

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOINDICADOR DE LAS ABEJAS SILVESTRES
EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL BOSQUE SECO, VALLE
DEL PATÍA**



EDUARDO FABIÁN LEDEZMA MENESES

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
MAESTRÍA EN RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS CONTINENTALES
POPAYÁN
2022**

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOINDICADOR DE LAS ABEJAS SILVESTRES
EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL BOSQUE SECO, VALLE
DEL PATÍA**

Trabajo de grado para optar al título de Magister en Recursos Hidrobiológicos
Continetales

EDUARDO FABIÁN LEDEZMA MENESES

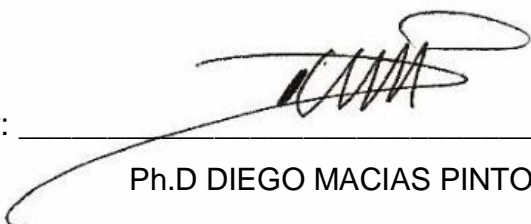
**Director:
Ph.D DIEGO MACIAS PINTO**

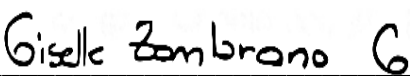
**Codirectora:
Ph.D GISELLE ZAMBRANO GONZÁLEZ**

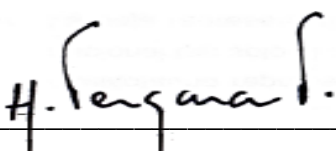
**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
MAESTRÍA EN RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS CONTINETALES
POPAYÁN
2022**

Nota de aceptación

Este trabajo de investigación titulado “EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOINDICADOR DE LAS ABEJAS SILVESTRES EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL BOSQUE SECO, VALLE DEL PATÍA” presentado por el estudiante Eduardo Fabián Ledezma Meneses para optar al título de Magister en Recursos Hidrobiológicos Continentales, fue aprobado por:

Director: 
Ph.D DIEGO MACIAS PINTO

Co - director: 
Ph.D Giselle Zambrano González

Jurado: 
Ph.D Hernando Vergara Varela

Jurado: 
Ph.D Diana Catalina Fernández

Lugar y fecha de sustentación: Popayán, 8 de abril de 2022

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	10
3. JUSTIFICACIÓN.....	12
4. OBJETIVOS.....	14
4.1. OBJETIVO GENERAL	14
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
5. MARCO TEÓRICO.....	15
5.1. PERTURBACIÓN AMBIENTAL	15
5.2. LA SUCESION VEGETAL	15
5.3. BOSQUE SECO TROPICAL.....	16
5.4. LAS ABEJAS	17
5.4.1. Colletidae.	18
5.4.2. Andrenidae.....	18
5.4.3. Halictidae.....	18
5.4.4. Megachilidae.....	19
5.4.5. Apidae.....	19
5.5. ABEJAS COMO BIOINDICADORES.....	19
6. ANTECEDENTES.....	22
6.1. AREA DE ESTUDIO.....	26
6.2. MUESTREO DE ABEJAS	28
6.2.1. Trampa aérea de intercepción de vuelo (Malaise).....	28
6.2.2. Trampa McPhail.....	28
6.2.3. Jameo y colecta manual.....	29
6.3. PARCELAS PERMANENTES DE VEGETACIÓN	29
6.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
6.4.1. Composición de especies.....	32
6.4.2. Estimación de la diversidad basada en rarefacción / extrapolación:.....	32
6.4.3. Análisis de diversidad a través de la Diversidad verdadera	32
6.4.4. Índice de Bray-Curtis (Similaridad entre puntos de muestreo)	33
6.5. ÍNDICE DEL VALOR ECOLÓGICO.....	34
7. RESULTADOS.....	38
7.1. COMPOSICIÓN DE ABEJAS SILVESTRES.....	38
7.1.1. Diversidad verdadera para la melitofauna del Bosque Seco.....	44

7.1.2. Similaridad entre las parcelas (Índice de Bray Curtis)	45
7.2. VEGETACIÓN PARCELAS PERMANENTES DE RESTAURACIÓN	47
7.2.1. Diversidad verdadera para la vegetación	48
7.3. ÍNDICE DE VALOR ECOLÓGICO	49
8. DISCUSIÓN	51
8.1. COMPOSICIÓN DE ABEJAS EN LAS PARECELAS DE RESTAURACIÓN	51
8.2. VEGETACIÓN DE LAS PARCELAS Y SUCESIÓN ECOLÓGICA	53
8.3. LAS ABEJAS COMO BIOINDICADORAS DEL BOSQUE SECO	54
8.4. ÍNDICE DE VALOR ECOLÓGICO	57
9. CONCLUSIONES	59
10. RECOMENDACIONES	62
11. BIBLIOGRAFÍA	63
Anexos	75

LISTA DE FIGURAS

Figura	Descripción	Pag
1	Localización de las zonas de muestreo en el área de estudio. Fuente propia	27
2	Distribución de las trampas en las parcelas permanentes.	29
3	Parcelas de restauración ecológica, valle del río Patía. A. Parcela Hacienda California estado de sucesión temprana. B. Parcela Hacienda Versailles, estado de sucesión intermedio. C. Parcela La Pachuca, estado de sucesión avanzado.	31
4	Función de Transformación del Valor Ecológico tomado de González-Iglesias (2015)	37
5	Composición de abejas en los tres sitios de muestreo. a. <i>Auglochloa</i> sp. b. <i>Centris</i> sp. c. <i>Coelioxys</i> sp. d. <i>Colletes</i> sp. e. <i>Diadasia</i> sp. f. <i>Epicharis rustica</i> g. <i>Epicharis</i> sp. h. <i>Eufriesea purpurata</i> i. <i>Eufriesea</i> sp. j. <i>Euglossa cordata</i> k. <i>Euglossa</i> sp. l. <i>Eulaema boliviensis</i> m. <i>E. bombiformis</i> n. <i>E. cingulata</i> ñ. <i>E. merianai</i> o. <i>E. mocsaryi</i> p. <i>E. nigrita</i> q. <i>Eulaema</i> sp. r. <i>Exaerete dentata</i> s. <i>E. smaradina</i> t. <i>Hylaeus</i> sp. u. <i>Megachile</i> sp. v. <i>Scaptotrigona</i> sp. w. <i>Tetragonisca angustula</i> x. <i>Thygater</i> sp. y. <i>Florilegus</i> sp. z. <i>Xilocopa frontalis</i> zi. <i>X. tabaniformis</i> .	40
6	Curvas de interpolación-extrapolación de la cobertura de la muestra para las abejas en las tres parcelas de restauración ecológica.	41
7	Número de especies e individuos de abejas para cada parcela de muestreo.	42
8	Familias, géneros y abundancia de abejas para la parcela 1 que corresponde al estado sucesional avanzado.	43
9	Familias, géneros y abundancia de abejas para la parcela 2 (estado sucesional intermedio).	43
10	Familias, géneros y abundancia de abejas para la parcela 3 (Estado sucesional temprano).	44
11	Diversidad verdadera para abejas de cada parcela. Zona sombreada representa los intervalos de confianza al (95%).	45
12	Dendrograma de similitud basado en el coeficiente de Bray Curtis.	46
13	Representatividad de familias botánicas en los sitios de muestreo.	47
14	Diversidad verdadera para la vegetación de cada parcela. Zona sombreada representa los intervalos de confianza al (95%).	49

RESUMEN

Se realizó un inventario de las abejas silvestres en tres estados sucesionales (bosque avanzado, bosque intermedio y bosque en regeneración temprana) en el bosque seco tropical (BST) del valle del río Patía. Los sitios de muestreo correspondieron a tres parcelas permanentes: Parcela de estado sucesional avanzado (PESA); Parcela de estado sucesional intermedio (PESI) y Parcela de estado sucesional temprano (PEST) de 30x60 metros instaladas en asociaciones vegetales y características ecológicas diferentes, en el marco de un convenio entre la Universidad del Cauca y el Instituto Alexander von Humboldt para monitorear los fragmentos de bosque que aún se conservan en el área. Las abejas fueron capturadas utilizando tres métodos de muestreo (trampas Malaise, trampa Mcphail y Jameo).

El inventario general arrojó un total de 315 individuos pertenecientes a cuatro familias de abejas (Apidae, Colletidae, Halictidae y Megachilidae) y 28 especies. La familia con mayor número de especies fue Apidae, seguida de Colletidae, Megachilidae y Halictidae. Los géneros mejor representados fueron *Augochlora* y *Eulaema* en los sitios de muestreo.

La diversidad verdadera de abejas y plantas evidenció mayor riqueza en la (PESI) y (PESA) respectivamente y, los análisis de similitud agruparon como parcelas más cercanas a las (PESI) y (PEST) con un porcentaje de similitud del 59%. Además, las curvas de interpolación / extrapolación indicaron que el muestreo de abejas para la zona de estudio fue representativo (91%).

Los resultados confirman a las abejas como bioindicadores ambientales y pudo establecerse una relación entre los estados sucesionales y los taxa de abejas presentes en las parcelas de muestreo. Entre los grupos bioindicadores de ambientes conservados se encuentran los de la tribu Euglossini (11 spp) con una representatividad del 39% del total de especies y se reportan la presencia de abejas

generalistas con preferencia a ambientes menos conservados y con algún grado de intervención como *Diadasia* sp., *Augochlora* sp y *Tetragonisca angustula* con una representatividad del 17,8%.

Finalmente, las abejas son un grupo muy importante en la ecología vegetal debido a sus características biológicas que permiten preservar y conservar la integridad de los ecosistemas, por tanto, pueden ser consideradas como un importante grupo de insectos que apunten al mantenimiento y conservación de los fragmentos de bosque seco del Patía que aún existen. Dada la rápida tendencia a la disminución de la diversidad de abejas a nivel mundial, se resalta la importancia de este estudio para proteger ecosistemas frágiles como los ecosistemas secos en Colombia y la diversidad de abejas que habita en él.

1. INTRODUCCIÓN

Las abejas son insectos que pertenecen a la superfamilia Apoidea (Anthophila), en el orden Hymenoptera. Este grupo de organismos se pueden reconocer por su cuerpo que es en general robusto, con pelos plumosos o ramificados; su boca tiene estructuras especializadas para coleccionar néctar y para el acarreo de polen en las patas posteriores o en el abdomen de las hembras (Ayala, 2016).

Aun no hay estimativos consistentes del número de especies de himenópteros para las regiones tropicales; sin embargo, en algunas zonas los datos indican que los himenópteros pueden ser tan diversos en los trópicos como en las zonas templadas (La Salle y Gauld 1993).

Actualmente se estima que la diversidad de abejas a nivel mundial es de aproximadamente 20000 especies, incluidas en 443 géneros y siete familias, cinco de lengua corta (Stenotritidae, Colletidae, Adrenidae, Halictidae, Mellitidae) y dos de lengua larga Megachilidae y Apidae (Michener, 2007). Para Colombia se han registrado 600 especies agrupadas en aproximadamente 100 géneros de las cinco familias (Adrenidae, Apidae, Colletidae, Halictidae y Megachilidae) y en los bosques secos de Colombia la riqueza total de especies es desconocida (Pizano y García, 2014).

Las abejas han desarrollado a través de su evolución, estructuras morfológicas y comportamientos que se ajustan a la explotación de las distintas formas florales. A su vez, las plantas han evolucionado con los visitantes florales lográndose una estrecha interdependencia; por lo cual es evidente la importancia de la polinización para la persistencia de ciertas especies vegetales y de otras comunidades dependientes de ellas.

Sin embargo, uno de los problemas más grandes que enfrentan las abejas, es la pérdida de la biodiversidad por efecto de la deforestación de los bosques, contaminación medioambiental, monocultivos, entre otros; y ya que, muchas especies de plantas requieren del servicio de polinización realizada por las abejas

para producir frutos, se ha generado gran interés por conocer la fauna de abejas en el trópico (Martínez y Merlo, 2014) al igual que en Colombia y en los bosques secos del país.

Dada la gran importancia de las abejas silvestres en la polinización de las plantas con flores y su papel fundamental en el mantenimiento de la biodiversidad de ecosistemas como el del bosque seco del valle del Patía, se consideró importante la realización de un inventario de las abejas en la zona, en tres estados sucesionales de la vegetación presentes en el área de estudio y las posibles relaciones existentes entre ellas y la cobertura vegetal para así, poder generar un material base que pueda seguirse aplicando para el monitoreo de la vegetación por medio las abejas silvestres presentes en los diferentes ambientes ecológicos.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El Bosque seco tropical (BST) (Holdridge, 1987) del Patía se localiza en el valle geográfico del río Patía, entre los municipios de Bolívar, Mercaderes y Patía. Los bosques secos de este valle, se limitan a remanentes situados en escasas áreas planas y a las riberas de las quebradas y ríos entre los 500 y 800 msnm; considerado un ecosistema en riesgo por las actividades antrópicas. Prácticas como la tala de sus fragmentos de bosque para ganadería extensiva y la agricultura lo sitúan en un ecosistema con alto riesgo de desertificación (Vergara, 2015); estos procesos insostenibles dejan en riesgo las poblaciones de especies necesarias para el mantenimiento de los ecosistemas, la interacción y la supervivencia de la flora y fauna como sucede en el caso específico de las abejas silvestres, que dependen de las plantas propias de estos ecosistemas para su alimentación, anidación y apareamiento (Rodríguez-Parilli y Velásquez, 2011). Las abejas mantienen una estrecha relación con la vegetación y a través de sus constantes visitas florales, se convierten en los organismos polinizadores por excelencia de plantas nativas y cultivadas (Food y Nations, 2008; Michener, 2007; Munyuli, 2012; Roubik, 1995). Si

las condiciones ambientales no son óptimas para estos organismos existe una tendencia a la reducción de las poblaciones, afectando procesos ecológicos, evolutivos, productivos y de rendimiento de cultivos que requieren estrictamente la presencia de polinización animal (Valiente-Banuet, 2002).

Hasta la fecha en Colombia se encuentran registradas 600 especies de abejas silvestres, y en los ecosistemas secos colombianos como se mencionó anteriormente este número es desconocido. Esto permite visualizar que, los estudios sobre abejas en el país y más aún en los ecosistemas secos, están en las primeras etapas de exploración (Pizano y García, 2014), de ahí la importancia de realizar estudios que incluyan listados e información indicando la presencia o ausencia de este grupo de insectos que permitan conocer la riqueza de especies en este ecosistema y su variación en áreas con diferentes grados de perturbación ecosistémica.

Teniendo en cuenta que el bosque seco tropical requiere intervención urgente en procesos de restauración, siendo la comunidad científica e instituciones gubernamentales las encargadas de gestionar y ejecutar esfuerzos para recuperar la funcionalidad de estas áreas, es relevante evaluar la comunidad de abejas presentes en parcelas de restauración ecológica cuya finalidad es hacer seguimiento a los procesos naturales y la dinámica de las poblaciones vegetales presentes en el Bosque seco tropical del Valle de Patía (Vergara, 2017) con el fin de buscar alternativas para la conservación, manejo de la biodiversidad y desarrollo sustentable local.

Por esto, el presente trabajo de investigación se formuló la siguiente pregunta de investigación ¿Cuál es el potencial bioindicador de la biodiversidad de las abejas silvestres del valle del Patía en procesos de restauración ecológica?

3. JUSTIFICACIÓN

Las abejas silvestres son consideradas organismos bioindicadores de las perturbaciones ambientales, ya que, cumplen con los criterios de un grupo sensible a cambios generados en el hábitat, permitiendo monitorear procesos de restauración o sucesión ecológica (Reyes-Novelo *et al.*, 2009). Este grupo de insectos ofrecen una serie de beneficios entre ellos la polinización, conservación de especies vegetales, producción de materia prima para medicinas y cosmetología, alimentación, entre otras. A pesar de esto, en Colombia, las abejas silvestres al igual que muchos otros grupos de insectos han tenido poca importancia al momento de establecer prioridades en la investigación y en programas de conservación (Kevan y Baker, 1983; Michener, 1974, 2000) sin tener en cuenta o desconociendo los mutuos beneficios que hay entre la vegetación y las abejas silvestres.

Por tanto, la conservación de la estructura del bosque brinda a las abejas silvestres recursos vitales como flores y sus derivados; de manera que estas especies responden a la diversidad y la continuidad de recursos alimenticios, como el polen y néctar, que es obtenido de la floración en diferentes épocas del año y de la disponibilidad de sitios adecuados de anidación y reproducción; por esto, son sensibles a las perturbaciones de su hábitat y por lo tanto excelentes bioindicadores del deterioro de los ecosistemas (Ramírez *et al.*, 2013; Roulston y Goodell, 2011; Winfree y Aguilar, 2009). Por esta razón, es pertinente estudiar la diversidad de abejas silvestres para evaluar los avances en los procesos de restauración ecológica en el bosque seco del valle del Patía. Además, en estudios previos se han podido establecer nuevos registros de abejas en el área; como: *Bombus atratus*, *Epicharis rustica*, *Diadasia* sp., *Eulaema meriana* y *Exaerete smaragdina*, especies con registros escasos a nivel nacional (Ledezma, 2015) con lo cual se estaría aportando al estudio de la diversidad de apifauna del sur-occidente colombiano.

Finalmente, los procesos de restauración ecológica deben ser continuamente monitoreados y se propone el monitoreo de abejas silvestres como herramienta para

analizar los cambios en su dinámica y la sucesión de los bosques en las parcelas propuestas para restauración y monitoreo de los estados sucesionales en el bosque seco tropical, teniendo en cuenta que la vegetación les ofrece gran cantidad de servicios ecosistémicos de los cuales gozan mutuamente y a su vez garantiza su coexistencia. Así pues, el conocimiento de la diversidad de abejas silvestres puede aportar en el reconocimiento de las perturbaciones del bosque seco tropical del valle del Patía y en la generación de recomendaciones para su gestión y conservación.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el potencial bioindicador de las abejas silvestres en procesos de restauración ecológica del Bosque seco tropical del valle del Patía.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la composición de las comunidades de abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) en tres parcelas permanentes del Bosque seco tropical del valle del río Patía.
- Correlacionar estados de avance sucesional con la presencia o ausencia de abejas silvestres en las tres parcelas permanentes.
- Establecer la capacidad bioindicadora de las abejas silvestres en el avance de procesos de restauración ecológica en el área.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. PERTURBACIÓN AMBIENTAL

La perturbación ambiental ocurre por sucesos o acontecimientos que alteran la estructura, composición y la funcionalidad de un ecosistema. Dichos acontecimientos están asociados a factores naturales o antropogénicos, los primeros ocurren a escalas temporales permitiendo naturalmente su recuperación y los segundos que afectan la estructura, funcionalidad y disminuyen los recursos naturales requiriendo acciones para la restauración (Castro, 2016).

Entre los factores antropogénicos tenemos el desequilibrio de la distribución espacial de asentamientos humanos, su concentración excesiva y actividades económicas que causan la destrucción de ecosistemas frágiles y de vital importancia (Castro, 2016). Actualmente, hay un mayor incremento de asentamientos urbanos con respecto a áreas rurales, debido al aumento de la tasa de natalidad y migración interna como ocurre en Colombia, esto conlleva a un sobrepoblamiento, amenazando los ecosistemas, aumentando la demanda de recursos vitales para la supervivencia de las comunidades (Castro, 2016) y un incremento en las actividades económicas como la ganadería intensiva, minería y agricultura.

El sector agropecuario hace parte de las actividades causantes de la perturbación ambiental (Díaz, 2006; Pizano y García, 2014), puesto que la ampliación de la frontera agropecuaria para suplir las necesidades de la población en crecimiento, afecta las zonas naturales como el (BST) reduciéndolos a pequeños fragmentos, afectando la flora y la fauna asociada a estos ecosistemas y generar procesos sucesionales regresivos.

5.2. LA SUCESION VEGETAL

La sucesión ecológica vegetal consiste en la incursión de ciertas plantas que permiten el cambio y reemplazamiento de un ecosistema a lo largo del tiempo,

dando respuesta a perturbaciones ya sean de origen natural o antrópico (McDonald *et al.*, 2016). Estos eventos sucesionales generan condiciones favorables a la comunidad permitiendo cambios temporales en la estructura, composición taxonómica y función ecosistémica.

Se describen tres estados sucesionales: Temprano, Intermedio y Avanzado para los (BST) basados en las especies que componen la comunidad vegetal y la madurez que esta presenta (Arroyo-Mora,2002).

- Estado de sucesión Temprano: presencia de árboles y arbustos, pequeños árboles cuyo dosel forma una capa con una altura media de 6 metros con pastos y suelo desnudo en áreas abiertas.
- Estado de sucesión Intermedio: formado por dos capas con una altura media de 10 metros, la capa superior compuesta por especies de crecimiento rápido, la segunda capa la componen especies tolerantes a la sombra.
- Estado de sucesión Avanzada: el dosel dominante o superior alcanza los 30 metros de altura, sotobosque con regeneración de especies tolerantes a la sombra.

5.3. BOSQUE SECO TROPICAL

El Bosque seco tropical por la ubicación en gradientes altitudinales y climáticos donde se localizan otros ecosistemas como los bosques húmedos, sabanas y desiertos, ha sido difícil definir que lo determina (Miles *et al.*, 2006). Tomando el sentido más amplio, el (BST) es una formación vegetal con una continua cobertura boscosa dominada por árboles deciduos tolerantes a sequias, su distribución altitudinal se encuentra entre los 0 y los 1000 msnm (Holdridge, 1987; Pizano y García, 2014). El ecosistema se caracteriza por presentar una evapotranspiración potencial mayor a la precipitación con temperaturas medias anuales de 17°C y una precipitación anual entre 250 y los 2000 mm, presentándose en el año de cinco a seis meses marcados de sequía limitando la productividad primaria y la biodiversidad de plantas que presentan menor altura que las de los bosques

húmedos (Gentry, *et al.*, 1993; Pennington y Ratter, 2006). En Colombia el (BST) se encuentra en seis regiones: Caribe, Valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena, Nor-andina en Norte de Santander y Santander, Valle del Patía, Vichada y Arauca además de los Llanos orientales (Díaz, 2006; Pizano y García, 2014).

En Colombia el 65% de las tierras deforestadas eran bosque seco y de la extensión de más de nueve millones de hectáreas que cubría este ecosistema originalmente en el territorio colombiano apenas queda en la actualidad un 8% (Pizano y García, 2014), siendo uno de los ecosistemas más deteriorados y amenazado en el país. Esta perturbación ambiental está asociada a factores antrópicos como la producción agropecuaria, la extracción minera, el crecimiento urbanístico y el turismo. En la región Caribe colombiana se localiza un 55% del total del (BST) en estado natural (Pizano y García, 2014), siendo esta zona del país donde se encuentran los relictos de (BST) mejor conservados (Castro, 2016).

A pesar del deterioro, el (BST) posee una diversidad de flora y fauna única debido a las adaptaciones a condiciones de estrés hídrico que deben soportar, presentando altos niveles de endemismo con 83 especies de plantas endémicas de las 2600 reportadas (Pizano y García, 2014), 33 aves de las 230 especies y tres mamíferos endémicos de los 60 reportados por Pizano (2014). Para el Valle del Patía se registran 1024 especies de plantas pertenecientes a 556 géneros y 130 familias donde dominan las hierbas (53,77%) y arbustos (24%) predominado los pastizales y campos de cultivo (Ramírez *et al.* 2015). La polinización de la mayoría de las plantas del (BST) depende de las abejas y necesitan de la polinización cruzada (Pizano y García, 2014).

5.4. LAS ABEJAS

Las abejas son insectos antofilos en la superfamilia Apoidea y pertenecen al orden Hymenoptera (Michener, 1974). Cumplen un papel ecológico importante como polinizadores representando la mitad de todos los animales que polinizan las plantas

tropicales (Michener, 1974; Roubik, 1995). Según Michener (1979), la mayor diversidad de abejas del mundo se encuentra en las áreas semidesérticas extratropicales cálidas, con el mayor número de especies registradas en los desiertos cálidos y en rastrojos de California y Arizona. Sin embargo, aún se carece de un buen conocimiento de la apifauna en muchos puntos del trópico, al igual que en varias regiones de Colombia. Uno de los sitios más interesantes en términos de fauna de abejas es el Bosque seco tropical porque posee una mayor disparidad taxonómica y con nexos biogeográficos llamativos (Michener, 1979). En Colombia existen cinco familias de abejas de las registradas para el mundo:

5.4.1. Colletidae.

Abejas solitarias, nidifican en el piso, madera, tallos de plantas. Recubren celdas con una secreción de la glándula de Duffour, que en contacto con el aire toma la apariencia de una bolsa de celofán impermeable al agua y a microorganismos. Gran parte de sus especies se encuentran en el hemisferio Sur, especialmente en Australia (Michener, 1979).

5.4.2. Andrenidae.

Solitarias. Habitan los bosques húmedos de las tierras bajas y bosques andinos. Se encuentran en todos los continentes excepto en el país de Australia. Nidifican en el piso y son oligoléticas (colecta de polen de determinadas plantas) (Griswold *et al.*, 1995).

5.4.3. Halictidae.

Pueden ser solitarias, parasociales o primitivamente eusociales (Michener, 1974). Grupo abundante y distribuido en todo el mundo. Llamadas “abejas del sudor” porque se les ve lamiendo la piel. Nidifican en el suelo y troncos. Presentan coloración metálica, verde, azul, roja o amarilla, y otras oscuras de aspecto vespoideo (Griswold *et al.*, 1995).

5.4.4. Megachilidae.

Solitarias, algunas especies comunales o tal vez eusociales. Es una familia grande, habitan todos los continentes. Transportan el polen en la escopa gasteral, hacen nidos con pedazos de hojas, resinas, ceras y otros materiales removidos de las plantas (Michener, 1974).

5.4.5. Apidae.

Hay especies parásitas de nidos de otras abejas, formas eusociales o comunales y completamente solitarias. Nidifican en suelo, troncos, paredes, etc. Las abejas verdaderamente sociales (eusociales) se suelen reunir en un grupo taxonómicamente informal y sus sociedades están constituidas por una reina, miles de obreras y unos cuantos machos (Roig, 1993).

5.5. ABEJAS COMO BIOINDICADORES

De acuerdo con Samways (2010), se reconocen tres principales tipos de bioindicadores: ambientales, ecológicos y de diversidad. Las abejas pueden ser usadas como bioindicadores principalmente ecológicos y ambientales. Este grupo de insectos como bioindicadores ecológicos son especies o grupos de especies que muestran los efectos de los cambios ambientales como la alteración del hábitat, la fragmentación o el cambio climático y responden predictivamente de manera observable y cuantificable a perturbaciones o a cambios en el estado del ambiente.

Para esto, se toman en cuenta los criterios discutidos en diferentes trabajos, los cuales varían entre autores (Brown, 1997; Delfín y Burgos, 2000; Favila y Halffter, 1997; Feinsinger, 2001; Halffter y Moreno, 2001; McGeogh, 1998; Morón, 1997; New, 2005; Pearson y Cassola, 1992; Spector y Forsyth, 1998). Aun así, la mayoría coincide en siete criterios:

Primer criterio: la taxonomía del grupo debe ser bien conocida y estable, de modo que las especies puedan ser identificadas de manera confiable (Reyes-Novelo *et al.*, 2009). Michener (2007), los describe como uno de los grupos de insectos

taxonómicamente mejor estudiados. Describe ampliamente el conocimiento actual de los Apoideos a nivel mundial y estima la existencia de más de 20,000 especies. En la actualidad existe material bibliográfico suficiente para determinar géneros y subgéneros (machos y hembras) para todo el neotrópico (Michener, 2000), además de la destacada obra de Moure (2007), la cual reúne la información taxonómica de las especies presentes en el neotrópico.

Segundo criterio: la biología y formas de vida de los bioindicadores deben ser bien conocidas (Reyes-Novelo *et al.*, 2009). Actualmente se reconocen tres formas de vida basadas en las estrategias de anidación, reproducción y comportamiento: social, solitaria, gregarias y cleptoparásita. Michener (1974) y Wilson (1971) hacen descripciones detalladas del comportamiento social y la clasificación de los distintos niveles de sociabilidad, en donde las abejas se dividen en dos subgrupos: *eusociales*, conformado por géneros que construyen nidos complejos y tienen estructura de castas en la colonia con diferenciación genética y reproducción haplodiploide (Ayala, 2004; Roubik, 2006) y parasociales donde se incluyen aquellas abejas con algún grado social pero con menos complejidad que las eusociales, normalmente sin castas genéticamente definidas (Roubik, 1989; Wille, 1983). En cuanto a las abejas *solitarias* son descritas como aquellas en las cuales una hembra construye un nido en solitario, usualmente con varias celdas de cría según la especie. Los nidos pueden encontrarse en el suelo, en galerías dentro de troncos en descomposición o en agujeros dentro de la madera (Alexander, 1995; Ayala, 2004; Roubik, 1989). Las abejas *cleptoparásitas* en general tienen forma de vida solitaria, depositan sus huevos en los nidos de otras abejas en donde sus larvas se alimentan del aprovisionamiento del nido hospedero, sin embargo, hay algunas especies sociales (Roubik y Hanson, 2004).

Tercer criterio: el grupo debe estar integrado por un gremio trófico rico, bien definido y debe ser importante en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Reyes *et al.*, 2009). Este criterio lo cumplen las abejas al ser los principales vectores de polen de muchas plantas con flores, tanto silvestres como cultivadas,

jugando un papel determinante en la polinización y en la regeneración e integridad de los ecosistemas, convirtiéndolas en un grupo clave para el funcionamiento de los ecosistemas (Kevan y Baker, 1983; Kevan, 1999; Michener, 2000, 2007). En los estudios de (Brosi y Daily, 2008; Ricketts y Regetz, 2008; Steffan y Westphal, 2008; Winfree y Aguilar, 2009), se aborda la importancia de la relación entre las abejas y el hábitat, debido a que la modificación de éste genera cambios en la estructura de las comunidades de abejas.

Cuarto criterio: la metodología de colecta. Esto sugiere que los organismos deben ser fácilmente capturados, manipulados, de observación sencilla y el estudio del grupo no debe poner en peligro su conservación (Reyes *et al.*, 2009). Las abejas son fáciles de capturar, los métodos más usados para su colecta son la red entomológica aérea, las trampas de Malaise, las trampas de agua de distintos colores, las de luz blanca o negra, atrayentes químicos (feromonas o esencias) y nidos trampa. Por el número de individuos en las colonias de especies sociales y la abundancia de las especies solitarias, ninguno de estos métodos parece poner en riesgo las poblaciones de abejas (Reyes *et al.*, 2009).

Quinto criterio: la distribución geográfica del grupo debe ser amplia y comprender diferentes hábitats, de modo que permita una amplia variedad de diseños experimentales y comparaciones (Reyes *et al.*, 2009). A nivel mundial las abejas tienen una amplia distribución, pero existen regiones geográficas con mayor riqueza de especies (Michener, 1979). quien establece los patrones generales de distribución y publica aspectos particulares de distribución para algunos grupos. Una generalización aceptada en la literatura, es que las abejas son más diversas en las regiones xéricas del mundo, en especial las de América del Norte (Michener, 1979), sin embargo, esto es probable debido a los pocos estudios realizados en las zonas tropicales (Michener, 2007).

Sexto criterio: las especies deben tender a especializarse en un hábitat particular, de modo que sean sensibles a la degradación y a la regeneración del hábitat (Reyes *et al.*, 2009). Las abejas cumplen con este criterio debido a la sensibilidad de las

comunidades a la perturbación de los ambientes, respondiendo a la diversidad y la continuidad de los recursos de donde obtienen alimento y sitios de anidación. De acuerdo con Cane (2001) cuando la vegetación es talada la estructura de la comunidad de abejas cambia, desaparecen algunas especies, se modifica la dominancia y decrece la abundancia de las especies representativas de dicha comunidad, mientras que a mediano o largo plazo las comunidades ya modificadas se robustecen debido a la integración de recursos florales provenientes de plantas pioneras o características de la vegetación secundaria, así como aquellas introducidas.

Séptimo criterio: el grupo debe tener especies con importancia económica potencial (Reyes *et al.*, 2009). Para la economía del sector agrícola las abejas son claves, el papel que juegan en la transferencia de polen en los sistemas naturales es relevante para la producción de alimentos, ya que muchos cultivos requieren de polinización entomófila para obtener buenos rendimientos por unidad de superficie cultivada (Kevan, 1999). De acuerdo con (Food y Nations., 2008; Roubik, 1995) en poco más de 100 especies de cultivos que proporcionan el 90% del suministro de alimentos para 146 países, el 71% son polinizados por abejas. Además de obtener productos como la miel y los subproductos que vienen de especies como las abejas sin aguijón (*Meliponini*) que desde tiempos prehispánicos han sido aprovechados (Reyes *et al.*, 2009).

6. ANTECEDENTES

Las abejas son consideradas excelentes bioindicadores del deterioro del ecosistema por responder a la diversidad y a la continuidad de recursos alimenticios como el polen y el néctar que obtienen de la floración, por esta razón son sensibles a las perturbaciones del hábitat (Winfree *et al.*, 2009; Meléndez *et al.*, 2013); en este apartado exploraremos algunos autores que lo sustentan y sus aportantes más relevantes.

En México, Balboa (2010) registra la diversidad de abejas nativas de tres localidades con diferencias en uso de suelo, dentro de la reserva de la biosfera “La sepultura”, Chiapas. Reporta 181 especies de abejas en conjunto para las tres localidades. Al analizar la diversidad a nivel de paisaje, encontró que las localidades con mayor impacto humano presentan valores más altos de diversidad α y β que lo encontrado en la localidad con vegetación mejor conservada. Sin embargo, cuando evaluó el impacto de cambio del uso del suelo sobre la diversidad a escala local mediante grupos funcionales encontró que la vegetación conservada alberga una riqueza genérica y específica mayor que la encontrada en potreros y en suelo suburbano. La mayor riqueza de especies de abejas se registra en la vegetación conservada. Se colectaron un total de 119 especies de plantas visitadas por las abejas. También Martínez (2014) en Yucatán México, revisa la información científica de este grupo en relación a la taxonomía y su diversidad, características y comportamiento del grupo y las amenazas que enfrenta en la actualidad; el cambio de la cobertura vegetal asociado al uso del suelo, deforestación y contaminación son algunos de los problemas que enfrentan hoy las abejas poniendo en riesgo el importante papel que juegan en la polinización, además este estudio concluye que la diversidad de abejas disminuye a medida que sus hábitats son más intervenidos.

En Colombia, en el embalse Porce II se realizó un inventario de las abejas silvestres en cuatro estados sucesionales (pastizales, rastrojos bajos, bosques secundarios y bosques intervenidos). El inventario general arrojó un total de 287 especies de abejas. Las asociaciones de la fauna de abejas con los diferentes estados sucesionales mostraron que el rastrojo bajo presentó el 100% de las tribus de abejas, pero fue el rastrojo alto (bosque secundario) el que contó con el mayor número de géneros y especies, aunque el bosque fue el estado sucesional con menos número de especies tal vez por la metodología de muestreo, sin embargo, fue el estado sucesional con la mayor cantidad de especies exclusivas (no presente en otros estados sucesionales) (Smith, 1999, 2008).

En el piedemonte llanero Parra *et al.*, (2007), estudiaron la variación de abejas de las orquídeas (Hymenoptera: Apidae, en tres ambientes perturbados (urbano, rural y conservado). Encontraron que de las 26 especies que ocurren en el área se registraron 17. *Eulaema nigrita* fue la más frecuente, mientras que *E. speciosa*, *E. bombiformis*, *Euglossa magnipes*, *E. cybelia*, *E. heterosticta*, *E. singularis* y *Exaerete frontalis* correspondieron a ambientes considerados como "buenos a aceptables" (áreas conservadas o rurales con coberturas vegetales importantes), estas especies ocurrieron en lugares donde la diversidad en composición, tamaños y formas biológicas en general fue alta y no ocurrieron en lugares donde el deterioro era evidente. Así mismo, en Cundinamarca se realizó un trabajo titulado "La estructura importa: abejas visitantes del café y Estructura Agroecológica Principal (EAP) en cafetales" Los autores estudiaron la relación entre EAP y la polinización, para ello, se caracterizaron nueve sistemas (cinco cafetales y cuatro bosques), evaluando diez variables locales, la distancia al bosque como variable de paisaje y las abejas visitantes del café; concluyeron que en el polen de contacto se identificaron árboles, hierbas y epifitas evidenciando que las abejas visitan diferentes estratos vegetales en su búsqueda de recursos entre bosques y cercas vivas, por tanto, para mantener la diversidad de abejas en los cafetales, se debe mantener la diversidad de los bosques cercanos a los cafetales y pensar en su conservación (Cepeda *et al.*, 2014).

Prado (2020) evaluó la respuesta de dos abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini): *Tetragonisca angustula* y *Melipona costaricensis* a efectos de cambio de cobertura vegetal y procesos de fragmentación. Para esto instalaron seis colmenas por especie en tres ambientes de intervención antrópica contrastantes: bosque, rastrojo y pastos en la cordillera Central colombiana. Encontraron que *Tetragonisca angustula* presentó una mayor riqueza polínica y con mayor rango de amplitud de su nicho, por tanto, fue catalogada como una especie más generalista en comparación a *Melipona costaricensis*. Ambas especies presentaron mayor preferencia hacia especies vegetales típicas de ambientes boscosos, exaltando la meliponicultura como una práctica económica sustentable que puede impulsar la

conservación de los bosques. A demás, observó que los fragmentos de bosques interconectados entre sí, e inmersos en matrices poco antropizadas favorecen el establecimiento de estas abejas sin aguijón.

En el departamento del Cauca, Fernández y Zambrano (2011) proponen a las abejas silvestres como estrategia de monitoreo de restauración ecológica en el municipio El Tambo, zona de amortiguación de PNN Munchique. Concluyen que la composición de especies varía en los sitios, entre las parcelas de uso sostenible y bosque, mostrando que en las primeras hay presencia de abejas consideradas generalistas y en el bosque especies más exclusivas de este estado de sucesión. También Zambrano *et al.*, (2013), reportan 12 especies de abejas como visitantes de (cultivos de calabaza) *Cucurbita moschata* en el Bosque seco tropical del valle del río Patía.

Finalmente, Ledezma (2015) estudia la comunidad de abejas de dos relictos de Bosque seco tropical en el municipio de Bolívar-Cauca, en el cual colectaron 188 individuos representantes de las familias Apidae, Halictidae y Colletidae; estos pertenecen a 5 subfamilias, 9 tribus, 14 géneros y 21 especies.

MARCO METODOLÓGICO

6.1. AREA DE ESTUDIO

El valle geográfico del río Patía se encuentra entre los 500 y 600 metros de altitud al sur del departamento del Cauca en el municipio de Patía (Pizano y García, 2014) (Figura 1). La temperatura promedio anual es de 26.3 °C y la precipitación media anual es 1,248 mm y dividida en dos periodos lluviosos (marzo – mayo y octubre y diciembre) separados uno el otro por dos periodos secos (enero – febrero y junio - septiembre) (Vergara, 2015). Los suelos son de origen volcánico cuyas rocas antiguas están cubiertas por depósitos aluviales heterogéneos provenientes de los ríos Guachicono, San Jorge y Patía dando origen a las llanuras que caracterizan el valle (Vergara y Torres, 2017). El área presenta un ecosistema intervenido con coberturas vegetales escasas, con parches de bosque secundario y alto grado de deforestación debido a la presión antrópica principalmente por actividades ganaderas y agrícolas, quedando muy pocos remanentes de bosque que ocupan áreas a orillas de las quebradas y ríos (Vergara, 2017).

El grupo étnico predominante del municipio es la comunidad afrocolombiana, cuya principal actividad económica es el cultivo de maíz y caña de azúcar, así como piña, papaya, plátano, limón y maracuyá denominados productos de “pan coger”. Dentro de las amenazas ambientales están las quemadas, erosión, deforestación y la contaminación de aguas y suelos, ocasionando la reducción del caudal de las quebradas que en temporada de verano se convierten en corrientes temporales o intermitentes.

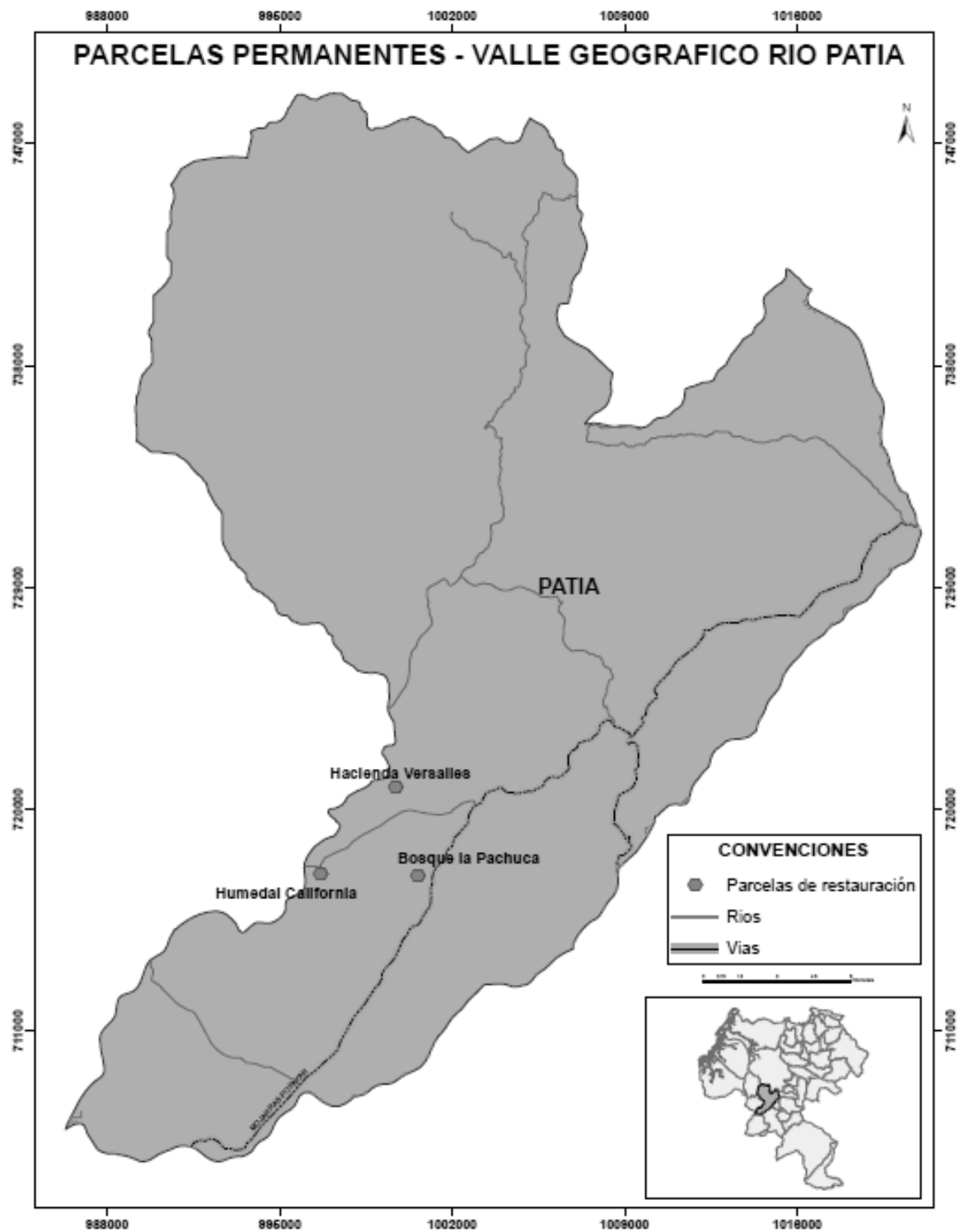


Figura 1. Localización de las zonas de muestreo en el área de estudio. Fuente propia

6.2. MUESTREO DE ABEJAS

Se realizaron tres salidas por mes, alternadas en cada uno de los sitios a muestrear. Cada salida con cinco días efectivos de muestreo, para un total de 9 jornadas en tres meses. Los métodos de colecta fueron trampas Malaise y McPhail. Estas se colocaron en las tres parcelas permanentes, se revisaron y recebaron cada día de muestreo hasta terminar con las salidas programadas. Adicional se realizó colecta manual con ayuda de la red entomológica. A continuación se describen trampas utilizadas en la investigación:

6.2.1. Trampa aérea de intercepción de vuelo (Malaise).

Esta trampa consiste en cuatro paredes de tela de nylon de color blanco. Se asemeja a una carpa, pero con las entradas laterales abiertas y separadas por una pared central. En uno de sus extremos se ubica un frasco de plástico colector el cual contiene esencias y como sustancia letal alcohol al 70% (Gasca y Higuera, 2010). Se emplearon siete trampas distribuidas el área total de las parcelas y en el sotobosque a 1,5 metros del suelo y una distancia entre ellas de 20 metros y a diez metros de las trampas Mcphail (Figura 2); activas los tres meses de muestreo.

6.2.2. Trampa McPhail.

Consiste en un recipiente con orificios que a su vez forman un embudo inverso el cual impide la salida de los insectos que ingresan. En la parte superior se coloca un atrayente (esencias de eugenol, eucaliptol y vainillin) y en la parte inferior una solución letal para atrapar a las abejas cuando caen por agotamiento al intentar escapar de la trampa (Gasca y Higuera, 2010) . Se instalaron 14 trampas distribuidas en toda la parcela y en el dosel de los árboles a una distancia entre ellas de 20 metros y diez metros de las trampas Malaise (Figura 2), activadas los tres meses de muestreo.

6.2.3. Jameo y colecta manual.

Usada al azar para capturar las abejas que se encontraron en nidos o forrajeando en el bosque como complemento al muestreo de 7:00 AM a 10:00 AM y de 3:00 PM a 5:00 PM para un total de cinco horas en cada día efectivo de muestreo programado en la jornada de campo. Se usó esta técnica en los bordes y centros de cada parcela.

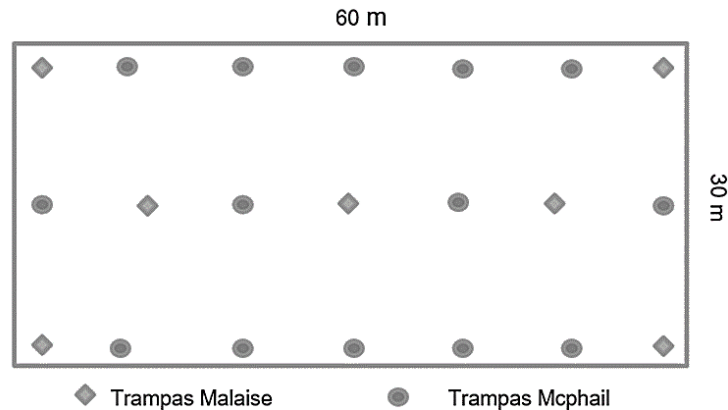


Figura 2. Distribución de las trampas en las parcelas permanentes.

La identificación de los individuos colectados se realizó mediante el uso de las claves y descripciones en: Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical (Nieves *et al.*, 2006), Abejas Altoandinas de Colombia (González *et al.*, 2005) y Una guía de campo sobre insectos: Norte de México, América (White, 1998). Por último, se etiquetó cada muestra con información de estrato donde se capturó, número de la muestra, tipo de muestreo y fecha de la colecta con el fin de depositar en la colección de referencia del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca con número de serie personal entre: FL00001 y FL00315.

6.3. PARCELAS PERMANENTES DE VEGETACIÓN

Los muestreos se realizaron teniendo en cuenta la época seca y la transición de esta con la época de lluvias en los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2020, en las parcelas permanentes de investigación establecidas por el

convenio entre el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y la Universidad del Cauca (Vergara, 2017). Las parcelas presentan dimensiones de 30 x 60 metros instaladas en el año 2014 en relictos de (BST) del Patía de acuerdo con la metodología propuesta por el Instituto Alexander von Humboldt y la Red de Investigación para el Estudio de Bosques Secos Tropicales de América (Tropi-Dry) quienes desarrollaron la metodología para el montaje de las parcelas que permiten comparar la sucesión vegetal, etapas y caracterizar la estructura y composición de los bosques secos tropicales de América Latina considerando los (BST) (Figura 3) (Tropi-Dry,2008) (Vergara, 2017).

Las parcelas cuentan con estados sucesionales diferentes y se ubican de la siguiente manera: parcela uno en la Fundación para el Valle del Patía (FUNDEVAP) La Pachuca, vereda Piedra de Moler ($2^{\circ}02'33.1''N$, $77^{\circ}04'31.5''W$), presenta un estado sucesional avanzado y una altura sobre el nivel del mar de 600 metros; la parcela dos se encuentra en cercanías de la quebrada Cantarrana en la Hacienda Versalles, vereda El Rincón ($2^{\circ}02'29.3''N$ $77^{\circ}05'00.7''W$) con un estado sucesional intermedio y una altitud de 630 msnm; la parcela tres se encuentra a orillas del humedal California, Hacienda California, vereda Angulo ($2^{\circ} 02' 33.9'' N$, $77^{\circ} 06' 39.6'' W$) y cuenta con un estado sucesional temprano y una altitud de 590 msnm. Esta última parcela fue implementada por el Grupo de Investigación en Restauración Ecológica Fxiw (Figura 1,3); (Tabla 1).

Tabla 1. Zonas de muestreo y estado sucesional de las parcelas.

Número de Parcela	Vereda	Localidad	Coordenadas	Estado Sucesional
Parcela 1	Piedra de Moler	La Pachuca	$2^{\circ}02' 33.1'' N$, $77^{\circ}04' 31.5'' W$	Avanzado
Parcela 2	El Rincón	Hacienda Versalles	$2^{\circ}02' 29.3'' N$, $77^{\circ}05' 00.7'' W$	Intermedio
Parcela 3	Angulo	Hacienda California	$2^{\circ}02' 33.9'' N$, $77^{\circ}06' 39.6'' W$	Temprana

Los estados de sucesión se establecieron atendiendo la metodología de Tropi-Dry (2008), adicionalmente, se herborizaron y determinaron las especies vegetales,

posteriormente, fueron depositadas en el herbario de la universidad del Cauca (CAUP).



Figura 3: Parcelas de restauración ecológica, valle del río Patía. **A.** Parcela Hacienda California estado de sucesión temprana. **Ai.** Núcleos de restauración parcela California. **B.** Parcela Hacienda Versalles, estado de sucesión intermedio. **Bi.** Sotobosque parcela Versalles. **C.** Parcela La Pachuca, estado de sucesión avanzado. **Ci.** Dosel parcela La Pachuca.

6.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.4.1. Composición de especies

Para estimar la composición de especies se evaluó la abundancia (Número de individuos presentes por especie) y la riqueza (número de especies) en cada parcela de abejas y plantas, los datos fueron consignados en una tabla en Excel.

6.4.2. Estimación de la diversidad basada en rarefacción / extrapolación:

Para comparar la riqueza de especies en las unidades de muestreo se usó la metodología de Chao y Jost (2012), la cual integra la rarefacción y la extrapolación para comparar la diversidad de especies basado en muestras de igual completitud (medida por la cobertura de la muestra). La cobertura se define como la proporción del número total de individuos en una comunidad que pertenece a las especies representadas en la muestra (Chao y Jost, 2012). Bajo este enfoque se puede hacer comparaciones de diversidad de especies con un menor sesgo (debido al esfuerzo de muestreo) a diferencia de otras técnicas tradicionales para estos fines (Magurran y McGill 2011). El análisis se basa en dos tipos de datos y modelos: basado en individuos (abundancia) y basado en la muestra (incidencia) (Chao *et al.*, 2014). En este caso, usamos un modelo con datos de incidencia incorporando los números de Hill, los cuales son una familia unificada matemáticamente de índices de diversidad, en este caso para los primeros que son la riqueza de especies ($q = 0$) y la exponencial de la entropía de Shannon o diversidad de Shannon ($q = 1$), con base en datos de incidencia (Chao *et al.*, 2014). La estimación de la diversidad con base en rarefacción/extrapolación se realizó con el paquete iNEXT para R (Hsieh *et al.*, 2020).

6.4.3. Análisis de diversidad a través de la Diversidad verdadera

La diversidad de la vegetación presente en las 3 parcelas de muestreo, así como la diversidad de abejas silvestres se llevó a cabo mediante el uso del índice de

diversidad verdadera (Números efectivos como medida de diversidad) a través de la fórmula:

$${}^q D = \left(\sum_{i=1}^S p_i^q \right)^{1/(1-q)}$$

dónde: ${}^q D$ es la diversidad verdadera (Jost, 2006), p_i es la abundancia relativa (abundancia proporcional) de la *iésima* especie, S es el número de especies, y q es el orden de la diversidad y define la sensibilidad del índice a las abundancias relativas de las especies (Jost 2006). El valor del parámetro q determina qué tanto influyen las especies comunes o las especies raras en la medida de la diversidad, y puede tomar cualquier valor que el usuario estime apropiado.

El índice de entropía de Shannon y otras medidas de complejidad se utilizan frecuentemente para evaluar la diversidad de especies en comunidades ecológicas, aun cuando su comprensión es difícil y sus valores no son comparables. Este análisis muestra los números efectivos de especies a lo que se ha denominado medidas de diversidad verdadera, que permiten obtener una interpretación intuitiva y fácilmente comparable de la diversidad de especies (Moreno *et al.*, 2011).

6.4.4. Índice de Bray-Curtis (Similaridad entre puntos de muestreo)

Es uno de los más ampliamente utilizados en la ecología cuantitativa actual, sus expresiones de similitud y disimilitud son:

$$S_B = 1 - \left[\frac{\sum |X_{ij} - X_{ik}|}{\sum (X_{ij} + X_{ik})} \right]$$

Dónde:

S_B : Media de Bray-Curtis entre las muestras j y k

X_{ik} : número de individuos de la especie i en la muestra j

X_{ij} : número de individuos de la especie i en la muestra k

6.5. ÍNDICE DEL VALOR ECOLÓGICO

El valor ecológico es un complejo de criterios por medio de los cuales se puede establecer la calidad de un ecosistema. Si bien es cierto, la diversidad biológica es un estabilizador ecológico, porque cuando mayor es la diversidad del ecosistema, las especies y los genes, los sistemas biológicos tendrán mayor capacidad de mantener la integridad de sus relaciones básicas. Esta capacidad de los sistemas biológicos asegura la permanencia de los mismos a través del tiempo; y desde el punto ecológico mantienen el equilibrio de funciones vitales para la vida de las especies incluyendo al ser humano. Por tanto, el índice del valor ecológico es una medida ambiental que se usa para evaluar la calidad de los ecosistemas en función de unas variables determinadas (Gonzales, 2015).

Para la estimación del valor ecológico, fueron considerados el grupo de abejas y plantas, ya que estos son grupos de organismos que responden de manera sensible a los cambios y/o modificaciones en el ambiente, y estos cambios pueden ser evaluados en función de la abundancia y diversidad de las especies de estos grupos presentes en un sitio. Se consideró como indicador al impacto el valor ecológico (VE) determinado en función de su calidad y abundancia en la siguiente ecuación:

$$VE = \frac{a * b + c + 3d}{e} + 10 (f + g)$$

En la tabla 2 se encuentra la asignación de valores a las variables que se utilizaron en la fórmula. La respuesta general de las variables en función de un factor que afecte o presente un efecto adverso a la comunidad bajo estudio resultará en un decremento del valor de (VE) (González, 2015).

Tabla 2. Datos generales de la ecuación del valor ecológico tomado de González, 2015.

Variable	Símbolo	Valor	
Riqueza de abejas	A	Muy abundante	5
		Abundante	4
		Medianamente abundante	3
		Escaso	2
		Muy escaso	1
Diversidad de especies de abejas	B	Excepcional	5
		Alta	4
		Aceptable	3
		Baja	2
		Uniformidad faunística	1
Número de especies protegidas	C	De 0 a 10	
Diversidad Florística	D	Excepcional	5
		Alta	4
		Aceptable	3
		Baja	2
		Uniformidad florística	1
Superficie cubierta por tipo de vegetación	E	Muy abundante	5
		Abundante	4
		Medianamente abundante	3
		Escaso	2
		Muy escaso	1
Rareza de la comunidad	F	Muy raro	5
		Raro	4
		Relativamente raro	3
		común	2
		Muy común	1
Endemismos	G	Si	5
		No	0

Para la determinación de la riqueza de abejas variable (a) se consideró la riqueza total de especies que se obtuvo en el muestreo; sobre la riqueza de cada parcela muestreada en la zona.

La variable (b) que representa la diversidad de especies de abejas del área de estudio fue determinada con base en la comparación de la diversidad de abejas encontrada en trabajos relacionados Zambrano *et al.* (2013), Ledezma (2015), en los cuales se hace un acercamiento a la diversidad de abejas del valle del Patía. Los estudios de este grupo de fauna son escasos en los ecosistemas secos y aún más en esta región del país, por tanto, se tomaron estos trabajos como referencia para realizar el IVE. Ambos estudios registran un total de 33 especies de abejas para este ecosistema ubicado al sur-occidente colombiano.

La variable (c) hace referencia al número de especies protegidas que fueron observadas durante el muestreo; el valor asignado para esta variable en las tres parcelas de muestreo fue de 0, ya que, esta región y las especies que se encuentran en ella no se encuentran bajo ninguna figura de protección.

La diversidad de la vegetación variable (d) se determinó mediante la comparación de la diversidad de las parcelas evaluadas en este trabajo de investigación y el trabajo realizado por (Vergara, 2014) en el cual se estudia la diversidad y los patrones de la vegetación de plantas del bosque seco del valle del Patía.

La variable (e) hace referencia a la superficie cubierta por el tipo de vegetación del área de estudio, la cual fue comparada con el trabajo de Vergara (2015) en cual se hace una caracterización de la vegetación y los tipos de uso de la tierra para el valle del Patía. Para calcular la cobertura vegetal se utilizaron fotografías aéreas de los años 1961 (escala 1:50.000) y 1988 (escala 1:30.000) e imágenes satelitales tomadas de ArcGlobe del año 2011 procesadas en el software ArcGis.

En el caso de la rareza (f) se consideró la representatividad de los tipos de vegetación de las parcelas de muestreo en el bosque seco del valle del Patía, así como su distribución y asociaciones presentes por tipo de vegetación en este trabajo

y en otros para la zona de estudio. El resultado que obtuvo esta variable fue de un valor asignado de 2, considerándose especies poco raras o comunes.

La variable (g) hace referencia a la presencia de especies endémicas referidas a la comunidad evaluada. Para este estudio no se encontraron especies endémicas para la zona.

El índice del Valor Ecológico se expresa como un rango adimensional de 1 a 100 deduciendo que es una medida porcentual por lo que se determinará el valor del índice utilizando la función de transformación del Valor Ecológico de tipo logarítmica donde:

$$Y = 0.4031 \ln(VE) - 0.8664.$$

La ecuación representa la relación del valor ecológico de la comunidad ponderada por el estatus de calidad ambiental con valores del índice en una escala de 0 a 1, siendo 1 la mejor condición y 0 la peor condición (Figura 4). Los datos obtenidos en el índice del valor ecológico permiten evaluar la integridad del ecosistema y establecer si la presencia o ausencia de las abejas silvestres son potenciales bioindicadores del avance de procesos de restauración ecológica.

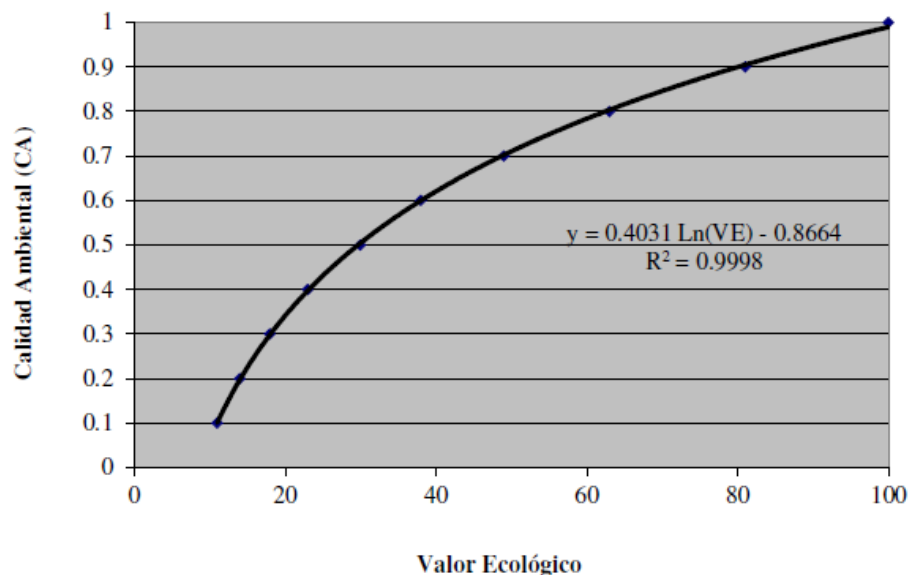


Figura 4. Función de Transformación del Valor Ecológico tomado de González (2015).

7. RESULTADOS

7.1. COMPOSICIÓN DE ABEJAS SILVESTRES

Se registraron 28 morfoespecies de abejas distribuidas en cuatro familias (Apidae, Colletidae, Halictidae y Megachilidae) y 315 individuos (Tabla 3) colectados en las tres parcelas evaluadas (Figura 5).

Tabla 3. Composición de abejas en tres parcelas sucesionales en el bosque seco tropical del valle del Patía

Familia	Especie	Parcela avanzada	Parcela intermedia	Parcela temprana
Apidae	<i>Diadasia</i> sp.	7	14	4
	<i>Scaptotrigona</i> sp.	1	1	18
	<i>Centris</i> sp.	-	4	-
	<i>Epicharis rustica</i>	-	1	-
	<i>Epicharis</i> sp.	-	1	4
	<i>Eufriesea</i> sp.	-	1	1
	<i>Eufriesea purpurata</i>	-	-	1
	<i>Euglosa cordata</i>	-	9	5
	<i>Euglosa</i> sp.	-	10	9
	<i>Eulaema boliviensis</i>	-	1	-
	<i>Eulaema cingulata</i>	-	19	17
	<i>Eulaema meriana</i>	-	4	6
	<i>Eulaema mocsaryi</i>	-	1	-
	<i>Eulaema nigrita</i>	-	1	9
	<i>Eulaema</i> sp.	-	5	2
	<i>Eulaema bombiformis</i>	-	2	-
	<i>Exaerete dentata</i>	-	3	1
	<i>Exaerete smaragdina</i>	-	6	7
<i>Florilegus</i> sp.	-	1	-	

	<i>Tetragonisca angustula</i>	8	8	6
	<i>Thygater</i> sp.	-	1	-
	<i>Xylocopa frontalis</i>	8	7	-
	<i>Xylocopa tabaniformis</i>	-	-	1
Colletidae	<i>Hylaeus</i> sp.	1	4	-
	<i>Colletes</i> sp.	-	3	-
Halictidae	<i>Augochlora</i> sp.	15	43	23
Megachilidae	<i>Coelioxys</i> sp.	-	2	1
	<i>Megachile</i> sp.	-	4	4
	Total	40	156	119

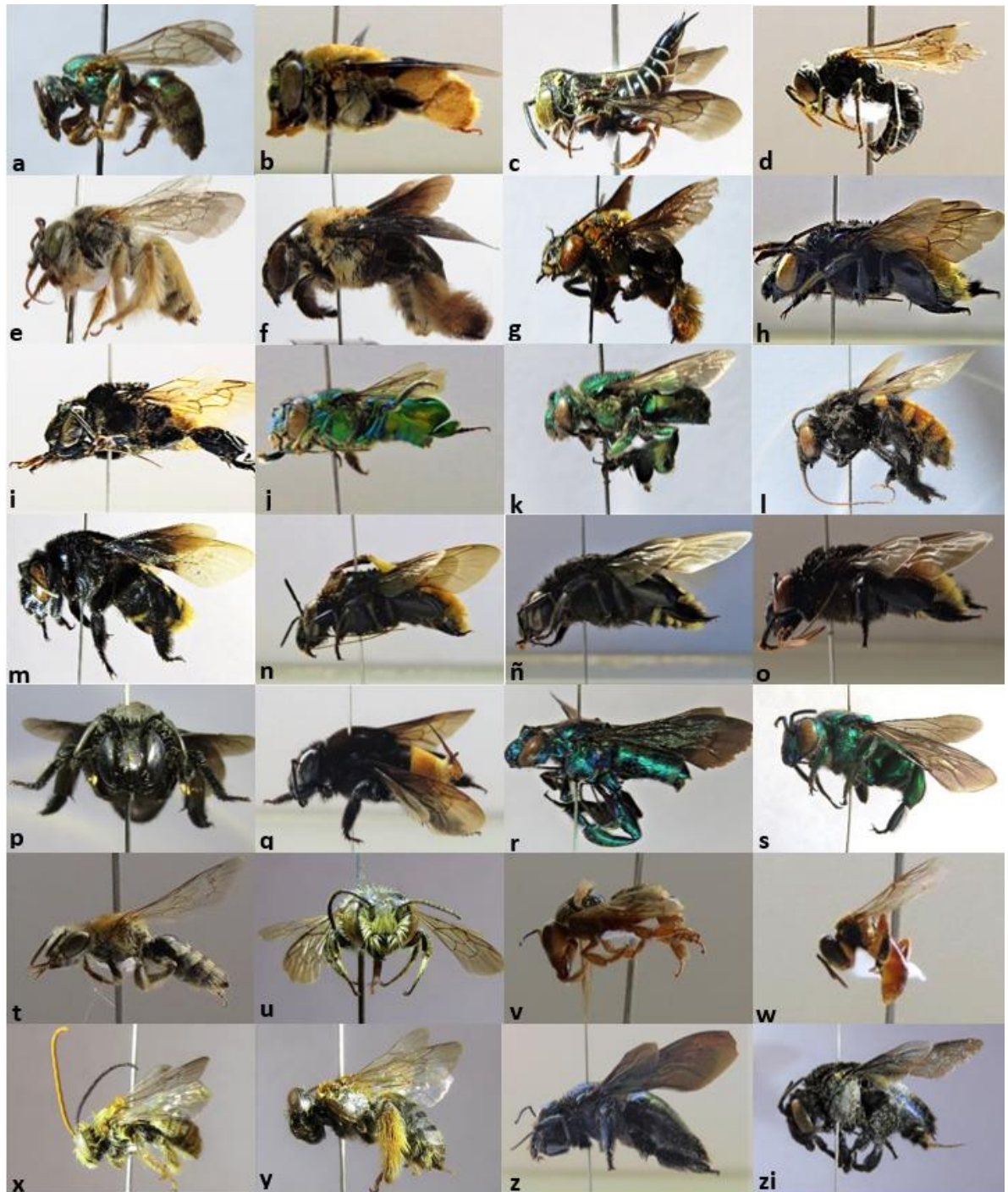


Figura 5. Composición de abejas en los tres sitios de muestreo. **a.** *Auglochloa* sp. **b.** *Centris* sp. **c.** *Coelioxys* sp. **d.** *Colletes* sp. **e.** *Diadasia* sp. **f.** *Epicharis rustica* **g.** *Epicharis* sp. **h.** *Eufriesea purpurata* **i.** *Eufriesea* sp. **j.** *Euglossa cordata* **k.** *Euglossa* sp. **l.** *Eulaema boliviensis* **m.** *E. bombiformis* **n.** *E. cingulata* **ñ.** *E. meriana* **o.** *E. mocsaryi* **p.** *E. nigrita* **q.** *Eulaema* sp. **r.** *Exaerete dentata* **s.** *E. smaragdina* **t.**

Hylaeus sp. **u.** *Megachile* sp. **v.** *Scaptotrigona* sp. **w.** *Tetragonisca angustula* **x.** *Thygater* sp. **y.** *Florilegus* sp. **z.** *Xilocopa frontalis* **zi.** *X. tabaniformis*.

Según las curvas de interpolación/extrapolación la cobertura de la muestra para la diversidad de abejas registrada en las tres parcelas evaluadas se encuentra entre el 91 % y 93%; indicando que han sido colectadas la mayoría de especies de la zona de estudio (Figura 6).

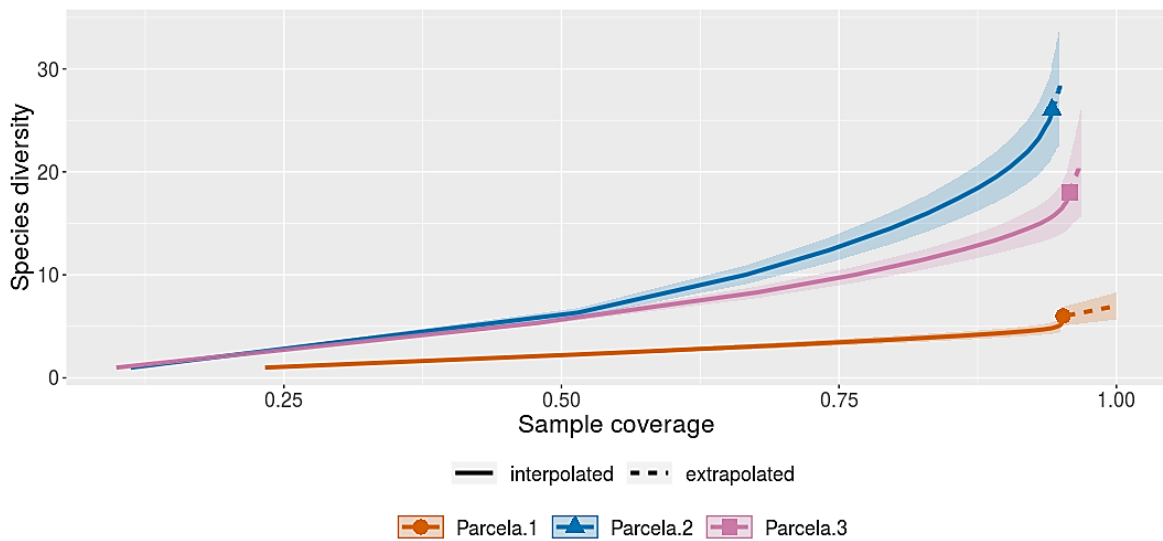


Figura 6. Curvas de interpolación-extrapolación de la cobertura de la muestra para las abejas en las tres parcelas de restauración ecológica.

Los resultados permiten observar que la parcela con estado sucesional intermedio (PI) fue en donde se registró la mayor cantidad de especies e individuos con 26 especies de 156 individuos, seguida de la parcela con estado sucesional temprano (PT) con 18 especies y 119 individuos (Figura 7).

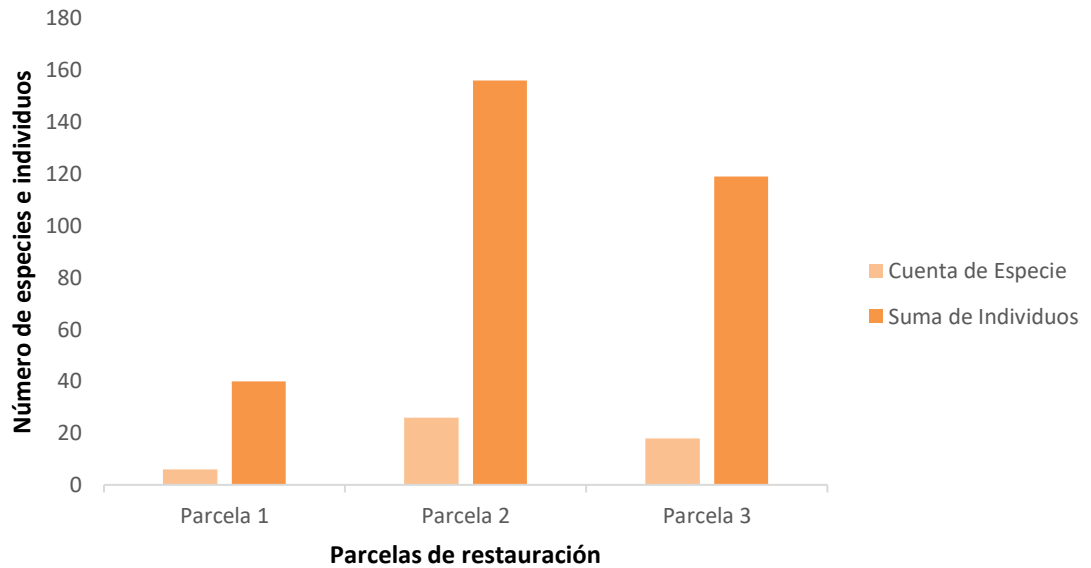


Figura 7. Número de especies e individuos de abejas para cada parcela de muestreo.

La familia de abejas más representativa en las tres parcelas evaluadas fue Apidae. En la parcela con estado sucesional avanzado (PA) esta familia estuvo representada por cuatro especies, en la parcela intermedia (PI) por doce especies y en la parcela temprana (PT) por nueve especies. También es importante mencionar que la morfoespecie más representativa fue *Augochlora* sp. de la familia Halictidae para las parcelas avanzada e intermedia, pero en la parcela temprana la morfoespecie con mayor número de individuos fue *Eulaema* sp. (Figuras 8, 9, 10).

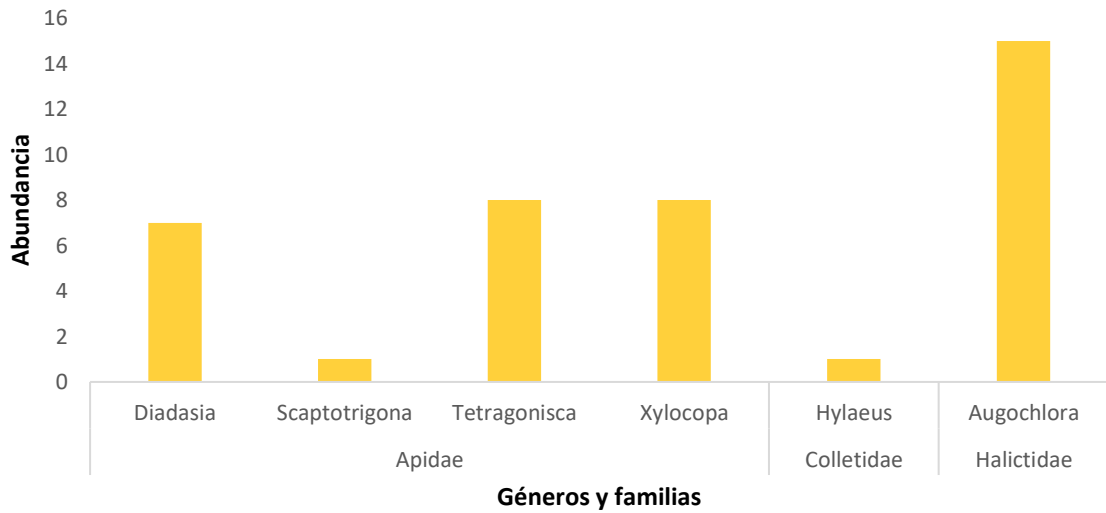


Figura 8. Familias, géneros y abundancia de abejas para la parcela 1 que corresponde al estado sucesional avanzado.

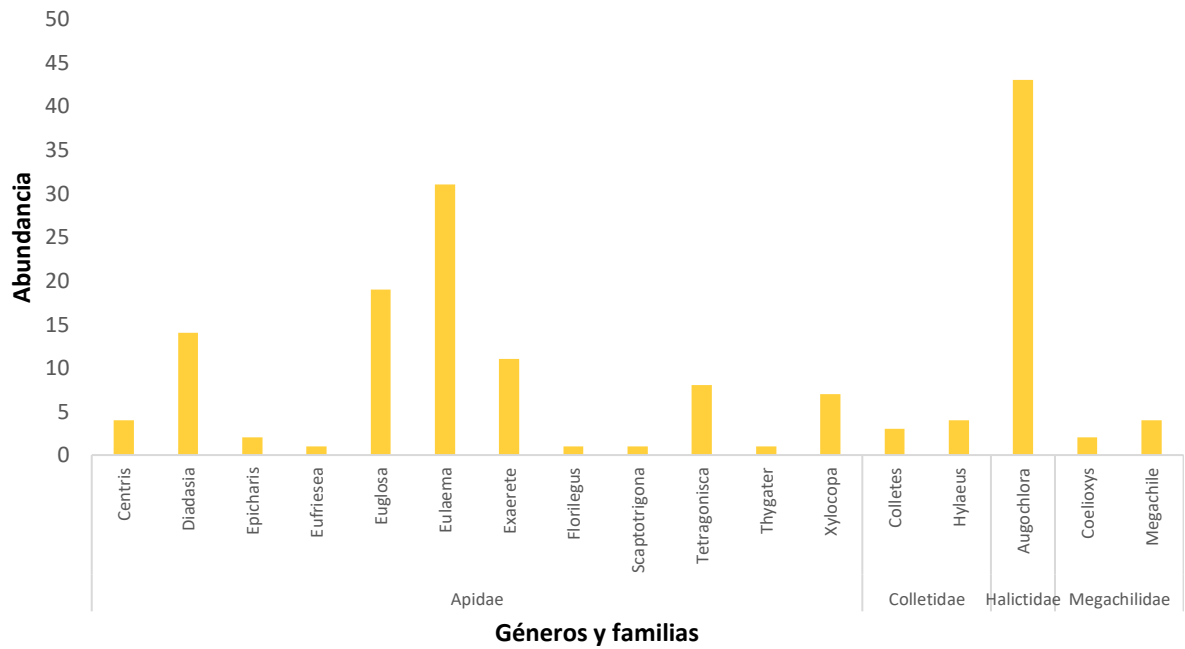


Figura 9. Familias, géneros y abundancia de abejas para la parcela 2 (estado sucesional intermedio).

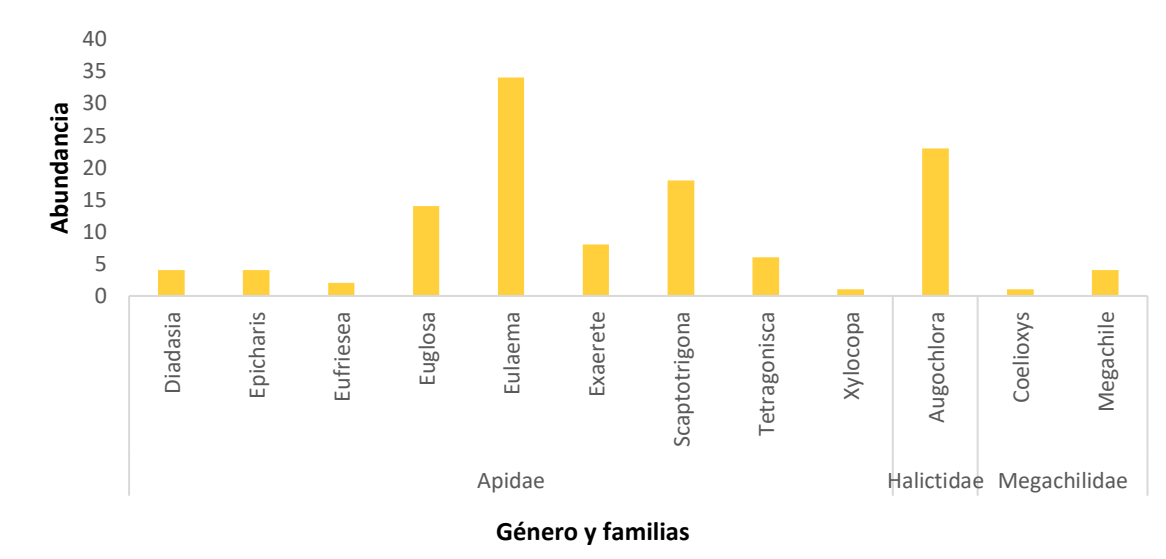


Figura 10. Familias, géneros y abundancia de abejas para la parcela 3 (Estado sucesional temprano).

7.1.1. Diversidad verdadera para la melitofauna del Bosque Seco

El análisis de diversidad verdadera indica que en la parcela intermedia el orden 0q referido a la riqueza de abejas fue mayor respecto a las demás parcelas; seguida de la parcela temprana y avanzada respectivamente. En ese mismo sentido se registran el número de especies frecuentes refiriéndose al orden de diversidad 1q . Sin embargo, en el orden de diversidad 2q se encontró que la parcela temprana es quien registra el mayor número de especies dominantes. Es de anotar que las parcelas intermedia y temprana no presentan diferencias significativas respecto a los tres órdenes de diversidad contrario a la parcela avanzada donde la diversidad de abejas difiere significativamente de la registrada en las otras dos parcelas (Tabla 4, Figura 11).

Tabla 4. Diversidad verdadera de abejas para cada parcela. 0q diversidad de orden 0 (Riqueza de especies), 1q diversidad de orden 1 (especies frecuentes), 2q diversidad de orden 2 (especies dominantes).

Tipo de Cobertura	0q	1q	2q
Parcela Avanzada	6	4,49	3,96
Parcela Intermedia	26	13,83	8,51
Parcela Temprana	18	12	9,4

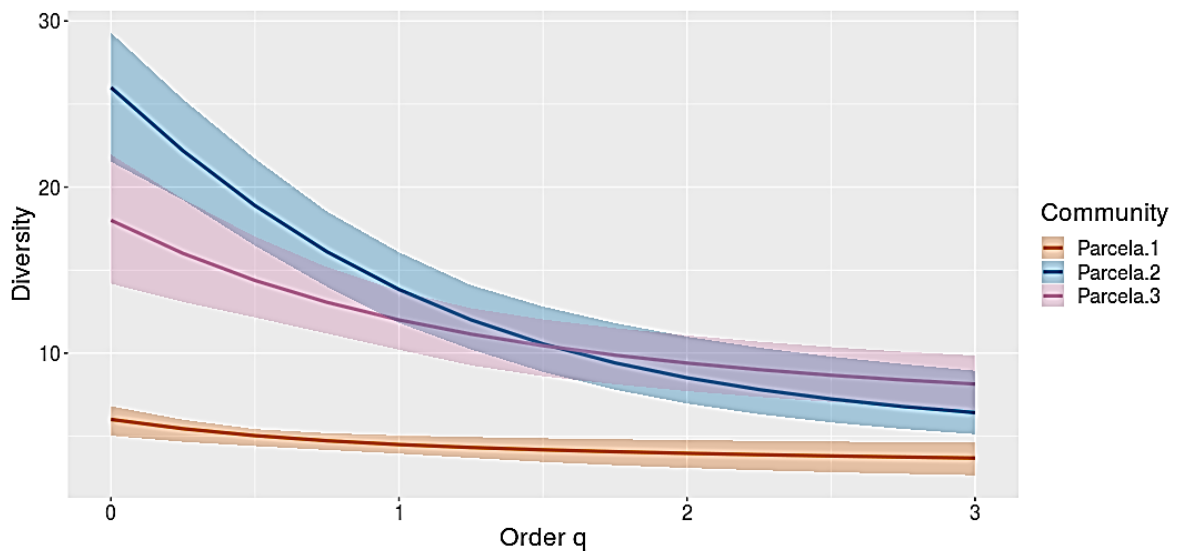


Figura 11. Diversidad verdadera para abejas de cada parcela. Zona sombreada representa los intervalos de confianza al (95%).

7.1.2. Similitud entre las parcelas (Índice de Bray Curtis).

El índice para la composición y abundancia de abejas indica que se conformaron dos grupos teniendo en cuenta las tres parcelas evaluadas. El primero está conformado entre la parcela intermedia y la parcela temprana con una similitud

del 59%, donde se comparten 15 especies a diferencia del grupo hermano (parcela avanzada) adyacente al anterior conjunto que cuenta con una similitud del 23% compartiendo solo una especie entre grupos (Figura 12).

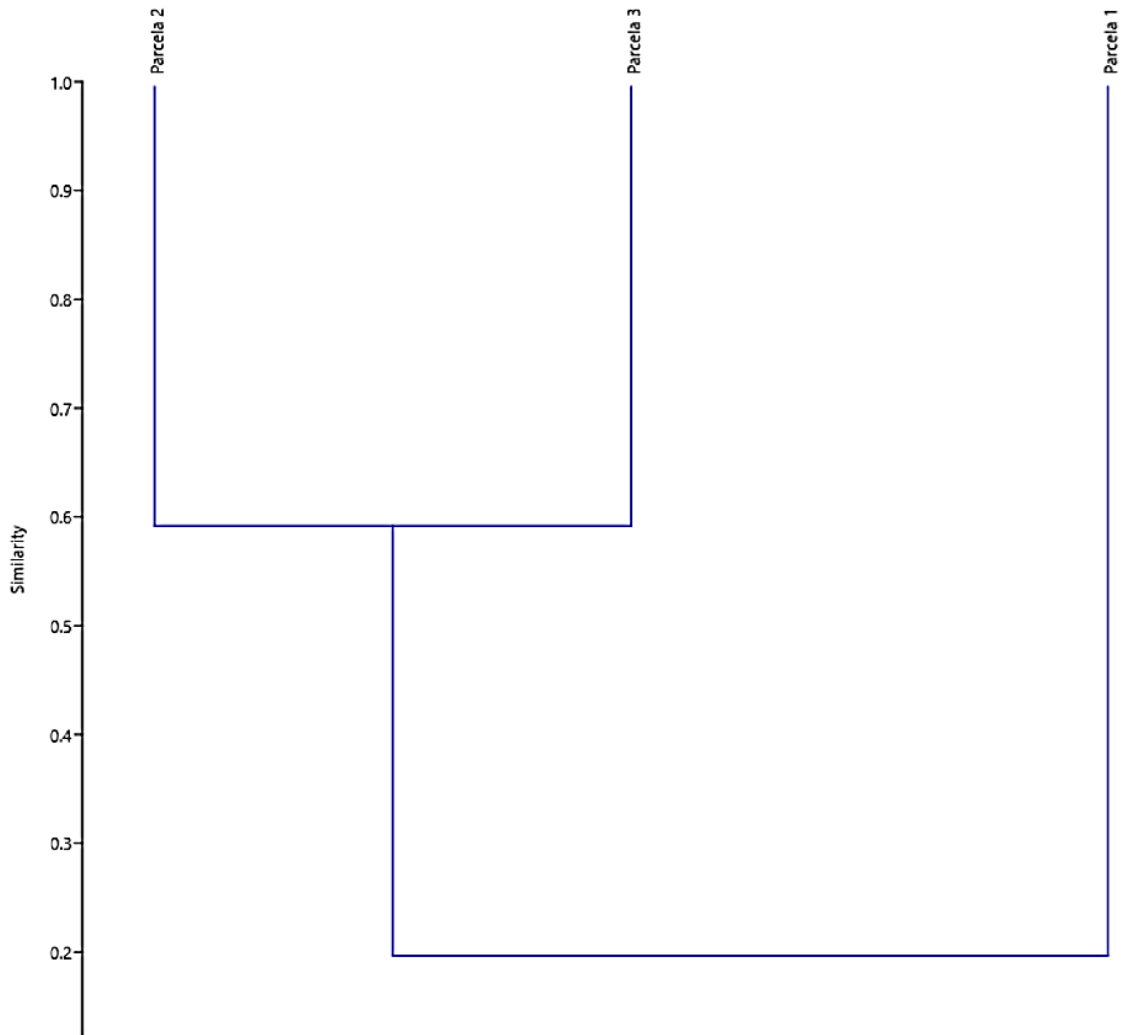


Figura 12. Dendrograma de similitud basado en el coeficiente de Bray Curtis.

El análisis nos permite determinar que existe una alta diversidad beta entre las parcelas respecto a la composición y abundancia de las abejas, debido a su baja similitud, demostrado que las especies difieren entre los estados sucesionales evaluados.

7.2. VEGETACIÓN PARCELAS PERMANENTES DE RESTAURACIÓN

Se registraron en total para los sitios de muestreo 18 especies vegetales distribuidas en 12 familias botánicas características del ecosistema de bosque seco tropical (Figura 13).

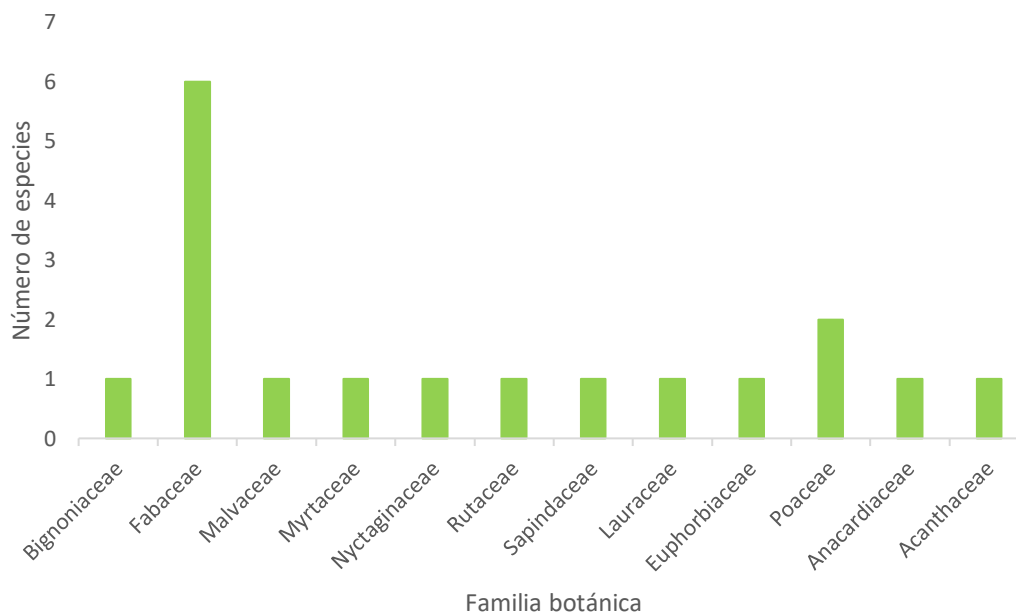


Figura 13. Representatividad de familias botánicas en los sitios de muestreo.

La figura incluye todas las especies de las parcelas muestreadas y la diversidad de los tres estados sucesionales del área de estudio (avanzado, intermedio y temprano). El estado avanzado se caracterizó por presentar un dosel continuo, con árboles de alto porte como *Albizia saman* y *Pithecellobium latifolium* de hasta 20 metros de altura.

La parcela que caracterizó el estado intermedio, presentó un dosel abierto con pocas especies donde sobresalieron *Eugenia* sp., *Guazuma ulmifolia* y *Croton hibiscifolius*, especies que alcanzan una altura máxima de nueve metros, esta parcela se caracteriza por estar inmersa en una matriz de potreros para cría de ganado y cercas vivas que los separan, además de que a su costado nororiental atraviesa una vía terciaria que conduce al río Patía.

Por último, la parcela del estado sucesional temprano, se caracterizó por estar dentro de una matriz de pastizal con uso ganadero y agrícola, también se identifica un ecosistema de humedal tipo lentic (humedal California) en el cual se identifican la presencia de macrófitas acuáticas y vegetación riparia en regeneración. En esta parcela fueron establecidos núcleos de restauración con especies nativas, comunes y pioneras del bosque seco del valle del Patía.

La figura también permite visualizar que las familias mejor representadas fueron Fabaceae y Poaceae con seis y dos especies respectivamente, las demás familias solo fueron representadas por una especie en el muestreo.

7.2.1. Diversidad verdadera para la vegetación

En cuanto al análisis de diversidad verdadera para la vegetación registrada en cada una de las parcelas se logró encontrar que en la parcela con estado de sucesión avanzada el orden 0q referido a la riqueza de plantas fue mayor seguida de la parcela temprana e intermedia respectivamente. Sin embargo, el número de especies frecuentes refiriéndose al orden de diversidad 1q y el número de especies dominantes (2q) es mayor en la parcela Temprana seguida de la parcela avanzada e intermedia. También es importante mencionar que en los tres órdenes de diversidad se presentan diferencias significativas indicando que la diversidad de plantas en estas parcelas no es similar (Tabla 5, Figura 14).

Tabla 5. Diversidad verdadera de la vegetación para cada parcela. 0q diversidad de orden 0 (Riqueza de especies), 1q diversidad de orden 1 (especies frecuentes), 2q diversidad de orden 2 (especies dominantes).

Tipo de Cobertura	0q	1q	2q
Parcela Avanzada	10	4,8	3,54
Parcela Intermedia	5	3,29	2,81
Parcela Temprana	7	6,51	6,27

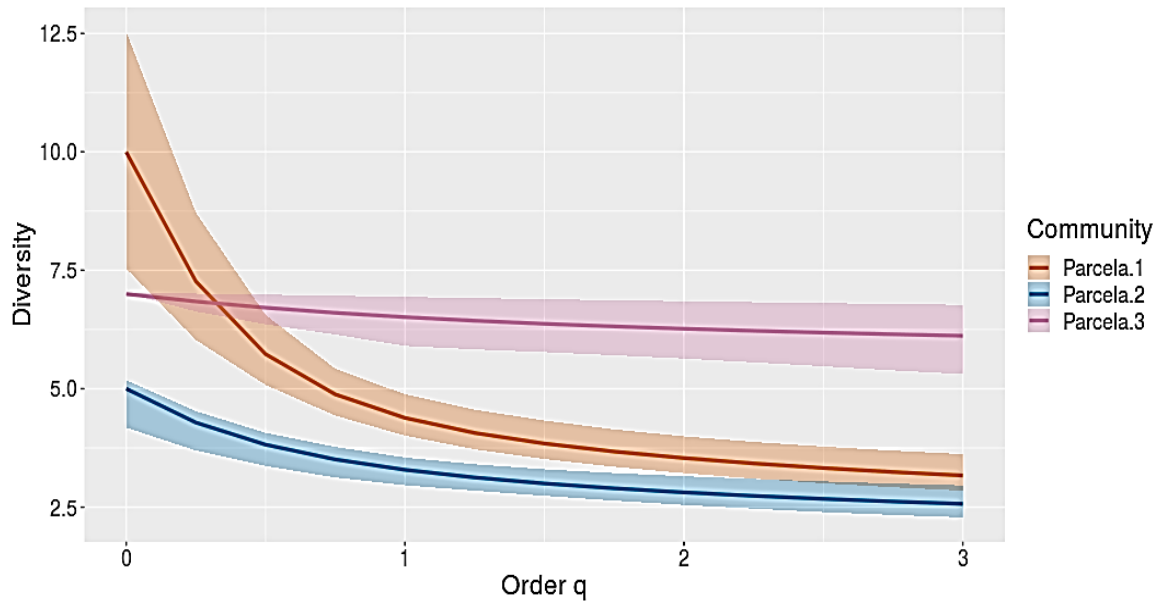


Figura 14. Diversidad verdadera para la vegetación de cada parcela. Zona sombreada representa los intervalos de confianza al (95%).

7.3. ÍNDICE DE VALOR ECOLÓGICO

La asignación de los valores de las variables para llevar a cabo la estimación del índice, en el cual se realizaron diversas evaluaciones que contemplan a las especies de flora y abejas del bosque seco pueden observarse en la tabla 6.

Posteriormente, el resultado del cálculo del valor ecológico (VE) fue incorporado en la ecuación de transformación (Figura 4) obteniendo un valor de calidad ambiental (CA) para cada una de las tres parcelas evaluadas en el Bosque Seco del valle del Patía (Tabla 7).

Tabla 6. Valores obtenidos de las variables para el cálculo del valor ecológico

Variable	Símbolo	Valor		
		Parcela Avanzada	Parcela Intermedia	Parcela Temprana
Riqueza de abejas	A	2	5	4
Diversidad de Abejas	B	1	5	3
Número de especies protegidas	C	0	0	0
Diversidad florística	D	2	1	1
Superficie cubierta por tipo de vegetación	E	4	3	5
Rareza de la comunidad	F	2	2	2
Endemismos	G	0	0	0

Tabla 7. Índice de valor ecológico (VE) y calidad ambiental (CA) para las tres parcelas muestreadas.

Índice	Parcela Avanzada	Parcela Intermedia	Parcela Temprana
VE	22	29,3	23
(CA)	0,3795	0,4951	0,3975

Estos resultados determinan que tanto el valor ecológico y la calidad ambiental obtuvieron valores bajos, indicando una baja calidad ambiental en los tres sitios. De las tres parcelas de muestreo la que obtuvo la puntuación más alta fue la parcela que presenta estado de sucesión intermedia con un CA de 0,4951, seguido de la parcela temprana y la parcela avanzada respectivamente. Esto sugiere que las parcelas de los estados sucesionales avanzado e intermedio no contaron con la calidad ambiental alta y baja esperada en la investigación y que por el contrario la parcela del estado sucesional intermedio se mostró como la parcela mejor conservada, según el índice.

8. DISCUSIÓN

8.1. COMPOSICIÓN DE ABEJAS EN LAS PARECELAS DE RESTAURACIÓN

En los bosques secos el conocimiento sobre la diversidad de abejas es limitado, en gran medida por la falta de especialistas de este grupo taxonómico y al escaso número de estudios faunísticos en varias regiones del País (Pizano y García, 2014). La diversidad de especies obtenida en este trabajo de investigación fue de 28 y según Zambrano *et al.* (2014) y Ledezma (2015) la diversidad de abejas encontrada para el bosque seco del valle del Patía corresponde a 33 especies hasta la fecha, siendo estos algunos de los pocos registros de abejas para la zona; por lo tanto, el muestreo reflejó una cantidad representativa superior al 80% de especies de abejas para el área de estudio, como se evidencia en las curvas de interpolación/extrapolación donde se obtuvo una cobertura de la muestra en las tres parcelas evaluadas entre el 91 % y 93% de representatividad.

Comparado con lo reportado por Ascher y Pickering (2020) para las abejas de Colombia las especies reportadas en esta investigación representan tan solo el 5.3% de la diversidad de abejas del país; Flórez *et al.* (2020) reportan 44 especies de abejas en el bosque seco tropical de Taganga, Magdalena por lo cual el bosque seco del valle del Patía representaría el 64% de esa diversidad, determinando así que, factores como el esfuerzo de muestreo aplicado en la metodología de la investigación, pudo limitar la riqueza esperada para este ecosistema.

Por último, Smith (1999) reportan 287 especies de abejas para un ecosistema húmedo al noroccidente colombiano, como uno de los estudios más completos para este ecosistema, lo que equivale al 48% de abejas en Colombia y 10% de las abejas reportadas en este estudio, estos resultados son comparables con los datos para ecosistemas secos, dado que las abejas son más abundantes y diversas en las zonas xéricas que en las regiones húmedas tropicales (Michener, 2007).

Apiade fue la familia que concentró la mayor riqueza genérica y específica de dicha diversidad, así como el mayor número de ejemplares, lo que concuerda con los

resultados de Balboa (2010); Smith y Gonzales (2007); Rodriguez *et al.* (2010), siendo esta una de las familias más diversas de abejas en el mundo, además, las razones para estas constancias están relacionadas con el comportamiento social, los hábitos alimenticios y aspectos reproductivos de este grupo de abejas, el primero de estos puede estar asociado a que es mucho más probable capturar abejas que viven en colonias de gran cantidad de individuos (como es el caso de los meliponinos), flexibilidad alimenticia y capacidad de vuelo, entre otras.

El análisis de diversidad verdadera (diversidad alfa) muestra que de los tres puntos de muestreo que corresponden a los estados sucesionales avanzado, intermedio y temprano, el estado sucesional intermedio fue el más diverso, seguido del estado sucesional temprano y por último el bosque avanzado; esto concuerda con lo encontrado por (Smith, 1999, 2007), donde reporta que el rastrojo bajo presentó el 100% de las tribus de abejas del muestreo, pero fue el rastrojo alto (bosque secundario) el que contó con el mayor número de especies, seguido de bosque primario. Lo anterior, puede estar relacionado básicamente al efecto de la metodología de muestreo que se centró principalmente en el estrato bajo del bosque, no teniendo en cuenta el dosel arbóreo. Ya que, los árboles del estado sucesional avanzado presentaron una altura de hasta 20 m, es muy probable que la poca diversidad se presente porque no se muestreó el estrato donde pudo presentarse la mayor riqueza de especies de abejas, por lo que se debe tener en cuenta desarrollar una metodología en la que se tenga en cuenta los diferentes estratos verticales del bosque. De igual manera, Balboa (2010) reporta que los índices de diversidad alfa sugieren que la fauna de abejas presentes en las localidades alterada e intermedia presentan valores más altos de diversidad y son más equitativas que la melitofauna registrada en el área mejor conservada. Estos resultados permiten observar que la heterogeneidad ambiental encontrada en los paisajes de las localidades menos conservadas y con uso agrícola y ganadero permiten una mayor gama de microclimas y recursos alimenticios que propician una mayor diversidad en comparación con el paisaje del bosque avanzado; además es de resaltar que el estado sucesional temprano presentaba a sus alrededores gran

variedad de cultivos como el limón, papaya y mango, que pueden atraer mayor diversidad de especies como lo describe Ayala (2016) y verse asociadas a este estado temprano de restauración, además, es importante mencionar que el estado sucesional avanzado durante el muestreo, presentó muy poca floración.

En cuanto al análisis de similitud (diversidad beta) agrupa a la parcela intermedia y temprana con una similitud del 59% que puede estar asociado a la semejanza de la conformación vegetal de ambas parcelas, las cuales pueden proporcionar una variedad de microclimas y de recursos alimenticios en los parches de vegetación (Balboa, 2010), condiciones que pueden propiciar mayor presencia de especies generalistas que no están presentes en el bosque mejor conservado.

8.2. VEGETACIÓN DE LAS PARCELAS Y SUCESIÓN ECOLÓGICA

Comparando la riqueza de especies vegetales con otros trabajos realizados en el valle del Patía, las parcelas evidencian una baja representatividad de la vegetación de este ecosistema: Ramírez *et al.* (2015) registran 1024 especies para todo el valle del Patía, incluyendo especies cultivadas y ornamentales, Vergara (2015) reporta 122 especies, Rosero (2018) 32 y Rengifo (2019) 89 especies, es de resaltar que los trabajos anteriormente mencionados fueron realizados en áreas de mayor amplitud, además se tomaron en cuenta todos los estratos presentes (hierbas, arbustos y árboles), sin embargo la diversidad encontrada para este trabajo en promedio es baja y corresponde al 23% de la riqueza de especies del bosque seco del valle del Patía.

De acuerdo con la diversidad vegetal encontrada en cada una de las parcelas evaluadas y teniendo en cuenta el estado sucesional en el que se encuentran, se pudo evidenciar principalmente una estrecha relación entre el estado sucesional y el hábito de crecimiento de las especies vegetales registradas; de esta manera, la parcela con estado sucesional avanzado presentó mayor riqueza y abundancia de especies de hábito arbóreo, individuos con amplia cobertura de dosel; para la parcela con estado sucesional intermedio se registraron especies con hábitos de

crecimiento en su mayor proporción arbustivo, identificando también algunas especies menos dominantes con hábitos de crecimiento herbáceo y árboles en estado temprano de desarrollo, la cobertura de dosel en esta parcela no es densa lo que permite una mayor incidencia de luz solar beneficiando el establecimiento y desarrollo de especies herbáceas y plántulas; en la parcela con estado sucesional temprano dominaron las especies de hábito de crecimiento herbáceo conformando una matriz de gran extensión dentro de la parcela, adicionalmente se observaron núcleos de vegetación. La estructura de la vegetación descrita anteriormente para las tres parcelas presenta características similares a las encontradas en fragmentos de bosques en la misma región; Resultados que coinciden con lo encontrado por Erazo *et al.* (2017) en los que se reportan 3 estratos en un fragmento de bosque seco del valle del Patía; también, Rengifo (2019) identifica tres hábitos de crecimiento (herbáceo, arbustivo y arbóreo) los cuales representaron el total de la cobertura vegetal en las unidades geomorfológicas evaluadas en su trabajo de investigación.

8.3. LAS ABEJAS COMO BIOINDICADORAS DEL BOSQUE SECO

En diferentes regiones del mundo se han utilizado las abejas de distintos grupos taxonómicos como bioindicadores (Ramírez *et al.*, 2015) entre estos se encuentran los Euglosinos (Euglossini) (Hedström *et al.*, 2006), las abejas recolectoras de aceite (Centridini), las cortadoras de hojas (Megachilini) las abejas carpinteras (Xylocopini), los meliponinos (Meliponini) (Nates *et al.*, 2008), y los abejorros (Bombini) (Sepp *et al.*, 2004).

Balboa-Aguilar (2010) reporta que las localidades con impacto humano registran una riqueza mayor de géneros como *Megachile*, *Centris*, *Hylaeus* y *Xylocopa*, lo cual coincide con lo encontrado en esta investigación, ya que, varios de estos géneros se encuentran en las parcelas con mayor intervención del área de estudio. Este grupo pertenece a las abejas colectoras de aceites, cortadoras de hojas y carpinteras que se caracterizan por ser solitarias y anidar esencialmente en tallos y

ramas de arbustos o árboles muertos, las áreas perturbadas propician mayores posibilidades para la realización de sus nidos y mayor recurso alimenticio por lo cual registra mayor abundancia de estos grupos taxonómicos a nivel genérico en áreas con mayor impacto humano.

Además, géneros como *Hylaeus*, *Colletes* y *Megachile* son considerados generalistas, ya que, tienen hábitos polilécticos, es decir, que usan el polen de diversos grupos taxonómicos de plantas, estos géneros mencionados presentan preferencias por las flores de la familia Fabaceae, Sapindaceae, Solanaceae, Malvaceae, Bignoniaceae y Lamiaceae (Balboa, 2010), familias características del bosque seco (Gentry, 1993) lo cual explica porque se presentaron en casi todas las parcelas de muestreo.

Los géneros *Euglossa*, *Eulaema* y *Exaerete* hacen parte de la tribu Euglossini, conocidas también como abejas de las orquídeas, son considerados excelentes bioindicadores de la calidad ambiental debido a que son sensibles a las perturbaciones ya que, pocas especies sobreviven en las áreas que sufren cambios de uso del suelo o antropización puesto que se pierden las plantas que son su fuente de alimentación y las orquídeas de las cuales los machos obtienen aceites esenciales importantes para la reproducción de las abejas, así como sus sitios para anidar (Ramírez *et al.*, 2015). (Roubik y Hadson, 2004). La mayor abundancia de estos géneros de euglossinos (*Exaerete*, *Euglossa* y *Eulaema*) se presentó en la parcela intermedia, se registró una mayor diversidad en términos de riqueza de especies vegetales además se encontraron todos los hábitos de crecimiento (herbáceo, arbustivo y arbóreo), siendo dominante el estrato arbustivo.

Parra y Nates (2007) registran a *Eulaema mocsaryi* como una especie exclusiva de ambientes conservados, *Exaerete smaradigna* como una especie colectada únicamente en ambientes urbanos e intervenidos, *Eulaema bombiformis* colectada en paisajes conservados como rurales y *Eulaema cingula* y *E. nigrita* comunes en todos los tipos de paisajes evaluados (urbano, rural y conservado). Esto concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación donde las especies de

euglossinos considerados más generalistas como *E. cingulata* y *E. nigrita* aparecen en casi todos los sitios de muestreo, igualmente *E. smaradigna* se presentó en las parcelas con algún grado de intervención y *E. mossaryi*, se presentó tan solo un individuo en la parcela intermedia, demostrando así que se encuentra en un estado conservado del bosque seco. Es de resaltar que ninguna de estas especies se registró en la parcela del estado sucesional avanzado y que las especies encontradas en este sitio no son consideradas como bioindicadoras o exclusivas; como se ha mencionado anteriormente, esto puede deberse a la metodología utilizada para este estrato vegetal, y a que estas especies no presentaron una floración importante a lo largo del muestreo, muchas especies de este grupo reflejan cambios en las abundancias en distintas épocas del año y pueden considerarse estacionales, por lo cual pudieron no quedar registradas dentro del muestreo.

Es importante considerar también que, estas abejas tienen una capacidad de vuelo amplia de hasta 23 km para grandes euglossinos y para algunas especies más pequeñas 2,5 km, por lo tanto, las comparaciones entre hábitats se deben realizar con cuidado y con diseño de muestreo apropiado para la escala espacial considerando el rango de vuelo de las abejas (Araujo *et al.*, 2004). Especies como *Diadasia* sp, *Augochlora* sp y *Tetragonisca angustula* han sido catalogadas como generalistas presentes en fragmentos de bosques interconectados entre sí, inmersos en una matriz antropizada y conservada, ya que brinda mayor cantidad de recursos disponibles, además de tener una alta distribución en bosques del neotrópico (Smith y González, 2007; Prado, 2020).

Por último, se encontraron registros nuevos para el bosque seco del valle de río Patía como es el caso de: *Eulaema. meriana* que solo se encuentra reportada en los departamentos de Orinoquía, Amazonas y Antioquia; *Epicharis rustica* con registros para Antioquia, Guainía, Santander y Gorgona; *Diadasia* sp en los departamentos del Atlántico, Magdalena y Cundinamarca; *Florilegus* sp reportada en Antioquia y Orinoquía (Smith, 2008); además de *Euglosa cordata* la cual no hace parte del listado de abejas euglosinas neotropicales (Ramírez, 2002) y solo tiene un

registro en el departamento del valle del Cauca. Los nuevos registros para (BST) de Patía son evidencia del escaso conocimiento de la diversidad de abejas silvestres de la zona, también su presencia pueden ser indicadores del estado de conservación que presentan los relictos de bosque los cuales se deben seguir monitoreando con el fin de conocer la dinámica sucesional de la vegetación y cómo esta favorece la fauna presente en estos ecosistemas.

8.4. ÍNDICE DE VALOR ECOLÓGICO

Dado que este método no ha sido evaluado anteriormente en los bosques secos tropicales no existe un punto de referencia para poder llevar a cabo una comparación, sin embargo, el método fue utilizado como indicador ecológico, de manera que se pudiera suponer la clase de medio físico a partir de las abejas presentes en los sitios de muestreo (Odum, 1971).

En cuanto a las variables evaluadas las que presentaron los valores más bajos corresponden al número de especies protegidas y endemismos las cuales obtuvieron una puntuación de cero, este valor asignado determina que en el (BST) del valle del Patía no cuenta con áreas ni especies características bajo ninguna figura de protección (Pizano y García, 2014) por lo que hacen falta estudios que permitan identificar cuales especies de abejas puedan ser consideradas como endémicas de la zona. Esto sumado a que, la diversidad de abejas comparada con otros estudios solo fuera alta en una de las parcelas y baja en las demás, al igual que la diversidad florística que obtuvo valores poco representativos en comparación con otros estudios en el valle del Patía y que no hubiese presencia de especies raras en el área de estudio si no que, por el contrario fuesen especies muy comunes y abundantes en el bosque, conllevó a un resultado bajo del valor ecológico y de la calidad ambiental de las parcelas de estudio; además, según el Ministerio de Medio Ambiente (2002) los bosques secos del departamento del Cauca son áreas potenciales a la desertificación y en comparación con otros bosques secos del país, son aquellos con mayor deterioro ambiental, lo cual puede evidenciarse en el índice

del valor ecológico; por lo que es pertinente seguir realizando muestreos para así conocer más acerca de la diversidad de abejas nativas, permitiendo evaluar mejor el índice del valor ecológico y la calidad ambiental del (BST). Esto permitirá la toma de decisiones en favor de la protección y conservación del ecosistema.

Se puede deducir que, si existió una relación entre las abejas y los estados sucesionales; hubo una tendencia a que las abejas consideradas bioindicadoras se encontraran en la parcela del estado intermedio, y coincide con lo que propone el índice de valor ecológico y de calidad ambiental cuyos valores más altos se presentaron en esta misma parcela de muestreo, esto indica que la parcela intermedia se encuentra en buen estado de conservación y que la regeneración natural está sucediendo, atrayendo consigo especies bioindicadoras. La parcela de estado sucesional avanzado puede estar sesgada por efectos del muestreo y de la escala de trabajo local utilizada en la investigación, por lo que se debe mejorar la metodología de colecta de especies de abejas, de tal manera que se pueda realizar un muestreo en los diferentes estratos verticales del bosque, finalmente la parcela del estado sucesional temprano, se vio favorecida por la vegetación asociada al humedal y los cultivos presentes que pudieron explicar la alta diversidad de especies de abejas asociadas al pastizal.

9. CONCLUSIONES

- En total se registraron 28 morfoespecies de abejas distribuidas en cuatro familias (Apidae, Colletidae, Halictidae y Megachilidae) las cuales acumularon una representatividad del 91% de especies esperadas en el muestreo.
- La parcela dos que correspondió al estado sucesional intermedio fue la que obtuvo la mayor cantidad de especies e individuos de abejas, 26 y 156 respectivamente, seguida de la parcela temprana con 18 y 119 individuos reportados.
- En comparación con otros ecosistemas secos del país, la diversidad de la meilitofauna representó el 80% de la riqueza esperada de abejas para el BST del Patía y a nivel nacional tan solo el 5.3%.
- La familia de abejas mejor representada fue Apidae y la morfoespecie más representativa fue *Augochlora* sp. de la familia Halictidae.
- El análisis de Bray-Curtis determinó que las parcelas intermedia y la parcela temprana presentaron los valores más altos de similitud compartiendo 15 especies de abejas entre las cuales se encuentran *Eulaema cingulata*, *Epicharis* sp, *Eulaema meriana* y *Eufriesea* sp.
- La vegetación del área de estudio estuvo representada por 18 especies vegetales distribuidas en 12 familias botánicas características del bosque seco tropical.
- La vegetación del bosque seco tropical del valle del Patía fue representada en este estudio con tan solo el 23% de la riqueza de especies esperadas para este ecosistema con referencia a las parcelas estudiadas.
- Los valores de diversidad verdadera en el orden (0q) correspondientes a la riqueza de la vegetación en la parcela con estado sucesional avanzado fue el más alto entre las tres parcelas, pero no corresponde con el valor de riqueza de la diversidad verdadera y con la presencia de especies de abejas consideradas especialistas colectadas en la misma parcela, esto quizá se

deba a que a pesar de tener una vegetación madura que le confiere el estado sucesional avanzado, no cumple como un ecosistema funcional que le permita a las abejas sensibles a la diversidad y continuidad de recursos hacer parte del ecosistema.

- El índice del valor ecológico y la calidad ambiental son bajos, indicando una baja calidad en las tres parcelas; a pesar del resultado, el índice evidencia que la parcela con estado sucesional intermedia tiene el mejor índice de calidad ambiental, el cual coincide con la alta riqueza de especies de abejas que frecuentan la misma parcela, permitiendo al índice de valor ecológico determinar que la mejor calidad ambiental la obtuvo la parcela intermedia, esto según la presencia de abejas consideradas como bioindicadores ambientales, las cuales encontraron mejor continuidad de la diversidad y los recursos a los cuales responden las abejas.
- Es importante conocer mejor la diversidad de abejas del bosque seco tropical, con el fin de determinar si existen especies endémicas que permitan demostrar con los índices de valor ecológico y calidad ambiental la importancia de los antofilos como potenciales bioindicadores de proceso de restauración ecológica.
- La mayor presencia de especies de abejas en las parcelas intermedia y temprana, puede estar asociado a que estas zonas se encuentran interconectadas por corredores bosque a otros con buen estado de conservación además de la cercanía a matrices agrícolas que ofrecen mayores recursos, microclimas y condiciones propicias para los bioindicadores, lo que demuestra que a pesar de estado de avance sucesional que presenta cada parcela, hasta el momento no cumple con condiciones ecofuncionales al menos para para grupo de abejas silvestres.
- La baja representatividad de especies de abejas para el estado avanzado en este estudio puede estar asociado a la metodología utilizada en este trabajo, por lo que para futuras investigaciones se debe realizar muestreos en los diferentes estratos verticales del bosque además de realizar replicas en otras

parcelas o bosques nativos con el fin de poder realizar comparaciones que permitan evaluar la efectividad del índice del valor ecológico ya que para esta investigación no se encontraron especies raras ni endémicas, las cuales pueden ser una posibilidad debido al escaso conocimiento de la melitofauna de la zona.

- Este trabajo si encontró relaciones entre las coberturas vegetales y la presencia de abejas silvestres como bioindicadoras ambientales, demostrando que son un grupo biológico importante para diagnosticar la salud de los ecosistemas por lo que es importante seguir realizando inventarios para conocer la totalidad de abejas que hacen parte del ecosistema y puedan ser consideradas en la toma de decisiones que apunten a la conservación de los ecosistemas secos del departamento del Cauca.

10. RECOMENDACIONES

- Es importante considerar una escala mayor a nivel de paisaje para encontrar relaciones más claras entre la cobertura vegetal en términos de diferentes usos del suelo y los grupos taxonómicos de abejas presentes en los sitios de muestreo.
- Realizar réplicas de las parcelas para cada estado sucesional de tal forma que se pueda representar la mayor diversidad de abejas y de especies vegetales.
- Implementar muestreos en los diferentes estratos verticales en los bosques con estados sucesionales más avanzados, en donde se encuentren especies de alto porte con el fin de poder conocer la diversidad de abejas que pueda solo estar forrajeando en diferentes estratos altitudinales.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, B. A. (1995). Phylogenetic studies on the families of short-tongued bees (Hymenoptera: Apoidea). *University of Kansas Science Bulletin*. 55: 377-424 pp.
- Amat, G., Andrade-C, M. G.; Amat, E., y Rodriguez, J. V. (2007). *Libro rojo de los inver, ebrados terrestres de Colombia*. Conservación Internacional Colombia.
- Araujo E. D., M. Costa., J. Chaud y H. G. Fowler. (2004). Body size and flight distance in stingless bees (Hymenoptera: meliponini): inference of flight range and possible ecological implications. *Brazil Journal of Biology* 64:563-568 pp.
- Arroyo, J. P. (2002). *Forest cover assessment, fragmentation analysis and secondary forest detection for the Chorotega Region, Costa Rica*. Master of Science Thesis). Edmonton University of Alberta CA. 111.
- Ascher, J., y Pickering, J. (2020). *Bee species guide (Hymenoptera: Apoidea: Anthophora)*. Discover Life.
http://www.discoverlife.org/mp/20q?act=x_checklist&guide=Apoidea_species
- Avella-M, A., García-G, N., Fajardo-G. F., y González, M. A. (2019). Patrones de sucesión secundaria en un Bosque seco tropical interandino de Colombia. *Caldasia*, 41(1):12-27 pp.
- Ayala, R. (2004). Fauna de abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea). En A.N. García-Aldrete, R. Ayala (Eds.), *Artrópodos de Chamela*. 193-219.
- Ayala, R. 2016. Abejas (Apoidea). En: La Biodiversidad en Colima. Estudio de Estado. *Conabio*. 1:331-345 pp.
- Balboa, A. (2010). *Diversidad de abejas (Hymenoptera: Apoidea) de la Reserva de la Biosfera "La Sepultura"* (Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural, Colegio de la Frontera Sur).
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Revista Ecosistemas*. 21:1-2 pp.

- Bonilla, M. A., y Nates, P. G. (1992). Abejas euglosinas de Colombia (Hymenoptera: Apidae) I. Claves ilustradas. *Caldasia*, 149-172 pp.
- Brosi, B., y Daily, G. (2008). The effects of forest fragmentation on bee communities in tropical countryside. *Journal of Applied Ecology*, 45(3): 773-783.
- Brown, K. S. (1997). Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation*, 1(1): 25-42 pp.
- Cane, J. H. (2001). Habitat fragmentation and native bees: a premature verdict? *Conservation Ecology*, 5:3. <http://www.ecologyandsociety.org/vol5/iss1/art3/>.
- Castro, L. (2016). *Perturbación ambiental analizada por medio de bioindicadores en un fragmento de Bosque Seco Tropical (bs-t) localizado en el área perimetral del aeropuerto Jorge Isaacs (Albania, La Guajira, Colombia)*. Universidad de Manizales.
- Cepeda, V. J., Gomez, D., y Nicholls, C. (2014). La estructura importa: abejas visitantes del café y estructura agroecológica principal (EAP) en cafetales. *Revista Colombiana de Entomología*, 40(2): 241-250 pp.
- Chao, A. y Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12): 2533–2547. <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., y Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological monographs*, 84(1): 45-67 pp.
- Chao, A. y Jost, L. (2015). Estimating diversity and entropy profiles via discovery rates of new species. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(8): 873–882. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12349>.
- Cruz, S. (1996). Abejas carpinteras de Colombia (Hymenoptera: Apidae). *Undergraduate thesis, Universidad Nacional de Colombia*. 1: 273

- Cure, J. R., y Rodríguez, D. (2007). Efecto de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) sobre la productividad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Agronomía colombiana*, 25(1): 62-72 pp.
- Da Silva, S. L., de Camargo, M., Zacarin, G., y da Silva, Z. E. (2016). Abelhas solitárias que nidificam em ninhos artificiais disponibilizados em um fragmento de vegetação em Sorocaba. En Senteio, W.(Ed.) *Biodiversidade No Campus*, 73.
- Delfín, G. H., y Burgos, R. D. (2000). Los braconídeos (Hymenoptera: Braconidae) como grupo parámetro de biodiversidad en las selvas deciduas del trópico: una discusión acerca de su posible uso. *Acta zoológica mexicana* 79: 43-56 pp.
- Díaz, J. (2006). *Bosque seco tropical de Colombia*. Bogotá, Colombia: I/M Editores.
- Erazo, A. L. E., Bolaños, J. H. G., y Ramírez, B. R. (2017). Estructura y composición vegetal de un fragmento de bosque seco tropical, en el municipio del Patía, Cauca. *Revista Novedades Colombianas*, 12(1): 1-37 pp.
- Favila, M. E., y Halffter, G. (1997). The use of indicator groups for measuring biodiversity as related to community structure and function. *Acta Zoológica Mexicana (ns)*, 72(72): 1-25 pp.
- Feinsinger, P. (2001). Designing field studies for biodiversity conservation. *Ecological Society of America*, 83 (6): 1770-1771 pp.
- Fernández, D. C., y Zambrano, G. (2011). Abejas silvestres como estrategia de monitoreo de restauración ecológica en tres veredas del corregimiento la Gallera (Tambo, Cauca), zona de amortiguación del Parque Nacional Natural Munchique (PNNM). *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat*, 15(1): 51-59 pp.
- Flores, L. M., Zanette, L. R., y Araujo, F. S. (2018). Effects of habitat simplification on assemblages of cavity nesting bees and wasps in a semiarid neotropical conservation area. *Biodiversity and conservation*, 27(2): 311-328 pp.

- Flórez, G. N. A., Maldonado, C. J. D., y Ospina, T. R. (2020). Bee-plant interaction networks in a seasonal dry tropical forest of the Colombian Caribbean. *Neotropical Entomology*, 49(4): 533-544 pp.
- Food and Nations, A. O. o. t. U. (2008). *A contribution to the international initiative for the conservation and sustainable use of pollinators: rapid assessment of pollinators' status*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.
- Gasca, H. J., y Higuera, D. (2010). Protocolos y métodos de colecta para el estudio de artrópodos de dosel en bosques de niebla del neotrópico. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 2: 385-398 pp.
- Gentry, A., Churchill S., Balslev H., Forero E., Luteyn JL. (1993) Patterns of diversity and floristic composition in Neotropical montane forests. In Churchill. S., *Biodiversity and conservation of Neotropical montane forests*. 123-124 pp. New York: Botanical Garden.
- González, I. R. M. (2015). *Evaluación de la integridad ecológica en la comunidad de matorral submontano de la sierra de Picachos, Nuevo León, México*. Tesis doctoral en ciencias con acentuación en manejo de vida silvestre y desarrollo sustentable, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- González, V. H., y Engel, M. S. (2004). The tropical Andean bee fauna (Insecta: Hymenoptera: Apoidea), with examples from Colombia. *Entomologische Abhandlungen*, 62(1): 65-75 pp.
- González, V. H., Ospina, M., y Bennett, D. J. (2005). *Abejas altoandinas de Colombia: Guía de campo*. IAVH.
- Griswold T., Parker F.D., Hanson P.E. (1995) The Bees (Apidae). In Hanson P.E., Gauld I.D., Editors. *The Hymenoptera of Costa Rica*. 650-691 pp. Oxford University Press.
- Halffter, G., Moreno, C. E., y Pineda, E. O. (2001). *Manual para evaluación de la biodiversidad en reservas de la biosfera*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Zaragoza.

- Hedström I., J. Harris y K. Fergus. (2006). Euglossine bees as potential bio-indicators of coffee farms: Does forest access, on a seasonal basis, affect abundance? *Revista de Biología Tropical* 54: 1188-1195 pp.
- Hsieh, T. C., Ma, H. K. y Chao, A. (2020) *iNEXT: iNterpolation and EXTrapolation for species diversity. R package version 2.0.20* URL: <http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software-download/>.
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. Tropical Science Center. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. 2008. Manual of methods Human, Ecological and Biophysical Dimensions of Tropical Dry Forests. Editors: Jafet M. Nassar, Jon Paul Rodríguez, Arturo Sánchez-Azofeifa, Theresa Garvin y Mauricio Quesada.
- Jost, L. (2006) Entropy and diversity, *Oikos*. 113 (2): 363–375 pp.
- Kevan, P., y Baker, H. (1983). Insects as flower visitors and pollinators. *Annual review of entomology*, 28(1): 407-453 pp.
- Kevan, P. G. (1999). Pollinators as bioindicators of the state of the environment species, activity and diversity. *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes* 373-393 pp.
- La Salle J., I. Gauld (1993) Hymenoptera: Their Biodiversity, and Their impact on the diversity of other organisms en La Salle J., I. Gauld (Eds), *Hymenoptera and Biodiversity*. pp.1-26 C.A.B. International.
- Ledezma, F. (2015). *Comunidad de Abejas (Hymenoptera: Apoidea) Asociada a Dos Relictos de Bosque Seco en las Veredas la Carbonera y la Playa de San Jorge, Municipio de Bolívar, Cauca, Colombia*. (Tesis de pregrado, programa de biología), Universidad del Cauca.
- Magurran, A. (2004). *Measuring Biological Diversity* Blackwell Publishing. Malden, MA.
- Magurran, A. E., y McGill, B. J. (2011). Biological diversity: frontiers. In Magurran, A. E. & McGill, B. J. *Measurement and assessment*. Oxford University Press 85-104. Oxford University Press..

- Manson, R.H., E.J. Jardel P., M. Jiménez-Espinoza & C.A. Escalante-Sandoval. (2009). Perturbaciones y desastres naturales: impacto sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. En R. Dirzo, R. González e I.J. March (Ed) *Capital Natural de México. Vol. II. Estado de conservación y tendencias de cambio*. 131-184 pp. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F.
- Martínez, P. J. F., y Merlo, M. F. E. (2014). Importancia de la diversidad de abejas (Hymenoptera: Apoidea) y amenazas que enfrenta en el ecosistema tropical de Yucatán, México. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 1(2): 28-34 pp.
- Martínez, P. C., Rosas, E. M., y Platas, N., D. (2018). Diversidad e Importancia de las Abejas Silvestres: Mucho Más que Miel y Abejorros. *Agro Productividad*, 11(12).
- McDonald, T., Gann, G., Jonson, J., y Dixon, K. (2016). *International standards for the practice of ecological restoration—including principles and key concepts*. Society for Ecological Restoration: Washington, DC, USA.
- McGeogh, M. A. (1998). The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicadores. *Biological reviews*, 73(2): 181-201 pp.
- Meléndez, R. V., C. L. Meneses y P. G. Kevan. (2013). Effects of human disturbance and habitat fragmentation on stingless bees. En P. Vit, S. R. M. Pedro, y D. W. Roubik (Ed). *Pot-Honey, A legacy of Stingless bees*. 269-284 pp. Springer, New Cork.
- Michener, C. (1974). *The social behavior of the bees: a comparative study*: Harvard University Press.
- Michener, C. (1979). Biogeography of the bees. *Annals of the Missouri botanical Garden*, 277-347 pp.
- Michener, C. (2000). *The bees of the world* Baltimore Johns Hopkins University Press.
- Michener, C. (2007). *The bees of the world*. Johns Hopkins University Press, Baltimore MD, 2nd Edition.

- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., . . . Gordon, J. E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of biogeography*, 33(3): 491-505 pp.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2002). Desertificación y sequía. Segundo Informe Nacional. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente. 51.
- Moreno, C. E. (2000). *Métodos para medir la biodiversidad. Volumen 1: Manuales y tesis SEA*.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., y Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(4): 1249-1261 pp.
- Morón, M. (1997). Inventarios faunísticos de los Coleoptera Melolonthidae Neotropicales con potencial como bioindicadores. *Giornale Italiano di Entomologia*, 8: 265-274 pp.
- Moure, J., Gabriel, y Urban, D. (2007). *Catalogue of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the neotropical region*: Sociedade Brasileira de Entomologia Curitiba.
- Munyuli, T. (2012). Diversity of life-history traits, functional groups and indicator species of bee communities from farmlands of central Uganda. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 147(617): 1-14 pp.
- Nates, P. G. (1995). Nuevos registros para abejas del género *Melipona* en Colombia. *Tacaya*, 4: 7-8 pp.
- Nates, P. G. (2002). *Libro de Resúmenes I Encuentro Colombiano sobre Abejas Silvestres. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá DC*.
- Nates, P. G., y Cepeda, O. (1983). Comportamiento defensivo en algunas especies de meliponinos colombianos (Hymenoptera: Meliponinae). *Bol Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia*, 1, 65-82 pp.
- Nates, P. G., Rodríguez, Á., y Vélez, E. D. (2006). Abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) en cementerios de la cordillera oriental de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1): 25-35 pp.

- New, T. R. (2005). *Invertebrate conservation and agricultural ecosystems*: Cambridge University Press.
- Nieves, A. J., Fontal, C. F., y Fernández, F. (2006). *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical*: Universidad Nacional de Colombia.
- Odum, E. (1971). *Ecología. 3ª edición*. Editorial Interamericana. México. 563-564 pp.
- Pardo, A. H. S. (1999). *Abejas (Hymenoptera: Apoidea) de la zona de influencia del Embalse Porce II Antioquia, Colombia*. (Tesis de maestría en entomología). Universidad Nacional De Colombia Sede Medellín).
- Prado, G. M. A. (2020). *Influencia de la fragmentación del paisaje en los recursos florales empleados por dos especies de abejas sin aguijón*. (Tesis Maestría en Bosques y Conservación Ambiental), Universidad Nacional de Colombia.
- Parra, A., y Nates, P. G. (2007). Variación de la comunidad de abejas de las orquídeas (Hymenoptera: Apidae) en tres ambientes perturbados del piedemonte llanero colombiano. *Revista de biología tropical*, 55(3-4): 931-941 pp.
- Parra, G. N. (2001). Las abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) de Colombia. *Biota Colombiana*, 2(3): 233-248 pp.
- Parra, G. N. (2016). *Iniciativa Colombiana de Polinizadores: Bogotá, Colombia*: Universidad Nacional de Colombia.
- Parra, G. N., y Fernandez, F. (1992). Abejas de Colombia II claves preliminares para las familias, subfamilias y tribus (Hymenoptera: apoidea). *Acta Biológica Colombiana*, 2(7, 8): 55-89 pp.
- Parra, G. N., y González, V. H. (2000). Las abejas silvestres de Colombia: por qué y cómo conservarlas. *Acta Biológica Colombiana*, 5(1): 5-37 pp.
- Parra, M. G. (1990). Abejas de Colombia. III. Clave para géneros y subgéneros de Meliponinae (Hymenoptera: Apidae). *Acta Biológica Colombiana*, 2(6): 115-128 pp.

- Pearson, D. L., y Cassola, F. (1992). World-wide species richness patterns of tiger beetles (Coleoptera: Cicindelidae): indicator taxon for biodiversity and conservation studies. *Conservation Biology*, 6(3): 376-391 pp.
- Pennington, R. T., y Ratter, J. (2006). *Neotropical savanas and seasonally dry forests*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420004496>.
- Pennington, T. (2010). Human, ecological and physical dimensions of tropical dry forests. Manual of methods. *Interciencia*, 35(8): 632.
- Peña, J. A., Neyra, G. L., Peña, J. A., Neyra, G. L., Loa, L. L., y Durand, S. L. (1998). Amenazas a la biodiversidad. *La diversidad biológica de México: Estudio de País*, 157-182 pp.
- Pérez, G. (2017). *Abejas silvestres (Hymenoptera, Apoidea) en el área urbana de la ciudad de Popayán, Cauca*. (Tesis de pregrado, programa de biología). Universidad del Cauca.
- Pizano, C., y García, H. (2014). *El Bosque seco tropical en Colombia*. Ediprint Ltda.
- Plaza, O. V., Velásco, Y. M., y Gallego, R. M. C. (2017). Oferta Polinica para Abejas en Sistemas Cafeteros en el Municipio de Popayan, Cauca. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 17(2): S15.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Ramírez, P. B. R., Macías, P. D. J., y Varona, B. G. (2015). Lista comentada de plantas vasculares del valle seco del río Patía, suroccidente de Colombia. *Biota Colombiana*, 16(2): 1-50 pp.
- Ramírez, S., Dressle, R. L., y Ospina, M. (2002). Abejas euglosinas (Hymenoptera: Apidae) de la Región Neotropical: Listado de especies con notas sobre su biología. *Biota Colombiana*, 3(1).
- Ramírez, V. M., Calvillo, L. M., y Kevan, P. G. (2013). Effects of human disturbance and habitat fragmentation on stingless bees *Pot-Honey* 269-282 pp.
- Ramírez, V. M., Ayala, R., y González, H. D. (2015). Abejas como bioindicadores de perturbaciones en los ecosistemas y el ambiente. En González-Zuarth, et al

- (Eds). *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*. 343-370 pp. S y G Editores, Cuapinol 52, Santo Domingo
- Rengifo, B. L. (2019). *Geomorfología y vegetación como elementos fundamentales del paisaje del bosque seco tropical de Mercaderes, Cauca*. (Tesis de pregrado, programa de biología), Universidad del Cauca.
- Reyes, N. E., Ramírez, V. M., González, H. D., y Ayala, R. (2009). Abejas Silvestres (Hymenoptera: Apoidea) Como Bioindicadores en el Neotrópico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1): 1-13 pp.
- Ricketts, T. H., y Regetz, J. (2008). Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? *Ecology letters*, 11(5): 499-515 pp.
- Rodríguez, P. S., y Velásquez, M. (2011). Lugares de actividad de las abejas (Hymenoptera: Apoidea) presentes en Bosque seco tropical del estado Guárico, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 29(4): 421-433 pp.
- Roig, A. (1993). Studies of the phylogeny and classification of long-tongued bees (Hymenoptera: Apoidea). *University of Kansas Science Bulletin*, 55, 124-162 pp.
- Rosero, R. C. (2018). Propuesta piloto para la restauración ecológica en el área terrestre en un ecosistema lenítico de *bosque seco tropical en el valle del Patía, Cauca, Colombia* (Tesis de pregrado, programa de biología). Universidad del Cauca.
- Roubik, D. (1989). *Ecology and natural history of tropical bees*. Cambridge University Press.
- Roubik, D. W. (1995). *Pollination of cultivated plants in the tropics*. Vol. 118. Food y Agriculture Org.
- Roubik, D. W. y P. E. Hanson. 2004. *Orchid bees of tropical America. Biology and Field Guide*. INBIO.
- Roubik, D. W. (2006). Stingless bee nesting biology. *Apidologie*, 37(2), 124-143 pp.
- Roulston, T. a. H., y Goodell, K. (2011). The role of resources and risks in regulating wild bee populations. *Annual review of entomology*, 56: 293-312 pp.

- Samways, M. J., McGeoch, M. A., y New, T. R. (2010). *Insect conservation: a handbook of approaches and methods*: Oxford University Press.
- Sepp, K., M. Mikk, M. Mand y J. Truu. (2004). Bumblebee communities as an indicator for landscape monitoring in the Agri-environmental Programme. *Landscape and Urban Planning* 67: 173-183 pp.
- Smith, P. A. (1999). *Abejas (Hymenoptera: Apoidea) de la zona de influencia del Embalse Porce II*. Tesis de maestría en entomología. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Smith, P. A. y González V.H. (2007). Diversidad de abejas (Hymenoptera: Apoidea) en estados sucesionales del Bosque Húmedo Tropical. *Acta biológica Colombiana* 12(1): 43–56 pp.
- Smith, P. A. y Vélez, R. I. (2008). *Abejas de Antioquia: Guía de campo*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Spector, S. y A. B. Forsyth, (1998). Indicator taxa in the vanishing tropics. En A. Balmford and G. Mace (Eds.). *Conservation in a Changing World*. pp. 181-210. Cambridge University Press, Cambridge.
- Steffan, D. I. y Westphal, C. (2008). The interplay of pollinator diversity, pollination services and landscape change. *Journal of Applied Ecology*, 737-741 pp.
- Valiente, B. A. (2002). Vulnerabilidad de los sistemas de polinización de cactáceas columnares de México. *Revista chilena de historia natural*, 75(1): 99-104 pp.
- Vélez, R. I. (2009). *Una aproximación a la sistemática de las abejas silvestres de Colombia*. (Trabajo de maestría en Ciencias - Entomología). Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Vergara, H. (2015). Patrones de la vegetación y tipos de uso de la tierra en el valle del Patía. *Colombia forestal*, 18(1): 25-45 pp.
- Vergara, H. (2017). *Verificación de coberturas y establecimiento de parcelas permanentes en bosque seco tropical, subnodo Patía Caucaño*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Universidad del Cauca -- Grupo de investigaciones en Geología, Ecología y Conservación. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/31246>.

- Vergara, H., y Torres, M. (2017). Aspectos generales del valle del Patía. *Revista Novedades Colombianas*, 12(1).
- White, R. E. (1998). *A field guide to insects: America north of Mexico*: Houghton Mifflin.
- Wilson, E. (1971). *The Insect Societies* Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge, MA.
- Wille, A. (1983). Biology of the stingless bees. *Annual review of entomology*, 28(1): 41-64 pp.
- Winfree, R., y Aguilar, R. (2009). A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, 90(8): 2068-2076 pp.
- Zambrano-G, G., Gonzalez, V. H., Hinojosa, D. I., y Engel, M. S. (2013). Bees visiting squash (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiret) in southwestern Colombia (Hymenoptera: Apoidea). *Journal of Melittology* 18: 1-5 pp.

Anexos

Anexo 1. Lista de familias y especies vegetales de las parcelas de las parcelas de restauración.

Familia	Especie	Avanzado	Intermedio	Temprano
Acanthaceae	<i>Trichanthera gigantea</i>			X
Anacardiaceae	<i>Spondias purpurea</i>			X
Bignoniaceae	<i>Crescentia cujete</i>	X		X
Euphorbiaceae	<i>Croton hibiscifolius</i>		X	
Fabaceae	<i>Albizia saman</i>	X		
	<i>Cassia grandis</i>	X		X
	<i>Pithecellobium latifolium</i>	X		
	<i>Zygia sp</i>	X		
	<i>Calliandra pittieri</i>		X	
	<i>Gliricidia sepium</i>			X
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	X	X	
Myrtaceae	<i>Eugenia sp.</i>	X	X	
Nyctaginaceae	<i>Pisonea aculeata</i>	X		
Rutaceae	<i>Zanthoxylum caribaeum</i>	X		
Sapindaceae	<i>Serjania clematidea</i>	X		
Lauraceae	<i>Cinnamomum sp.</i>		X	
Poaceae	<i>Dichanthium aristatum</i>			X
	<i>Paspalum notatum</i>			X

Anexo 2. Listado de especies de abejas encontradas en las parcelas de restauración.

Familia	Especie	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
Apidae	<i>Diadasia</i> sp.	x	x	X
	<i>Scaptotrigona</i> sp.	X	x	x
	<i>Centris</i> sp.	-	X	-
	<i>Epicharis rustica</i>	-	X	-
	<i>Epicharis</i> sp.	-	X	X
	<i>Eufriesea</i> sp.	-	x	X
	<i>Eufriesea purpurata</i>	-	-	X
	<i>Euglosa cordata</i>	-	X	X
	<i>Euglosa</i> sp.	-	X	X
	<i>Eulaema boliviensis</i>	-	X	-
	<i>Eulaema cingulata</i>	-	X	X
	<i>Eulaema meriana</i>	-	x	X
	<i>Eulaema mocsaryi</i>	-	X	-
	<i>Eulaema nigrita</i>	-	X	X
	<i>Eulaema</i> sp.	-	X	X
	<i>Eulaema bombiformis</i>	-	X	-
	<i>Exaerete dentata</i>	-	X	X
	<i>Exaerete smaragdina</i>	-	X	X
	<i>Florilegus</i> sp.	-	X	-
	<i>Tetragonisca angustula</i>	x	X	X
	<i>Thygater</i> sp.	-	X	-
	<i>Xylocopa frontalis</i>	X	X	-
	<i>Xylocopa tabaniformis</i>	-	-	X
Colletidae	<i>Hylaeus</i> sp.	X	X	-
	<i>Colletes</i> sp.	-	X	-
Halictidae	<i>Augochlora</i> sp.	X	x	X
Megachilidae	<i>Coelioxys</i> sp.	-	X	X
	<i>Megachile</i> sp.	-	X	X

Anexo 4. Formato para el registro de la vegetación.

Consecutivo	Parcela	Cuadrante	N° sp	Nombre común	Especie	Eje X	Eje Y	Altura	CAP1	CAP2	Cobertura X	Cobertura Y	Fenología: Botón (B), Flor ((FL), Fruto (FR) Infértil (IN)	Hábito: Hierba (HI), Arbusto (AR), Árbol (A), Árbol Juvenil (AJ)	Estado fitosanitario: Excelente (E), Bueno (B), Regular R, Malo (M)
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															