0.209$, $p = 0.0001$).

El NMDS basado en la distancia de Bray-Curtis mostró una separación moderada en la composición de géneros de abejas entre las tres parcelas evaluadas (estrés = 0.193; Fig. 3). Las elipses de confianza al 95 % indican una agrupación parcial de los muestreos de Chaparral y

La Tribuna, mientras que los registros de San Francisco se distribuyeron de forma más dispersa, evidenciando una composición diferenciada. Los géneros *Euglossa*, *Eulaema*, *Exaerete*, *Bombus* y *Apis* se ubicaron próximos al centro del gradiente, compartidos entre Chaparral y La Tribuna, mientras que *Augochlora*, *Augochloropsis*, *Paratetrapedia* y *Anthidium* se asociaron principalmente con Chaparral. Por su

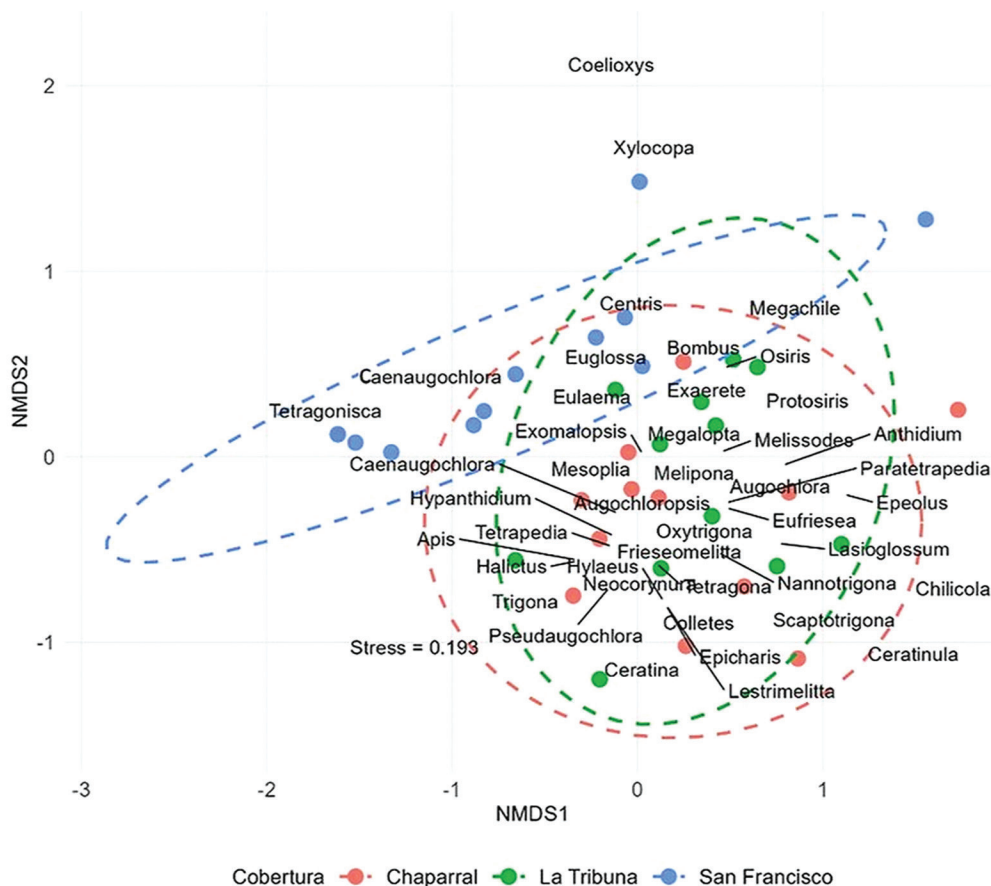


Fig. 3. Ordenación no métrica multidimensional (NMDS) basada en la distancia de Bray-Curtis de las comunidades de abejas en la Eco-Reserva La Tribuna (Huila, Colombia). / **Fig. 3.** Non-metric multidimensional scaling (NMDS) based on Bray-Curtis distance of bee communities in the La Tribuna Eco-Reserve (Huila, Colombia).

parte, *Caenaugochlora*, *Tetragonisca*, *Megachile*, *Coelioxys* y *Xylocopa* se agruparon hacia la elipse correspondiente a San Francisco, reflejando diferencias en la composición de géneros entre las áreas de muestreo (Fig. 3).

Los puntos representan los muestreos y los colores indican la cobertura (Chaparral, La Tribuna y San Francisco), las elipses corresponden a intervalos de confianza del 95 % por cobertura. Las etiquetas señalan los centroides de los géneros, calculados a partir de sus coordenadas en el espacio del NMDS y ponderados por la abundancia total. En el panel se muestra el valor de estrés del modelo bidimensional. El IndVal. identificó un total de siete morfoespecies

especies con asociaciones significativas ($p \leq 0.05$) con una o más coberturas. Para el grupo La Tribuna, las morfoespecies *Augochloropsis* sp.3 (IndVal = 0.645, $p = 0.0126$) y *Osiris* sp. (IndVal = 0.645, $p = 0.0126$) presentaron una fuerte asociación exclusiva, actuando como indicadores característicos de esta cobertura.

Por su parte, el conjunto Chaparral + La Tribuna presentó cuatro morfoespecies y una especie indicadoras conjuntas: *Paratetrapedia* sp.1 (IndVal = 0.843, $p = 0.0022$), *Tetragona* sp.1 (IndVal = 0.764, $p = 0.0035$), *Frieseomelitta* cf. *paupera* (IndVal = 0.736, $p = 0.0052$), *Scaptotrigona pectoralis* (IndVal = 0.707, $p = 0.0079$) y *Augochloropsis* sp.1 (IndVal = 0.707,

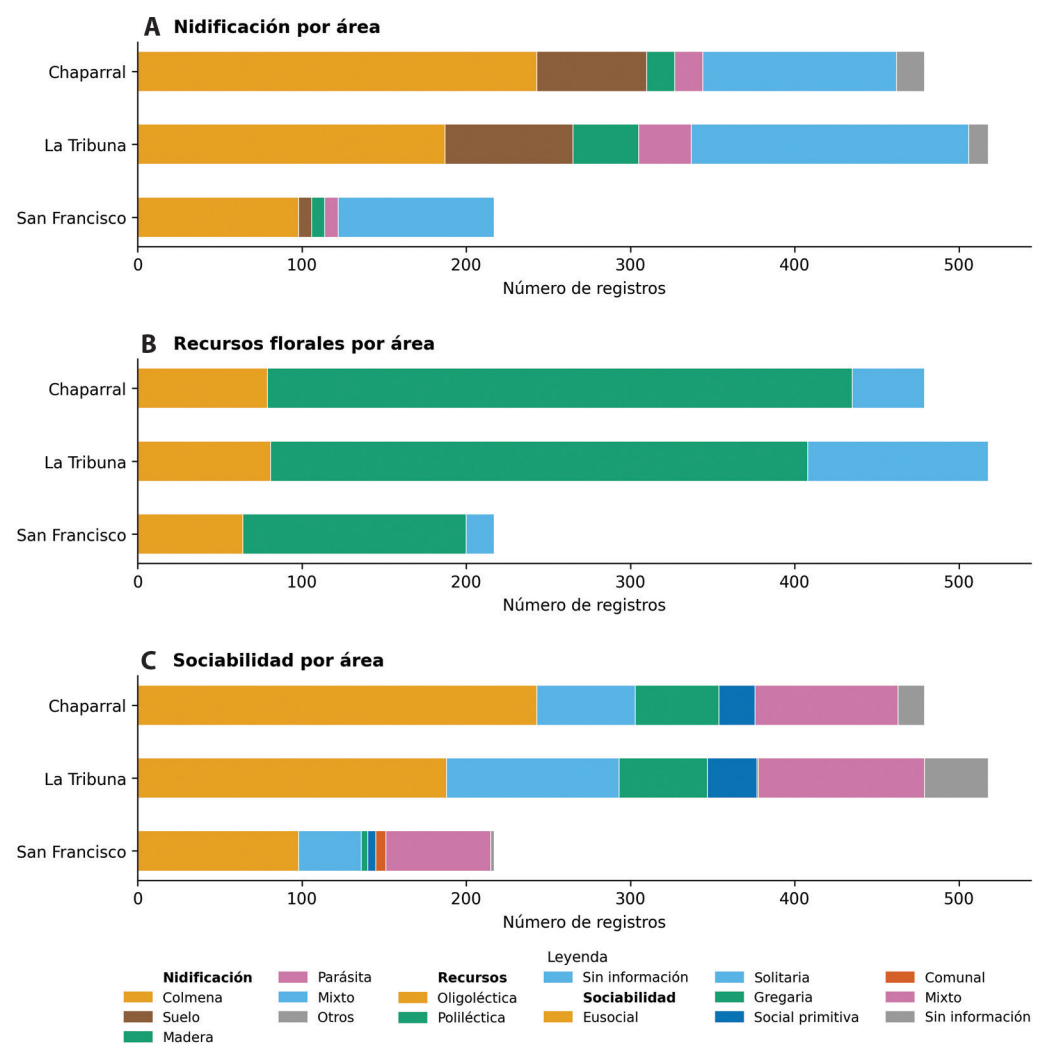


Fig. 4. Rasgos funcionales de las comunidades de abejas registradas en los tres sitios de estudio. **A.** Distribución de los tipos de nidificación por área. **B.** Distribución de los recursos florales utilizados por área. **C.** Distribución de los niveles de sociabilidad por área. El eje horizontal representa el número de registros por categoría funcional. / **Fig. 4.** Functional traits of bee communities recorded at the three study sites. **A.** Distribution of nesting types by area. **B.** Distribution of floral resources used by area. **C.** Distribution of sociality levels by area. The horizontal axis represents the number of records per functional category.

$p = 0.0103$). Estas morfoespecies mostraron alta frecuencia y especificidad cuando ambas parcelas se analizan en conjunto, pero no son exclusivas de una sola, ya que se registraron en ambas y estuvieron ausentes en otros sitios. No se detectaron especies indicadoras exclusivas para San Francisco.

Rasgos funcionales: En cuanto a los rasgos funcionales, la mayoría de las especies registradas fueron solitarias y anidaron en cavidades o suelo, aunque se observó una mayor proporción de especies eusociales en La Tribuna (Fig. 4). La preferencia por recursos florales generalistas (polen y néctar) predominó en todas las

áreas, pero con mayor diversidad de estrategias tróficas en las zonas más avanzadas del proceso de restauración (Fig. 4).

DISCUSIÓN

La diversidad de abejas silvestres registrados en este trabajo (74 especies y morfoespecies), representa aproximadamente el 12.25 % de las 604 especies conocidas en el país (Vélez-Ruiz, 2009). De acuerdo con González (2014) el número de especies reportadas para el Bosque seco en Colombia es muy limitado dificultado su estudio y conservación. Para Colombia, el trabajo realizado por Sardi-Saavedra & Acuña-Figueroa (2024) reporta en total 17 especies de abejas sin aguijón para el Huila, de estas especies siete son nuevos registros, González et al. (2012) reportan una sinopsis de las especies de abejas reportadas para la región del Caribe en Colombia, evidenciando los escasos reportes para el Bosque seco, algunos ejemplos de especies presentes en los valles de los ríos Magdalena y Cauca, incluyen *Anthidium sanguinicaudum* Schwarz, 1933, *Melipona favosa* y *F. paupera*. Estas cifras son alarmantes si se considera el estudio llevado a cabo por Machado & Lopes (2004) en La Caatinga, Brasil, que muestra que la polinización por insectos es la más común, sucediendo en el 69.9 % de las especies analizadas. De las especies entomófilas, el 61.7 % se consideraron melitofilas (43.1 % del total) destacando la importancia de las abejas como polinizadores en este ecosistema.

Las especies y morfoespecies registradas en este trabajo permiten tener un mejor conocimiento de las abejas silvestres y su distribución en la Eco-Reserva La Tribuna, adicionalmente aporta información importante, para la conservación de estos polinizadores nativos en el BTS.

Las familias de abejas Apidae y Halictidae presentaron mayor riqueza y abundancia en comparación con Colletidae y Megachilidae, reflejando la mayor diversidad de estas familias de abejas (Michener, 2007). Sin embargo, se observaron diferencias en la composición de las comunidades de abejas en las parcelas, la mayor abundancia y riqueza observadas en La

Tribuna, en comparación con Chaparral y San Francisco, una explicación para este hallazgo es que los diferentes tipos de hábitats que a la vez pueden contener una mayor diversidad de nichos reflejan la capacidad de las abejas para aprovechar y satisfacer las necesidades de cada especie, o los diferentes tipos de hábitats pueden complementarse entre sí para proporcionar un suministro más continuo de recursos (Eckert et al., 2021; Mallinger et al., 2015; Manzanarez-Villasana et al., 2025; Martínez-Peralta et al., 2025; Oliver et al., 2010). Los resultados coinciden con lo reportado en otras regiones neotropicales donde la restauración ha favorecido la recuperación de interacciones planta-polinizador, incrementando tanto la riqueza local como la conectividad funcional entre parches (Bravo et al., 2022; Flórez-Gómez et al., 2020; Lorandi et al., 2023).

El uso de trampas para abejas como las utilizadas en este trabajo puede tener algunas limitaciones a la hora de relacionar las comunidades de abejas con los recursos florales sin tener un estudio palinológico que soporte las interacciones. No obstante, los resultados pueden indicar la calidad de un hábitat para ciertas especies, especialmente abejas raras o especializadas (Mallinger et al., 2015). Los resultados obtenidos revelan que la restauración ecológica en la Eco-Reserva La Tribuna ha promovido una reorganización funcional y taxonómica notable de las comunidades de abejas silvestres.

El gradiente de cobertura vegetal, desde áreas abiertas y degradadas en San Francisco hasta bosques densos en La Tribuna, permitió evidenciar cómo la estructura del hábitat modula la riqueza, abundancia y composición de estos insectos. La mayor diversidad registrada en La Tribuna refleja una mayor riqueza y abundancia de abejas indicando posiblemente una mejor oferta de recursos alimenticios y microhábitats estables para la nidificación. En contraste, San Francisco, con coberturas más abiertas y una vegetación aún en etapas tempranas de regeneración, mostró una comunidad más empobrecida y dominada por especies generalistas de amplia tolerancia ecológica. Este patrón sugiere que los procesos de restauración



en etapas iniciales priorizan la recolonización por especies oportunistas, capaces de resistir microclimas extremos y la escasez temporal de recursos florales (Gonçalves & de Araújo, 2021).

El solapamiento observado entre Chaparral y La Tribuna en el análisis NMDS indica que ambas coberturas, pese a diferir en estructura vegetal, comparten elementos florísticos y micro ambientales suficientes para sostener un conjunto común de especies. Es posible que la cercanía espacial y la conectividad del dosel faciliten el desplazamiento y la utilización simultánea de recursos por las abejas, generando un gradiente funcional continuo más que un límite ecológico abrupto. En este sentido, el mosaico del paisaje estaría funcionando como un sistema semi-conectado, donde los parches más avanzados de restauración actúan como núcleos de recolonización para los sectores intermedios. Este patrón coincide con lo planteado para bosques secos tropicales, donde la recuperación de la conectividad, la oferta floral y la madera muerta procedente de la restauración aumentó el número de individuos de abejas solitarias y cuco que anidan en la superficie, todos son factores clave para la estabilización de las comunidades de polinizadores (Bravo et al., 2022; Lorandi et al., 2023; Martínez-Peralta et al., 2025; Razo-León et al., 2018). Las diferencias marcadas de San Francisco reflejan condiciones ecológicas particulares: una cobertura más discontinua, menor altura de dosel y microclimas más secos y luminosos, que limitan tanto la disponibilidad de cavidades de anidación como la duración de las floraciones. Bajo estas condiciones, predominan especies solitarias que anidan en suelo o cavidades expuestas, muchas de ellas de hábitos generalistas y con periodos de actividad cortos. Estas especies cumplen un rol funcional relevante en etapas tempranas del proceso sucesional, pero su baja redundancia ecológica las hace vulnerables a perturbaciones. Por el contrario, en Chaparral y La Tribuna se observó un incremento en la proporción de abejas sociales, especialmente meliponinos, cuyo éxito depende de la estabilidad de los recursos y de microclimas más benignos. Este cambio en la estructura social

de las comunidades indica una transición hacia un sistema más resiliente, donde la coexistencia de especies de distintos grados de sociabilidad y estrategias de anidación garantiza la continuidad del servicio de polinización a lo largo del año (Le Féon et al., 2016; May-Itzá et al., 2022).

El análisis de especies indicadoras refuerza esta interpretación: las morfoespecies exclusivas de La Tribuna, como *Augochloropsis* sp. 3 y *Osiris* sp., se asocian a ambientes con mayor cobertura y disponibilidad de microhábitats arbóreos, lo que sugiere un avance hacia condiciones de bosque maduro. Por su parte, las especies compartidas entre Chaparral y La Tribuna representan una transición funcional, donde los ensamblajes comienzan a estabilizarse y a incorporar especies más sensibles a la fragmentación. La ausencia de especies indicadoras en San Francisco no debe interpretarse como una carencia ecológica, sino como el reflejo de un estadio sucesional donde aún no se han consolidado microhábitats ni interacciones suficientemente estables para generar asociaciones exclusivas (Gonçalves & de Araújo, 2021). Debido a la falta de conocimientos taxonómicos y ecológicos sobre estos especímenes, el análisis de las características de la historia de vida de estas morfoespecies fue bastante limitado.

Desde una perspectiva funcional, el predominio de especies que anidan en suelo o cavidades, combinado con el aumento de abejas con comportamiento eusocial en los sitios más conservados, evidencia una recuperación gradual de la funcionalidad ecosistémica. Este patrón sugiere que la restauración no solo incrementa la riqueza de especies, sino que también restablece la diversidad de estrategias ecológicas que aseguran la persistencia del servicio de polinización en el tiempo. En bosques secos tropicales, caracterizados por su estacionalidad marcada, la coexistencia de abejas con distintos modos de vida constituye un indicador robusto de estabilidad ecológica (Alvarenga et al., 2020; Flórez-Gómez et al., 2020; Madureira-Maia et al., 2020).

En síntesis, los resultados demuestran que la restauración ecológica en la Eco-Reserva

La Tribuna está generando comunidades de abejas más diversas, funcionalmente complejas y estructuralmente coherentes con las etapas avanzadas de recuperación del BTS. La diferenciación de San Francisco y el solapamiento de Chaparral y La Tribuna reflejan una dinámica de sucesión y conectividad propia de sistemas en proceso de recuperación. Estos hallazgos resaltan la necesidad de considerar la estructura del paisaje, la disponibilidad de microhábitats y la continuidad de floraciones como variables críticas para consolidar la resiliencia funcional de las comunidades de abejas, garantizando la estabilidad de los servicios de polinización y, con ello, la sostenibilidad ecológica de los bosques secos tropicales en proceso de recuperación.

Declaración de ética: Los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por el proyecto Fibras ejecutado entre el Instituto Humboldt y Ecopetrol, proyecto 19-155 Planificación Socioecológica Ecopetrol y La Convocatoria de Apoyo al Fortalecimiento de la Investigación de la Facultad de Ciencias de la Sede Medellín. Agradecemos Nancy Morea, María Yuri Cabrera, Kelly Dussan, Yurani Medina, Alain Dussan, Camilo Dussan, Jamir Díaz y Alenxander Lasso quienes hicieron posibles las colectas y preservación del material biológico. Así mismo agradecemos a María Claudia González quien apoyó la gestión del proyecto y a Angelica Diaz quien supervisó el convenio fuente al cual se inscribió este componente. Finalmente agradecemos a los profesionales de Ecopetrol que

hicieron posible el proyecto Fibras, en particular a Xiomara Sanclemente, Diego Puentes, María Juliana Salcedo y María E. Farfán.

REFERENCIAS

- Alvarenga, A. S., Silveira, F. A., Dos Santos-Júnior, J. E., Antunes de Novais, S. M., Quesada, M., & De Siqueira-Neves, F. (2020). Vegetation composition and structure determine wild bee communities in a tropical dry forest. *Journal of Insect Conservation*, 24(5), 487–498. <https://doi.org/10.1007/s10841-020-00231-5>
- Ardila-Bayona, V., Alfonso-Sosa, I., Flórez-Valencia, C., Valderrama-Gómez, D. A., Mesa-Bermúdez, A., Pabón-Huertas, L. D., Torres-Pineda, E. D., & González, M. C. (2025). Diversidad de membrácidos y aetaliónidos del bosque seco tropical de la Ecoreserva La Tribuna, Neiva. *Biota Colombiana*, 26(1), e1266. <https://doi.org/10.21068/2539200X.1266>
- Bravo, Y., Hanson, P. E., Chacón-Madrigal, E., & Lobo-Segura, J. (2022). Long-term comparison of the orchid bee community in a tropical dry forest. *Biotropica*, 54(2), 467–477. <https://doi.org/10.1111/btp.13067>
- Celis, C. J., & Cure, J. R. (2017). Filogenia y clasificación taxonómica de los subgéneros de *Augochloropsis* (Hymenoptera: Halictidae). *Revista de Biología Tropical*, 65(4), 1277–1306. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i4.26549>
- Danforth, B. N., Minckley, R. L., & Neff, J. L. (2019). *The solitary bees: Biology, evolution, conservation*. Princeton University Press.
- De Cáceres, M., & Legendre, P. (2009). Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, 90(12), 3566–3574. <https://doi.org/10.1890/08-1823.1>
- Eckert, T., Buse, J., Bauhus, J., Förchler, M. I., & Klein, A. M. (2021). Wild bees benefit from structural complexity enhancement in a forest restoration experiment. *Forest Ecology and Management*, 496, 119412. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119412>
- Espinosa, C. I., De la Cruz, M., Luzuriaga, A. L., & Escudero, A. (2012). Bosques tropicales secos de la región Pacífico Ecuatorial: diversidad, estructura, funcionamiento e implicaciones para la conservación. *Ecosistemas*, 21(1–2), 167–179. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-1-2.11>
- Flórez-Gómez, N. A., Maldonado, J. D., Ospina, R., Ayala-Barajas, R., Guevara, D. A., & Nates-Parra, G. (2023). *Guía y clave ilustrada para las obreras de los géneros de abejas sociales sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.



- Flórez-Gómez, N. A., Maldonado, J. D., & Ospina, R. (2020). Bee-plant interaction networks in a seasonal dry forest. *Neotropical Entomology*, 49(4), 533–544. <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00804-8>
- García, H., Corzo, G., Isaacs, P., & Etter, A. (2014). Distribución y estado actual de los remanentes del bioma de bosque seco tropical en Colombia: insumos para su gestión. En C. Pizano & H. García (Eds.), *El bosque seco tropical en Colombia* (pp. 228–251). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Gohel, D., & Skintzos, P. (2023). *officer: Manipulation of Microsoft Word and PowerPoint Documents* (Version 0.6.3) [Software de computación]. <https://CRAN.R-project.org/package=officer>
- Gonçalves, P. S., & De Araújo, W. S. (2021). Diversity of eusocial bees in natural and anthropized areas of a tropical dry forest in the Parque da Sapucaia (Montes Claros, Minas Gerais, Brazil). *Sociobiology*, 68(1), 125–136. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v68i1.5305>
- González, V. H. (2014). Abejas del bosque seco tropical colombiano. En C. Pizano & H. García (Eds.), *El bosque seco tropical en Colombia* (pp. 265–274). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- González, V. H., Ascher, J. S., & Engel, M. S. (2012). A new *Stelis* (*Dolichostelis*) from northern Colombia (Hymenoptera: Megachilidae): First records for South America and a synopsis of the bee fauna from the Caribbean region of Colombia. *Journal of Natural History*, 46(47–48), 2911–2922. <https://doi.org/10.1080/00222933.2012.738835>
- González, V. H., Oyen, K., Vitale, N., & Ospina, R. (2022). Neotropical stingless bees display a strong response in cold tolerance with changes in elevation. *Conservation Physiology*, 10(1), coac073. <https://doi.org/10.1093/conphys/coac073>
- Tanjina-Hasnat, G. N., & Hossain, M. K. (2020). Global overview of tropical dry forests. En R. Bhadouria, S. Tripathi, P. Srivastava, & P. Singh (Eds.), *Handbook of research on the conservation and restoration of tropical dry forests* (pp. 1–23). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0014-9.ch001>
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2022). *iNEXT: iNterpolation and EXTrapolation for species diversity* (Version 3.0.0) [Software de computación]. <https://CRAN.R-project.org/package=iNEXT>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000*.
- Jaramillo, J., Ospina, R., & Gonzalez, V. H. (2019). Stingless bees of the genus *Nannotrigona* Cockerell (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) in Colombia. *Zootaxa*, 4706(2), 349–365. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4706.2.8>
- Le Féon, V., Poggio, S. L., Torretta, J. P., Bertrand, C., Molina, G. A. R., Burel, F., Baudry, J., & Ghera, C. M. (2016). Diversity and life-history traits of wild bees (Insecta: Hymenoptera) in intensive agricultural landscapes in the Rolling Pampa, Argentina. *Journal of Natural History*, 50(19–20), 1175–1196. <https://doi.org/10.1080/00222933.2015.1113315>
- Lessmann, J., Fajardo, J., Muñoz, J., & Bonaccorso, E. (2016). Large expansion of oil industry in the Ecuadorian Amazon: biodiversity vulnerability and conservation alternatives. *Ecology and Evolution*, 6(14), 4997–5012. <https://doi.org/10.1002/ece3.2099>
- Lorandi, S., Mustin, K., Halinski, R., & Iserhard, C. A. (2023). Are there differences in the diversity of bees between organic and conventional agroecosystems in the Pampa biome? *Journal of Apicultural Research*, 62(2), 250–262. <https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1888524>
- Machado, I. C., & Lopes, A. V. (2004). Floral traits and pollination systems in the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. *Annals of Botany*, 94(3), 365–376. <https://doi.org/10.1093/aob/mch152>
- Madureira-Maia, U., De Souza-Miranda, L. D. S., Torres-Carvalho, A., Imperatriz-Fonseca, V. L., Corrêa de Oliveira, G., & Giannini, T. C. (2020). Climate-induced distribution dynamics of *Plebeia flavocincta*, a stingless bee from Brazilian tropical dry forests. *Ecology and Evolution*, 10(18), 10130–10138. <https://doi.org/10.1002/ece3.6674>
- Mallinger, R. E., Gibbs, J., & Gratton, C. (2015). Diverse landscapes have a higher abundance and species richness of spring wild bees by providing complementary floral resources over bees' foraging periods. *Landscape Ecology*, 31(6), 1523–1535. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0332-z>
- Manzanarez-Villasana, G., Briseño-Sánchez, M. I., Lobo, J., & Quesada, M. (2025). Large trees in tropical dry forest facilitate the presence of stingless bee nests (Apidae: Meliponini): the case of *Ficus crocata*. *Sociobiology*, 72(3), e11423. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v72i3.11423>
- Martínez-Peralta, C., Fierros-López, H. E., Sánchez-Echeverría, K., Valencia-Esquivel, I., & Aguilar-Dorantes, M. A. (2025). Wild bee diversity in two sites of tropical dry forest. *Journal of Hymenoptera Research*, 98, 381–404. <https://doi.org/10.3897/jhr.98.141108>
- May-Itzá, W. De J., Martínez-Fortún, S., Zaragoza-Trello, C., & Ruiz, C. (2022). Stingless bees in tropical dry forests: global context and challenges of an integrated conservation management. *Journal of Apicultural Research*, 61(5), 642–653. <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2095709>

- Michener, C. D. (2007). *The bees of the world* (2a. ed.). The Johns Hopkins University Press.
- Nates-Parra, G., & Fernández, F. (1992). Abejas de Colombia II: claves preliminares para las familias, subfamilias y tribus (Hymenoptera: Apoidea). *Acta Biológica Colombiana*, 2(7–8), 55–89.
- Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bengtsson, H., Bolker, B., Borcard, D., Borman, T., Carvalho, G., Chirico, M., ... Weedon, J. (2022). *vegan: Community Ecology Package* (Version 2.6-4) [Software de computación]. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Oliver, T., Roy, D. B., Hill, J. K., Brereton, T., & Thomas, C. D. (2010). Heterogeneous landscapes promote population stability. *Ecology Letters*, 13(4), 473–484. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01441.x>
- Pizano, C., & García, H. (Eds.). (2014). *El bosque seco tropical en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Plascencia, M., & Philpott, S. M. (2017). Floral abundance, richness, and spatial distribution drive urban garden bee communities. *Bulletin of Entomological Research*, 107(6), 658–667. <https://doi.org/10.1017/S0007485317000153>
- Potts, S. G., Vulliamy, B., Dafni, A., Ne'eman, G., & Willmer, P. (2003). Linking bees and flowers: how do floral communities structure pollinator communities? *Ecology*, 84(10), 2628–2642. <https://doi.org/10.1890/02-0136>
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* [Software de computación]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Razo-León, A. E., Vásquez-Bolaños, M., Muñoz-Urias, A., & Huerta-Martínez, F. M. (2018). Changes in bee community structure (Hymenoptera: Apoidea) under three different land-use conditions. *Journal of Hymenoptera Research*, 66, 23–38. <https://doi.org/10.3897/jhr.66.27367>
- Sandoval, S. (2022). Claves taxonómicas para las abejas euglosinas de los departamentos de Nariño y Putumayo, Colombia. En J. Tupac (Ed.), *Abejas euglosinas de Nariño y Putumayo, Colombia* (pp. 111–129). Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Sardi-Saavedra, A., & Acuña-Figueroa, S. (2024). Nuevos registros y listado de abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) del paisaje cafetero del corredor Andino-Amazónico (Huila, Colombia). *Revista Chilena de Entomología*, 50(4), 515–532. <https://doi.org/10.35249/rche.50.4.24.10>
- Vélez-Ruiz, R. I. (2009). *Una aproximación a la sistemática de las abejas silvestres de Colombia* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3354>
- Wickham, H. (2016). *Ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag. <https://ggplot2.tidyverse.org>
- Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K., & Vaughan, D. (2023). *Dplyr: A grammar of data manipulation* (Version 1.1.4) [Software de computación]. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>
- Wickham, H., Vaughan, D., Girlich, M., & Ushey, K. (2023b). *Tidyr: Tidy messy data* (Version 1.3.0) [Software de computación]. <https://CRAN.R-project.org/package=tidyr>
- Zurbuchen, A., Landert, L., Klaiber, J., Müller, A., Hein, S., & Dorn, S. (2010). Maximum foraging ranges in solitary bees: only few individuals have the capability to cover long foraging distances. *Biological Conservation*, 143(3), 669–676. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.003>