

**Diversidad y Distribución de Polinizadores de la Tribu Meliponini (Hymenoptera:
Apidae) en Zonas de Piedemonte y Montaña en los Municipios de Saravena, Arauca y
Toledo, Norte de Santander**



**Diversidad y Distribución de Polinizadores de la Tribu Meliponini (Hymenoptera:
Apidae) en Zonas de Piedemonte y Montaña en los Municipios de Saravena, Arauca y
Toledo, Norte de Santander**

Estudiante

Pablo Yesid Urbina Martínez

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

Biólogo.

Director

Carlos Herney Cáceres Martínez B.Sc., M.Sc

Codirector

Lizeth Eunice Bolívar Buitrago B.Sc. Esp.

Programa de Biología

Facultad de Ciencias Básicas

Universidad de Pamplona

Pamplona, Norte de Santander

Colombia

2024

Agradecimiento

A mi familia por su apoyo incondicional, y para ellos es el fruto del mutuo esfuerzo.

A mi director Carlos Cáceres y codirectora Lizeth Bolívar, por el acompañamiento, asesoría y dedicación en la realización del presente trabajo.

A la organización Idea Wild por la beca en equipos suministrada, para el desarrollo de mi trabajo investigativo.

A la asociación de Apicultores y Meliponicultores del departamento de Arauca, por abrirme las puertas en sus predios y por el acompañamiento, haciendo posible la colecta de datos en campo.

Al programa de Biología de la Universidad de Pamplona, sus docentes y administrativos, por compartir sus conocimientos y a enamorarme de tan prestigiosa carrera.

Resumen

La tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) abarca a las abejas nativas sin agujón que se distribuyen en el Neotrópico, donde su rol ecológico es polinizar el 75% de la vegetación angiosperma. Por esta razón, se hace indispensable monitorear las poblaciones de abejas nativas y sus nichos ecológicos para su conservación. Por lo cual, se determinó la diversidad y distribución de dichos polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) en las zonas de piedemonte y montaña de los municipios de Saravena, Arauca y Toledo Norte de Santander. Se registraron un total de 17.243 especímenes, distribuidos en seis géneros y nueve especies. La especie dominante para la zona de piedemonte fue *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) y para la zona de montaña fue *Trigona fulviventris* (Guérin-Ménéville, 1844); además, se registraron dos especies bajo categoría de amenaza como lo son *Melipona eburnea* (Friese, 1900) (VU) y *Melipona favosa* (Fabricius, 1798) (VU). Se elaboraron modelos de distribución espacial y potencial, bajo el algoritmo de máxima entropía, a partir de registros de presencia, variables bióticas y abióticas, que ilustran el nicho fundamental de estos polinizadores. Se determinó que variables, como la cobertura vegetal influye en la abundancia, y la temperatura y altitud son las variables determinantes en la riqueza y distribución de las especies registradas. Se plantearon nueve núcleos de conservación, para un total de 16.400 hectáreas para la restauración del nicho fundamental de las abejas nativas, con líneas de conservación encaminadas a la educación, conservación e investigación.

Palabras claves: abejas nativas, conservación, educación ambiental, *Tetragonisca*, *Trigona*, *Melipona*, *Scaptotrigona*, *Fieseomelitta*, *Tetragona*.

Tabla de Contenido

Resumen	IV
Tabla de Contenido	V
Listado de Figuras	VIII
Listado de Tablas	X
Diversidad y distribución de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) en zonas de piedemonte y montaña en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander	10
1. Marco Referencial.....	13
1.1. Tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae)	13
1.1.1. Generalidades.....	13
1.1.2. Ecología	14
1.1.3. Nidificación.....	14
1.1.4. Distribución geográfica y altitudinal.....	16
1.2. Sistema de información geográfica	17
1.2.1. Modelos de distribución de especies	18
1.2.2. Modelos de nicho ecológico.....	18
1.2.2.1. MaxEnt.....	19
1.2.2.1.1. Método Jackknife	20
1.2.2.1.2. Método Bootstrap	20
1.2.3. Nicho de Hutchinson	21
1.3. Conservación ambiental	22
1.3.1. Estrategias de conservación ambiental.....	23
1.4. Ecorregiones terrestres	25
2. Objetivos.....	26

2.1.	Objetivo general.....	26
2.2.	Objetivos específicos.....	26
3.	Metodología.....	27
3.1.	Área de estudio	27
3.2.	Diversidad y distribución de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae).....	28
3.3.	Análisis de datos.....	33
3.3.1.	Objetivo específico 1: Determinar la diversidad de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae).....	33
3.3.2.	Objetivo específico 2: Establecer la distribución espacial y potencial de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae).....	34
3.3.2.1.	Distribución espacial.....	34
3.3.2.2.	Distribución potencial	35
3.3.2.2.1.	Procesamiento de las variables predictorias.....	35
3.3.2.2.2.	Preparación de los registros de presencia	37
3.3.2.2.3.	Preparación de las variables del modelo	37
3.3.2.2.4.	Elaboración del modelo de distribución potencial.....	38
3.3.2.2.5.	Evaluación de los modelos de distribución potencial	39
3.3.2.3.	Colinealidad entre las variables.....	39
3.3.3.	Objetivo específico 3: Diseñar estrategias de conservación para polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae)	40
4.	Resultados.....	42
4.1.	Objetivo específico 1: Determinar la diversidad de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae).....	42
4.2.	Objetivo específico 2: Establecer la distribución espacial y potencial de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae)	50
4.2.1.	Distribucion espacial	50
4.2.2.	Distribución potencial	52
4.2.2.1.	<i>Tetragonisca angustula</i>	52
4.2.2.1.1.	Colinealidad para el modelo predictivo de <i>Tetragonisca angustula</i>	54
4.2.2.2.	<i>Scaptotrigona sp.</i>	55
4.2.2.2.1.	Colinealidad para el modelo predictivo de <i>Scaptotrigona sp</i>	57
4.2.2.3.	<i>Trigona amalthea</i>	57

4.2.2.3.1.	Colinealidad para el modelo predictivo de <i>Trigona amalthea</i>	59
4.2.2.4.	<i>Melipona eburnea</i>	60
4.2.2.4.1.	Colinealidad para el modelo predictivo de <i>Melipona eburnea</i>	62
4.2.2.5.	<i>Trigona fulviventris</i>	63
4.2.2.5.1.	Colinealidad para el modelo predictivo de <i>Trigona fulviventris</i>	65
4.2.2.6.	<i>Frieseomelitta paupera</i>	66
4.2.2.6.1.	Colinealidad para el modelo predictivo de <i>Frieseomelitta paupera</i>	68
4.2.2.7.	<i>Tetragona sp</i>	68
4.2.2.7.1.	Colinealidad para el modelo predictivo de <i>Tetragona sp</i>	70
4.2.2.8.	<i>Melipona favosa</i>	71
4.2.2.8.1.	Colinealidad para el modelo predictivo de <i>Melipona favosa</i>	73
4.2.2.9.	<i>Melipona compressipes</i>	73
4.2.2.9.1.	Colinealidad para el modelo predictivo de <i>Melipona compressipes</i>	75
4.3.	Objetivo específico 3: Diseñar estrategias de conservación para polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae).	76
5.	Análisis De Resultados	80
5.1.	Diversidad de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae)	80
5.2.	Distribución espacial y potencial de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae).	82
5.3.	Estrategias de conservación para polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae)	83
6.	Conclusiones	86
7.	Lista De Referencias	88

Listado de Figuras

Figura 1. Ejemplo de la tribu Meliponini, especie: <i>Melipona eburnea</i> . Fuente: (German Perilla, 2014).....	13
Figura 2. <i>Scaptotrigona</i> sp. Fuente: (Urbina-Martínez, 2023).....	15
Figura 3. <i>Melipona eburnea</i> Fuente: (Urbina-Martínez, 2023)	15
Figura 4. <i>Frieseomelitt paupera</i> Fuente: (Urbina-Martínez, 2023)	16
Figura 5. Ubicación geográfica de las ecorregiones de piedemonte y montaña en el municipio de Saravena, Arauca y los corregimientos de Gibraltar y Samoré ubicados en el municipio de Toledo, Norte de Santander. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024)	28
Figura 6. Muestreo por método directo, utilizando una aspiradora entomológica (A) y jama entomológica (B) en zonas de piedemonte y montaña, en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander. Fuente: (Urbina-Martínez 2023).	29
Figura 7. Trampa cromática instaladas en zonas de piedemonte y montaña, en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander. Fuente: (Urbina-Martínez 2023).	30
Figura 8. Toma de datos abióticos en zonas de piedemonte y montaña, en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander. Fuente: (Urbina-Martínez 2023).	31
Figura 9. Almacenamiento de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae). Fuente: (Urbina-Martínez 2023).	31
Figura 10. Identificación morfológica y registro fotográfico de especímenes. Fuente: (Urbina-Martínez 2024).	32
Figura 11. Coberturas vegetales junto a su densidad de las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).....	37
Figura 12. Morfotipos de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) colectados: A) <i>Tetragonisca angustula</i> , B) <i>Scaptotrigona</i> sp. C) <i>Trigona amalthea</i> , D) <i>Melipona eburnea</i> , E) <i>Trigona fulviventrís</i> , F) <i>Frieseomelitta paupera</i> , G) <i>Tetragona</i> sp, H) <i>Melipona favosa</i> , I) <i>Melipona compressipes</i> . Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).	42
Figura 13. Representación gráfica de los números de Hill cuando el parámetro “q” equivale a 0, 1 y 2.....	45
Figura 14. Abundancia registrada por método de muestreo en la zona de Piedemonte y montaña.	46
Figura 15. Abundancia registrada por método de muestreo en la zona de Piedemonte.....	47

Figura 16. Abundancia registrada por método de muestreo en la zona de montaña.....	47
Figura 17. Diagramas de caja de las abundancias registradas por método por zona (MxZ) donde: DM= método directo montaña; DP= método directo piedemonte; IM= método indirecto montaña y IP= método indirecto piedemonte.	48
Figura 18. Dendograma de similitud bajo el criterio de Morisita-Horn para las abundancias registradas por método por zona (MxZ) donde: DM= método directo montaña; DP= método directo piedemonte; IM= método indirecto montaña y IP= método indirecto piedemonte	49
Figura 19. Distribución espacial de los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), en zonas de piedemonte y montaña en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).	51
Figura 20. Distribución potencial de <i>Tetragonisca angustula</i> en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).....	53
Figura 21. Distribución potencial de <i>Scaptotrigona sp.</i> en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).....	55
Figura 22. Distribución potencial de <i>Trigona amalthea</i> en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).....	58
Figura 23. Distribución potencial de <i>Melipona eburnea</i> en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).....	61
Figura 24. Distribución potencial de <i>Trigona fulviventris</i> en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).....	64
Figura 25. Distribución potencial de <i>Frieseomelitta paupera</i> en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).....	67
Figura 26. Distribución potencial de <i>Tetragona sp.</i> en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).....	69
Figura 27. Distribución potencial de <i>Melipona favosa</i> en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).....	72
Figura 28. Distribución potencial de <i>Melipona compressipes</i> en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).....	74
Figura 29. Modelo hot pots de la distribución potencial de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) en los municipios de Saravena (Arauca), Toledo (Norte de Santander) y Cubará (Boyacá). Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).	78

Listado de Tablas

Tabla 1. Especies efectivas calculadas para los valores del parámetro “q”, abundancia y completitud del muestreo	45
Tabla 2. Índice de Jaccard calculado para los tipos de muestreo por zona. dónde: DM= método directo montaña; DP= método directo piedemonte; IM= método indirecto montaña y IP= método indirecto piedemonte	49
Tabla 3. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para <i>Tetragonisca angustula</i> Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).	53
Tabla 4. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para <i>Scaptotrigona</i> sp. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).	56
Tabla 5. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para <i>Trigona amalthea</i> . Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).	58
Tabla 6.. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para <i>Melipona ebúrnea</i> . Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).	61
Tabla 7. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para <i>Trigona fulviventris</i> . Fuente: (Urbina-Martínez, 2024)	64
Tabla 8. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para <i>Frieseomelitta paupera</i> . Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).	67
Tabla 9. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para <i>Tetragona</i> sp. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).	70
Tabla 10. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para <i>Melipona favosa</i> . Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).	72
Tabla 11. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para <i>Melipona compressipes</i> . Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).	75
Tabla 12. Núcleos de conservación para polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) en ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).	76

Diversidad y distribución de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) en zonas de piedemonte y montaña en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander.

Las abejas de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) o nativas, tienen como servicio ecológico la polinización, estas realizan el 75% de la polinización en la vegetación angiosperma presente en el Neotrópico (Montalva et al., 2010). De esta forma han coevolucionado con la flora regional y han desarrollado estrategias y dependencias sobre ciertas especies vegetales, de tal manera que, si desaparece una de las dos, ambas especies se extinguen (Carvajal, 2020).

Las abejas nativas son pieza clave en los procesos ecológicos y para evaluar las condiciones de un ecosistema, al ser generalistas en sus hábitos alimenticios y anidar en diversos sustratos de distintos ambientes, las alteraciones en las áreas naturales donde anidan tiene un importante impacto sobre la composición de la fauna y también se ve relegada en la densidad de nidos (Roubik 1992; Roubik 2006; Nates-Parra et al., 2008). Por lo tanto, la riqueza de especies y la densidad de nidos son un reflejo del estado de conservación de un área bajo estudio.

En la actualidad ha surgido un renovado interés por ampliar el conocimiento acerca de estas abejas, en respuesta a las alertas sobre la disminución de los polinizadores (Freitas et al., 2009; Venturieri et al., 2012), esto debido a las problemáticas ecológicas que atraviesa el planeta, como las deforestaciones, quemas y el uso de insecticidas en malas prácticas agrícolas. Estas problemáticas han llevado a los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) a la reducción de su población debido a la intoxicación que sufren al realizar su pecoreo en vegetación angiosperma fumigada, lo que conlleva a la degradación de su nicho fundamental (Carneiro, 2021).

En Colombia, los estudios sobre polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) se limitan a conocer la diversidad en ciertas regiones del país, enfocados a la región Andina, como por ejemplo, la bióloga Guiomar Nates Parra, se destaca desde el año de 1985, con publicaciones pioneras como: “Abejas euglosinas de Colombia (Hymenoptera: Apidae) I. Claves ilustradas” (Nates- Parra, 1992), “Las abejas silvestres de Colombia: por qué y cómo conservarlas” (González, Nates-Parra, 2000), “Las abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) de Colombia” (Nates-Parra, 2001), “Forrajeo en colonias de *Melipona eburnea* (Hymenoptera: Apidae) en el piedemonte llanero (Meta, Colombia)” (Rodríguez y Nates-Parra, 2011) y, por otros autores se destaca “Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical” (Nieves y Fontal et al., 2006). Pero la publicación sobre distribución de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) más reciente data del año 2017, bajo el título de “Distribución espacial y hábitos de nidificación de *Nannotrigona mellaria* (Apidae: Meliponini) en una localidad de Cali (Colombia)” (Martínez López, et al. 2017), donde se muestreó un campus universitario, con el fin de identificar zonas de nidificación de *N. mellaria*, logrando modelos de distribución en dicha zona y análisis espacial por índice de distancia (SADIE). Como se evidencia, los departamentos de Arauca y Norte de Santander, carecen completamente de estudios sobre dichos polinizadores y a su vez, de registros de ocurrencias en las plataformas como el sistema de información sobre biodiversidad de Colombia (SIB Colombia), lo que limita completamente a la comunidad académica a realizar avances en dichas zonas por estos vacíos de información.

Por medio del presente trabajo se propuso conocer la diversidad y distribución de los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), partiendo de la importancia que implica conocer la diversidad de estos polinizadores para la biodiversidad colombiana, debido al rol ecológico que realizan a partir de la polinización sobre la vegetación angiosperma.

La distribución de una especie está establecida por factores históricos, fisiológicos y ecológicos, sometiendo a las especies a condiciones bióticas y abióticas. Dichas condiciones establecen el nicho fundamental y realizado, los cuales se engloban en la definición de nicho por Hutchinson (Maciel-Mata, 2015). Lo anterior refleja la importancia de conocer la distribución espacial y potencial de las abejas de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) que habitan en las ecorregiones de piedemonte y montaña, ya que partiendo de dichos estudios se permite modelar el nicho hutchinsoniano de estos polinizadores, basados en factores bióticos y abióticos, siendo estos de suma relevancia para la postulación de estrategias de conservación para estas abejas nativas, buscando la restauración del nicho fundamental y realizado, en zonas del piedemonte y montaña de la cordillera oriental para su distribución en dichas áreas.

1. Marco Referencial

1.1. Tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae)

1.1.1. Generalidades

Las abejas (Hymenoptera: Apidae) constituyen un grupo de insectos diversos y ampliamente distribuido, que comprende alrededor de 18.000 especies descritas. Representa uno de los grupos de insectos más importantes por su papel en la polinización de numerosas plantas con flores (Álvarez, 2016).

De las siete familias de abejas conocidas, cinco se encuentran representadas en nuestro país: Colletidae, Andrenidae, Halictidae, Megachilidae y Apidae. En esta última, las tribus Apini, Meliponini, Bombini y Euglossini conforman un grupo monofilético conocido como abejas corbiculadas, caracterizado por la presencia en las hembras de una corbícula, estructura que le sirve para la recolección y transporte de polen (Corzo, 2022).

La tribu Meliponini (Figura 1) comprende abejas de tamaño pequeño a mediano, que van desde los 2 a 15 mm de tamaño, y se caracteriza por presentar la venación alar reducida, la presencia de penicilio y la reducción del aguijón en las hembras (Amaya, 2021), por este motivo comúnmente son conocidas como abejas sin aguijón.

Figura 1. Ejemplo de la tribu Meliponini, especie: Melipona eburnean. Fuente: (German Perilla, 2014).



Tienen comportamiento social, viven en colonias permanentes y comprenden aproximadamente 600 especies distribuidas en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, alcanzando algunas pocas especies las regiones templadas del hemisferio Sur (Rasmussen & Cameron, 2010; Rasmussen, 2013). En la región Neotropical están registradas aproximadamente 400 especies, agrupadas en 32 géneros, esto representa aproximadamente el 75% del total de los taxones descritos a nivel mundial (Álvarez, 2016). Sin embargo, los estudios sistemáticos de los meliponinos neotropicales son aún insuficientes, y en la mayoría de los casos es difícil establecer una aproximación real del número de especies debido a la abundancia de especies crípticas y razas geográficas que difieren entre sí por caracteres superficiales (Nates-Parra, 2013).

1.1.2. Ecología

Su principal rol ecológico es la polinización, donde polinizan más del 90% de todas las plantas angiospermas (Ollerton et al., 2011). Pero las abejas representan el grupo más importante de polinizadores en los trópicos del nuevo y del viejo mundo (Bawa, 1990; Momose et al. 1998; Corlet, 2004; Klein et al., 2007; Michener, 2007; Gianni et al., 2015; Ollerton, 2017) y entre ellas, las abejas sin aguijón son un grupo particularmente destacado de visitantes florales en diversos entornos. Por ejemplo, en la selva atlántica brasileña se han observado abejas nativas polinizando la vegetación, descubriendo que las abejas sin aguijón eran responsables de cerca del 70% de todas las visitas de forrajeo, a pesar de constituir solo el 7% de la población de abejas que habitan en la zona. (Zamudio, 2016).

1.1.3. Nidificación

Las abejas nativas nidifican en casi cualquier cavidad que encuentren disponible, desde agujeros en árboles, piso o paredes, incluyendo tumbas en los cementerios, hasta nidos abandonados de escarabajos, acondicionando estos sitios a sus necesidades (Pimentel et al.,

2014); también son capaces de hacer nidos completamente subterráneos, hasta cuatro metros bajo tierra como el caso del género *Geotrigona* o completamente expuestos, pendientes de ramas de árboles, caso del género *Paratrigona* o sobre paredes de edificaciones, como lo hace las abejas del género *Partamona* (Ascencio, 2014).

La entrada al nido o piquera, generalmente es un tubo de cera recto, como en *Scaptotrigona* sp. (Figura 2), o en forma de la boca de un sapo como *Melipona eburnea* (Figura 3), y algunas especies sin forma definida, como *Frieseomelitta paupera* (Figura 4).

Figura 2. *Scaptotrigona* sp. Fuente: (Urbina-Martínez, 2023).



Figura 3. *Melipona eburnea* Fuente: (Urbina-Martínez, 2023).



Figura 4. Frieseomelitta paupera Fuente: (Urbina-Martínez, 2023).



A lo largo de su distribución en América, las abejas sin aguijón se encuentran representadas en la cultura y alimentación de los pueblos. En efecto, la miel, larvas y polen constituyen fuentes valiosas de alimentos y medicinas para grupos indígenas y criollos. Asimismo, el cerumen de sus colonias se utilizó para la confección de herramientas, como pegamento en la construcción de arcos y flechas y, antiguamente, en la confección de moldes para forjar piezas de oro (Zamudio, 2016).

1.1.4. Distribución geográfica y altitudinal

En Colombia hay aproximadamente 150 especies, pertenecientes a 14 géneros y nueve subgéneros de la tribu Meliponini con aproximadamente 105 especies identificadas hasta ahora (Nates-Parra et al., 2013). Se ha reportado que la distribución actual de estas abejas va desde el nivel del mar, hasta los 3.400 m de altitud, notándose su preferencia por los bosques secos, húmedos tropicales y bosques muy húmedos premontanos (Mora, 2021). Solamente, el 6.9% de abejas sin aguijón pertenece a la fauna de abejas alto andinas, representada por nueve especies que habitan por encima de los 2.000 msnm, llegando hasta los 3.400 msnm. El 93.1% restante de

las especies están distribuidas a menores alturas, con el máximo número de especies entre los 200 msnm y 1.500 msnm (Martínez, 2017).

En cada trabajo de revisión se han encontrado nuevos registros para Colombia, el primer inventario para el país de abejas sin aguijón, fue el que realizó Salt en 1929 sobre las abejas de la Sierra Nevada de Santa Marta. En esa oportunidad registró 16 especies, sobre las cuales hizo algunas anotaciones sobre aspectos biológicos (Nates-Parra, 2001). Y el último, se realizó por el instituto Humboldt en el año 2021, donde se estiman unas 150 especies de la tribu Meliponini aproximadamente para el país (Humboldt, 2021).

1.2. Sistema de información geográfica

Un Sistema de Información Geográfico (SIG) permite relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfica. Esto quiere decir que en un solo mapa el sistema muestra la distribución de recursos, edificios, poblaciones, entre otros datos de los municipios, departamentos, regiones o todo un país. Este es un conjunto que mezcla hardware, software y datos geográficos, y los muestra en una representación gráfica. Los SIG están diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información de todas las formas posibles de manera lógica y coordinada (Ladino, 2015).

Los usuarios pueden editar los mapas, trabajar por capas y manipular la información que almacena el sistema para obtener resultados específicos o generales de una consulta. Encuentran respuestas como qué hay en un lugar, dónde sucedió un hecho, qué cambios ha habido, qué camino tomar o qué construcciones cercanas se encuentran (Ladino, 2015).

Este tipo de sistemas sirve especialmente para dar solución a problemas o preguntas sobre planificación, gestión y distribución territorial o de recursos. Son utilizados en investigaciones

científicas, en arqueología, estudios ambientales, cartografía, sociología, historia, marketing y logística, entre otros campos (Rojas, 2019).

1.2.1. Modelos de distribución de especies

Se define un modelo como una representación parcial de la realidad que refleja algunas de sus propiedades. Los modelos de distribución de especies son por tanto representaciones cartográficas de la idoneidad de un espacio para la presencia de una especie en función de las variables empleadas para generar dicha representación. La idoneidad no es más que la relación matemática o estadística entre la distribución real conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores. Estas variables suelen ser geológicas, topográficas o climáticas, y se espera que, con algunas de ellas, individualmente o en combinación, se pueden definir los factores ambientales que delimitan las condiciones favorables para la presencia de la especie (Guzmán, 2018).

La variable dependiente es dicotómica siendo presencia o ausencia y las independientes pueden ser cuantitativas como, por ejemplo, temperatura o elevación, o nominales como, por ejemplo, litología o uso del suelo. Los métodos implicados son clasificadores que deben generar un valor numérico para cada punto del terreno. Dicho valor refleja, directa o indirectamente, la idoneidad de presencia de la especie en función de los valores locales de las variables independientes (Martínez, 2022).

1.2.2. Modelos de nicho ecológico

Los modelos de nicho ecológico son modelos usados para desarrollar relaciones entre los valores ambientales y los datos de presencia, presencia-ausencia y/o abundancia conocidos de las especies (Hernández, 2018).

Los modelos de distribución de especies, utilizando el nicho ecológico como base teórica, son herramientas muy útiles para resolver preguntas de ecología aplicada, conservación y biogeografía, debido a las bases ecológicas y evolutivas subyacentes. Se han desarrollado varios modelos que ayudan a comprender algunas de las dimensiones ambientales y ecológicas en las que se encuentra un taxón, principalmente aquellas relacionadas con factores abióticos como la precipitación, temperatura, entre otras, y factores bióticos como el tipo de vegetación en las cuales se puede encontrar (Muñoz, 2019).

El desarrollo de algoritmos matemáticos permite, cada vez más, modelar con mayor precisión el nicho ecológico de los taxones. Entre los diferentes algoritmos de modelado que existen, podemos mencionar principalmente a BIOCLIM creado por Busby en 1991, GARP por Stockwell y Peters en 1999 y Maxent por Phillipsen en el año 2006. Cada uno de ellos presenta un acercamiento diferente al problema del modelado del nicho ecológico, ya sea a partir del uso de algoritmos de envolturas climáticas (BIOCLIM), de algoritmos genéticos (GARP) o de algoritmos de máxima entropía (Maxent) (Escamilla, 2019).

1.2.2.1. MaxEnt.

Es un método de inteligencia artificial que aplica el principio de máxima entropía para calcular la distribución geográfica más probable para una especie. MaxEnt estima la probabilidad de ocurrencia de la especie buscando la distribución de máxima entropía, sujeta a la condición de que el valor esperado de cada variable ambiental según esta distribución coincide con su media empírica (Villicaña, 2019). El resultado del modelo expresa el valor de idoneidad del hábitat para la especie como una función de las variables ambientales. Un valor alto de la función de distribución en una celda determinada indica que ésta presenta condiciones muy favorables para la presencia de la especie (Aragón-Noriega et al., 2017).

MaxEnt puede utilizar variables cualitativas, otorgando a cada valor de la variable un peso relativo al número total de puntos de presencia que contiene (Martínez, 2022). El programa proporciona las curvas de respuesta de la especie ante las distintas variables ambientales y estima la importancia de cada variable en la distribución de la especie (Aragón-Noriega et al., 2017).

1.2.2.1.1. Método Jackknife

Es un método eficaz para calcular el sesgo y la variabilidad de los estimadores. En esencia, se calcula el parámetro de interés mediante la media de las estimaciones obtenidas al suprimir, para cada una de ellas, una de las observaciones de la muestra inicial (Rahmer, 2022).

1.2.2.1.2. Método Bootstrap

En comparación con la técnica Jackknife, la estrategia de remuestreo de Bootstrap es más completa en términos de la magnitud de la replicación. En Jackknife, el número de remuestreos está limitado por el número de observaciones ($n-1$). Pero en Bootstrap, la muestra original podría duplicarse tantas veces como lo permitan los recursos informáticos, y luego esta muestra expandida se trata como una población virtual. Luego se extraen muestras de esta población para verificar los estimadores. Obviamente, la "fuente" para el remuestreo en Bootstrap podría ser mucho mayor que en los otros dos. Además, a diferencia de la validación cruzada y Jackknife, Bootstrap emplea muestreo con reemplazo. De hecho, el muestreo con reemplazo en un Bootstrap es más preciso que el muestreo sin reemplazo en términos de simulación de azar. Además, en la validación cruzada y Jackknife, el n en la submuestra es menor que en la muestra original, pero en Bootstrap cada remuestreo tiene el mismo número de observaciones que la muestra original. Por lo tanto, el método Bootstrap tiene la ventaja de modelar los impactos del tamaño real de la muestra (Vilchez, 2021).

1.2.3. Nicho de Hutchinson

La definición de nicho para Hutchinson en 1957 es un hipervolumen que resume el conjunto de factores abióticos y bióticos que definen dónde una especie presenta una adecuación biológica mayor a cero, por lo que su población puede persistir sin inmigración. Una de las distinciones más útiles de la definición de Hutchinson es la diferenciación entre el nicho fundamental y el nicho realizado, donde el primero es el conjunto de condiciones abióticas necesarias para su subsistencia y reproducción, y el segundo incluye las interacciones bióticas (Barrios, 2014). Conceptualmente, la definición de nicho de Hutchinson ha sido la más utilizada en estudios de teoría ecológica por ser una formalización matemática. Esta acepción, a través de la cual se han generado numerosas hipótesis, es la utilizada en trabajos asociados a diferenciación o segregación de nicho por Schoener (1974), amplitud del nicho por Colwell y Futuyma (1971), exclusión competitiva por Hardin (1960) y Hutchinson (1961) (Rodríguez, 2016).

Una de las principales búsquedas de una definición acertada de nicho ha sido la constante pregunta por parte de Hutchinson (1918), de cómo se puede predecir el hábitat de una especie y entender qué hace posible la coexistencia de varias especies similares. De esta forma, nace la modelación de distribución de especies, que corresponde a la determinación de la distribución actual o potencial de una especie mediante la utilización de algoritmos de inteligencia artificial, al relacionar datos de presencia de especies con variables ambientales (Ramírez, 2019). Estos modelos se basan en el concepto grinnelliano de nicho, los métodos empleados utilizan ejes múltiples y valores de presencia o presencia- ausencia para predecir la distribución de una especie, entregando como resultado un índice de idoneidad de hábitat (Guevara, 2021). Algunos autores proponen que este índice se encuentra correlacionado positivamente con el desempeño de

la especie modelada, sin embargo, los pocos estudios que han intentado encontrar esta relación han encontrado muy bajo apoyo para esto (Caballero, 2019).

Si bien los modelos de distribución de especies se basan en nicho grinnelliano, existe una perspectiva hipervolumetrica similar al concepto de nicho de Hutchinson. A pesar de esto, el no considerar la adecuación biológica hace que no se trate de un trabajo basado en nicho hutchinsoniano. Dado que existe el supuesto de que el índice de idoneidad de hábitat representaría la adecuación biológica de una especie, de esta forma se tendría la ventaja de trabajar con esta última definición de nicho que presenta una dualidad que no presentan las demás definiciones. Por un lado, se mostraría como una propiedad de la especie y por otro representaría un espacio físico en donde vive la especie (Barrios, 2014).

1.3.Conservación ambiental

La conservación ambiental se erige como una de las prioridades más urgentes en el contexto actual, dada la creciente presión que ejerce la actividad humana sobre los ecosistemas naturales (Rodríguez, 2016). En un mundo donde el cambio climático, la deforestación y la pérdida de biodiversidad amenazan el equilibrio de nuestro entorno, la necesidad de adoptar prácticas sostenibles y responsables nunca ha sido más evidente. La conservación ambiental no solo se centra en proteger y restaurar los hábitats naturales, sino que también abarca la promoción de un desarrollo que respete los límites del planeta (Ipinza, 2021). A través de estrategias como la preservación de áreas protegidas, la rehabilitación de ecosistemas degradados y la promoción de un uso racional de los recursos, la conservación busca garantizar que las generaciones futuras puedan disfrutar de un entorno saludable y funcional. Al comprender la interconexión entre todas las formas de vida y los sistemas naturales, la conservación ambiental nos llama a actuar con

diligencia y empatía para preservar el legado de la Tierra para las próximas generaciones (Ramos, 2020).

1.3.1. Estrategias de conservación ambiental

Las estrategias de conservación se refieren a las prácticas y enfoques diseñados para proteger, preservar y restaurar el medio ambiente, sus especies y los recursos naturales. Estas estrategias se implementan con el objetivo de mantener la biodiversidad, los ecosistemas funcionales y los servicios que estos proporcionan a las personas y a otras formas de vida (Worboys, 2019). Las estrategias de conservación pueden ser diversas y adaptarse a diferentes contextos según las necesidades y objetivos específicos. A continuación, se presentan algunas de las principales estrategias de conservación (Hilty, 2021):

- a) **Áreas Protegidas:** Establecimiento de parques nacionales, reservas naturales y otras áreas protegidas donde las actividades humanas están reguladas para preservar los ecosistemas y especies. Esto incluye la creación de zonas de conservación y la gestión sostenible de estas áreas.
- b) **Restauración de Ecosistemas:** Proyectos destinados a recuperar ecosistemas degradados o dañados, restaurando su estructura y función original. Esto puede incluir la reforestación, la rehabilitación de humedales y la restauración de hábitats marinos.
- c) **Conservación de Especies:** Esfuerzos específicos para proteger especies en peligro de extinción mediante programas de cría en cautividad, reintroducción en la naturaleza y protección de sus hábitats. Esto también incluye el monitoreo de especies y el control de amenazas como especies invasoras.

- d) **Uso Sostenible de Recursos:** Implementación de prácticas que permiten el uso de recursos naturales de manera que no agoten ni degraden el medio ambiente, como la agricultura sostenible, la pesca responsable y la gestión forestal sostenible.
- e) **Educación y Conciencia Ambiental:** Iniciativas para educar a la población sobre la importancia de la conservación y fomentar comportamientos y prácticas que reduzcan el impacto ambiental. Esto puede incluir campañas de sensibilización y programas educativos en escuelas y comunidades.
- f) **Políticas y Regulaciones Ambientales:** Desarrollo y aplicación de leyes y políticas que promuevan la conservación del medio ambiente y regulen actividades que puedan causar daño, como la explotación minera, la contaminación y el desarrollo urbano desmedido.
- g) **Investigación y Monitoreo:** Realización de estudios científicos para entender mejor los ecosistemas, las especies y los impactos humanos, así como para evaluar la efectividad de las estrategias de conservación y ajustar las prácticas en consecuencia.
- h) **Colaboración Comunitaria:** Involucrar a las comunidades locales en la conservación mediante la participación en la gestión de recursos naturales, la toma de decisiones y la implementación de proyectos de conservación que beneficien tanto al medio ambiente como a las personas.

Cada una de estas estrategias puede ser aplicada de manera individual o combinada para abordar las múltiples dimensiones de la conservación ambiental. El éxito de las estrategias de conservación a menudo depende de una colaboración efectiva entre gobiernos, organizaciones no gubernamentales, comunidades locales y el sector privado (Criollo, 2024).

1.4. Ecorregiones terrestres

Una ecorregión se puede definir como un área geográficamente distintiva que contiene un conjunto de comunidades naturales que comparten la gran mayoría de sus especies, condiciones ambientales y dinámicas ecológicas (Dinerstein et al., 1995; Olson et al., 2001; Ricketts et al., 1999). Las ecorregiones se han utilizado recientemente para caracterizar a los ecosistemas terrestres, uno de los niveles de organización de la biodiversidad (Challenger y Soberón 2008). También se han utilizado y concebido como unidades para orientar las acciones de conservación y para identificar áreas prioritarias con base en rasgos característicos únicos relacionados con la biodiversidad —riqueza y endemismo de especies, rareza de taxones, fenómenos ecológicos y evolutivos como migraciones o adaptación a condiciones ecológicas extraordinarias o por la rareza en el ámbito global de los tipos de hábitat o de acuerdo con el estado de conservación, las amenazas a la biodiversidad y el grado de protección que han alcanzado (CCA 1997; Olson y Dinerstein 1998; Olson et al., 2001; Loucks et al., 2003). Los análisis a escala ecorregional, aunque no son ideales para detectar vacíos y omisiones de manera precisa, permiten mostrar de manera clara, diferencias importantes en las redes de áreas protegidas (i.e. López y Zambrana-Torrel 2006). De 191 ecorregiones definidas para Latinoamérica y el Caribe, Dinerstein y colaboradores en 1995, identificaron 51 de ellas como las de más alta prioridad para la conservación, con base en la biodiversidad que albergan y el grado de amenaza en que se encuentran. De estas ecorregiones prioritarias 14 se encuentran en México, 34 en Brasil y 29 en Colombia.

2. Objetivos

2.1.Objetivo general

Evaluar la diversidad y distribución de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), en zonas de piedemonte y montaña en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander.

2.2.Objetivos específicos

Determinar la diversidad de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), en zonas de piedemonte y montaña en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander.

Establecer la distribución espacial y potencial de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), en zonas de piedemonte y montaña en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander.

Diseñar estrategias de conservación para polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), en zonas de piedemonte y montaña en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander.

3. Metodología

3.1. Área de estudio

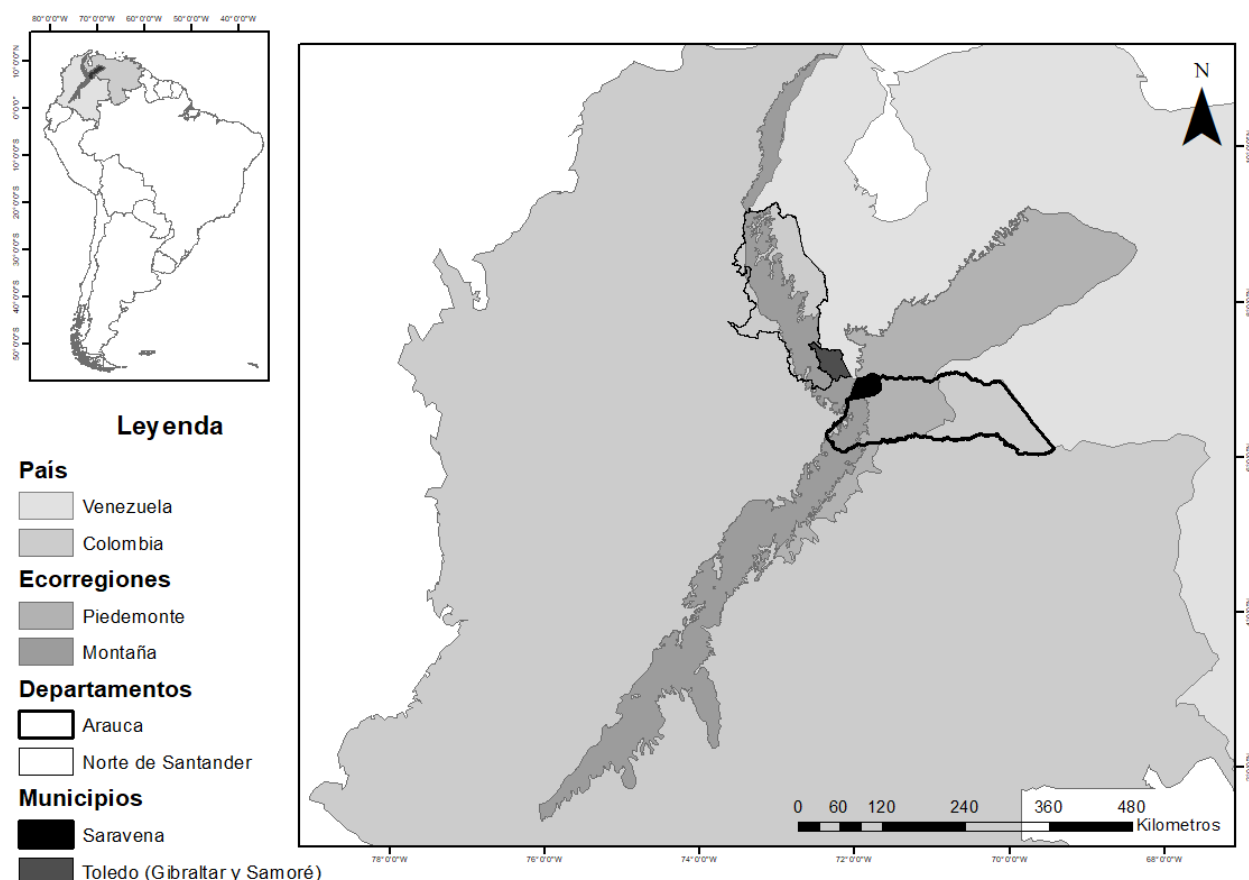
El estudio se realizó en zonas rurales del municipio de Saravena, del departamento de Arauca y en los corregimientos de Gibraltar y Samoré del municipio de Toledo, del departamento de Norte de Santander.

El municipio de Saravena, departamento de Arauca (Colombia) (Figura 5), está ubicado en el piedemonte llanero colombiano, sus coordenadas geográficas son $6^{\circ}57'17''\text{N}$, $71^{\circ}52'36''\text{O}$, tiene una temperatura promedio de 25.5°C y una humedad relativa promedio de 83%. Cuenta con una superficie de 907 km^2 y una altitud aproximada de 223 msnm. (Alcaldía de Saravena, Arauca, 2013).

Por otro lado, el municipio de Toledo, departamento de Norte de Santander (Colombia) (Figura 5), está ubicado al nororiente colombiano, sus coordenadas geográficas son $7^{\circ}19'1''\text{N}$, $72^{\circ}28'59''\text{O}$, con una temperatura promedio de 21°C y una humedad relativa promedio de 90%. Cuenta con una superficie total de 1.486 km^2 y una altitud aproximadamente 1.692 msnm (Alcaldía de Toledo, Norte de Santander, 2015).

Hasta los años 70, estos dos municipios poseían una variada riqueza de vegetación angiosperma y gimnosperma, pero a causa del proceso colonizador esta riqueza se vio afectada, aumentando considerablemente la tala indiscriminada y la explotación desmedida por parte de los colonos. Sin embargo, todavía se pueden considerar en el inventario forestal árboles como son el floramarillo, oloroso, pardillo, ceiba, tolúa, comino, balso y otras plantas no maderables como la guadua, caña brava, palma real, yarumo, palma seje, palma sarare y guamo (Municipios de Colombia, 2016).

Figura 5. Ubicación geográfica de las ecorregiones de piedemonte y montaña en el municipio de Saravena, Arauca y los corregimientos de Gibraltar y Samoré ubicados en el municipio de Toledo, Norte de Santander. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024)



3.2. Diversidad y distribución de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae)

Para el desarrollo del presente trabajo, se registraron las abejas de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) que habitan dentro del territorio de piedemonte y montaña del municipio de Saravena y los corregimientos de Gibraltar y Samoré del municipio de Toledo, pertenecientes a los departamentos de Arauca y Norte de Santander respectivamente, donde se priorizaron zonas aledañas a instituciones educativas, bosques destinados a la conservación y zonas agrícolas, que reúnan las condiciones del nicho fundamental de la tribu Meliponini; presencia de vegetación

angiosperma, temperaturas medias de 25°C, rangos altitudinales de 100 a 1.000 msnm y humedad relativa en promedio del 80% (Calderón fallas et al., 2021)

La colecta se realizó mediante dos métodos de muestreo, uno directo y el otro indirecto. Para el método directo se empleó una búsqueda manual sobre la vegetación angiosperma, donde se utilizó una aspiradora entomológica (Figura 6 (A)) y una jama entomológica (Figura 6 (B)); las colectas se realizaron en los horarios comprendidos entre las 08:00 y 13:00 horas, siendo este el horario donde se observa mayor pecoreo (Nates-Parra, 2013). Los especímenes colectados fueron introducidos en una cámara letal, lo que permitió sacrificar los especímenes sin dañar su morfología; dicha cámara letal contenía una mota de algodón impregnada de acetona (Vásquez-García, 2021).

Figura 6. Muestreo por método directo, utilizando una aspiradora entomológica (A) y jama entomológica (B) en zonas de piedemonte y montaña, en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander. Fuente: (Urbina-Martínez 2023).



Para el método indirecto, se utilizaron trampas cromáticas, los colores empleados fueron amarillo, azul, rojo y blanco, colocándose juntos tratando de simular una flor multicolor (Figura 7); siendo estos colores y formas que dieron mejores resultados en estudios realizados anteriormente (Ramírez et al., 2014; Saúl et al., 2017), dichas trampas contenían una solución de agua y un equivalente del 50% de la misma en jabón líquido, esto busca romper la tensión

superficial del agua con el fin de que no logren volar, de igual forma, la vegetación angiosperma en el área fue rociada con una solución elaborada a partir de 200ml de agua, 500gr de azúcar refinada Riopaila® y tres gotas de aceite esencial de eucalipto, envasado por la farmacia Americana (Mora et al., 2021). Las trampas cromáticas fueron instaladas en los ecosistemas de piedemonte y montaña, se mantuvieron en periodos de 72 horas, buscando evitar que los especímenes colectados iniciaran procesos de descomposición (Mora et al., 2021).

Figura 7. Trampa cromática instaladas en zonas de piedemonte y montaña, en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander. Fuente: (Urbina-Martínez 2023).



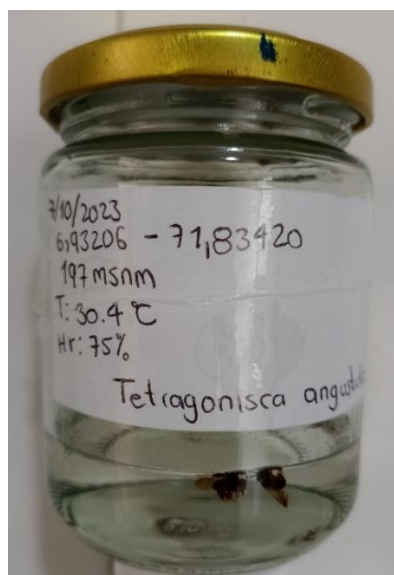
En las zonas de colecta, se tomaron registros de coordenadas geográficas y altitud utilizando un dispositivo localizador GPS, referencia GPSmap 76CSx de la marca GARMIN®, la temperatura y la humedad relativa fueron medidas con un termohigrómetro, referencia TA368 de la marca KTJ Thermo® (Figura 8).

Figura 8. Toma de datos abióticos en zonas de piedemonte y montaña, en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander. Fuente: (Urbina-Martínez 2023).



Los especímenes colectados, se almacenaron en recipiente hermético con alcohol etílico al 70%, con sus respectivos datos de registro, como fecha, coordenadas geográficas, altitud, temperatura, humedad relativa y el nombre científico (Figura 9), para su respectiva clasificación taxonómica.

Figura 9. Almacenamiento de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae). Fuente: (Urbina-Martínez 2023).



Las observaciones para su identificación morfológica y registro fotográfico se realizaron utilizando un microscopio estereoscópico trinocular simulfocal con zoom, marca Parco Scientific®, con un ocular de campo amplio de 10x, rango de zoom de 0,7X a 4,5X, rango de aumento de 7x a 45x, con cámara digital de 5 mega pixeles (Figura 10); dicho equipo fue donado gracias a una beca en equipos otorgada por la organización sin ánimo de lucro Idea Wild (ID: URBICOLOR0723-00), la cual dona equipos a personas que llevan a cabo investigaciones sobre la conservación de la biodiversidad.

Figura 10: Identificación morfológica y registro fotográfico de especímenes. Fuente: (Urbina-Martínez 2024).



Se realizaron montajes en seco y almacenamiento en húmedo, con su respectivo etiquetado que contenía información asociada al ejemplar como es el nombre del municipio de donde fue colectado, las coordenadas geográficas y altitud, método de colecta, fecha, nombre del colector y datos taxonómicos como lo es el orden, familia y especie.

Así mismo, se utilizaron las claves taxonómicas de Allan Smith Pardo, publicada en Colombia en el año 2008 (Smith, 2008), la guía taxonómica fotográfica de Luciano Costa, publicada en Brasil, en el año 2019 (Costa, 2019), el archivo tipo Darwin Core, publicado por el instituto Humboldt en el año 2021, obtenido de la página web del instituto Humboldt, y la guía taxonómica ilustrada de la Universidad Nacional de Colombia de abejas sociales sin aguijón publicada en el año 2023 (Flórez et al., 2023).

3.3. Análisis de datos

3.3.1. *Objetivo específico 1: Determinar la diversidad de polinizadores de la tribu*

Meliponini (Hymenoptera: Apidae)

Para determinar la diversidad de los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), se tomaron los datos de ocurrencias registrados en campo, donde se digitalizó en una matriz de Microsoft Excel con columnas donde se determinó el género y especie de cada morfotipo, y la cantidad capturada/observada de individuos y sus respectivas coordenadas geográficas de cada avistamiento.

Se inició estimando la diversidad de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) colectados en zonas de piedemonte y montaña, mediante los números de Hill o especies efectivas, el cual calcula las diversidades estimadas para muestras estandarizadas con un tamaño de muestra común o integridad de muestra con un tamaño de muestra común (Chao y Hsieh, 2016). Esto mediante el paquete estadístico iNEXT en el software gratuito R. Los resultados fueron graficados y tabulados, donde se observan los valores paramétricos “q”, abundancia y completitud del muestro, siendo q_0 = la riqueza, q_1 = especies abundantes o comunes y q_2 = dominancia; para cada ecosistema. La abundancia o “q = 1” se graficó de tal forma que se

detallara cada especie por ecosistema, esto nos indica el nivel de representatividad que tiene cada una de las especies en los dos ecosistemas, demostrando las comunes o atípicas.

De igual forma, se realizaron comparativos con los métodos de muestro, donde se compararon los métodos directo e indirecto con respecto a la abundancia colectada, en cada uno de los ecosistemas. Buscando evaluar la efectividad de dichos métodos de muestreo, bajo la prueba estadística de Kruskal-Wallis en el software R, donde se busca corroborar si existen diferencias relevantes a nivel estadístico entre dos o más variables independientes (Antonio, 2015).

Se calculó el índice de Jaccard en el software R, para los registros según el método de muestreo para cada zona, midiendo el índice de similitud entre muestreo directo en montaña, muestreo indirecto en montaña, muestreo directo en piedemonte y muestreo indirecto en piedemonte. Dichos datos se graficaron con un dendograma bajo el criterio de Morisita-Horn en el software R, buscando una mayor interpretación de los datos obtenidos (Morales, 2017).

3.3.2. *Objetivo específico 2: Establecer la distribución espacial y potencial de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae)*

3.3.2.1. Distribución espacial

La distribución espacial se realizó bajo el software de ArcMap en su versión 10.8 (GIS, 2010), tomando como base la georreferenciación obtenida mediante el sistema de posición global (GPS) en campo, utilizando el datum WGS84, donde se construyó un matriz que contenía el nombre científico con su respectiva coordenada geográfica (latitud y longitud) de cada ocurrencia. Para finalmente ser guardada esta matriz en un formato delimitado por comas o CSV, siendo este el formato admitido por ArcMap 10.8 (Panta, 2017).

Dichos datos se proyectaron con ayuda de los formatos ESRI shapefiles de los SIG, el primero es el de Municipios y Departamentos de Colombia (MinTIC,2022), que sirvió de base para elaboración de la capa base de los municipios de Saravena y Toledo, de los departamentos de Arauca y Norte de Santander, respectivamente.

Por otro lado, para el establecimiento de las ecorregiones de piedemonte y montaña, se utilizó el shapefile Global 200, publicado por el *World Wide Fund for Nature* (WWF), el cual contiene 238 ecorregiones, entre ellas las anteriormente dichas.

Al modelo final, se le realizó una interpolación conocida como estimación de densidad de Kernel con la herramienta *Kernel Density* del *ArcToolbox* de ArcMap 10.8, con un ancho de banda de 0,8333333 kilómetros cuadrados, estos *hot spots* o puntos calientes, definen la densidad y la extensión de las ocurrencias de los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) para generar una escala de color con las áreas de mayor ocurrencia de las mismas.

3.3.2.2. Distribución potencial

3.3.2.2.1. *Procesamiento de las variables predictorias.*

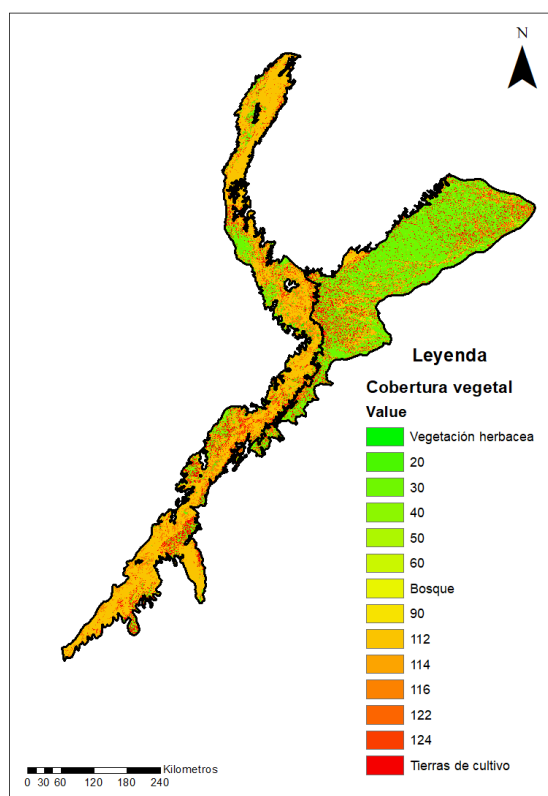
Para una correcta homogenización de los datos empleados en la elaboración del modelo de distribución potencial, se proyectaron en coordenadas UTM WGS84 y con una resolución de pixel de 0,8333333 kilómetros cuadrados, las siguientes variables:

- Variables continuas: conformadas por 23 capas bioclimáticas, 19 extraídas de Worldclim/Bioclim; BIO1 = Temperatura media anual, BIO2 = Rango diurno medio (Media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima)), BIO3 = Isotermalidad ($BIO2 / BIO7$) ($\times 100$), BIO4 = Estacionalidad de temperatura (desviación estándar $\times 100$), BIO5 = Temperatura máxima del mes más cálido,

BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío, BIO7 = Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6), BIO8 = Temperatura media del trimestre más húmedo, BIO9 = Temperatura media del trimestre más seco, BIO10 = Temperatura media del trimestre más cálido, BIO11 = Temperatura media del trimestre más frío, BIO12 = Precipitación anual, BIO13 = Precipitación del mes más húmedo, BIO14 = Precipitación del mes más seco, BIO15 = Temporada de precipitación (Coeficiente de variación), BIO16 = Precipitación del trimestre más húmedo, BIO17 = Precipitación del trimestre más seco, BIO18 = Precipitación del trimestre más cálido, BIO19 = Precipitación del trimestre más frío. La capa raster de radiación solar y velocidad del viento, se obtuvieron del proyecto *Power* de la agencia estadounidense de Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA). Las dos capas restantes corresponden a altitud y humedad relativa, las cuales fueron tomadas en campo.

- Variables categóricas: Se empleó la capa de Cobertura terrestre 2019 (ráster de 100m), global, anual – versión 3 del programa de la Unión Europea, bajo el nombre de Copernicus. Donde se determinó la cobertura vegetal y su densidad para las ecorregiones de piedemonte y montaña (Figura 11).

Figura 11. Coberturas vegetales junto a su densidad de las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024)



3.3.2.2.2. Preparación de los registros de presencia

Mediante el software Excel, se organizó la información de cada especie en tres columnas, nombre de la especie, coordenada longitud en la columna X y la coordenada latitud en la columna Y. Para seguidamente ser guardados en formato “.csv” delimitado por comas.

3.3.2.2.3. Preparación de las variables del modelo

En el software ArcMap 10.8 se utilizó la herramienta “*Extract by mask*” con una resolución de 0,8333333 kilómetros cuadrados; se delimitaron las capas de entrenamiento de las variables con las dimensiones de las áreas de piedemonte y montaña, obtenidas del shapefile Global 200. Las capas raster resultantes se guardaron en el formato ASCII “.asc” con el uso de la

herramienta “*Conversion tools*” del *ArcToolbox*, para que sean compatibles con el software *Maximum Entropy Species Distribution Modeling* “MaxEnt”, en su versión 3.4.4.

3.3.2.2.4. *Elaboración del modelo de distribución potencial*

Se procedió a subir los registros de presencia y las variables predictorias en el software libre MaxEnt en su versión 3.4.4.

Se configuro el software MaxEnt en su versión 3.4.4, para las nueve especies con los siguientes parámetros que no estaban preestablecidos:

Se activaron las opciones de:

- “*Create response curve*”: Las cuales indican la afectación de cada variable al modelo predictor.
- “*Do Jackknife to measure variable importance*”: Indica, que variable aportó más significativamente al modelo, de forma independiente.
- “*Random seed*”: Para que las repeticiones no utilicen el mismo conjunto de datos.
- Formato de salida: “*Raw*”: Para obtener el resultado del modelo exponencial de MaxEnt, lo más puro posible.
- Realizar 10 réplicas a cada modelo (enumeradas de cero a nueve), sumado a esto, obtener la media, mínima y desviación estándar de los datos de salida.
- Porcentaje de prueba aleatoria del 20%, los cuales se utilizan para entrenar el modelo y evaluarlo; los cuales se obtienen de los datos de entrada.
- El tipo de ejecución de las réplicas se realizará mediante el método *Bootstrap*, ya que es un método que optimiza los modelos con pocas ocurrencias, porque

permite a MaxEnt probar el modelo con ocurrencias que pueden haberse utilizado para entrenar el modelo

- Detener los datos de entrenamiento con un máximo de 1.000 interacciones

3.3.2.2.5. Evaluación de los modelos de distribución potencial

El desempeño de los modelos obtenidos por MaxEnt se evaluó calculando los errores de comisión y omisión en el área bajo la curva (AUC) de la curva ROC ("*Receiver Operating Characteristic*"), la cual se estima utilizando los valores de la distribución representativa del área bajo la curva (AUC) del rendimiento del modelo. El área bajo la curva (AUC) varía de 0 a 1, cuanto más cerca esté el valor del AUC de 1, quiere decir que el modelo tiene un buen desempeño, por el contrario, el rendimiento del modelo es cercano o inferior a 0.5, significa que la cantidad de información en el modelo no es mayor que la obtenida por casualidad, y generalmente se considera que valores superiores a 0.75 indican un buen ajuste del modelo (Navarrete, 2019).

3.3.2.3. Colinealidad entre las variables

Para determinar si existe o no colinealidad entre las variables predictoras, se les realizó a las variables que aportan positivamente a cada uno de los modelos una prueba de coeficiente de correlación lineal de Pearson. Se realizó en el software de hojas de cálculo gratuito Microsoft Excel, con la función estadística "COEF.DE.CORREL".

El resultado de dicha prueba, se interpreta según el contexto del estudio, en este caso, al utilizar variables predictoras de Worldclim que están correlacionadas entre sí, no se le otorga mayor importancia a la colinealidad que tienen las 19 variables bioclimáticas entre sí (Dagnino, 2019).

Por otro lado, si se tiene en cuenta la colinealidad de las demás variables como temperatura, humedad relativa, altitud, velocidad del viento y radiación solar. Resultados por debajo de 0,75; determinan que las variables predictoras no exhiben un grado alto de dependencia entre sí (Dagnino, 2019).

3.3.3. *Objetivo específico 3: Diseñar estrategias de conservación para polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae)*

Para el diseño de estrategias de conservación de conservación de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), se determinaron las zonas con mayor densidad o *hot spots*, de los modelos de distribución potenciales obtenidos del segundo objetivo específico del presente trabajo.

Para determinar los *hot spots*, se solaparon las capas ráster de distribución potencial de cada especie en el software ArcMap 10.8, cada ráster con una transparencia del 50% y así, identificar los *hot spot* o puntos calientes de las zonas idóneas; y con la ayuda del mismo ArcMap 10.8 se calculó el área en hectáreas. El modelo se proyectó con los shapefile de veredas de Colombia (Esri Colombia, 2020), parques nacionales de Colombia (Registro Único Nacional de Áreas Protegidas, 2017), municipios y departamentos de Colombia (MinTIC, 2022), y resguardos indígenas legalizados de Colombia (Agencia Nacional de Tierras - Dirección de Asuntos Étnicos, 2022).

Los pilares de las estrategias de conservación que se plantearon en el presente trabajo, se fundamentaron en la Iniciativa Colombiana de Polinizadores-Capítulo Abejas (ICPA), organizada por el Instituto Humboldt y el Laboratorio de Investigación de Abejas de la Universidad Nacional de Colombia (LABUN) en el año 2010; en el presente se discutieron cuatro líneas de trabajo en el

marco de la formulación de ese plan de acción, con base en la Iniciativa Internacional para la Conservación y el Uso Sostenible de los Polinizadores, a saber:

- a) Conocimiento, conservación y restauración de la función de la polinización.
- b) Uso y manejo de polinizadores.
- c) Educación, divulgación y participación comunitaria.
- d) Valoración de servicio de polinización.

Para las veredas ubicadas en las ecorregiones de piedemonte y montaña, bajo la jurisdicción de los municipios de Saravena (Arauca), Toledo (Norte de Santander) y Cubará (Boyacá), se diseñaron estrategias de conservación enfatizadas en las siguientes amenazas que han conllevado a la degradación del nicho fundamental de las abejas de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae).

- a) Falencias en la educación ambiental.
- b) Deforestaciones.
- c) Agricultura intensiva.

4. Resultados

4.1. Objetivo específico 1: Determinar la diversidad de polinizadores de la tribu

Meliponini (Hymenoptera: Apidae)

Se registraron un total de 17.243 especímenes de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) distribuidos en seis géneros y nueve especies. La especie con mayor representación fue *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) con una fracción del 40,06% de la muestra (Figura 12, A), seguidamente tenemos a *Scaptotrigona* sp. (Moure, 1942) con 17,43% (Figura 12, B), *Trigona amalthea* (Olivier, 1789) con 11,08% (Figura 12, C), *Melipona ebúrnea* (Friese, 1900) con 9,39% (Figura 12, D), *Trigona fulviventris* (Guérin-Ménéville, 1845) con 9,31% (Figura 12, E), *Frieseomelitta paupera* (Provancher, 1888) con 6,94% (Figura 12, F), *Tetragona* sp. (Friese, 1900) con 2,51% (Figura 12, G), *Melipona favosa* (Fabricius, 1798) con 1,73% (Figura 12, H) y finalmente tenemos a, *Melipona compressipes* (Fabricius, 1804) con el 1,50% (Figura 12, I).

Figura 12 Morfotipos de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) colectados: A) Tetragonisca angustula, B) Scaptotrigona sp, C) Trigona amalthea, D) Melipona eburnea, E) Trigona fulviventris, F) Frieseomelitta paupera, G) Tetragona sp., H) Melipona favosa, I) Melipona compressipes. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).







De las especies registradas, dos obtuvieron la categoría nacional de vulnerabilidad según el libro rojo de los invertebrados de Colombia (Amat, 2007) siendo estas las especies *M. eburnea* y *M. favosa*.

Se estimó la diversidad de polinizadores de la tribu Meliponini colectados en las zonas de piedemonte y montaña mediante el paquete iNEXT en el software gratuito R, el cual calcula las diversidades estimadas para muestras estandarizadas con un tamaño de muestra común o integridad de muestra con un tamaño de muestra común (Chao y Hsieh, 2016).

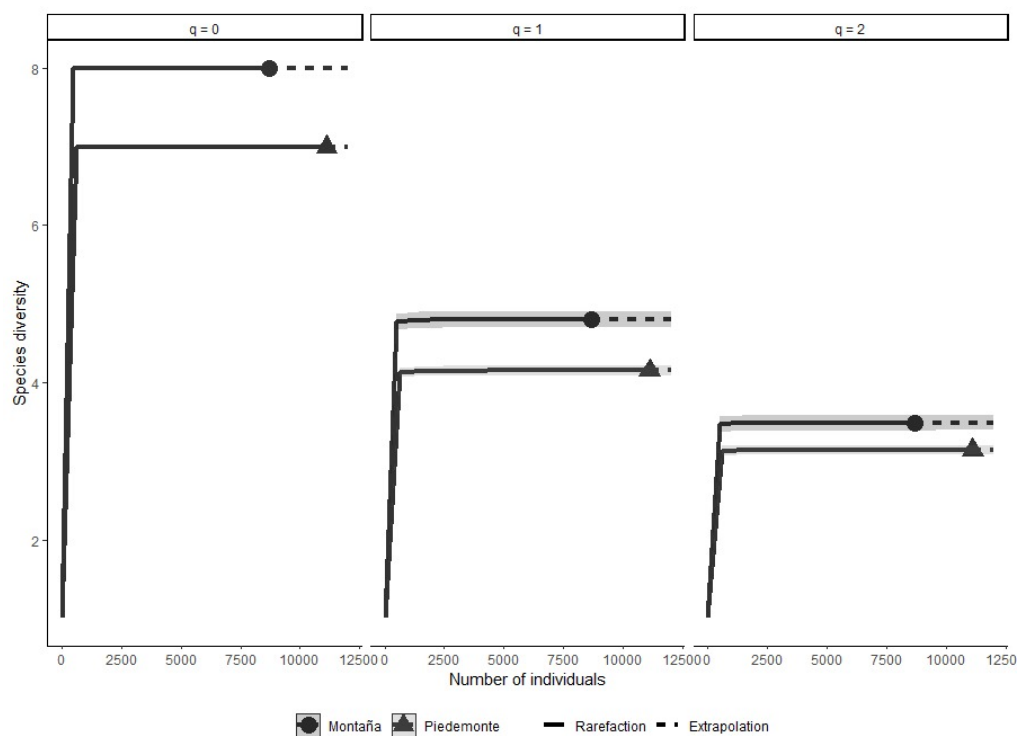
La zona de montaña registró un total de 6.141 individuos pertenecientes a ocho especies, mientras que, la zona de piedemonte 11.102 individuos pertenecientes a siete especies, la Figura 13 se representan gráficamente los valores estimados para el parámetro “q” registrados en la Tabla 1, con base en la riqueza de abundancia de las zonas muestreadas, de la cual se resalta la completitud del muestreo estimada para los dos tipos de zonas de 1, es decir, el tamaño de la muestra es representativo para realizar inferencias de la población estadística. Con base en el parámetro “q” cuando toma el valor de cero, la zona de montaña registra una especie efectiva más que las registradas en piedemonte, con respecto a la diversidad típica o número efectivo de especies comunes ($q=1$) la zona de montaña es 0.15 veces más diversa que la zona de

pie demonte, por último, la zona de montaña es 0.11 veces más diversa en términos de especies efectivas dominantes ($q=2$).

Tabla 1 Especies efectivas calculadas para los valores del parámetro “q”, abundancia y completitud del muestreo

Alpha		Montaña	Piedemonte
q	0	8	7
	1	4.15	4
	2	3.49	3.38
Tamaño de la muestra		6141	11102
Completitud		1	1

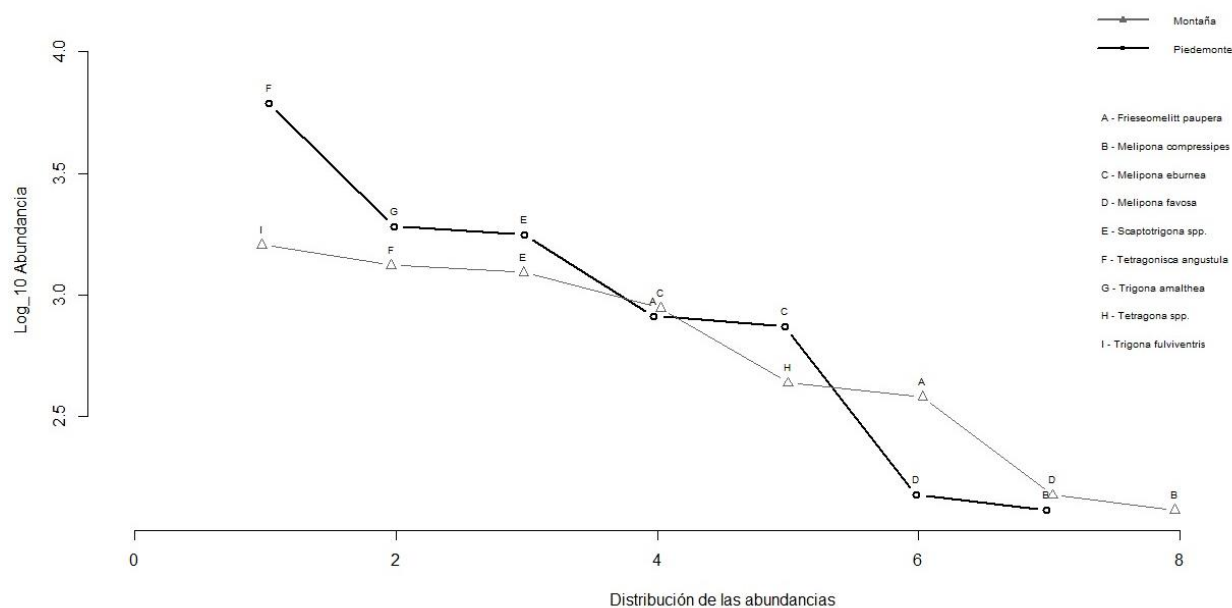
Figura 13 Representación gráfica de los números de Hill cuando el parámetro “q” equivale a 0, 1 y 2.



La distribución de las abundancias de las especies registradas en las dos zonas muestreadas revela patrones distintivos. En la zona de piedemonte, se observa un número significativamente mayor de especímenes, con *T. angustula*, *T. amalthea* y *Scaptotrigona* sp. destacando como las especies dominantes. Por otro lado, en la zona de montaña, *T. fulviventrís* emerge como la especie principal, seguida de cerca por *T. angustula* y *Scaptotrigona* sp. Es importante señalar que, a diferencia de la zona de piedemonte, en la zona de montaña, *T. amalthea* no presenta registros (Figura 14).

En ambas zonas, se destaca la presencia de *M. compressipes* junto a *M. favosa*, con pocos registros que las categorizan como especies raras, y se distribuyen en proporciones similares en ambos entornos.

Figura 14 Abundancia registrada por método de muestreo en la zona de Piedemonte y montaña.



Como se parecía en la Figura 15 y Figura 16, el método directo obtuvo un mayor número de registros con respecto al indirecto. Estas diferencias de abundancia son significativas (Kruskal-Wallis= 0.0008), y permiten discriminar dos grupos, uno formado de los métodos

directos de las zonas de piedemonte y montaña, y otro, formado por los métodos indirectos de las zonas de piedemonte y montaña.

Figura 15 Abundancia registrada por método de muestreo en la zona de Piedemonte

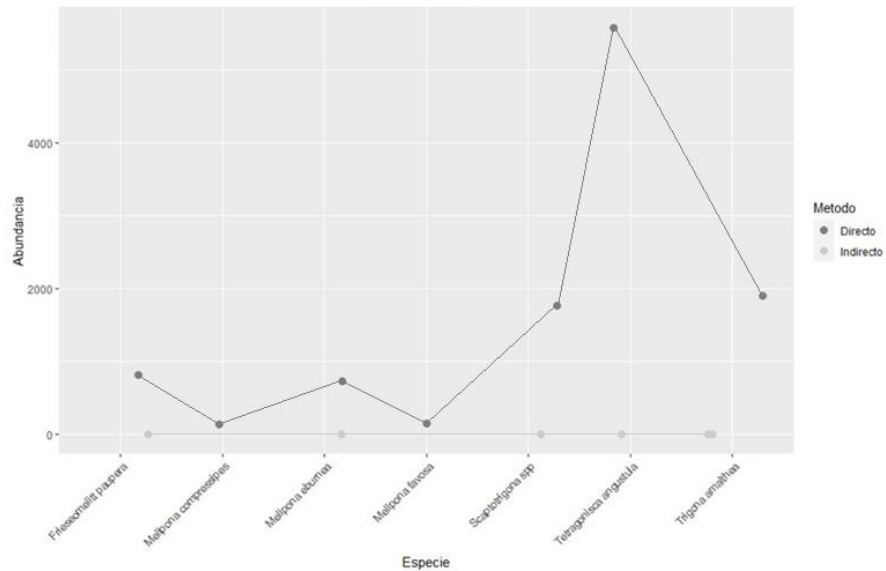


Figura 16 Abundancia registrada por método de muestreo en la zona de montaña.

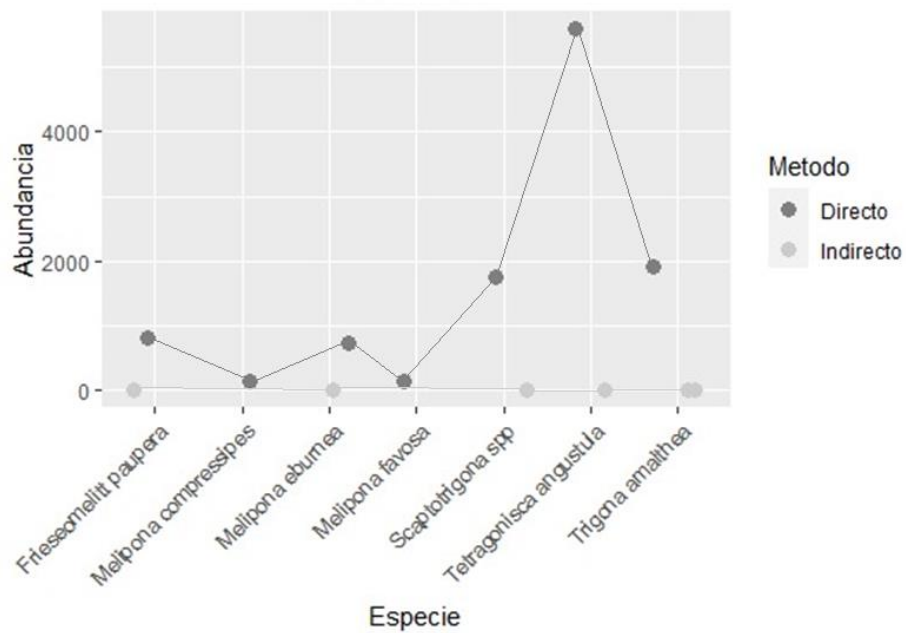
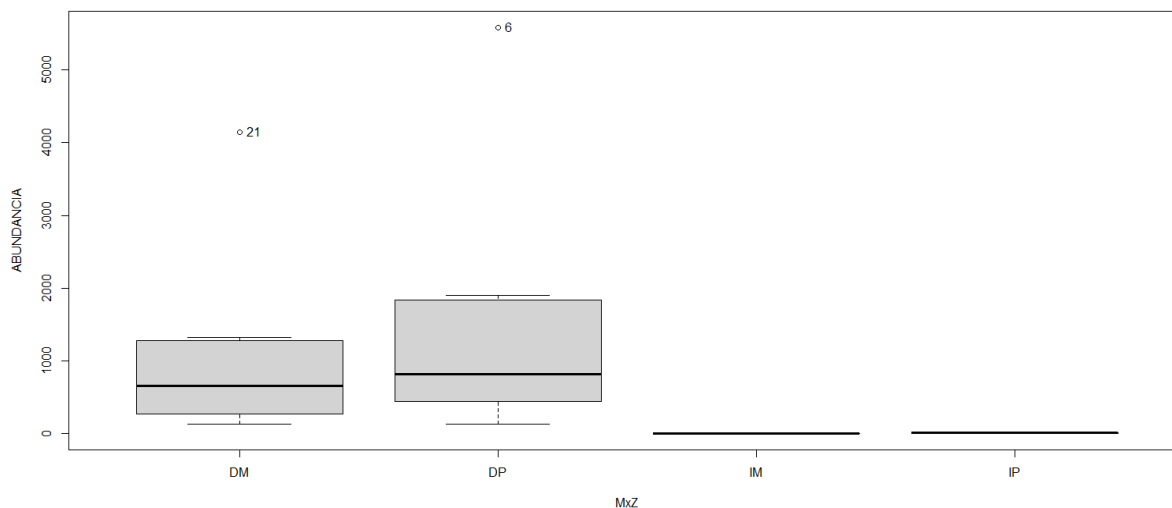


Figura 17 Diagramas de caja de las abundancias registradas por método por zona (MxZ) donde: DM= método directo montaña; DP= método directo piedemonte; IM= método indirecto montaña y IP= método indirecto piedemonte.

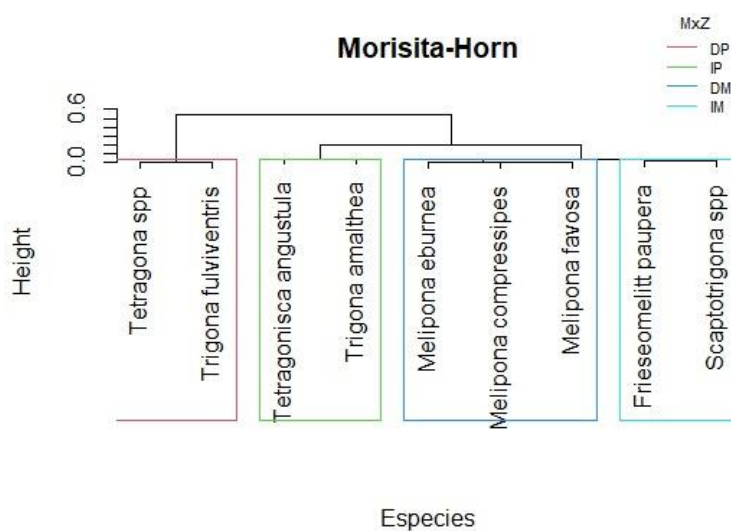


Se calculó el índice de Jaccard para los registros según el método de muestreo para cada zona, donde los grupos comparten el 37% de las especies registradas en IM, DM por su parte comparte el 66% de las especies con la agrupación conformada por DP e IP, los cuales comparten el 71% de las especies registradas (Tabla 2). El índice de Morisita-Horn, permite observar la sensibilidad de los métodos de muestreo hacia las especies registradas, donde *Tetragona sp.* y *T. fluviventris* tuvieron una mejor respuesta en el método directo en la zona de piedemonte; *T. angustula* y *T. amalthea* en el método indirecto en la zona de piedemonte; *M. eburnea*, *M. compressipes* y *M. favosa* en el método directo en montaña, por último, *F. paupera* y *Scaptotrigona sp.* en el método indirecto en montaña (Figura 18).

Tabla 2 Índice de Jaccard calculado para los tipos de muestreo por zona. dónde: DM= método directo montaña; DP= método directo piedemonte; IM= método indirecto montaña y IP= método indirecto piedemonte

Índice de Jaccard				
	DM	DP	IM	IP
DM	1	0,66	0,37	0,44
DP	0,66	1	0,25	0,71
IM	0,37	0,25	1	0,33
IP	0,44	0,71	0,33	1

Figura 18 Dendograma de similitud bajo el criterio de Morisita-Horn para las abundancias registradas por método por zona (MxZ) donde: DM= método directo montaña; DP= método directo piedemonte; IM= método indirecto montaña y IP= método indirecto piedemonte



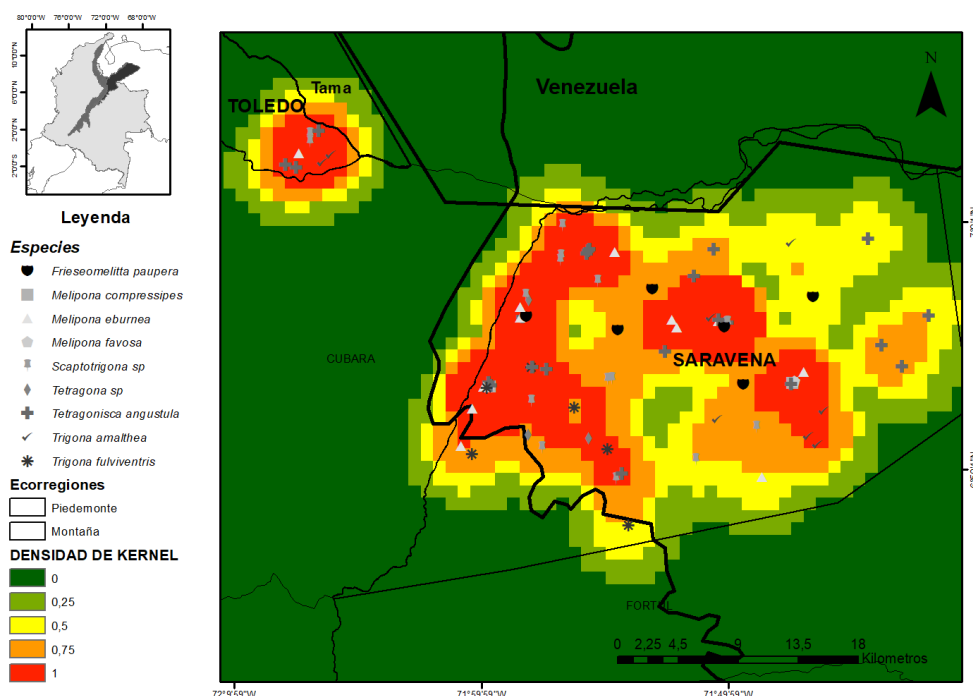
4.2.Objetivo específico 2: Establecer la distribución espacial y potencial de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae)

4.2.1. Distribucion espacial

Para este analisis se utilizaron los 78 registros georreferenciados en campo, 49 correspondientes a la ecorregion de Piedemonte y los 29 restantes pertenecientes a la ecorregion de Montaña; distribuyendose de forma agrupada, entorno a zonas de vegetacion conservadas. No se lograron obtener registros en linea, ya que organizaciones como la *Global Biodiversity Information Facility* “GBIF”, carecen de registros de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) en dichas zonas de piedemonte y montaña en los municipios Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander.

El modelo de distribución espacial resultante (Figura 19) ilustra la relación que existe entre la especie y su ambiente (Krebs, 1985), considerando estas zonas, como la suma de los factores bióticos y abióticos, que predisponen el nicho realizado (Hutchinson, 1957) para los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) en dichas zonas de Piedemonte y Montaña en los municipios Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander.

Figura 19 Distribución espacial de los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), en zonas de piedemonte y montaña en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).



El *hot spot* resultante de la estimación de la densidad de Kernel nos ilustra en una escala de colores que van desde verde (densidad baja) y rojo (densidad alta), las áreas donde es mayor la probabilidad de encontrar polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) siendo estas las áreas con mayor accesibilidad para las mismas gracias al grado de idoneidad que tiene esta área para su nicho fundamental. Las áreas idóneas según la densidad de Kernel (≥ 0.25) para la proliferación de los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) corresponde a 11.357 hectáreas de piedemonte y 5.399 hectáreas de montaña en el municipio de Saravena (Arauca), estas últimas pertenecientes al Resguardo Indígena de la comunidad U'wa, 3.362 hectáreas de montaña en el municipio de Toledo (Norte de Santander), de estas, 2.387 hectáreas se ubican en el parque nacional Tamá, correspondiente al 4,67% del área total destinada a la

preservación de la biodiversidad; igualmente se delimitaron áreas del municipio de Cubará (Boyacá), correspondientes a 4.000 hectáreas de piedemonte y 5.500 hectáreas de montaña.

La distribución aleatoria de los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), se ve representada por las siguientes especies: *T. angustula* con el 28,2%, *Scaptotrigona* sp. con el 21,79%, *M. ebúrnea* con el 15,38%, *T. amalthea* con el 10,25%, *F. paupera* y *T. fulviventris* con el 7,69%, *Tetragona* sp. con el 3,84%, y *M. compressipes* y *M. favosa* con el 2,56%, de los registros de coordenadas geográficas obtenidas en campo.

4.2.2. Distribución potencial

4.2.2.1. *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811)

Para el modelo de distribución potencial de la especie *T. angustula*, se utilizó la réplica número cuatro, la cual reflejaba un mejor desempeño del modelo con respecto a lo observado en campo y se realizó con datos de ocurrencias registradas entre los 185 y 705 m.s.n.m., como se observa en la Figura 20.

El área bajo la curva del modelo (AUC) de prueba promedio para las ejecuciones repetitivas fue igual a $0,997 \pm 0,001$ SD, evidenciando que el desempeño del modelo es bueno prediciendo la idoneidad de hábitat para esta especie ($AUC > 0,5$).

Según la prueba de Jackknife (Tabla 3) las variables que más aportaron a la ganancia del modelo de idoneidad para *T. angustula* estuvieron relacionadas con la temperatura y altitud.

Figura 20. Distribución potencial de *T. angustula* en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

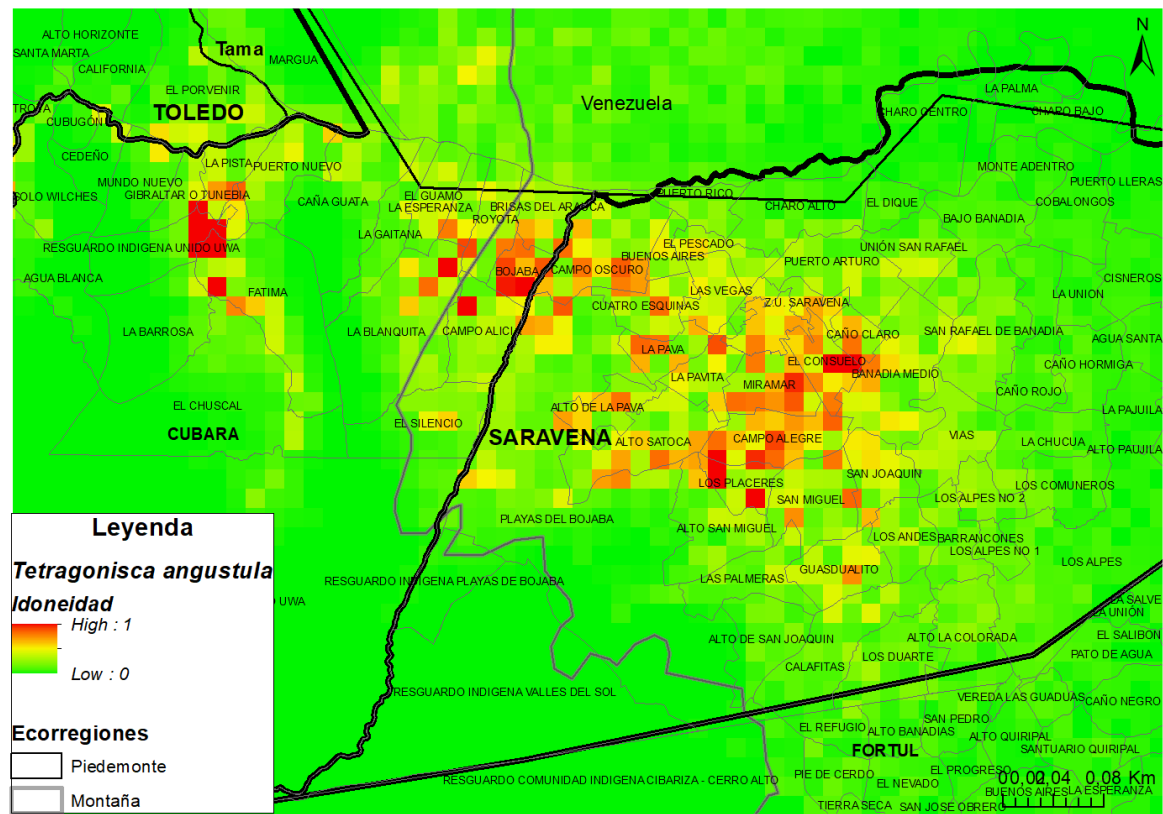


Tabla 3. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para *T. angustula* Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

Variable	Porcentaje de contribución al modelo
Isotermalidad	41.9%
Rango medio diurno (Media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))	21.1%
Altitud	13,9%

Vegetación	9,6%
Precipitación del mes más seco	6,5%
Precipitación anual	5,5%
Estacionalidad de la temperatura	1,5%
(desviación estándar × 100)	

La altitud inferior a los 1.800 m.s.n.m (Nates-Parra, 2001) y isoterminia, que trata la homogeneidad térmica, afectaron positivamente el modelo y el aumento de las precipitaciones anuales, afecta de forma negativa el rendimiento del modelo para la especie *Tetragonisca angustula*.

4.2.2.1.1. Colinealidad para el modelo predictivo de *Tetragonisca angustula*

Al realizar la prueba de coeficiente de correlación lineal de Pearson, a las variables predictivas que aportaron ganancias al modelo de distribución potencial de la especie *T. angustula*, se concluyó que no existe una colinealidad alta entre las variables diferentes a las establecidas por Worlclim, siendo esta la altitud; ya que estas fueron menores a 0,75 y se observan en la Tabla 4

Tabla 4. Coeficiente de correlación lineal de Person - *T. angustula*

	Altitud	Bio2	Bio3	Bio4	Bio12	Bio14
Altitud	1	-0,7387487	0,7300626	-0,56825373	-0,08354125	0,61865331
Bio2	-0,7387487	1	-0,42034592	0,83873734	0,36138072	-0,14746037
Bio3	0,7300626	-0,42034592	1	-0,55445562	0,14696306	0,68255943
Bio4	-0,56825373	0,83873734	-0,55445562	1	0,40582189	-0,09203174
Bio12	-0,08354125	0,36138072	0,14696306	0,40582189	1	0,44147588
Bio14	0,61865331	-0,14746037	0,68255943	-0,09203174	0,44147588	1

4.2.2.2. *Scaptotrigona sp.* (Moure,1942)

Para el modelo de distribución potencial de la especie *Scaptotrigona sp.*, se utilizó la réplica número cero, la cual reflejaba un mejor desempeño del modelo con respecto a lo observado en campo y se realizó con datos de ocurrencias registradas entre los 196 y 690 m.s.n.m., como se observa en la Figura 21.

El área bajo la curva del modelo (AUC) de prueba promedio para las ejecuciones repetitivas fue igual a $0,996 \pm 0,001$ SD, evidenciando que el desempeño del modelo es bueno prediciendo la idoneidad de hábitat para esta especie ($AUC > 0,5$).

Según la prueba de Jackknife (Tabla 5) las variables que más aportaron a la ganancia del modelo de idoneidad para *Scaptotrigona sp.*, estuvieron relacionadas con la temperatura y altitud.

Figura 21. Distribución potencial de *Scaptotrigona sp.* en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

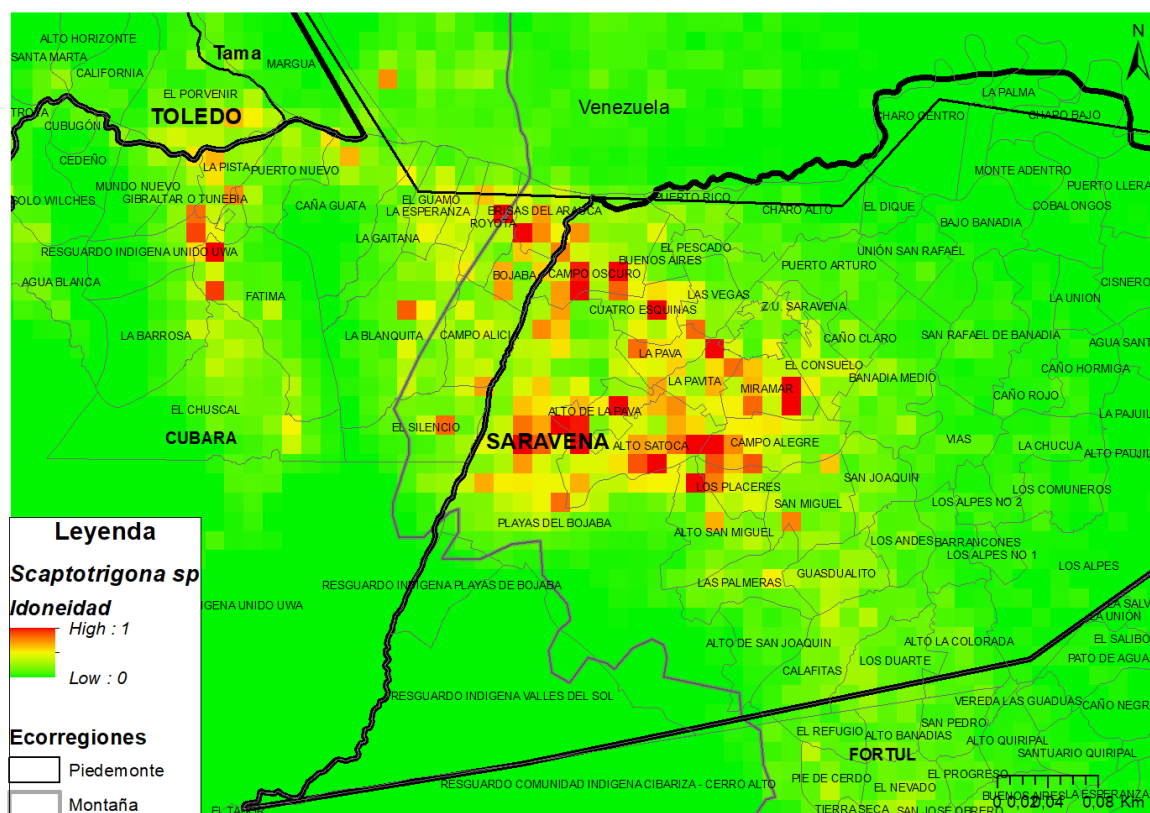


Tabla 5. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para Scaptotrigona sp. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

Variable	Porcentaje de contribución al modelo
Isotermalidad	55,4%
Altitud	12,8%
Rango medio diurno (Media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))	12,6%
Precipitación del trimestre más frío	7,5%
Vegetación	7,4%
Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)	3,2%
Temperatura mínima del mes más frío	1%
Viento	0,1%

La homogeneidad en la temperatura (isotermalidad) y vegetación boscosa, fueron las variables que afectaron positivamente la predicción del modelo para *Scaptotrigona sp.*, por otro lado, el viento influye desfavorable en la predicción del modelo.

4.2.2.2.1. Colinealidad para el modelo predictivo de *Scaptotrigona sp.*

Al realizar la prueba de coeficiente de correlación lineal de Pearson, a las variables predictivas que aportaron ganancias al modelo de distribución potencial de la especie *Scaptotrigona sp.*, se concluyó que no existe una colinealidad alta entre las variables diferentes a las establecidas por Worldclim, siendo estas la altitud y la velocidad del viento; ya que estas fueron menores a 0,75 y se observan en la Tabla 6

Tabla 6. Coeficiente de correlación lineal de Person - *Scaptotrigona sp.*

	Altitud	Viento	Bio2	Bio3	Bio6	Bio15	Bio19
Altitud	1	-0,44433017	-0,90127107	0,71017358	-0,92540355	-0,28330236	-0,12798591
Viento	-0,44433017	1	0,61883169	-0,64183493	0,46751807	0,50010191	-0,22964765
Bio2	-0,90127107	0,61883169	1	-0,7897723	0,95359177	0,2948156	0,25768938
Bio3	0,71017358	-0,64183493	-0,7897723	1	-0,79008797	-0,48262913	-0,08875739
Bio6	-0,92540355	0,46751807	0,95359177	-0,79008797	1	0,24800411	0,21387458
Bio15	-0,28330236	0,50010191	0,2948156	-0,48262913	0,24800411	1	0,11269038
Bio19	-0,12798591	-0,22964765	0,25768938	-0,08875739	0,21387458	0,11269038	1

4.2.2.3. *Trigona amalthea* (Olivier, 1789)

Para el modelo de distribución potencial de la especie *T. amalthea*, se utilizó la réplica número cinco, la cual reflejaba un mejor desempeño del modelo con respecto a lo observado en campo y se realizó con datos de ocurrencias registradas entre los 187 y 345 m.s.n.m., como se observa en la Figura 22.

El área bajo la curva del modelo (AUC) de prueba promedio para las ejecuciones repetitivas fue igual a $0,998 \pm 0,001$ SD, evidenciando que el desempeño del modelo es bueno prediciendo la idoneidad de hábitat para esta especie ($AUC > 0,5$).

Según la prueba de Jackknife (Tabla 7) las variables que más aportaron a la ganancia del modelo de idoneidad para *T. amalthea* estuvieron relacionadas con la temperatura y altitud.

Figura 22. Distribución potencial de *T. amalthea* en las ecorregiones de piedemonte y montaña.
Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

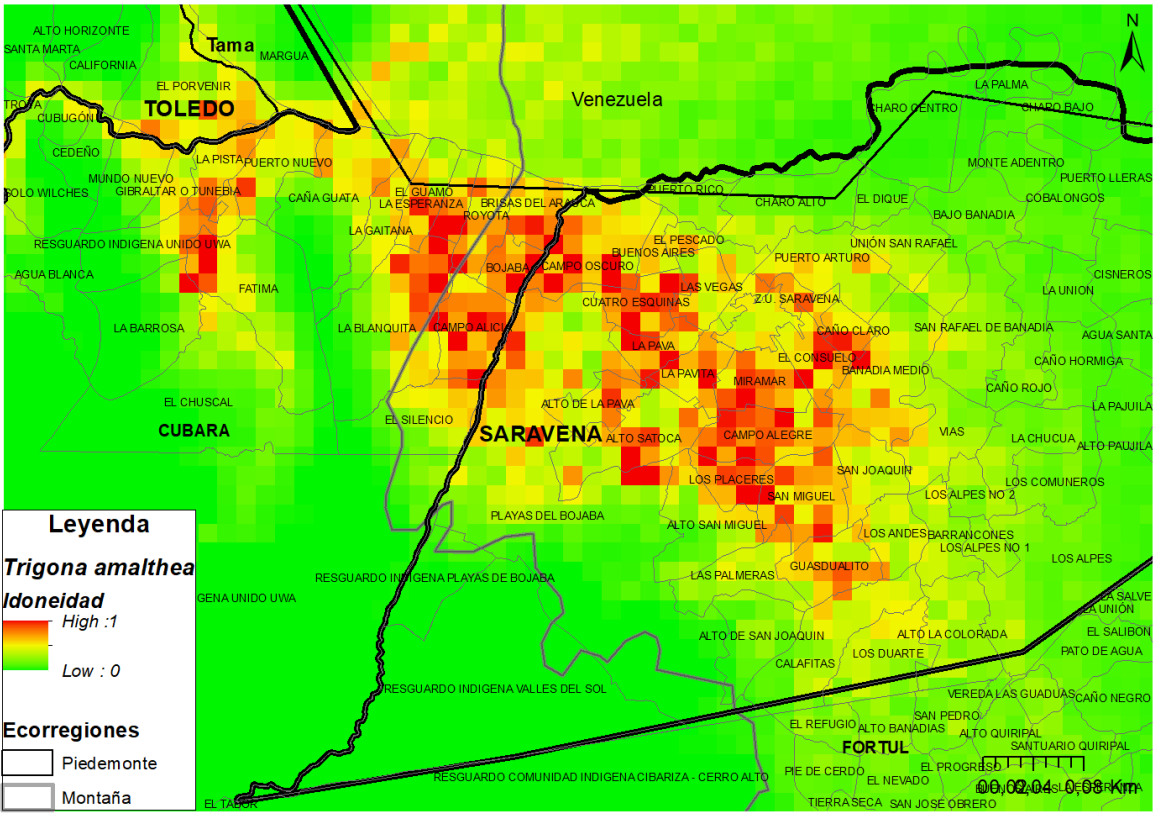


Tabla 7. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para *T. amalthea*. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

Variable	Porcentaje de contribución al modelo
Isotermalidad	56,7%
Altitud	28,9%
Rango medio diario (Media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))	13,8%

Precipitación del mes más lluvioso	0,2%
Vegetación	0,2%
Radiación Solar	0,2%

La homogeneidad en la temperatura (isotermalidad) y la altitud inferior a 2.640 m.s.n.m. (García, 2023), afectaron positivamente el modelo y el aumento en el valor de factores como la precipitación y radiación solar, afectan negativamente el modelo para la especie *T.amalthea*.

4.2.2.3.1. Colinealidad para el modelo predictivo de *Trigona amalthea*

Al realizar la prueba de coeficiente de correlación lineal de Pearson, a las variables predictivas que aportaron ganancias al modelo de distribución potencial de la especie *T. amalthea*, se concluyó que no existe una colinealidad alta entre las variables diferentes a las establecidas por Worldclim, siendo estas la altitud y radiación solar; ya que estas fueron menores a 0,75 y se observan en la Tabla 8

Tabla 8. Coeficiente de correlación lineal de Person - *T. amalthea*

	Altitud	Radiación solar	Bio2	Bio3	Bio13
Altitud	1	0,09312737	-0,7336303	0,8992086	-0,62722931
Radiación solar	0,09312737	1	-0,58883107	0,06139901	-0,12944192
Bio2	-0,7336303	-0,588831068	1	-0,51134374	0,80630692
Bio3	0,8992086	0,061399013	-0,51134374	1	-0,25174262
Bio13	-0,62722931	-0,129441922	0,80630692	-0,25174262	1

4.2.2.4. *Melipona eburnea* (Friese, 1900)

Para el modelo de distribución potencial de la especie *M. eburnea*, se utilizó la réplica número dos, la cual reflejaba un mejor desempeño del modelo con respecto a lo observado en campo y se realizó con datos de ocurrencias registradas entre los 198 y 680 m.s.n.m., como se observa en la Figura 23.

El área bajo la curva del modelo (AUC) de prueba promedio para las ejecuciones repetitivas fue igual a $0,998 \pm 0,001$ SD, evidenciando que el desempeño del modelo es bueno prediciendo la idoneidad de hábitat para esta especie ($AUC > 0,5$).

Según la prueba de Jackknife (Tabla 9) las variables que más aportaron a la ganancia del modelo de idoneidad para *M. eburnea* estuvieron relacionadas con la temperatura y altitud.

Figura 23. Distribución potencial de *M. eburnea* en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

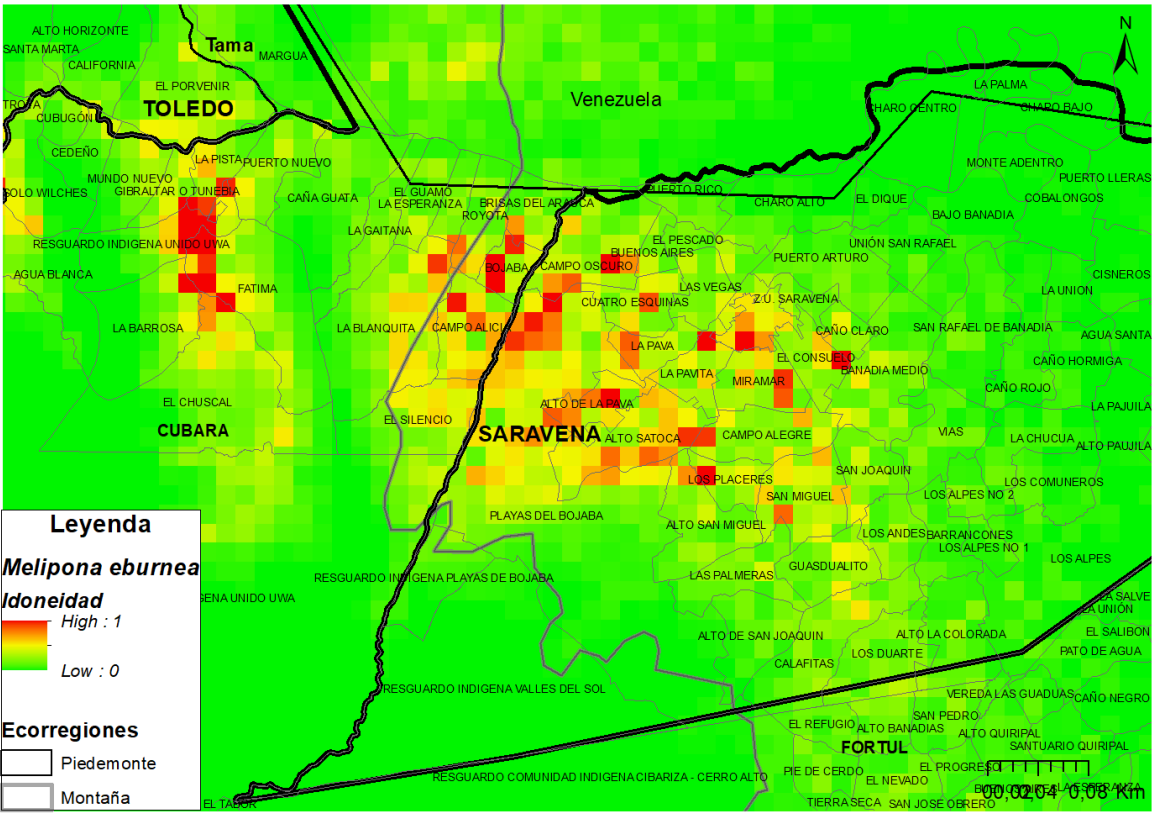


Tabla 9. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para *M. eburnea*. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

Variable	Porcentaje de contribución al modelo
Isotermalidad	57,5%
Rango medio diurno (Media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))	21,9%
Altitud	12,4%

Precipitación del mes más lluvioso	3,5%
Precipitación anual	2,3%
Vegetación	2%
Viento	0,1%
Precipitación del trimestre más seco	0,1%

La homogeneidad en la temperatura (isotermalidad) y la altitud inferior a 2.100 m.s.n.m. (Nates-Parra, 2001), afectaron positivamente el modelo y el aumento en el valor de factores como el viento y la precipitación, afectan negativamente el modelo para la especie *M. eburnea*.

4.2.2.4.1. Colinealidad para el modelo predictivo de *Melipona eburnea*

Al realizar la prueba de coeficiente de correlación lineal de Pearson, a las variables predictivas que aportaron ganancias al modelo de distribución potencial de la especie *M. eburnea*, se concluyó que no existe una colinealidad alta entre las variables diferentes a las establecidas por Worldclim, siendo estas la altitud y velocidad del viento; ya que estas fueron menores a 0,75 y se observan en la Tabla 10

Tabla 10. Coeficiente de correlación lineal de Person - *M. eburnea*

	Altitud	Viento	Bio2	Bio3	Bio12	Bio13	Bio17
Altitud	1	-0,42465565	-0,90835357	0,67134954	0,641558511	0,49576071	0,80102717
Viento	-0,42465565	1	0,39403805	-0,48373646	-0,27169374	-0,00136376	-0,63175937
Bio2	-0,90835357	0,39403805	1	-0,83396115	-0,49278482	-0,33573578	-0,59415172
Bio3	0,67134954	-0,48373646	-0,83396115	1	0,49174257	0,26084738	0,71620195
Bio12	0,64155851	-0,27169374	-0,49278488	0,49174286	1	0,70170752	0,5744179
Bio13	0,49576071	-0,00136376	-0,33573578	0,26084738	0,701707521	1	0,27399733
Bio17	0,80102717	-0,63175937	-0,59415172	0,71620195	0,574417901	0,27399733	1

4.2.2.5. *Trigona fulviventris* (Guérin-Méneville, 1845)

Para el modelo de distribución potencial de la especie *T. fulviventris*, se utilizó la réplica número cuatro, la cual reflejaba un mejor desempeño del modelo con respecto a lo observado en campo y se realizó con datos de ocurrencias registradas entre los 389 y 610 m.s.n.m., como se observa en la Figura 24.

El área bajo la curva del modelo (AUC) de prueba promedio para las ejecuciones repetitivas fue igual a $0,998 \pm 0$ SD, evidenciando que el desempeño del modelo es bueno prediciendo la idoneidad de hábitat para esta especie ($AUC > 0,5$).

Según la prueba de Jackknife (Tabla 11) las variables que más aportaron a la ganancia del modelo de idoneidad para *T. fulviventris* estuvieron relacionadas con la temperatura, precipitación y altitud.

Figura 24. Distribución potencial de *T. fulviventris* en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

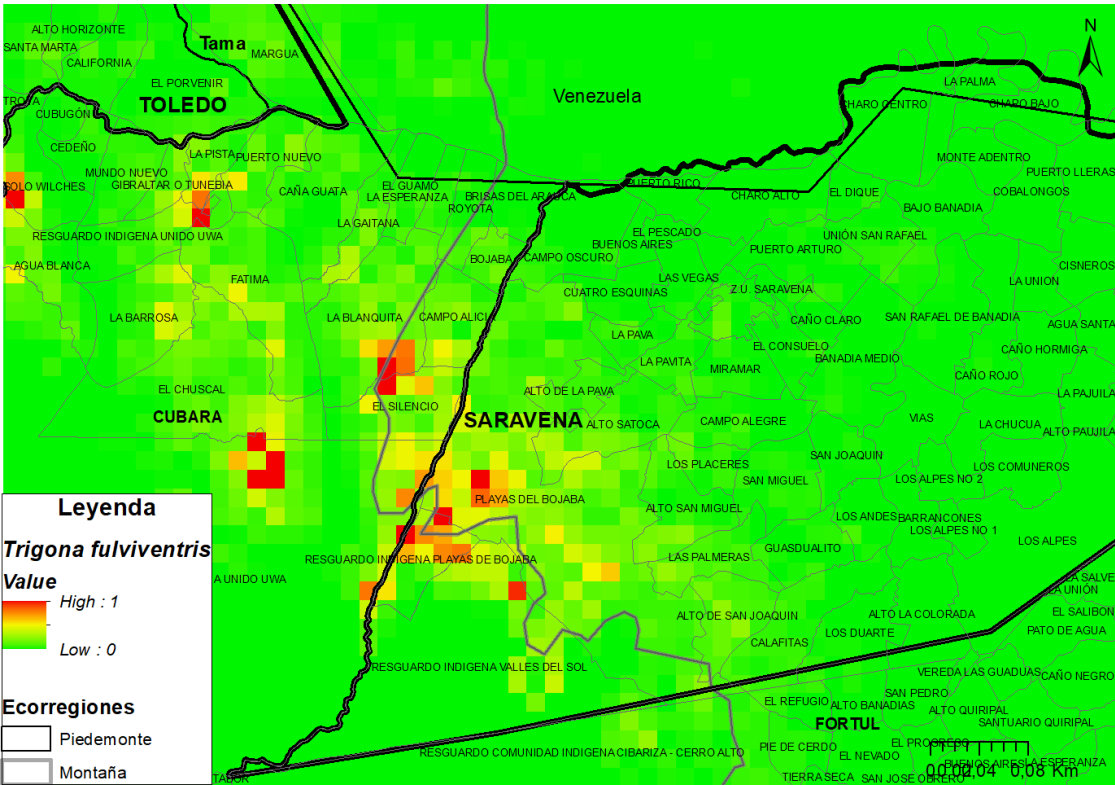


Tabla 11. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para *T. fulviventris*. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024)

Variable	Porcentaje de contribución al modelo
Isotermalidad	65,8%
Precipitación del trimestre más frío	13%
Altitud	9,5%
Radiación solar	5,7%

Precipitación anual	2,5%
Vegetación	1,4%
Precipitación del trimestre más cálido	1,3%
Viento	0,8%

La homogeneidad en la temperatura (isotermalidad) y la altitud inferior a 1.800 m.s.n.m. (Nates-Parra, 2001), afectaron positivamente el modelo y el aumento en el valor de factores como las precipitaciones en los trimestres más cálidos y el viento, afectan negativamente la predicción del modelo para la especie *T. fulviventris*.

4.2.2.5.1. Colinealidad para el modelo predictivo de *Trigona fulviventris*

Al realizar la prueba de coeficiente de correlación lineal de Pearson, a las variables predictivas que aportaron ganancias al modelo de distribución potencial de la especie *T. fulviventris*, se concluyó que no existe una colinealidad alta entre las variables diferentes a las establecidas por Worlclim, siendo esta la altitud, velocidad del viento y radiación solar; ya que estas fueron menores a 0,75 y se observan en la Tabla 12

Tabla 12. Coeficiente de correlación lineal de Person - *T. fulviventris*

	Altitud	Viento	Radiación solar	Bio3	Bio12	Bio18	Bio19
Altitud	1	0,348102664	-0,27204822	0,08923243	0,52548966	-0,49492651	0,66106835
Viento	0,34810266	1	0,247134875	0,09872154	0,3981048	0,34813795	0,39472156
Radiación solar	-0,27204822	0,247134875	1	0,84249996	-0,03086291	-0,08879492	0,11522115
Bio3	0,08923243	0,098721543	0,842499958	1	0,27788201	-0,06411096	0,36042418
Bio12	0,52548966	0,398104795	-0,030862908	0,27788201	1	-0,71444247	0,9306423
Bio18	-0,49492651	0,348137951	-0,08879492	-0,06411096	-0,71444247	1	-0,85039556
Bio19	0,66106835	0,394721563	0,115221151	0,36042418	0,9306423	-0,85039556	1

4.2.2.6. *Frieseomelitta paupera* (Provancher, 1888)

Para el modelo de distribución potencial de la especie *F. paupera*, se utilizó la réplica número seis, la cual reflejaba un mejor desempeño del modelo con respecto a lo observado en campo y se realizó con datos de ocurrencias registradas entre los 191 y 369 m.s.n.m., como se observa en la Figura 25.

El área bajo la curva del modelo (AUC) de prueba promedio para las ejecuciones repetitivas fue igual a $0,998 \pm 0,001$ SD, evidenciando que el desempeño del modelo es bueno prediciendo la idoneidad de hábitat para esta especie ($AUC > 0,5$).

Según la prueba de Jackknife (Tabla 13) las variables que más aportaron a la ganancia del modelo de idoneidad para *F. paupera* estuvieron relacionadas con la temperatura y altitud.

Figura 25. Distribución potencial de *F. paupera* en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

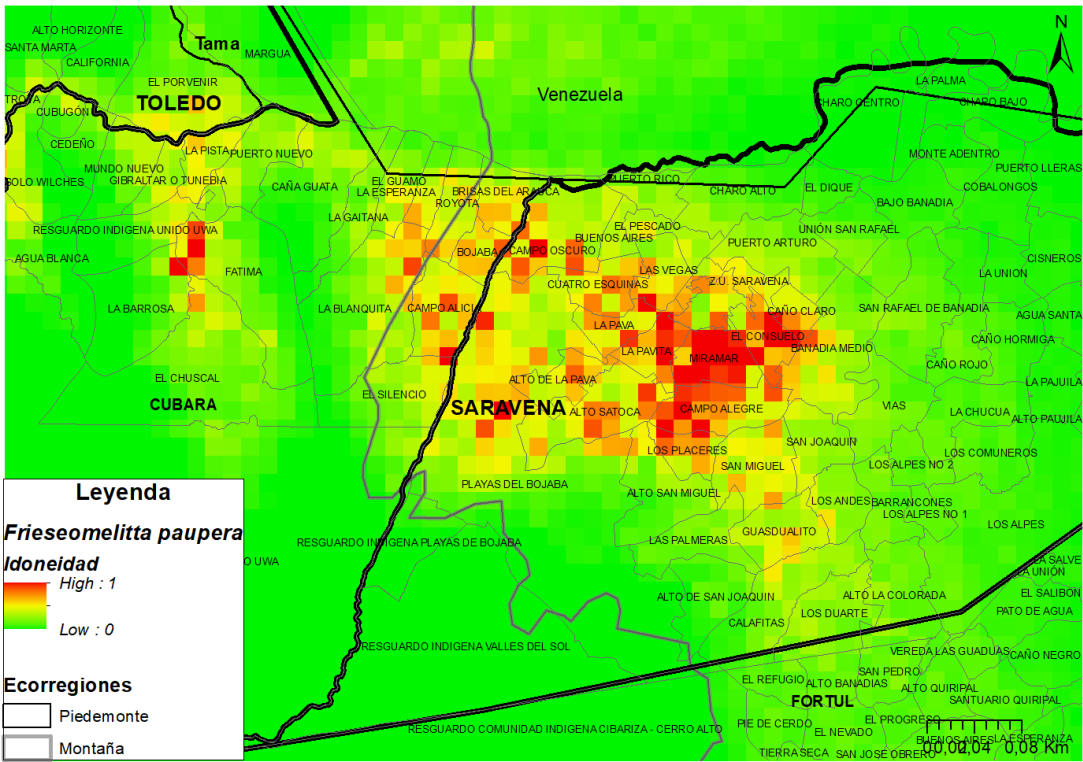


Tabla 13. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para *F. paupera*. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

Variable	Porcentaje de contribución al modelo
Isotermalidad	51,7%
Rango medio diario (Media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))	30,8%
Altitud	17%
Viento	0,2%

Precipitación del trimestre más húmedo	0,2%
--	------

La homogeneidad en la temperatura (isotermalidad) afecta positivamente el modelo y el aumento en el valor de factores como las precipitaciones en los trimestres más húmedo y viento afectan negativamente la predicción del modelo para la especie *F. paupera*.

4.2.2.6.1. Colinealidad para el modelo predictivo de *Frieseomelitta paupera*

Al realizar la prueba de coeficiente de correlación lineal de Pearson, a las variables predictivas que aportaron ganancias al modelo de distribución potencial de la especie *F. paupera*, se concluyó que no existe una colinealidad alta entre las variables diferentes a las establecidas por Worlclim, siendo esta la altitud y velocidad del viento; ya que estas fueron menores a 0,75 y se observan en la Tabla 14

Tabla 14. Coeficiente de correlación lineal de Person - *F. paupera*

	Altitud	Viento	Bio2	Bio3	Bio16
Altitud	1	-0,74920756	-0,55293933	0,61347916	-0,29447137
Viento	-0,74920756	1	0,15354054	-0,70256487	0,00747748
Bio2	-0,55293933	0,15354054	1	-0,62558467	0,61774534
Bio3	0,61347916	-0,70256487	-0,62558467	1	-0,31977193
Bio16	-0,29447137	0,00747748	0,61774534	-0,31977193	1

4.2.2.7. *Tetragona sp.* (Friese, 1900)

Para el modelo de distribución potencial de la especie *Tetragona sp.*, se utilizó la réplica número dos, la cual reflejaba un mejor desempeño del modelo con respecto a lo observado en campo y se realizó con datos de ocurrencias registradas entre los 350 y 545 m.s.n.m., como se observa en la Figura 26.

El área bajo la curva del modelo (AUC) de prueba promedio para las ejecuciones repetitivas fue igual a $0,999 \pm 0,001$ SD, evidenciando que el desempeño del modelo es bueno prediciendo la idoneidad de hábitat para esta especie ($AUC > 0,5$).

Según la prueba de Jackknife (Tabla 15) las variables que más aportaron a la ganancia del modelo de idoneidad para *Tetragona* sp. estuvieron relacionadas con la temperatura y la precipitación del mes más lluvioso.

Figura 26. Distribución potencial de Tetragona sp. en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

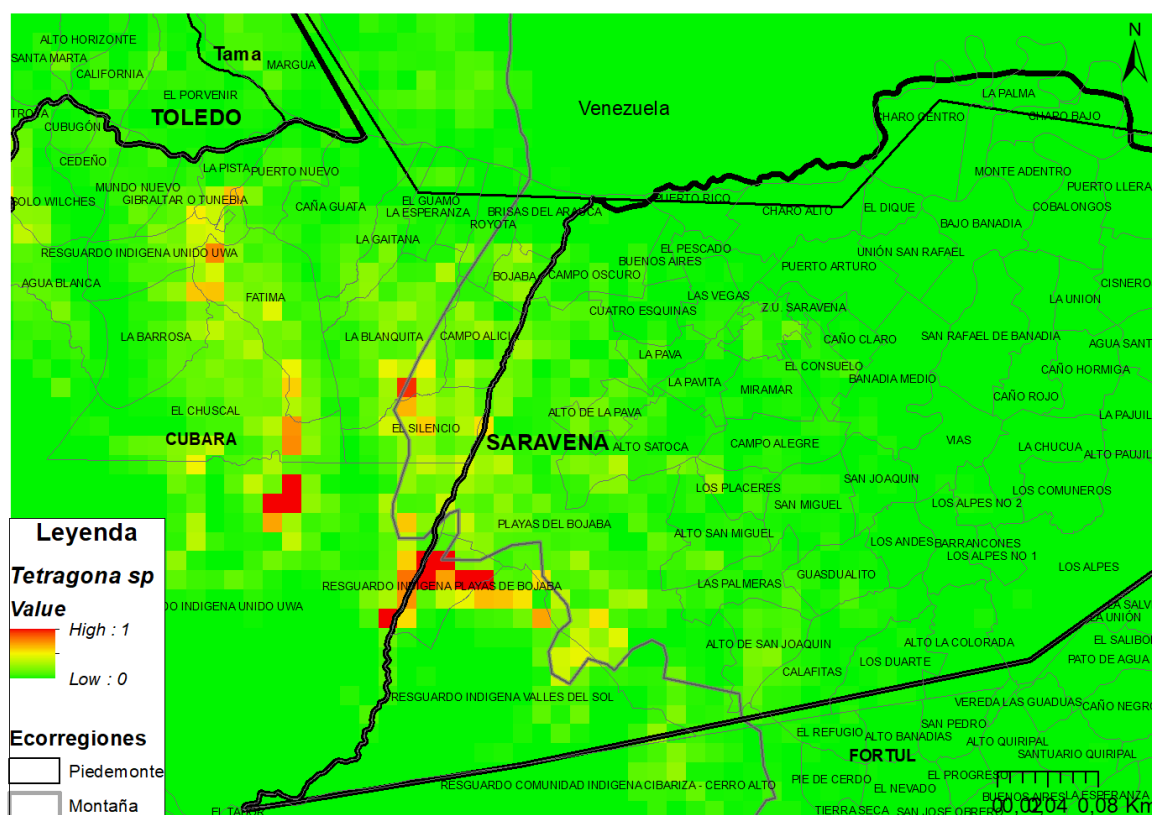


Tabla 15. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para Tetragona sp. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

Variable	Porcentaje de contribución al modelo
Isotermalidad	64%
Precipitación del mes más lluvioso	25,2%
Altitud	6,7%
Viento	1,3%
Precipitación del trimestre más cálido	1,1%
Vegetación	0,6%
Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar $\times 100$)	0,5%
Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)	0,5%

La homogeneidad en la temperatura (isotermalidad) afecta positivamente el modelo y el aumento en el valor de factores como la estacionalidad de la precipitación, que se entiende como patrones constantes en las precipitaciones, afecta negativamente la predicción del modelo sobre la especie *Tetragona sp.*

4.2.2.7.1. Colinealidad para el modelo predictivo de *Tetragona sp*

Al realizar la prueba de coeficiente de correlación lineal de Pearson, a las variables predictivas que aportaron ganancias al modelo de distribución potencial de la especie *Tetragona*

sp. se concluyó que no existe una colinealidad alta entre las variables diferentes a las establecidas por Worlclim, siendo esta la altitud y velocidad del viento; ya que estas fueron menores a 0,75 y se observan en la Tabla 16

Tabla 16. Coeficiente de correlación lineal de Person - *Tetragona sp.*

	Altitud	Viento	Bio3	Bio4	Bio13	Bio15	Bio18
Altitud	1	0,348710334	0,61348751	0,67154977	0,47103318	0,37199743	0,39712005
Viento	0,34871033	1	0,48107962	0,59071308	0,3974652	0,46018794	0,67120876
Bio3	0,61348751	0,481079621	1	-0,99940132	-0,4057593	-0,98189655	-0,1469945
Bio4	0,67154977	0,590713084	-0,99940132	1	0,37389468	0,97475526	0,11268453
Bio13	0,47103318	0,397465201	-0,4057593	0,37389468	1	0,57153788	0,96369608
Bio15	0,37199743	0,460187942	-0,98189655	0,97475526	0,57153788	1	0,33169377
Bio18	0,39712005	0,671208761	-0,1469945	0,11268453	0,96369608	0,33169377	1

4.2.2.8. *Melipona favosa* (Fabricius, 1798)

Para el modelo de distribución potencial de la especie *M. favosa*, se utilizó la réplica número dos, la cual reflejaba un mejor desempeño del modelo con respecto a lo observado en campo y se realizó con datos de ocurrencias registradas entre los 203 y 434 m.s.n.m., como se observa en la Figura 27.

El área bajo la curva del modelo (AUC) de prueba promedio para las ejecuciones repetitivas fue igual a $0,998 \pm 0,002$ SD, evidenciando que el desempeño del modelo es bueno prediciendo la idoneidad de hábitat para esta especie ($AUC > 0,5$).

Según la prueba de Jackknife (Tabla 17) las variables que más aportaron a la ganancia del modelo de idoneidad para *M. favosa* estuvieron relacionadas con la temperatura y la media de las precipitaciones anuales.

Figura 27. Distribución potencial de *M. favosa* en las ecorregiones de piedemonte y montaña.
Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

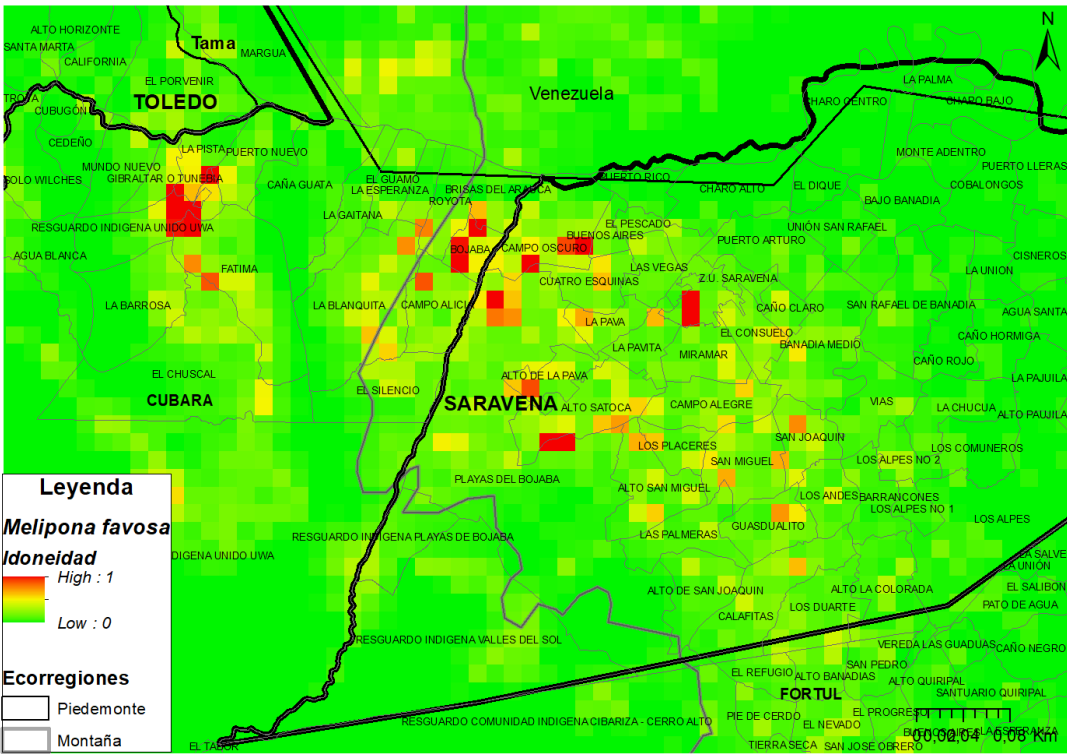


Tabla 17. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para *M. favosa*. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

Variable	Porcentaje de contribución al modelo
Isotermalidad	43,5%
Precipitación anual	20,8%
Rango medio diario (Media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))	12,5%
Altitud	11%

Precipitación del trimestre más frío	6,5%
Vegetación	5,6%

La homogeneidad en la temperatura (isotermalidad) afecta positivamente el modelo y el aumento en el valor de factores como los cambios de la cobertura vegetal, afectan negativamente la predicción del modelo sobre la especie *M. favosa*.

4.2.2.8.1. Colinealidad para el modelo predictivo de *Melipona favosa*

Al realizar la prueba de coeficiente de correlación lineal de Pearson, a las variables predictivas que aportaron ganancias al modelo de distribución potencial de la especie *M. favosa*, se concluyó que no existe una colinealidad alta entre las variables diferentes a las establecidas por Worlclim, siendo esta la altitud; ya que estas fueron menores a 0,75 y se observan en la Tabla 18

Tabla 18. Coeficiente de correlación lineal de Person - *M. favosa*

	Altitud	Bio2	Bio3	Bio12	Bio19
Altitud	1	0,39200772	0,197246084	0,134876105	0,37814226
Bio2	0,392007716	1	0,731840394	0,397154876	0,19762149
Bio3	0,197246084	0,73184039	1	0,478120366	0,21794032
Bio12	0,134876105	-0,39715488	0,478120366	1	0,57169403
Bio19	0,378142264	0,19762149	0,217940318	0,571694031	1

4.2.2.9. *Melipona compressipes* (Fabricius, 1804)

Para el modelo de distribución potencial de la especie *M. compressipes*, se utilizó la réplica número cuatro, la cual reflejaba un mejor desempeño del modelo con respecto a lo observado en campo y se realizó con datos de ocurrencias registradas entre los 203 y 434 m.s.n.m., como se observa en la Figura 28.

El área bajo la curva del modelo (AUC) de prueba promedio para las ejecuciones repetitivas fue igual a $0,999 \pm 0,001$ SD, evidenciando que el desempeño del modelo es bueno prediciendo la idoneidad de hábitat para esta especie ($AUC > 0,5$).

Según la prueba de Jackknife (Tabla 19) las variables que más aportaron a la ganancia del modelo de idoneidad para *M. compressipes* estuvieron relacionadas con la temperatura y la media en la precipitación anual.

Figura 28. Distribución potencial de *M. compressipes* en las ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

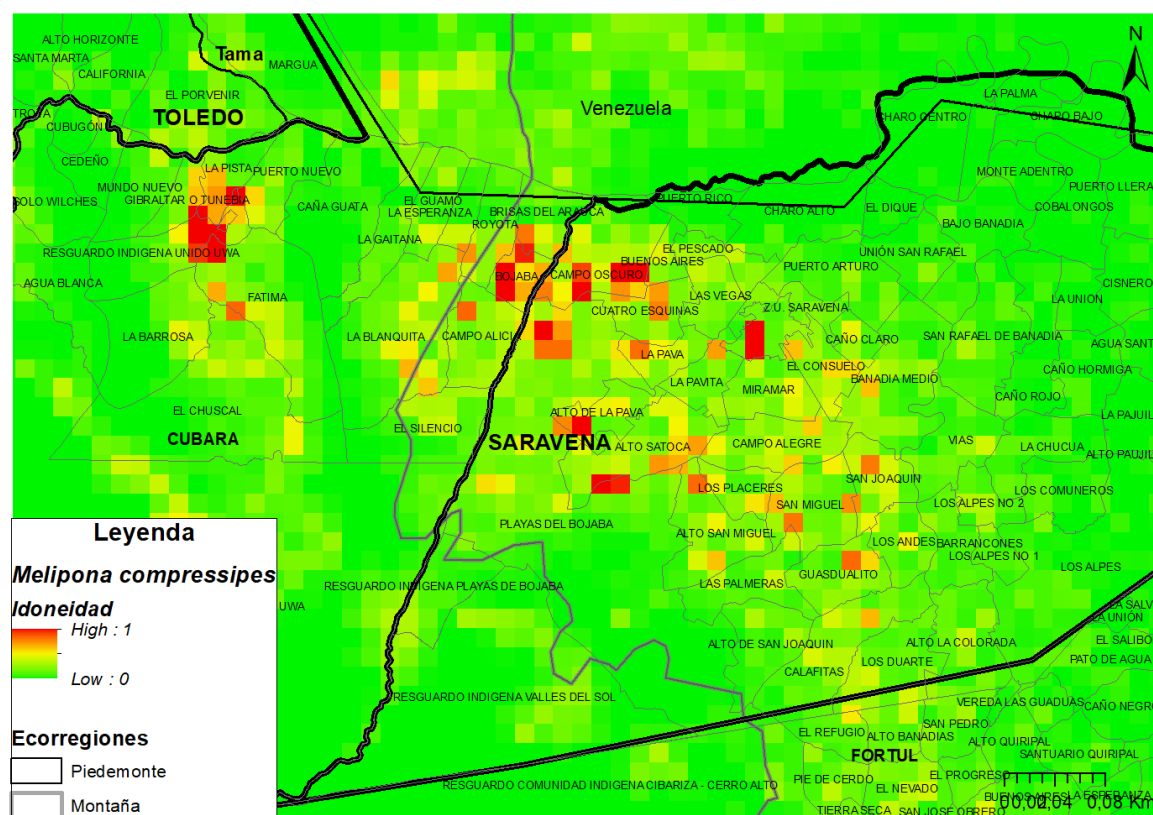


Tabla 19. Contribuciones relativas de las variables al modelo de distribución potencial para M. compressipes. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

Variable	Porcentaje de contribución al modelo
Isotermalidad	42,1%
Precipitación anual	25,9%
Rango medio diario (Media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))	13,7%
Altitud	9%
Vegetación	6,9%
Precipitación del mes más lluvioso	2,4%
Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar $\times 100$)	0,1%

La homogeneidad en la temperatura (isotermalidad) y la vegetación boscosa afecta positivamente el modelo y el aumento en el valor de factores como la estacionalidad de la precipitación, que se entiende como patrones constantes en las precipitaciones, afectan negativamente la predicción del modelo sobre la especie *M. compressipes*.

4.2.2.9.1. Colinealidad para el modelo predictivo de *Melipona compressipes*

Al realizar la prueba de coeficiente de correlación lineal de Pearson, a las variables predictivas que aportaron ganancias al modelo de distribución potencial de la especie *M.*

compressipes, se concluyó que no existe una colinealidad alta entre las variables diferentes a las establecidas por Worlclim, siendo esta la altitud; ya que estas fueron menores a 0,75 y se observan en la Tabla 20

Tabla 20. Coeficiente de correlación lineal de Person - *M. compressipes*

	Altitud	Bio2	Bio3	Bio4	Bio12	Bio13
Altitud	1	0,261784305	0,472100849	0,38417625	-0,12761486	0,36187522
Bio2	0,261784305	1	0,843841098	0,34751285	0,34812479	0,18439704
Bio3	0,472100849	0,843841098	1	0,7823941	0,39471058	0,29741006
Bio4	0,384176249	0,347512845	0,782394101	1	0,41279145	0,37914028
Bio12	-0,127614856	0,348124792	0,394710584	0,41279145	1	0,87194067
Bio13	0,361875215	0,184397035	0,297410061	0,37914028	0,87194067	1

4.3.Objetivo específico 3: Diseñar estrategias de conservación para polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae).

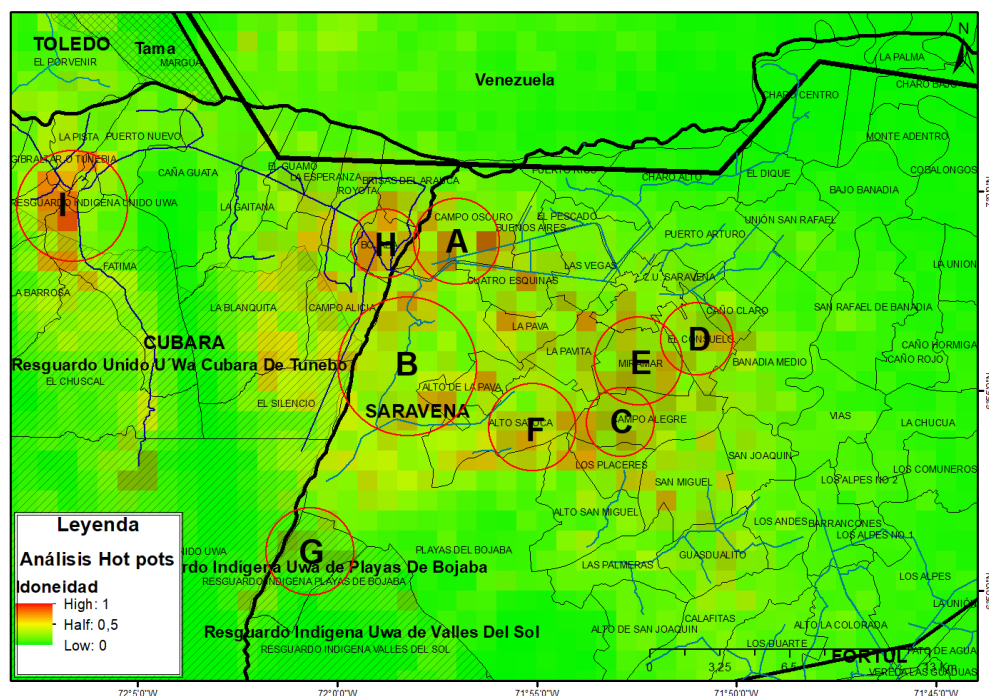
De acuerdo a los resultados obtenidos en la Figura 29, donde se observan los *hot spots* resultantes del solapamiento de los nueve modelos de distribución potencial presentados en la sesión 5.2.2., se lograron identificar los siguientes núcleos de conservación para los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) con idoneidades mayores a 0,75 (Tabla 21):

Tabla 21. Núcleos de conservación para polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) en ecorregiones de piedemonte y montaña. Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).

ID	Categoría	Nombre	Ecorregión	Área	Municipio	Departamento	Jurisdicción
A	Vereda	Campo Oscuro	Piedemonte	2.365 h	Saravena	Arauca	Corporinoquia
B	Vereda	Playas del Bojaba	Piedemonte	3.814 h	Saravena	Arauca	Corporinoquia

C	Vereda	Campo Alegre	Piedemonte	900 h	Saravena	Arauca	Corporinoquia
D	Vereda	El Consuelo	Piedemonte	1.129 h	Saravena	Arauca	Corporinoquia
E	Vereda	Miramar	Piedemonte	1.380 h	Saravena	Arauca	Corporinoquia
F	Vereda	Alto Satoca	Piedemonte	1.452 h	Saravena	Arauca	Corporinoquia
G	Resguardo Indígena U'wa	Playas del Bojaba	Montaña	1.423 h	Saravena	Arauca	Áreas Indígenas Protegidas (API)
H	Vereda	Bojaba	Piedemonte	944 h	Cubará	Boyacá	Corpoboyacá
I	Resguardo Indígena U'wa	Cubará de tunebo	Montaña	2.993 h	Cubará	Boyacá	Áreas Indígenas Protegidas (API)

Figura 29. Modelo hot pots de la distribución potencial de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) en los municipios de Saravena (Arauca), Toledo (Norte de Santander) y Cubará (Boyacá). Fuente: (Urbina-Martínez, 2024).



Partiendo de los resultados y teniendo en cuenta las vías de acceso, nicho de las especies, tamaño de los núcleos de conservación, y comunidades aledañas, se diseñaron las siguientes líneas de acción para su conservación:

- A. Educar y concientizar: Se deben realizar campañas pedagógicas en instituciones educativas y juntas de acción comunal en las veredas focalizadas como núcleos de conservación, donde se traten temas como la importancia de las abejas nativas para los ecosistemas y como contribuir con su conservación, exponer las ilustraciones de los morfotipos de las abejas colectadas para su diferenciación con la *Apis mellifera*, ya que, por desconocimiento, comúnmente son confundidas y por temor a ser atacados, proceden a la quema de sus nidos.

- B. Colaboración Comunitaria: Involucrar a la comunidad en proyectos de conservación, como la creación de áreas verdes, huertos comunitarios y programas de voluntariado para la restauración de hábitats.
- C. Reducción de pesticidas: Promover prácticas agrícolas y de jardinería que eviten el uso de pesticidas químicos. En su lugar, se pueden utilizar métodos orgánicos y naturales para el control biológico de plagas.
- D. Reforestación: Las reforestaciones son de suma importancia en la actualidad, ya que, en Colombia, se estima que son taladas 44.274 hectáreas anuales (MinAmbiente, 2024). Por ello, se deben realizar estudios de identificación a la flora nativa que sea objeto de polinización por parte de los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), para su posterior reforestación.
- E. Investigar y monitorear: Apoyar la investigación sobre las especies de abejas nativas futuras y su estado de conservación. El monitoreo de poblaciones, puede ayudar a identificar problemáticas futuras y desarrollar estrategias adecuadas.
- F. Políticas de Conservación: Abogar por políticas y regulaciones que protejan a las abejas nativas y su hábitat, así como promover prácticas sostenibles en la agricultura y el desarrollo urbano.

5. Análisis De Resultados

5.1. Diversidad de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae)

En este estudio se registraron nueve especies, pertenecientes a seis de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), que corresponden al 6% de las 150 especies registradas en el país (Nates-Parra et al., 2013). Siendo el primer estudio que busca determinar la diversidad y distribución de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), en zonas de piedemonte y montaña en los municipios de Saravena, Arauca y Toledo, Norte de Santander. En otros estudios realizados a lo largo de la Orinoquia, como el reportado por Nates-Parra, et al., (2008) se registraron 24 especies pertenecientes a 11 géneros de abejas sin aguijón en el departamento del Meta.

El presente estudio obtuvo una especie menos de abejas sin aguijón que el reportado por Smith Pardo, et al., (2007) en un bosque húmedo tropical ubicado al norte del departamento de Antioquia, con factores bióticos y metodología de muestreo similar. Esto se puede deber a las condiciones bioclimáticas del sitio, ya que sus distribuciones son desiguales conforme varía la precipitación y temperatura (Sibaja, et al., 2021). Sumado a esto se debe tener en cuenta la vegetación, en este caso, las zonas de piedemonte y montaña han sufrido de la destrucción del medio ambiente, y esto se ve reflejado en la reducción del nicho fundamental de los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae).

Los perfiles de diversidad muestran una mayor concentración de diversidad en la zona de Montaña debido a la mayor cobertura vegetal, homogeneidad en la temperatura y menor intensidad lumínica, y sumado a esto, la zona de piedemonte ha sufrido una mayor degradación del nicho fundamental para estos polinizadores, sufriendo de talas, quemadas, agricultura intensiva, entre otras.

En cuanto a las curvas de rango abundancia, se debe destacar que, para ambas zonas de estudio, dominó la especie *Tetragonisca angustula*, aunque hubo una mayor representatividad de la especie en la zona de piedemonte, en cambio, en la zona de montaña, dicha especie logro la segunda mayor abundancia, seguida de *Trigona fulviventris*. Este resultado concuerda con los registrados por Nates-Parra (2001) y Salamanca Canizales, et al., (2024), quienes indican que, de las especies de abejas nativas registradas en el país, la especie *Tetragonisca angustula*, es la más abundante, ya que, por su variabilidad genética, tiende a adoptarse a diferentes ambientes naturales a lo largo del Neotrópico y su tendencia de conectividad en bosques fragmentados (Guzmán Rojas, 2022).

En términos de abundancia por método de muestreo, se encontró que mediante el método directo se obtuvo una mayor cantidad de registros a pesar de que este método es menos susceptible a variaciones inesperadas, debido a su naturaleza más sistemática a la hora de la recolección de datos, cosa contraria a lo descrito por Ramírez Freire, et al., (2014), en sus estudios en Nuevo León, México; donde colectaron cinco especímenes más con el uso de trampas cromáticas, con respecto al uso de redes entomológicas. Dicha discrepancia en los resultados es debida a la búsqueda manual y por el apoyo brindado por parte de las comunidades, las cuales tenían previamente identificadas los nidos de abejas nativas en sus predios y así, se evidencia la eficacia del uso de una aspiradora entomológica eléctrica, como lo describe Huerta P, et al., (2003), en sus estudios con controladores biológicos en México; como lo son la eficacia de captura, versatilidad, manejo, entre otras, con respecto a una jama entomológica.

5.2. Distribución espacial y potencial de polinizadores de la tribu Meliponini

(Hymenoptera: Apidae).

Tras modelizar por primera vez la distribución espacial de nueve especies de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae) en zonas de piedemonte y montaña de la Orinoquia colombiana, se determinó que 16.348 hectáreas son idóneas para la proliferación de estos polinizadores, ya que reúnen las condiciones necesarias para suplir el nicho fundamental de estas especies.

En cuanto a los modelos de idoneidad de *T. angustula*, *Scaptotrigona* sp., *T. amalthea*, *M. eburnea*, *T. fulviventris*, *F. paupera*, *Tetragona* sp., *M. favosa* y *M. compressipes*, los valores altos de las variables relacionadas con precipitación, viento y radiación solar, afectan negativamente la predicción de los modelos. A pesar del modelo de distribución potencial presentado por Corrales Sánchez & Lobato Narváez (2023) es mucho más robusto a los obtenidos en este estudio, al emplear como variable predictora la influencia de los agroquímicos; se considera que los modelos acá obtenidos son eficaces prediciendo el hábitat idóneo para las nueve especies de abejas nativas, debido a la inclusión de variables físicas, bióticas, climáticas y los 78 registros de ocurrencia de las especies en el área de estudio.

Por otro lado, la isothermalidad y la cobertura de vegetación, fueron las variables que tuvieron una contribución porcentual más alta a los modelos, resultados parecidos a los descritos por Corrales Sánchez & Lobato Narváez (2023), donde de igual forma, la media de la temperatura y una cobertura vegetal boscosa, fueron determinantes en la predicción de sus modelos de distribución potencial. Caso contrario a lo descrito por Kenefic (2017), donde las variables de precipitación del trimestre más húmedo y precipitación del trimestre más seco, fueron determinantes y afectaron positivamente la predicción de sus modelos, en cambio, la

variable de estacionalidad de la precipitación (medida de agrupación de las épocas de lluvia) afecto negativamente la predicción del modelo. Esto puede deberse a la diferenciación que se presente a nivel de precipitaciones que se presentan en ambas zonas de estudio, los hallazgos descritos por Kenefic (2017), datan de zonas húmedas tropicales (Magaña, et al., 2000) frente al presente estudio registrado en zonas secas tropicales (IGAC, et al., 2007), evidenciando la coevaluación entre polinizador-planta, a partir de las variaciones que se presentan en la cobertura vegetal a partir de las altas precipitaciones (Espitia, 2012).

Finalmente, aunque nuestros modelos mostraron una alta especificidad basados en los valores de AUC y, por lo tanto, predijeron bien las probabilidades de idoneidad del hábitat para las nueve especies, la adición de datos de presencia/ausencia en el futuro podría mejorar las predicciones y reducir los errores. No obstante, se presume que los errores son mínimos en el contexto global del análisis, fundamentado en la precisión del modelo y las estadísticas de validación de datos obtenidas. Para reducir la incertidumbre en análisis futuros, se aconseja reducir la resolución del conjunto de datos utilizados (Espino, 2023).

5.3.Estrategias de conservación para polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae)

De los nueve núcleos de conservación para los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), se destinarían 16.348 hectáreas a la recuperación de no solo las abejas nativas, si no a la recuperación de especies animales y vegetales nativas.

En estos núcleos de conservación se deben implementar acciones socio-ambientales, encaminadas al uso razonable de los recursos naturales, como los propuestos en el Convenio de la Diversidad Biológica (1995) y que sirvió como base para la implementación de medidas en pro

de la conservación de los polinizadores. De donde cabe resaltar las siguientes iniciativas nacionales de conservación; Iniciativa Colombiana de Polinizadores (2002), Iniciativa Brasileira de Polinizadores (2000), Iniciativa Canadiense de Polinizadores (2007) y la Plataforma Intergubernamental De Biodiversidad Y Servicios Ecosistémicos (2010); donde mancomunadamente se estructuraron estrategias de conservación efectivas para preservar los polinizadores. En los planes básicos de ordenamiento territorial (PBOT), se deben plasmar iniciativas que contribuyan a la preservación de las abejas nativas y que sean política ambiental clave en los municipios donde se ejecutó el presente proyecto, a continuación, se citan algunas iniciativas:

A. Programas educativos.

- i) Charlas y Talleres: Organizar eventos en escuelas y juntas de acción comunales para informar sobre la ecología de las abejas nativas, su papel en la polinización y cómo contribuyen a la salud del medio ambiente.
- ii) Material Didáctico: Desarrollar folletos, carteles y guías fotográficas educativas, que resalten la importancia de las abejas nativas y proporcionen información sobre cómo protegerlas.

B. Actividades prácticas.

- i) Jardines de Polinizadores: Fomentar la creación de jardines y huertos que incluyan plantas nativas que atraigan a las abejas. Proporciona seminarios sobre cómo diseñar estos espacios.
- ii) Construcción de Nidos: Enseñar a la gente a construir y colocar cajas nido para abejas solitarias, explicando cómo estos nidos pueden ayudar a aumentar la población local de abejas.

C. Campañas de sensibilización

- i) Redes Sociales y Medios Locales: Utilizar plataformas de redes sociales y medios de comunicación locales para compartir información sobre las abejas nativas, incluyendo datos sobre su estado de conservación y cómo el público puede ayudar.
- ii) Eventos Comunitarios: Organizar ferias o días de campo con actividades centradas en las abejas, como exhibiciones de meliponicultura y demostraciones de la polinización.

D. Colaboración con expertos

- i) Asociaciones con Meliponicultores: Trabajar con meliponicultores locales y biólogos para proporcionar conferencias y demostraciones prácticas.
- ii) Investigación y Conservación: Colaboraciones interinstitucionales para realizar estudios sobre las abejas nativas y sus necesidades, y compartir estos hallazgos con la comunidad.

E. Promoción de políticas y prácticas ambientales

- i) Legislación Local: Abogar por políticas locales que protejan a las abejas, como la reducción del uso de pesticidas y la protección de hábitats naturales.
- ii) Prácticas Sostenibles: Promover prácticas agrícolas y de jardinería que sean amigables con las abejas, como el uso de pesticidas naturales y la plantación de especies nativas.

6. Conclusiones

- La identificación de las especies compartidas como *M. compressipes*, *F. paupera*, *Melipona ebúrnea*, *M. favosa*, *Scaptotrigona sp.*, y *T. angustula*, en las zonas de piedemonte y montaña, sugiere una composición ecológica similar en ambas zonas. En cambio, la presencia exclusiva de *T. amalthea* en zonas de piedemonte y de las especies *Tetragona sp.*, y *T. fulviventris* en zonas de montaña, destaca la importancia de estas zonas para la conservación de la biodiversidad de los polinizadores con cierto grado de especificidad en variables abióticas de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae).
- Entre las especies registradas se reportó la presencia de dos especies en una categoría de riesgo: *M. eburnea* (VU) y *M. favosa* (VU), por lo que se espera que el presente trabajo sirva como refuerzo para documentar la riqueza del piedemonte y montaña colombianas, y generar esfuerzos enfocados a la conservación y ecología de estas especies reportadas. Lo anterior explica, el porqué de la especie *M. favosa*, contó con uno de los registros más bajos en términos de abundancia relativa.
- La variabilidad en la abundancia de los polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae), esta principalmente influenciada por la cobertura vegetal, como se evidenció en las zonas de piedemonte y montaña, donde se observó que, en zonas boscosas con mayor grado de conservación, se registraron números más altos de individuos. Por otro lado, la riqueza y distribución de especies están más vinculadas con las variables de temperatura y altitud, ya que dichas variables, determinaron la composición de las especies de polinizadores de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apidae)
- Es indispensable la declaración de Áreas Protegidas, Distritos de Manejo Integrado o Reservas Naturales de la Sociedad Civil, en las zonas priorizadas en este trabajo,

implementando las estrategias de conservación aquí planteadas u otras, por parte de las autoridades ambientales, buscando la conservación de tan importantes polinizadores para la biodiversidad.

- Se espera que este trabajo sirva para actualizar la diversidad y distribución de las especies registradas, ya que algunas de dichas especies, carecen de registros en plataformas sobre biodiversidad en los departamentos involucrados en este estudio.

7. Lista De Referencias

- Aceves-Rangel, L. D., Méndez-González, J., García-Aranda, M. A., & Nájera-Luna, J.
- Almeida M. C. 1992 Quatro espécies novas de *Trigona* (S.Str) (Apidae, Meliponinae) da região Neotropical. *Acta Biol. Par. (Curitiba)*, 21(1,2,3,4): 181-193
- Álvarez, L. J. (2016). Diversidad de las abejas nativas de la tribu Meliponini (Hymenoptera, Apidae) en Argentina (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Amaya M, J. D. J. (2021). Especies vegetales utilizadas por las abejas nativas sin aguijón (apidae: meliponini), para la construcción de sus nidos, en el distrito Las Mercedes, Atenas, Costa Rica.
- Amen C, J. L. E. (2019). Efecto de dos crioprotectores sobre la viabilidad espermática de zánganos de abejas melíferas (*Apis mellifera* L.).
- Antonio, G. P. J. (2015). Metodología cuantitativa en educación. Editorial Uned.
- Aragón-Noriega, E. A., Castillo-Vargasmachuca, S. G., Ponce-Palafox, J. T., Cruz- Vásquez, R., Rodríguez-Domínguez, G., & Pérez-González, R. (2017). Distribución potencial de almeja de sifón *Panopea globosa* del Golfo de California en un escenario de cambio climático. *Acta universitaria*, 27(3), 28- 35.
- Araya P, J. P. (2021). Propuesta de un algoritmo de visión por computador para la caracterización de abejas Apidae Meliponini a través de dispositivos móviles.
- Arnaldos S, M. I., García García, M. D., & Presa Asensio, J. J. (2011). Fauna entomológica involucrada.
- Ascencio Tusó, D. J. (2014). Evaluación de los cambios pre y postcosecha de la miel de especies de abejas sin aguijón. Facultad de Agronomía.
- Almeida M. C. 1992 Quatro espécies novas de

Trigona (S.Str) (Apidae, Meliponinae) da região Neotropical. Acta Biol. Par. (Curitiba), 21(1,2,3,4): 181-193

Baena-Díaz, Fernanda, Chévez, Estrella, & Porter-Bolland, Luciana. (2023). ¿Qué sabemos de las abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae, Meliponini) en México?: Diversidad, Ecología y polinización. Acta zoológica mexicana, 39, e2565. Epub 02 de mayo de 2023.
<https://doi.org/10.21829/azm.2023.3912565>

Barrios, D. A. C. (2014). *Distribución potencial y posibles rutas de migración del castor norteamericano (Castor canadensis) en su rango invasivo utilizando el concepto de nicho hutchinsoniano*. Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile).

Bautista Plazas, S. (2020). Patrones de diversidad alfa y beta para quince complejos de páramo de Colombia.

Bawa KS (1990) Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. Annu Rev Ecol Syst 21:399–422

Beier, Paul; Noss, Reed F. (1998). «Do Habitat Corridors Provide Connectivity?». Conservation Biology 12 (6): 1241-1252.

Bennett, Andrew F. (2004). Enlazando el paisaje : el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre

Bravo F. (1992) Sistemática e distribuição de Parapartamona (Schwarz) (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae). Revista Brasileira de Entomologia 36(4):863-878

CABALLERO, R. I. A. (2019). Nicho ecológico y variables que intervienen en el desempeño de swietenia en México.

- Calderón F, R. Á., Sánchez Chávez, L. A., & Aguilar Monge, I. (2021). XII Congreso Mesoamericano de Abejas Nativas: Desafíos y oportunidades para la conservación de las abejas nativas, 20 y 21 de noviembre.
- Camargo J.M.F. (1980) O grupo *Partamona* (*Partamona*) *testaea* (Klug): suas espécies, distribuição e diferenciação geográfica *Acta Amazônica* (Suplemento), 10(4):1-175
- Camargo J.M.F. (1984) Notas sobre o género *Oxytrigona* (Meliponinae, Apidae, Hymenoptera) *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi (Serie Zoologia)*1:115-124
- Camargo J.M.F. (1989) Comentários sobre a sistemática de Meliponinae *Anais do XIV Simposio anual da Academia de Ciencias do Estado de Sao Paulo (Sao Carlos)*, suplemento:21 pp.
- Camargo J.M.F. (1996) Meliponini neotropicais. O género *Camargoia* Moure, 1989 *Arquivos de Zoologia* (Sao Paulo) 33:71-92
- Camargo J.M.F., D. Roubik (1991) Systematics and bionomics of the apoid obligate necrophages: The *Trigona hypogea* group *Biological Journal of the Linnean Society* 44:13-39
- Camargo J.M.F., J. S. Moure (1996) Meliponini neotropicais. O género *Geotrigona* More, 1943 (Apinae, Apidae, Hymenoptera) con especial referencia a filogenia e biogeografia *Arquivos de Zoologia* (Sao Paulo) 33:95-161
- Camargo J.M.F., J.S. Moure (1983) *Trichotrigona*, um novo género de Meliponini (Hymenoptera, Apidae), do Rio Negro, Amazonas, Brasil *Acta Amazônica*, 13:421-429
- Camargo J.M.F., J.S. Moure (1994) Meliponinae neotropicais. Os géneros *Paratrigona* Schwarz, 1938 e *Aparatrigona* Moure, 1951 *Archivos de Zoologia* (Sao Paulo) 32:33-109

- Camargo J.M.F., S.R. de M. Pedro (1992) Systematics, phylogeny and biogeography of the Meliponinae (Hymenoptera, Apidae): A minireview *Apidologie* 23:509- 522
- Camargo JMF, Pedro SRM (2007) Meliponini. In: Moure JS, Urban D, Melo GAR(eds) Catalogue of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical region. Sociedade Brasileira de Entomologia, Curitiba, pp 272–578
- Campaña Zúñiga, M. C. (2022). Patrones de riqueza de las especies de la tribu Euglossini en el Ecuador basados en modelamiento de nicho (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay). Almeida M. C. 1992 Quatro espécies novas de *Trigona* (S.Str) (Apidae, Meliponinae) da região Neotropical. *Acta Biol. Par. (Curitiba)*, 21(1,2,3,4): 181-193
- Cardona J., C. Arango (1983) Inventario de la fauna Apoidea (Insecta:Hymenoptera) del Valle de Aburrá y sus relaciones con la flora. Trabajo de Grado, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Medellín
- Carneiro, A. M. (2021). Padrão no uso de recursos e compartilhamento de nicho de *Melipona quadrifasciata* e *M. scutellaris* (Apidae, Meliponini) em remanescente de Floresta Atlântica no nordeste brasileiro.
- Carvajal, V. (2020). Importancia de las abejas como polinizadores
- Chao, A., Ma, K. H., and Hsieh, T.C. (2016) iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Program and User's Guide published at http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/inext-online/.
- Colwell RK, Rangel TF (2009) Hutchinson's duality: the once and future niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:19644–19650.

- Corrales Sánchez, R. T., & Lobato Narváez, Á. S. (2023). Análisis de la distribución biogeográfica de melíferas (Himenóptera: Apidae) en el cantón Cotacachi, Imbabura (Bachelor's thesis).
- Corzo Villegas, E. (2022). Comparación transcriptómica entre las glándulas hipofaríngeas de *Apis mellifera* y *Geotrigona acapulconis*.
- Criollo, F. J. G., & Rojas, Y. E. T. (2024). Diagnóstico del Manejo Integrado de la Zona Costera de Nicaragua. JAINA, Costas y Mares ante el Cambio Climático, 1(1), 45-60.
- D. Quintero & A. Aiello (eds). Insects of Panama and Mesoamerica. Selected Studies. Oxford University
- Dagnino, J. (2014). Coeficiente de correlación lineal de Pearson. Chil Anest, 43(1), 150-153.
- Dardón Peralta, M. J. (2010). Revisión taxonómica del subgénero *Micrandrena* (Hymenoptera: Apoidea: Andrenidae: *Andrena*) de la Península Ibérica.
- Dinerstein, E., D.M. Olson, D.J. Graham, A. Webster, S. Primm et al. 1995. A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean. World Wildlife Fund y World Bank, Washington, D.C.
- Duarte, S., & López, A. (2019). Patrones de distribución de las Abejas (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) en Cuba y otras regiones de los Neotrópicos. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa, 65, 119-129.
- Engel M. (2000) A new interpretation of the oldest fossil bee (Hymenoptera: Apidae) American Museum Novitates 3296:1-11
- Espino, C. J. G. (2023). Predicción de la distribución potencial de escarabajo del género *Dendroctonus* utilizando máxima entropía para una estrategia de manejo forestal y sanidad en bosques de pino de

Nueva Segovia (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD NACIONAL). Aceves-Rangel, L. D., Méndez-González, J., García-Aranda, M. A., & Nájera-Luna, J.

Fajardo-Gutiérrez, F., Infante-Betancour, J., & Cabrera-Amaya, D. M. (2018). Modelización de la distribución potencial del género *Polylepis* en Colombia y consideraciones para su conservación. *Ecología austral*, 28(1), 202-215.

FLORES-PRADO, L. U. I. S. (2012). Evolución de la sociabilidad en Hymenoptera: Rasgos conductuales vinculados a niveles sociales y precursores de sociabilidad en especies solitarias. *Revista chilena de historia natural*, 85(3), 245-266.

Flórez, N. A., Maldonado, J. D., Ospina, R., Barajas, R. A., Guevara, D. A., & Nates- Parra, G (2023). (Apidae: Meliponini) de Colombia.

Galindo Panqueva, M. (2016). Diversidad de abejas silvestres y espectro polínico en bosque seco tropical del Parque Regional Los Besotes, Valledupar Cesar, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

García E, Guerrero R J, Sierra H (2022): Hymenoptera de la colección entomológica de la Universidad del Magdalena. v1.3. Universidad del Magdalena. Dataset/Occurrence.

García, R. E. (2023). *Análisis de la variación ecomorfológica de dos especies de abejas sin aguijón *Trigona amalthea* y *Trigona truculenta* (Apidae; Apinae; Meliponini) en Colombia*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/66438>.

Gayubo, S. F., & Pujade, J. (2015). Orden Hymenoptera. *Revista IDE@*, 2015, vol. 59, p. 1-36.

Gennari, G. P. (2019). Manejo racional de las abejas nativas sin aguijón (ANSA). Ediciones INTA.

- González V.H., G. Nates-Parra (1999) Sinopsis de Parapartamona (Hymenoptera: Apidae: Meliponini): un género estrictamente andino Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 23:171-179
- Grané, A. (2002). Análisis de componentes principales. Madrid: Universidad Carlos III, Departamento de Estadística, 30.
- Guevara, J., & Danaee, C. (2021). Distribución potencial del colibrí de Xantus (*Basilinna xantusii*) endémico de Baja California Sur, México (Master's thesis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC).
- Gutiérrez García, M. L. Revisión sobre la utilización de bioindicadores para analizarla calidad del aire en contextos urbanos.
- Guzmán Rojas, D. (2022). Diversidad morfológica y genética de *Tetragonisca angustula* (Hymenoptera: Apidae) en Cundinamarca, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Guzmán Vera, M. (2018). Modelos de Distribución Potencial de Especies Forestales en las Sierras de Jaén. Aplicaciones de alta resolución.
- Hasen Narváez, F. N. (2016). Gobernanza sobre servicios ecosistémicos a escala local: Caso de estudio sobre la provisión de agua en la comuna de Panguipulli, Región de los Ríos.
- Hernández, O. G., Artigas, R. C., González, J. M. S., & García, L. V. (2018). Modelos predictivos en Biogeografía: aplicación para la modelización de nichos ecológicos en Geografía Física. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, (78), 88-126.

- Hilty, J., Worboys, G. L., Keeley, A., Woodley, S., Lausche, B., Locke, H., ... & Tabor, G. M. (2021). Lineamientos para la conservación de la conectividad a través de redes y corredores ecológicos. *Serie Directrices para buenas prácticas en áreas protegidas*, (30), 183-195.
- Huber, J. T. (2017). Biodiversity of hymenoptera. *Insect biodiversity: science and society*, 419-461
- Huerta, R. A., Lomeli Flores, J. R., Trujillo, J., & Hernández, A. (2003). Combate de *Liriomyza* spp. en crisantemo mediante el uso de una aspiradora.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto Alexander von Humboldt, Invemar, Instituto Amazonico de Investigaciones Científicas Sinchi, & Instituto de investigaciones ambientales del Pacifico IIAP. (2007). *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Imprenta Nacional de Colombia.
- Ipinza, R., Barros, S., De la Maza, C. L., Jofré, P., & González, J. (2021). Bosques y Biodiversidad. *Ciencia & Investigación Forestal*, 101-132.
- Jaramillo Silva, J. C. (2019). Taxonomía, filogenia y distribución geográfica del género *Nannotrigona* (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) en Colombia. Departamento de Biología.
- Kenefic, N. E. (2017). Distribución Potencial de las Abejas Nativas sin Aguijón (Apidae: Meliponini) de Guatemala ante Posibles Escenarios de Cambio Climático.
- Krebs, J. 1985. *Ecología: Estudio de la distribución y abundancia*. Harla. 2a ed. México, D.F., México. 753 pp.
- Ladino, O. G. (2015). Incorporación de un SIG como herramienta de optimización logística en una empresa de venta directa.

- López, R.P., y C. Zambrana-Torrel. 2006. Representation of Andean dry ecoregions in the protected areas of Bolivia: the Situation in relation to the new phytogeographical findings. *Biodiversity and Conservation* 15:2163-75.
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta universitaria*, 25(2), 03-19.
- Magaña, V., Conde, C., Sánchez, O., & Gay, C. (2000). Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México. México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Mexico.
- Martínez Caballero, Y. T. (2022). Uso de los modelos de distribución de especies como herramienta para la conservación en Colombia.
- Martínez López, S., Soto Medina, E. A., Sandoval Arango, S., & Otero Ospina, J. T. (2017). Distribución espacial y hábitos de nidificación de *Nannotrigona mellaria* (Apidae: Meliponini) en una localidad de Cali (Colombia). *Acta zoológica mexicana*, 33(2), 161-168.
- Michener C.D. (2000) *The bees of the world* The Johns Hopkins University Press, Baltimore & London, 913 pp.
- Montalva, J., Allendes, J. L., & Castro, B. (2010). Las abejas (Hymenoptera: Apoidea) del Jardín Botánico Chagual. Estudio de caso de abejas nativas en zonas urbanas de Santiago de Chile. *Revista Chagual*, 8(1), 13-23.
- Montoya Solano, R. A. (2021). Comunidad de abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) de Isla Caballo, Golfo de Nicoya: estado actual y conocimiento ecológico local.

- Montoya, A. G., & Chávez, A. R. (2021). Producción de cría De Reinas *Apis mellifera* utilizando copas celdas de cera y plástico con diferentes diluciones por el método Doolittle.
- Mora Sibaja, J., Aguilar Monge, I., Morera Beita, C., Guevara-Mora, M., & Alfaro Alvarado, L. D. (2021). Distribución espacial de las abejas meliponas (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) en el Corredor Biológico Montes del Aguacate, Costa Rica. *Revista chilena de entomología*, 47(3), 479-487. <http://dx.doi.org/10.35249/rche.47.3.21.04>
- Mora Sibaja, J., Aguilar Monge, I., Morera Beita, C., Guevara-Mora, M., & Alfaro Alvarado, L. D. (2021). Distribución espacial de las abejas meliponas (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) en el Corredor Biológico Montes del Aguacate, Costa Rica. *Revista chilena de entomología*, 47(3), 479-487.
- Mota Vargas, C., Encarnación Luévano, A., Ortega Andrade, H. M., Prieto Torres, D. A., Peña Peniche, A., & Rojas Soto, O. R. (2020). Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Moyano Molano, A. L., & Rusinque Quintero, L. L. (2020). Conectividad de las áreas protegidas a través del paisaje del departamento de Caquetá.
- Muñoz Palma, M. S. (2019). Cambio climático y distribución geográfica potencial de vectores de enfermedades en Ecuador continental, basados en el modelo del nicho ecológico (Bachelor's thesis).
- Nates-Parra G. (1983) Abejas de Colombia. I. Lista preliminar de algunas especies de abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) *Revista de Biología Tropical* 31(1):155-158

- Nates-Parra G. (1985) Contribución al estudio de la Biología, Comportamiento y Genética de las abejas de los géneros *Apis*, *Melipona* y *Trigona*, en el Departamento de Cundinamarca. Informe Final Colciencias
- Nates-Parra G. (1990) Abejas de Colombia. III. Clave para géneros y subgéneros de Meliponini (Hymenoptera: Apidae) *Acta Biológica Colombiana* 2(6):115-128
- Nates-Parra G. (1995) Las abejas sin aguijón del género *Melipona* (Hymenoptera: Meliponinae) en Colombia *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 3(2):21-33
- Nates-Parra G. (1996) Abejas sin aguijón (Hymenoptera: Meliponinae) de Colombia. 181-268 pp. En: G.D. Amat, G. Andrade, F. Fernández (eds). *Insectos de Colombia: Estudios escogidos* Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y Centro Editorial Javeriano, Bogotá. D.C.
- Nates-Parra G., A. Villa, C. Vergara (1989) Ciclo de desarrollo de *Trigona* (Tetragonisca) *angustula*, Lat. 1811 (Hymenoptera: Trigonini) *Acta Biológica Colombiana* 1(5):91-98
- Nates-Parra G., D. Roubik (1990) Sympatry among subspecies of *Melipona favosa* in Colombia and taxonomic revision *Journal of the Kansas Entomological Society* 63(1):200-203
- Nates-Parra G., O.I. Cepeda (1983) Comportamiento defensivo en algunas especies de Meliponinos colombianos (Hymenoptera: Meliponini) *Boletín del Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia* 1(5):65-82
- Nates-Parra G., V.H. González (1998) Fauna apoidea de la región altoandina de Colombia. *Anais do III Encontro sobre Abelhas*: 260. Ribeirao Preto, Brasil

- Nates-Parra G., V.H. Gonzalez, R. Ospina-Torres (1999) Descripción de los machos y anotaciones sobre la biología de *Paratrigona anduzei* y *P. eutaeniata* (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) en Colombia *Caldasia* 21(2):174-183
- Nates-Parra, G & Rosso-Londoño, J.M. (2013). Diversidad de abejas sin aguijón (Hymenoptera: Meliponini) utilizadas en meliponicultura en Colombia. *Acta biológica colombiana*, 18 (3), 415-426.
- Navarrete Macedo, C. E. (2019). Distribución potencial de especies forestales amenazadas y endémicas raras mediante modelos de nicho ecológico.
- Nogués-Bravo, D. (2009) Predicting the past distribution of species climatic niches. *Global Ecology and Biogeography*, 18, 521–531.
- Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P., O'Hara, B., Stevens, M.H.H., Oksanen, M.J. and Suggests, MASS (2012). *The vegan package. Community Ecology Package*, 10 (631-637), 719.
- Olaya Quintero, D. La conservación de la biodiversidad en la escala local: Recomendaciones para consolidar un sistema municipal de áreas protegidas y otras áreas de conservación. GIZ, 2019. La conservación de la biodiversidad a escala local: Recomendaciones para consolidar un sistema municipal de áreas protegidas y otras áreas de conservación. Bogotá DC.
- Ollerton J (2017) Pollinator diversity: distribution, ecological function, and conservation. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 48:353–376
- Ollerton J, Winfree R, Tarrant S (2011) How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120:321–326

- Ollerton, J. (1999). La evolución de las relaciones polinizador-planta en los artrópodos. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 26, 741-758.
- Olson, D.M., E. Dinerstein, E.D. Wikramanayake, N.D. Burgess, G.V.N. Powell et al. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. *BioScience* 51:933-938.
- Panta Ramirez, V. G. (2017). Aplicación de una metodología para la georeferenciación y actualización del Catastro Técnico de Alcantarillado en la EPS GRAU SA Piura-2015.
- Pantano, PM (1994). Hymenoptera of the world: Una guía de identificación para las familias. *Entomólogo estadounidense*, 40 (2), 115-116.
- Parque nacional natural de colombia, P. N. N. (2020). Plan de manejo 2020–2025 parque nacional natural selva de florencia.
- Parra Hernández, M. D. C. (2020). Caracterización química y térmica del material de construcción de nidos de siete especies de Avispas de Norte de Santander– Colombia.
- Pat Fernández, L. A., Anguebes Franceschi, F., Pat Fernández, J. M., Hernández Bahena, P., & Ramos Reyes, R. (2018). Condición y perspectivas de la meliponicultura en comunidades mayas de la reserva de la biósfera Los Petenes, Campeche, México. *Estudios de cultura maya*, 52, 227-254.
- Pimentel, K. R., Martínez, F. R. H., Torres, I. P., Peña, L. E. T., & Hernández, H. G. (2014). Relación de la población natural de abejas de la tierra (*Meliponabeecheii*) con la flora en el valle San Andrés. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 2(1), 3.
- Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especiesy ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevasherramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, (48), 61-79.

- Prato, M. (2010). Ocorrência natural de sexados, produção in vitro de rainhas e multiplicação de colônias em *Tetragonisca angustula* (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). *Ribeirão Preto-SP, Brasil*.
- Quesada-Quirós, M., Acosta-Vargas, L. G., Arias-Aguilar, D., & Rodríguez-González, A. (2016). Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(34), 01–12. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i34.2991>
- Quezada-Euán, J. J. G. (2018). Stingless bees of Mexico: The biology, management and conservation of an ancient heritage. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77785-6>
- Rahmer, B., Garzón, H., & Solana, J. (2022). Análisis de causalidad entre las transferencias monetarias y la pobreza en Cartagena de Indias: Estimación de un modelo de vectores autorregresivos bayesianos. *Revista Investigación Operacional*, 4, 130-34.
- Ramírez Rubio, L. (2019). Evidencia en suelo y distribución espacial de *Toxocara canis* en Mexicali, BC, México.
- Ramos, A., & Margarth, D. (2020). Orientación política y tecnológica del derecho ambiental para impulsar el desarrollo sostenible de la sociedad en el distrito de Yanacancha-Pasco, 2018.
- Restrepo, L. F. O. (2019). Sistemas de Información Geográfica aplicados a la planificación urbana. *Revista B33 Arquitectura*, (3).
- Ricketts, T.H., E. Dinerstein, D.M. Olson, C. J. Loucks et al. 1999. Terrestrial Ecoregions of North America: A Conservation Assessment. Island Press, Washington D.C.
- Rodríguez, G. A. (2016). *Los conflictos ambientales en Colombia y su incidencia en los territorios indígenas*. Editorial Universidad del Rosario.

- Rojas Chona, C. A., & Prada Mogollón, Y. P. (2018). Propuesta pedagógica musical Encanto, para fomentar la práctica coral en los niños del municipio de Toledo durante el año 2017.
- Rojas, A., & Leany, E. (2019). Generalización y actualización de bases de datos cartográficas multiescala para la subdirección de geografía y cartografía en su grupo interno de trabajo estudios geográficos, del instituto geográfico Agustín Codazzi.
- Roubik D. (1992) Stingless bees: A guide to Panamanian and Mesoamerican species and their nests (Hymenoptera: Apidae: Meliponinae). Cap. 13, pags 495-524 en
- Roubik DW (2006) Stingless bee nesting biology. *Apidologie* 37:124–143
- RStudio Team (2020). RStudio: desarrollo integrado para R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>
- Salamanca Canizales, L. J., & Gallego Urrea, L. X. (2024). Estudio de la Diversidad y Estrategias de Conservación de Abejas Nativas (Hymenoptera: Apidae Meliponini) del municipio de Bugalagrande Valle del Cauca. *FitoVida*, 3(1), 2–11. <https://doi.org/10.56275/fitovida.v3i1.33>
- Salt G. (1929) A contribution to the ethology of the Meliponinae *Translations of the Entomology Society* 77:431-470
- Santamaría Gómez, M., Cely Gómez, A., Matallana-Tobón, C., Echeverri Marín, J., Galán Rodríguez, S., & Rey Rodero, D. (2021). Otras Medidas Efectivas de Conservación Basadas en Áreas (OMEC): guía para su identificación, fortalecimiento y reporte en Colombia. Resnatur, Instituto Humboldt, Fundación Natura y Proyecto Regional Áreas Protegidas Locales. Bogotá, Colombia.
- Smith A. (1999) Abejas (Hymenoptera: Apoidea) de la zona de influencia del embalse Porce II (Antioquia, Colombia). Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

- Soberón, J. & Nakamura, M. (2009) Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 19644–19650.
- Tollefson, M. (2021). Gráficos con el paquete ggplot2: una introducción. En: Visualización de datos en R 4. Apress, Berkeley, CA. https://doi-org.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/10.1007/978-1-4842-6831-5_7
- Tôrres, N.M., De Marco, P., Santos, T., Silveira, L., de Almeida Jácomo, A.T. & Diniz-Filho, J.A. (2012) Can species distribution modelling provide estimates of population densities? A case study with jaguars in the Neotropics. *Diversity and Distributions*, 18, 615–627
- Urquiza-Haas, T., Cantú, C., Koleff, P., & Tobón, W. (2011). Caracterización de las ecorregiones terrestres: diversidad biológica, amenazas y conservación. *Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país megadiverso*, 21.
- Useche, M. C., Artigas, W., Queipo, B., & Perozo, E. (2019). Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos.
- Vásquez A., A. Correa (1976) Estudio sobre la fauna Apoidea y sus relaciones con la flora y el medio ambiente en la región de Llano Grande (Rionegro, Antioquia). Trabajo de Grado. Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Vásquez-García, A., Sangerman-Jarquín, D. M., & Schwentesius Rindermann, R. (2021). Caracterización de especies de abejas nativas y su relación biocultural en la Mixteca oaxaqueña. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(1), 101- 113.

- Verdugo Morales, E. G. (2017). Estructura y diversidad arbórea en un gradiente altitudinal de un bosque mesófilo de montaña en la Sierra Madre de Chiapas, México (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Vergara C., A. Villa, G. Nates-Parra (1986) Nidificación de meliponinos en la región central de Colombia
Revista de Biología Tropical 34(2):181-184
- Vergara, C. A. R. L. O. S., Contreras, J. E. S. S. I. C. A., Ferrari, R. E. N. A. T. A., & Paredes, J. O. V. I. T. A. (2008). Polinización entomofila. Agroecosistemas Cafetaleros. Biodiversidad, Manejo y Conservación., 247-257.
- Vicente, Mikel Gurrutxaga San; Valencia, Pedro J. Lozano (27 de noviembre de 2008). «Evidencias sobre la eficacia de los corredores ecológicos: ¿Solucionan la problemática de fragmentación de hábitats?». ObservatorioMedioambiental 11: 171-183
- Vilchez Cancho, V. I. (2021). Significancia de los métodos de remuestreo aplicados a la calidad de servicio de la red de salud de Pichanaki, 2018.
- Villicaña Escobedo, M. I. (2019). Determinación de áreas potenciales para plantaciones comerciales de 4 especies arbóreas mexicanas.
- Wilms W, Imperatriz-Fonseca VL, Engels W (1996) Resource partitioning between highly eusocial bees and possible impact of the introduced Africanized honey bee on native stingless bees in the Brazilian Atlantic rainforest. Stud Neotropical Fauna Environ 31:137–151
- Worboys, G. L., Lockwood, M., Kothari, A., Feary, S., & Pulsford, I. (Eds.). (2019). Gobernanza y gestión de áreas protegidas. ANU Press.

Zamudio, F., & Alvarez, L. J. (2016). Abejas sin aguijón de Misiones: una guíaetnotaxonómica para su identificación en el campo. Universidad Nacional de Córdoba.