

CARACTERIZACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD DEL PARQUE NATURAL REGIONAL SERRANÍA DE MINAS –PNRSM - OPORAPA, COLOMBIA

CHARACTERIZATION OF THE BIODIVERSITY OF THE SERRANIA DE MINAS REGIONAL NATURAL PARK –PNRSM - OPORAPA, COLOMBIA

Ada Ubielly Valencia Celis¹
Gelber Rosas Patiño²
John Alexander Penagos Guzmán³

Resumen

La investigación tiene como objetivo caracterizar la biodiversidad del Parque Natural Serranía de las Minas a partir del trabajo realizado en diferentes parches de bosque de roble blanco (*Quercus humboldtii*) con muestreo de grupos bioindicadores de aves, mariposas, edafofauna y algunas plantas asociadas al *Quercus humboldtii*. Para tal fin, se fundamenta en una investigación de tipo cuantitativo desde el método cuasiexperimental con carácter descriptivo que ha permitido conocer el estado del bosque y la prestación de los servicios ecosistémicos que ofrece. Así, la investigación contribuye con la elaboración de un listado de especies, familias y ordenes disponiendo información georreferenciada de la distribución de los organismos del bosque de roble y un material educativo que permita un acercamiento a la educación ecocientífica y el ecoturismo para promover acciones de conservación debido a las amenazas constantes hacia los ecosistemas y su biodiversidad.

Palabras clave: Intervención antrópica, biodiversidad, bosque de roble, conservación, servicios ecosistémicos.

Abstract

The research aims to characterize the biodiversity of the mountainous area Las Minas Natural Park from the work carried out in different patches of white oak forest (*Quercus humboldtii*) with sampling of bioindicator groups of birds, butterflies, edaphic fauna and some plants associated with *Quercus humboldtii*. For this purpose, is based on quantitative research is used from the quasi-

Recepción: Julio de 2020 / Evaluación: Septiembre de 2020 / Aprobado: Diciembre de 2020

¹ Magíster en Educación, Universidad de Manizales. Especialista en gerencia educativa con énfasis en gestión de proyectos, Universidad Católica de Manizales. Ingeniera agroecológica, Universidad de la Amazonia. Candidata a Doctora en Educación y Cultura Ambiental, Universidad de la Amazonia. Integrante grupo de investigación GIADER de ingeniería agroecológica de la Universidad de la Amazonia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7602-4146>. Email: ada.valencia@udla.edu.co – ubielly2@gmail.com.

² Doctor en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional. Magíster en Agroforestería, Universidad de la Amazonia. Especialista en educación y gestión ambiental, Universidad de la Amazonia. Ingeniero Agroecológico, Universidad de la Amazonia. Docente Investigador de la Universidad de la Amazonia. Integrante grupo de investigación GIADER de ingeniería agroecológica de la Universidad de la Amazonia. Investigador asociado a Colciencias. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1044-8103>. Email: g.rosas@udla.edu.co.

³ Magister en Educación, Universidad de la Amazonia. Especialista en gerencia educativa con énfasis en gestión de proyectos, Universidad Católica de Manizales. Especialista en Pedagogía, Universidad UNAD. Licenciado en matemáticas y física, Universidad de la Amazonia. Candidato a Doctor en Educación y Cultura Ambiental, Universidad de la Amazonia. Integrante grupo de investigación GITUA de la Universidad de la Amazonia ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-7562> Email: joh.penagos@udla.edu.co- alexanderpenagos16@gmail.com.

experimental method with a descriptive nature that has allowed to know the state of the forest and the provision of the ecosystem services it offers. Thus, the research contributes a list of species, families and orders has been made, providing georeferenced information on the distribution of oak forest organisms and educational material that allows an approach to eco-scientific education and ecotourism to promote conservation actions due to the constant threats to ecosystems and their biodiversity.

Key words: Anthropogenic intervention, biodiversity, oak forest, conservation, ecosystem services.

Introducción

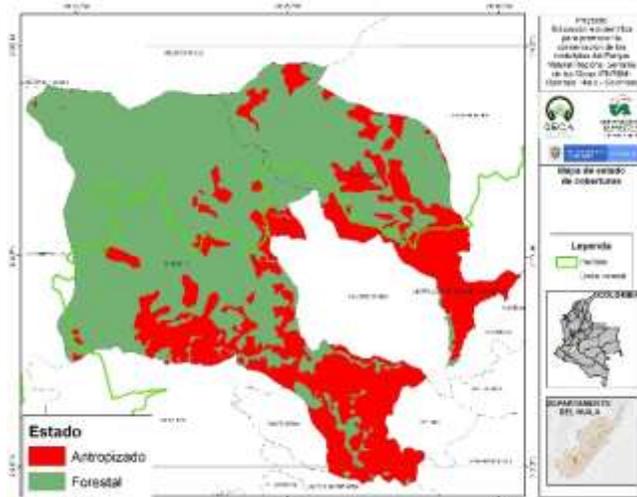
Los bosques dominados por la especie de roble blanco (*Quercus humboldtii*) se distribuyen ampliamente en Colombia a lo largo sus tres cordilleras, en departamentos como “Antioquia, Cauca, Cundinamarca, Huila (...) entre otros” (Sáenz-Jiménez, 2010, p. 299). Estos bosques están siendo afectados por la fuerte presión antrópica que ha provocado la fragmentación y reemplazo de la cobertura vegetal natural, razón por la cual hoy en día es común observar mosaicos complejos compuestos por parches de cultivos, pastizales, senderos o corredores, mezclados con bosques áreas naturales (Avella, M. et al., 2016; Pérez- García., et al, 2017), lo cual genera una alteración en las dinámicas ecológicas del roble con su flora y fauna asociada a los procesos de mineralización y fragmentación llevadas a cabo por la edafofauna (Velasquez y Lavelle, 2019), además de la dispersión y polinización realizadas por organismos como aves e insectos, entre otros.

Los suelos en donde crece y se desarrolla el roble blanco, se caracterizan por poseer un entramado de raíces que brindan refugio y alimento a múltiples organismos, los cuales fragmentan la hojarasca que posteriormente es absorbida por las plantas, incluido el roble (Aldana *et al*, 2011) y de esta manera el bosque suministra alimento constante a la fauna asociada. Sus suelos, resultado de la combinación de condiciones climáticas y la geoforma del bosque, hacen que se forme un suelo orgánico con una lenta descomposición debido a su acidez (Arias, 1991), haciendo que los mismos sean aún más frágiles a actividades como la explotación agrícola, la cual es conocida por ser precursora de la pérdida de biodiversidad en los ecosistemas, es por esto que es imprescindible realizar estudios que permitan evidenciar el estado de bosques dominados roble blanco y así generar estrategias que promuevan la conservación de zonas biodiversas, que además proveen de servicios ecosistémicos en la “regulación hídrica, protección de suelos y refugio de especies amenazadas o endémicas con un alto valor de conservación a nivel nacional, regional y local” (Avella, A., y Rangel, O, 2019, p. 15).

Por lo tanto, es necesario identificar zonas donde crece el roble como el caso del PNRSM ubicado en el departamento de Huila, entre la vertiente de la cordillera central y los municipios de La Argentina, Tarqui, Pital, Oporapa, La Plata y Salado Blanco con alturas que varían desde los 1500 hasta los 3000 m.s.n.m (Corporación Autónoma del Alto Magdalena-CAM, 2018), el PNRSM colinda con el Parque Natural Nacional Puracé [PNNP] por lo que su conservación es vital para mantener la cobertura boscosa a escala regional (Gallo- Gajicao, 2005), sin embargo, los estudios sobre el roble blanco son escasos o nulos en esta zona. Es así que se buscó a través de indicadores biológicos desde las aves, mariposas, edafofauna y plantas asociadas, realizar un listado de las especies identificando sus relaciones con el roble y un estudio cartográfico de la zona que evidencie los diferentes usos del suelo para caracterizar el estado del ecosistema desde su relación con los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques de roble.

A partir de esto, se puedan generar propuestas que incentiven la conservación de los bosques de roble por medio de la producción de materiales educativos para la comunidad con la educación ecocientífica (Sauvé, 2010 y Vásquez, 2017) ya que “las comunidades no son simples receptoras de programas de conservación y desarrollo, sino que tienen algo que decir sobre la gestión de los entornos naturales próximos y los recursos, y pueden obtener beneficios de su gestión” (Ferrero, B. 2014, p. 19).

Figura 1. Estado de Coberturas área de muestreo en PNRSM 2021



Fuente: Elaboración propia (2021).

Metodología

Este estudio se realiza en PNRSM el cual cuenta con un gradiente altitudinal que oscila entre 1500 a 3000 m.s.n.m, con temperaturas promedio de 16 a 20°C. Además, presenta un comportamiento climático bimodal, con mayores precipitaciones en los meses de abril y noviembre y menores en el mes de agosto (CAM, 2018). Los meses durante los cuales se realizó el muestro (septiembre, octubre y noviembre) presentan un promedio de precipitación de 109 mm y 220.6 mm. En el PNRSM se seleccionaron 13 zonas (ver **Tabla 1**) pertenecientes a la jurisdicción del municipio de Oporapa, en las veredas El Roble y San Roque. Se dispone de los parches de roble según las necesidades y características de los diferentes métodos de muestreo para cada grupo (plantas, aves, mariposas, y edafofauna), para un esfuerzo de muestreo satisfactorio, de este modo, para el muestreo de edafofauna se escogieron 3 zonas al azar, para plantas asociadas al roble blanco se toman 12 zonas y finalmente el muestreo de aves y mariposas cuenta con 9 zonas.

A partir del reconocimiento de las diferentes estaciones de muestreo se registra la presencia de senderos, rastros de saqueo de madera y ganado además de espacios aledaños dispuestos para cultivos, por lo que estas zonas se identifican por ser un bosque secundario, que ahora bien tras el establecimiento del área protegida por la CAM se observa que se encuentra en estado de recuperación, puesto que los árboles que se disponen cerca a los caminos comprenden diámetros desde 20.1 cm, el cual va en aumento hacia dentro del bosque. Además, este es un bosque homogéneo y denso especialmente de especies arbustivas.

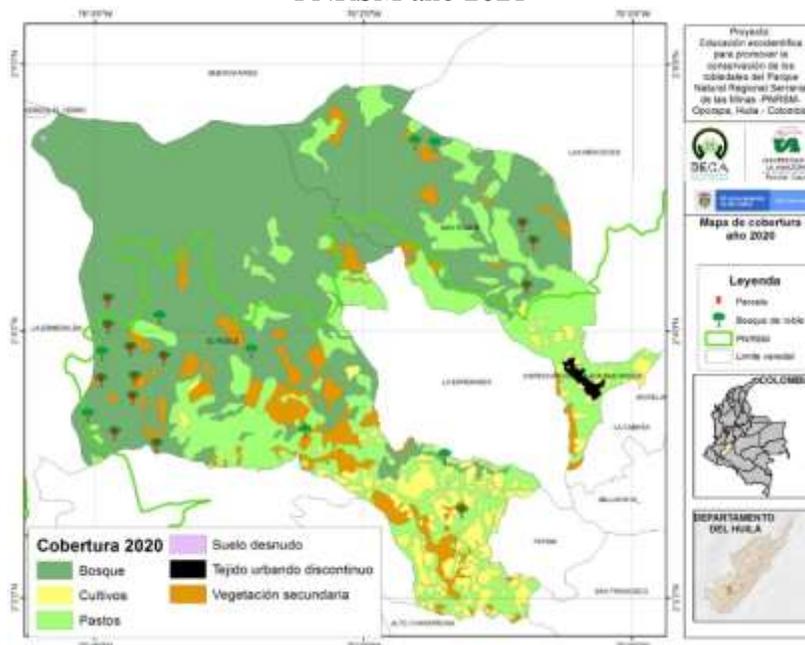
Tabla 1. Estaciones de muestreo realizadas en el PNRSM

Vereda	Robledales	Estaciones muestreos	Latitud	Longitud	m.s.n.m	área/ha	
El Roble	1	1	2,04416667	-76,02111111	1740	5.031	
	2	2	2,05246174	-76,0589814	1988	34.130	
	3	3	2,05388889	-76,0641667	2050	30.564	
	5	4	2,06055556	-76,0658333	2125	13.413	
	8	5	2,07055556	-76,065	2253	51.385	
	9	6	2,06722222	-76,065	2182	23,377	
	10	7	2,06444444	-76,0622222	2165	14,902	
	11	8	2,06333333	-76,0580556	2127	19.248	
	12	9	2,06083333	-76,0616667	2213	22.251	
	13	10	2,05833333	-76,0619444	2080	12.540	
	San Roque	20	11	2,08	-76,0136111	2081	13.926
		25	12	2,07217594	-76,0130779	2027	3.418
		26	13	2,07777778	-76,0122222	2060	20.097

Fuente: Elaboración propia (2021).

Estas zonas cuentan con características típicas de bosque secundario el cual se define como un conjunto de plantas leñosas que se desarrollan en zonas que fueron intervenidas por el hombre y que además posee un crecimiento rápido hasta conformar un bosque (Gaviria, J. 1998), evidenciando diferentes tipos de intervención antrópica como senderos, extracción maderera, cultivos y ganadería.

Figura 2. Mapa de Cobertura área de muestreo y ubicación de las estaciones de muestreo en PNRSM año 2021



Fuente: Elaboración propia (2021).

Plantas

A partir de un previo reconocimiento de áreas donde se evidencia la presencia de *Quercus humboldtii* se seleccionaron 12 estaciones de muestreo del PNRSM (ver **tabla 1**) trabajando en todas a excepción de E2, al evidenciar que la abundancia de roble blanco era baja y al ser aleadaña a la zona E3. Además, se buscó abarcar la mayor heterogeneidad, por esto se eligen estaciones de muestreo que evidencien diferentes grados de intervención. A partir de ello, se realizó parcelación de 50X50m, georreferenciación y caracterización de las familias Rubeaceae, Melastomataceae y plantas leñosas en sus diferentes estratos para estimar la diversidad de los bosques de roble y así generar una descripción del mismo teniendo en cuenta a Gentry (1982) y Sandoval (2015), sin efectuar una colecta activa de las plantas asociadas a los bosques de roble.

Se emplea el conteo de especies según su altura y se establecen como plantas leñosas aquellas que superen los 5m (determinando además si son maderables). En el caso de las inferiores a 5m y que no son maderables se clasifican como plantas herbáceas o arbustivas y epífitas. En cuanto a las primeras se selecciona las plantas asociadas al roble blanco de familia Melastomatacea que cuenten de 2-5m haciendo su conteo mediante la estimación de su densidad en el área cercana, para el caso de una alta densidad que se realiza mediante la escala de cobertura y significancia del sistema DAFOR. Posteriormente, para las epífitas se tiene en cuenta lo sugerido por Aguirre (2013), manejando cada árbol como unidad de muestreo, seleccionando los mismos al azar, los cuales deben tener una densidad mínima de 20 árboles por hectárea y estar en diferentes hábitats. Finalmente, se identifican y clasifican mediante la clave dicotómica de Mahecha, G (2002) y se realiza el índice de Sorensen cualitativo para evidenciar la similitud entre las zonas de muestreo.

Aves

Se trabajó en nueve estaciones de muestreo del PNRSM correspondientes E1, E2, E3, E4, E5, E9, E10, E11 y E12 (ver **tabla 1**) buscando la mayor heterogeneidad entre las mismas, en cada una se realizaron tres réplicas de 6:00- 11:00. Se efectuaron censos sugeridos por Gonzales (2011) y Villareal *et al*, (2004) por medio de puntos de conteo sin estimado de distancia (5 en total por cada zona) y transectos sin estimado de distancia (4 en total por cada zona) en un periodo de 15 minutos cada uno, lo cuales fueron georreferenciados y se tuvo un mínimo de distancia entre los mismos de 150 metros con el fin de no hacer doble conteo de individuos. El muestreo se realiza con cámara fotográfica Nikon Coolpix P950, binoculares Celestron 7X35, grabadora Sony ICD-PX370 y un GPSmap 62s. La identificación de las especies se realiza según Ayerbe (2019).

En cuanto al análisis estadístico se calcula la diversidad alfa y beta mediante los índices de Simpson y Shannon-Wiener mediante el software de Hammer, O (2020) Past 4.03 y para el cálculo de la curva de acumulación de especies se emplea el programa de Colwell, R.K, (2019) Estimates 9.0. Finalmente se usa Sorensen cualitativo en los diferentes eventos de muestreo.

Por otro lado, se realiza la categorización de las especies según Stiles y Bohórquez (2000) y Laverde-R, *et al*, (2005) bajo los criterios de: Ia, Ib, II y III, con el fin de evidenciar “las especies en términos de sus relaciones con los hábitats primarios y alterados” (p. 68). Y a partir de estos criterios evidenciar el grado de intervención en las estaciones de muestreo, estableciendo tres grados (alto, medio y bajo), teniendo en cuenta la proporción de especies por cada categoría y la riqueza que tienen las mismas. Para el endemismo se tienen en cuenta las categorías endémicas y casi endémicas sugeridas por Ayerbe (2019) y la Asociación Colombiana de Ornitología-ACO (2020); para el caso de las subespecies se confirman los registros con el uso de biomodelos proporcionados por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt-IAVH (2021). Finalmente se clasifican según la Unión Internacional para la Conservación de la

Naturaleza-IUCN (2021) la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora silvestres-CITES Colombia (2021) y Rengifo *et al*, (2014).

Mariposas

El muestreo se realizó entre las 8:00- 15:00 horas en las estaciones de muestro E1, E2, E3, E4, E5, E9, E10, E11 y E12 (ver **tabla 1**) bajo diferentes metodologías como observación y captura por transecto sin longitud definida o búsqueda libre de mariposas propuesta por Villareal *et al*, (2004) y Andrade-C *et al*, (2013). En cada zona se efectuaron tres réplicas, empleando redes entomológicas (jamas) en zonas tales como borde de bosque, interior de bosque, claros, senderos y quebradas. Las condiciones de precipitación y temperaturas bajas influyeron directamente en el muestreo fluctuando bastante durante el mismo.

Posterior a la captura de los individuos, se transportaron en frascos de vidrio e introducidos en una nevera de icopor con hielo, con el fin de disminuir el metabolismo y quedaran adormecidas, esta metodología es propuesta en esta investigación con la finalidad de evitar la captura activa de los organismos. Posteriormente, transcurridos 30 minutos se hizo la toma de datos y se liberaron. Se registraron en un fondo blanco con las alas extendidas y cerradas en vista dorsal y ventral. El organismo se liberó cerca a lugares con incidencia solar esperando que tomara vuelo nuevamente. En cuanto a la identificación de los individuos colectados se realizó mediante claves y las guías ilustradas de Andrade-C (1990), Le Crom *et al*, (2002) y García-Robledo *et al*, (2002). La confirmación de los mismos se contó con la colaboración de la presidenta Morpho Colombia.

Para el análisis estadístico se empleó los índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson a estos se les realizó un Bootstrap de 0.95% mediante el programa Past 4.03. Además, se usó el índice de Sorensen en zonas R1 y R4 (puntos más diversos) y R1 y R3 (puntos con menor diversidad).

Edafofauna

Se empleó los protocolos propuestos por Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF). (Anderson & Ingram, 1994) en tres estaciones de muestreo (ver **tabla 2**) en las que se llevaron a cabo 4 monolitos por estación, con dimensiones de 25 cm de ancho y 25 cm de largo en los que se evaluaron 5 estratos, esto debido a las características del suelo de los bosques de roble blanco (Arias, 1991; Orozco y Palacios, 2011), estos se clasificaron en hojarasca gruesa (H0), mantillo de bosque (material orgánico en descomposición sujetado por raíces) (H1) y teniendo en cuenta la profundidad de 0-10, 10-20 y de 20-30 cm. Por otro lado, con el fin de comparar las características de las estaciones seleccionadas con grado de intervención alta y baja, se extrajo una muestra a 3m cerca a la base del roble blanco los cuales tuvieran un diámetro a la altura del pecho-DAP mayor a 40 cm, eligiendo estos al azar. Particularmente para la zona de alta intervención esto se realizó dentro del cultivo de café, recogidas las muestras se trasladaron al laboratorio de entomología de la Universidad de la Amazonia- LEUA, clasificando los viales por estación de muestreo y estrato. Estos fueron revisados uno a uno en cajas de Petri con un estereoscopio Leica EZ4 10X con un aumento de 8X-35X retirando contaminantes de la muestra. Seguidamente fueron separados taxonómicamente en clase, orden o familia y depositados en viales de 5ml, la identificación se realizó según Echeverri (2006) y Rafael *et al*, (2012).

Tabla 2. Estaciones de muestreo en robledales y cultivo

Estaciones de muestreo	Grado de intervención*	Especificación
E9	Baja	Bosque de roble maduro, con árboles con DAP>40cm
E5	Media	Fragmento de bosque con predominancia de roble blanco sometido a presión antrópica por cultivos de café (<i>Coffea arabica</i>) y pasturas a su alrededor.
E1	Alta	Cultivo de café de la variedad catimor establecido hace 10 años, con una densidad de siembra de 2200 plantas/ha asociado con plátano (<i>Musa paradisiaca L.</i>) donde se encontraba antiguamente bosques de roble blanco.

Nota: En adelante los diferentes grados de intervención serán denominados de la siguiente manera: Intervención Alta= IA, Intervención Media= IM e Intervención Baja= IB.

Fuente: Elaboración propia (2021).

Se determinaron las características químicas en los tres grados de intervención seleccionados. Se tomaron 4 submuestras de los monolitos extraídos, seguidamente se los mezcló homogéneamente para sacar una muestra global por cada grado de intervención. Estas se rotularon y se enviaron a Agrosavia.

Finalmente, para el análisis estadístico de los datos de espesor (cm) del mantillo por estación de muestreo se realizó la prueba de anormalidad de Shapiro Wilk ($p < 0.05$), la cual generó un p -value=0.02627 para datos con distribución anormal, se efectuó un análisis de varianza ANOVA con comparación de medias por medio del test de Turkey mediante el software estadístico de Rstudio Team (2021) versión 4.0.3 mediante el lenguaje de programación RStudio versión 1.3.1. En cuanto a los datos de diversidad se tuvo en cuenta los índices de Shannon, Simpson y Peilou por medio de la librería BiodiversityR de RStudio y graficados por medio del programa estadístico de Di Rienzo, J.A., *et al.* (2018) Infostat versión 2018. Se realizó análisis multivariado, para el cual se visualizó mediante un gráfico de Análisis de Componentes Principales (ACP) con un trazo convexo en el conjunto de puntos, agrupando los principales factores en dos dimensiones mediante lenguaje de programación de RStudio y software R 4.0.3.

Elaboración del material educativo

Se elaboraron diferentes materiales educativos tales como una guía de la biodiversidad de plantas, aves, mariposas y edafofauna encontrada en las zonas de muestreo; una unidad didáctica que se articula con los grupos trabajados y los servicios ecosistémicos que otorgan los bosques de roble, libro de informes de trabajo de campo y finalmente un sendero interpretativo, el cual busca incentivar un acercamiento de la educación ecocientífica y ecoturismo.

Resultados

Plantas

A partir del reconocimiento de las diferentes estaciones de muestreo se registra entre septiembre y octubre en diferentes rangos altitudinales, un total 181 árboles de roble blanco (*Quercus humboldtii*) en un área que comprende todas las parcelas de 600X600 metros. Si se tiene en cuenta la estimación a 100 metros de esta cantidad, podría encontrarse hasta 362 árboles de roble para el doble del área estudiada (ver **Tabla 3**). A partir de la cantidad registrada de *Quercus humboldtii*, se evidencia que este sigue conservándose como un bosque de roble al ser predominante en el área, sin embargo, cabe mencionar que estaciones como E6 y E7 tienen una baja densidad de esta especie, debido al fácil acceso a la madera que proveen los robles en esta zona para los pobladores. En contraste a esta situación E1, estación en la que existen viviendas cercanas cuenta con una densidad de roble mayor a las zonas E6 y E7 debido al interés de los dueños de esta área al querer conservar la zona.

Tabla 3. Estimación densidad de *Quercus humboldtii* en 50 m y 100 m en el PNRSM

Estación de muestreo	N° robles en 50 m	N° robles en 100 m	m.s.n.m
E1	17	34	1740
E3	12	24	2050
E4	12	24	2125
E5	20	40	2253
E6	6	12	2182
E7	6	12	2165
E8	12	24	2127
E9	27	54	2213
E10	15	30	2080
E11	15	30	2081
E12	20	40	2027
E13	19	38	2060
Total	181	362	

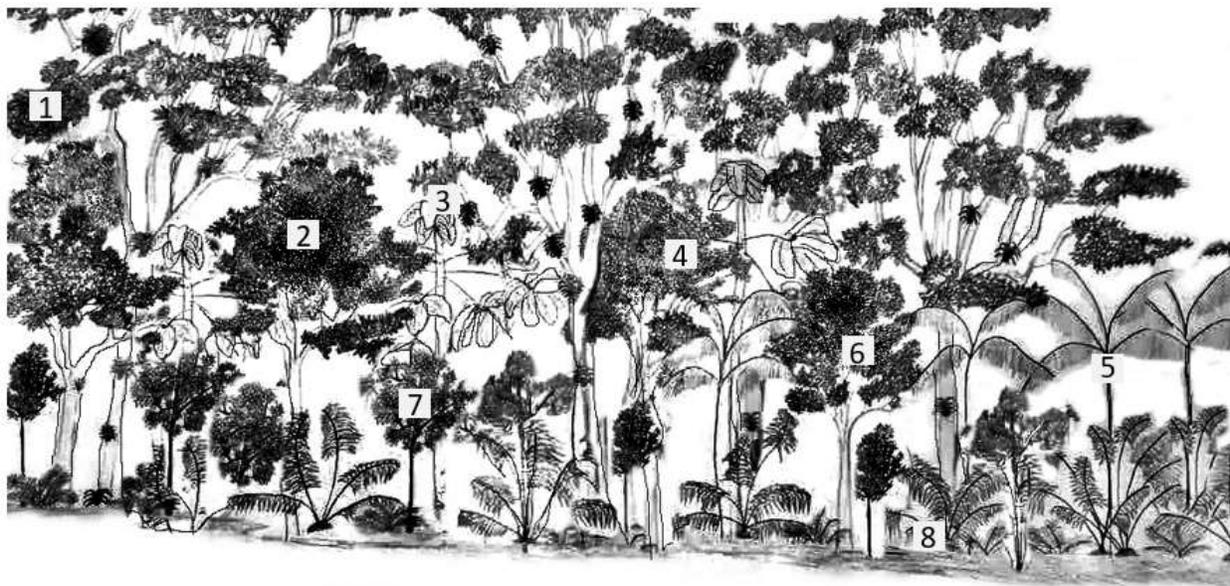
Fuente: Elaboración propia (2021).

Particularmente en las estaciones E3 y E4 las cuales se encontraban cerca de caminos, no se evidenció una densidad mayor de roble, siendo predominantes otras especies como el árbol de algodóncillo (*Alchornea triplinervia*). Por otra parte, las estaciones con mayor densidad de *Quercus humboldtii* corresponden a E5, E8 y E10, los cuales tienen el mayor DAP registrado en todas las estaciones, debido al difícil acceso a las mismas tanto en distancia como en densidad general de estas áreas.

A partir del registro de árboles maderables se observa la presencia en todas las estaciones de muestreo de *Quercus huumboltii*, *Alchornea triplinervia*, *Aiouea dubia*, *Persea sp.* *Coccoloba pubescens*. En cuanto a Melastomatáceas (tenidas en cuenta como único grupo registrado de herbáceas-arbustivas) son comunes en todas las estaciones de muestreo predominando las familias Rubeaceae, Ericaceae y las Asteraceae.

Con respecto a las epifitas se evidencia una alta abundancia en las áreas muestreadas, lo que según (Henao. L. *et al.* 2012) indica la diversidad del bosque. De esta manera se registran un total de 33 especies de plantas asociadas al roble blanco, las cuales están organizadas en 6 divisiones y 25 familias siendo las más abundantes Melastomataceae, Clusysaceae, Hypericaceae, Lauraceae, Rubeaceae, Orchidaceae y Bromeliaceae, a partir del reconocimiento de estas se realiza un perfil vegetal (ver **Figura 3**) que da cuenta de la estratificación a modo general del robleal.

Figura 3. Perfil vegetal del bosque de roble blanco (*Quercus humboldtii*) registrado en PNRSM



Nota: Las especies y familias del perfil corresponden a: *Quercus humboldtii* (1) *Alchornea tripinervia* (2) *Cecropia* sp. (3) *Vismia baccifera* (4) *Cyathea* sp. (5) Rubeaceae (6) Melastomataceae (7) epifitas (8).

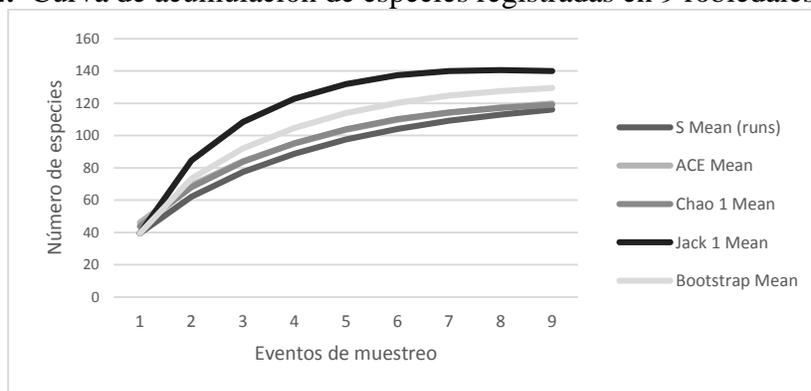
Fuente: Elaboración propia (2021).

Aves

Se registraron un total de 116 especies organizadas según el arreglo taxonómico de Remsen *et al.*, (2019) estas comprenden 13 órdenes, 31 familias, y 98 géneros, esto a partir de un muestreo de 27 días con un total de 117 horas de trabajo efectivo influenciado por las altas precipitaciones y bajas temperaturas de la temporada. La estación que presentó mayor número de especies fue E1 (50 sp) y la menor E4 (27 sp). La familia con mayor número de representantes correspondió a Thraupidae (22 sp), seguido por Tyrannidae (19 sp) y Trochilidae (8 sp). Por otra parte, se registraron a *Contopus cooperi*, *Contopus virens*, *Tyrannus tyrannus*, *Catharus ustulatus*, *Setophaga fusca* y *Piranga rubra* especies migratorias boreales.

Se obtuvo una representatividad según los estimadores empleados (ver **figura 4**). E5 presentó un $H= 3,708$ y un $D=0,9735$ por lo que es la zona con mayor diversidad registrada, sin embargo, en general todas las zonas de muestreo tienen un $H<3$ y un $D<0,95$ por lo que se evidencia todas presentan un alto grado de diversidad.

Figura 4. Curva de acumulación de especies registradas en 9 robledales del PNRSM



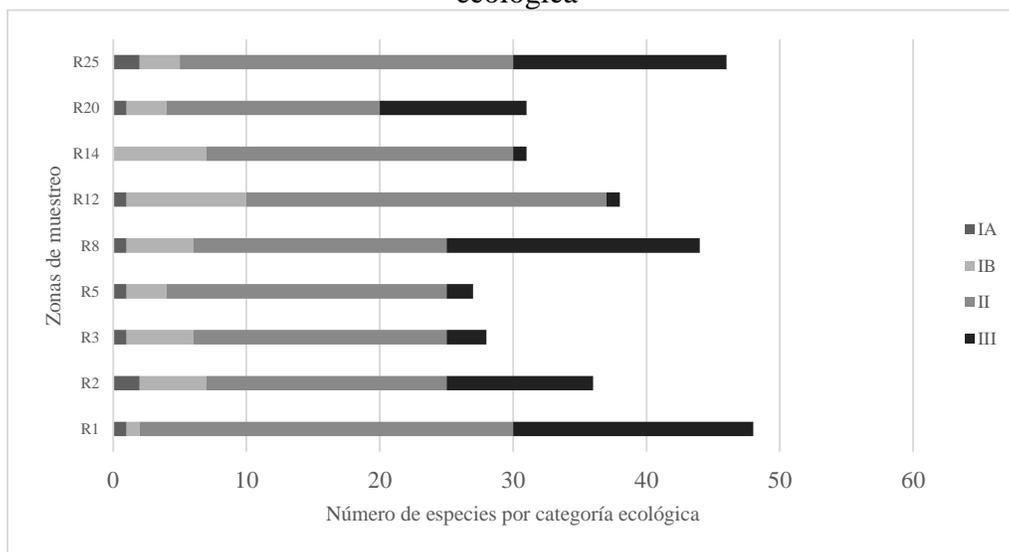
Fuente: Elaboración propia (2021).

Las zonas que presentan mayor similitud son E9-E10 con un 61%, estas además también se consideran las menos intervenidas ya que solo presentan senderos. Las zonas con menor similitud corresponden a E1-E4. Es resaltable que R8 (zona con mayor diversidad) contiene solo un 44% y 50% similaridad con las zonas menos intervenidas, posiblemente debido a la presencia de áreas abiertas en la misma, por lo que así mismo no se encontró un número significativo de especies de las categorías Ia y Ib (especies de bosque).

Por otra parte, solo el 15% (17 sp) de las registradas requieren de un tipo de bosque con menor intervención (categoría Ia e Ib), por lo que puede inferirse existen áreas adyacentes de bosque primario de las que se desplazan las mismas hacia zonas como las muestreadas. En cuanto a la categoría II, esta resulta ser la más abundante con un 60% (70 sp) de las especies encontradas y finalmente la categoría III cuenta con un 25% (30sp).

Ahora bien, a partir de estas categorías se evidenció que E1, E2, E3, E11 y E12 son las estaciones de muestreo con mayor intervención antrópica ya que al menos el 30% de las especies encontradas correspondían a la categoría III (especies que no requieren de una cobertura arbórea) y especies de la categoría II (especies que no requieren de un bosque poco intervenido) y por el contrario el contrario especies de categorías Ia y Ib se encuentran en una proporción ínfima (ver **Figura 5**). En segundo lugar, en cuanto a las zonas con un grado intervención medio se encuentran E4, E5 y E10, ya que en estas estaciones se observó tanto especies que habitan bosques poco intervenidos (Ia e Ib) como especies generalistas y de áreas abiertas (II y III), cabe resaltar que se considera que E5 el cual cuenta con un 43% de especies de categoría III, al ser la más diversa puede significar que el ecosistema aun es capaz de sostener las condiciones y recursos que requieren los organismos. Por último, la zona con menor grado de intervención corresponde a E9, la cual solo contiene un 2,6 % de especies de la categoría III y por otro lado en mayor medida especies de la categoría I (26%) y II (71%), por lo que se infiere que esta zona está albergando tanto especies de bosque secundario como primario, lo que puede significar un cambio en la matriz original del ecosistema, por lo que se podría pensar que especies con un mayor rango de movimiento están colonizando esta zona.

Figura 5. Relación del número de especies por estación de muestreo de acuerdo a su categoría ecológica



Fuente: Elaboración propia (2021).

Se encontraron 13 especies y 11 subespecies que presentan endemismo de las cuales 14 aves son endémicas y 9 casi endémicas y por otra parte se registraron tres especies en estado de vulnerabilidad-Vu (ver **Tabla 4**) y tres especies casi amenazadas- NT, esta información se complementa con CITES Colombia, en donde del total de las especies 17 de ellas se encuentra en el apéndice II las cuales “no están necesariamente amenazadas de extinción pero que podrían llegar a estarlo a menos que se controle estrictamente su comercio” (CITES COLOMBIA, 2021). Se destaca la presencia de *Creurgops verticalis* y *Atlapetes fuscoolivaceus*, las cuales se encuentran en el Libro Rojo de Aves en Renjifo (2014) ya que han perdido el 51% y 58% respectivamente de su hábitat debido a la ampliación de la frontera agrícola, por lo que se verían comprometidas de un mediano a largo plazo (Gallo-Cajicao e Idrobo-Medina, 2005; Botero *et al.* 2010 citados en Renjifo *et al.* 2014).

Finalmente se amplió el rango altitudinal de *Myiarchus tuberculifer* a una altura de 2141 m.s.n.m, *Tyrannulus elatus* a 2080 m.s.n.m, *Megarynchus pitangua* a 1750 m.s.n.m y *Melanospiza bicolor* con 1725 m.s.n.m.

Tabla 4. Estado de conservación de especies registradas en el PNRSM según la IUCN, CITES Colombia y Renjifo et al. (2014)

Especie	IUCN	CITES Colombia	Renjifo et al. (2014)
<i>Aburria aburri</i>	NT	-	-
<i>Patagioenas subvinacea</i>	VU	-	-
<i>Accipiter collaris</i>	NT	-	NT
<i>Contopus cooperi</i>	NT	-	-
<i>Atlapetes fuscoolivaceus</i>	VU	-	VU

<i>Creurgops verticalis</i>	VU	-	VU
<i>Lesbia nuna</i>	-	-	-
<i>Haplophaedia aureliae</i>	-	II	-
<i>Coeligena coligen</i>	-	II	-
<i>Ocreatus underwoodii</i>	-	II	-
<i>Campylopterus falcatus</i>	-	II	-
<i>Chalybura buffonii</i>	-	II	-
<i>Saucerottia saucerrottei</i>	-	II	-
<i>Accipiter bicolor</i>	-	II	-
<i>Rupornis magnirostris</i>	-	II	-
<i>Herpetotheres cachinnans</i>	-	II	-
<i>Milvago chimachima</i>	-	II	-
<i>Falco sparverius</i>	-	II	-
<i>Pionus chalcopterus</i>	-	II	-
<i>Amazona mercenarius</i>	-	II	-
<i>Pyrrhura melanura</i>	-	II	-
<i>Rupicola peruvianus</i>	-	II	-

Fuente: Elaboración propia (2021).

Mariposas

El muestreo contó con un trabajo efectivo de 147 horas/hombre en los que se registró un total de 62 especies de mariposas diurnas (Rhopalocera) clasificadas en 5 familias, 16 subfamilias y 49 géneros a partir de la colecta pasiva de 563 individuos con abundancia de las familias Nymphalide, Pierudae, Hesperiidae y Lycaenidae y finalmente Riodinidae (ver **Figura 6**) Por su parte, especies con más abundancia fueron *Oressinoma typhla* (n=76), *Actinote radiata* (n=55), *Euptychoides laccine* (n=40), *Actinote stratonice* (n=35) y *Graphita griphe* (n=35).

Las estaciones que presentaron un mayor índice de diversidad corresponden a E1, E4 y E11 con un $H > 3$, sin embargo, estaciones E11, E2, E10, E5 presentan una diversidad menor con un $H' < 3$ y la E3 con un $H < 2$ por lo que se considera la estación que presenta menor diversidad, lo que corresponde a los valores obtenidos mediante el índice de Simpson con valores que tienden a cero en cuanto a dominancia. Adicional a esto se realiza un Bootstrap de 0.95% a los resultados lo que relejo que en las zonas con una diversidad superior a un $H > 2$ se obtuvo la diversidad máxima esperada. En cuanto a similitud de las zonas se compararon aquellas que presentaban mayor diversidad, por otro lado, se comparó una con alta diversidad y otra con baja. De esta forma se encuentra que E1 Y E4 cuenta con un $I_s = 37.931$ y $I_j = 15,942$; E1 y E3 presentan un $I_s = 26.3\%$ y $I_j = 11.6\%$, evidenciando una baja similitud entre las estaciones de muestreo.

Figura 6. Porcentaje de representatividad de familias de Rhopalocera registradas en PNRSM

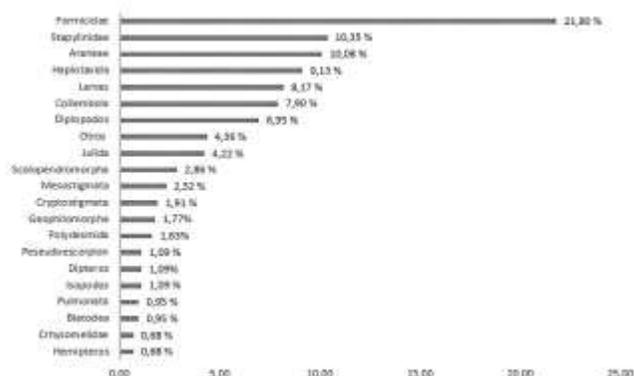


Fuente: Elaboración propia (2021).

Edafofauna

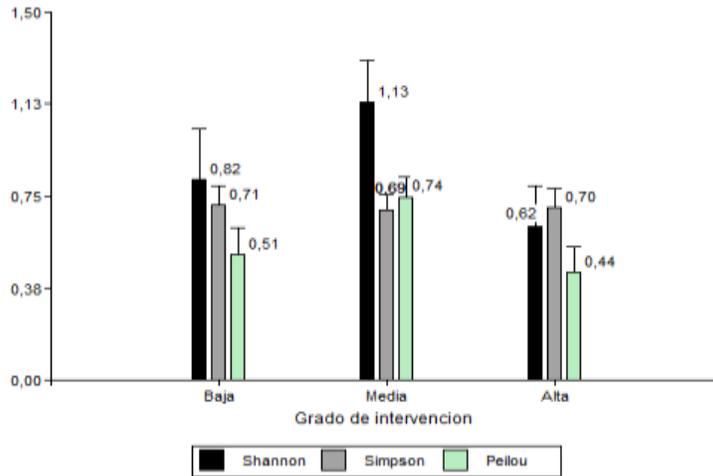
A partir de los muestreos se obtuvo un total de 11.744 individuos/ m² siendo el grupo artrópoda el más representativo con un 60.25% entre los cuales se encontraron individuos de formicidae, staphylinidae, araneae, haplotaxida y larvas (ver figura 7). Posterior a la identificación mediante el índice de Peilou se evidencia que la estación con IM registra un 0.74 y en IA un 0.44 debido a que tienen una cantidad de taxones similares, presentando algunos grupos dominancia sobre otros, esto lo refleja Simpson mostrando que el comportamiento de los tres grados de intervención estudiados es similar, lo que podría deberse a la dominancia de familias como formicidae, staphylinidae, orden aplotaxida y araneae (ver figura 8). Por otro lado, la diversidad encontrada en los tres grados de intervención según Shannon es baja, con la mayor diversidad en E5 (IM) y la menor E1 (IB). Finalmente, la abundancia de individuos por m² presenta una diferencia significativa con un (p>0,05) en el grado de intervención alta en una profundidad de 0-10 cm con la media promedio más alto, y por otro lado la media más baja (p>0,05) se presentó en el estrato H1, con un comportamiento similar en los estratos más profundos (10-20 y 20-30) y las medias más altas en estratos superficiales (H0, H1, 0-10cm) en los tres grados de intervención.

Figura 7. Abundancia total de individuos/m2 expresada en % de la edafofauna presente en tres diferentes grados de intervención de bosques de roble blanco (*Quercus humboldtii*)



Fuente: Elaboración propia (2021).

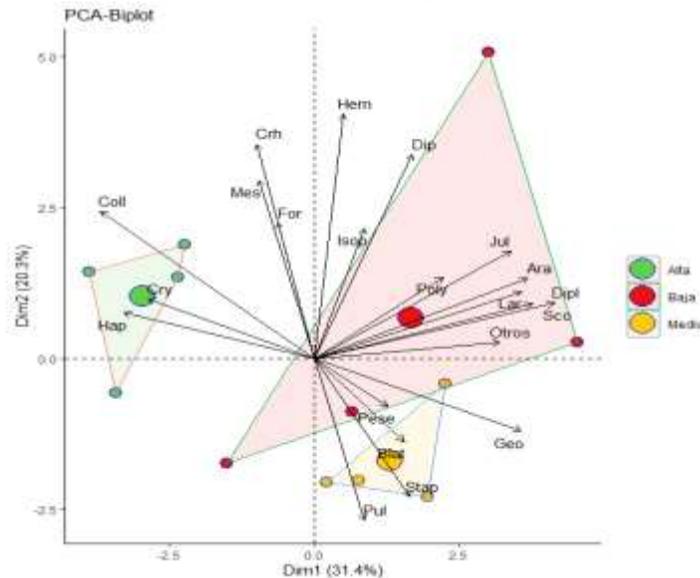
Figura 8. Índices de dominancia, equidad y diversidad en tres distintos grados de intervención



Fuente: Elaboración propia (2021).

En cuanto al análisis de componentes principales (ver figura 9) explica el comportamiento del 51.7% de los datos observando el agrupamiento de familias y ordenes como araneae, scolopendromorpha, polydesmida, diplopodos y larvas en mayor medida en IB (E9) en comparación a IM (E5) y IA (E1). Particularmente el grupo de las escalopendras y araneae (depredadores) se agrupan en el grado de intervención baja en el cual se encuentra un agrupamiento de larvas y otros artrópodos, esto debido a que son sus presas. Además, se evidencia una relación entre los grupos de díptera, polydesmida y julida.

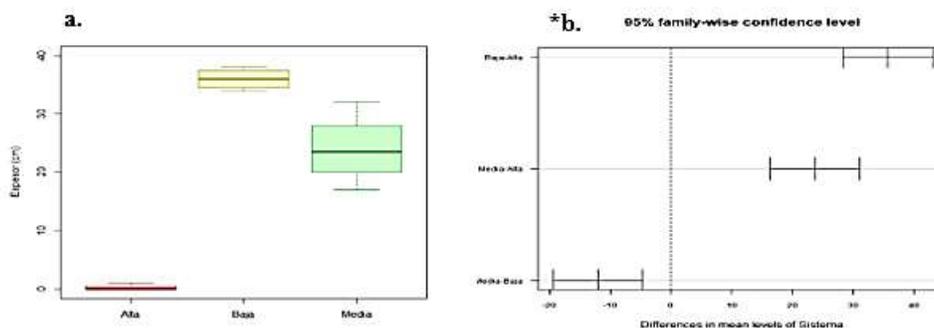
Figura 9. Biplot, Proyección de los datos biológicos de edafofauna en dos dimensiones



Fuente: Elaboración propia (2021).

Por otro lado, el espesor de la capa de mantillo se encontró que los intervalos de confianza no incluyen el cero en ninguna de las estaciones (**ver figura 10b**), lo que evidencia una diferencia significativa entre los mismos, presentando el mayor espesor en IB (36 cm), seguido de IM (24 cm) e IA (0.25) (**ver figura 10a**).

Figura 10. Espesor del mantillo de bosque presente en los tres grados de intervención evaluados
Nota: *Si un intervalo no contiene cero las medias son significativamente distintas



Fuente: Elaboración propia (2021).

Finalmente, el reporte de Agrosavia indica que Ib e IM presentan la acidez muy alta con 3,98 y 3,85 notándose una clara diferencia con IA. La acidez intercambiable (Al+H) donde las concentraciones por cmol(+)/Kg es de 11,9 para la intervención baja con una disminución considerable en la intervención Alta (0,73 cmol(+)/Kg) donde los contenidos de MO y CO son más bajos (**ver Tabla 5**).

Tabla 5. Características químicas de los tres grados de intervención evaluados.

Grado de intervención		Baja	Media	Alta
Variable	Unidad	Valor	Valor	Valor
Ph	Unidades de pH	3,98	3,85	5,05
Materia Orgánica (MO)	g/100g	18,0	10,48	4,50
Carbono Orgánico (CO)	g/100g	10,44	6,08	2,61
Fosforo (P) Disponible	mg/g	<3,87	3,90	<3,87
Azufre (S) disponible	mg/g	12,44	12,49	10,12
Capacidad de intercambio Catiónico (CICE)	cmol(+)/Kg	12,89	8,78	7,72
Boro (B) disponible	mg/g	0,35	0,19	0,15
Acidez (Al+H)	cmol(+)/Kg	11,90	7,51	0,73
Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+)/Kg	9,78	6,28	0,43
Calcio (Ca) Disponible	cmol(+)/Kg	<1,12	<1,12	4,81
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/Kg	0,30	0,44	1,86
Potasio (K) Disponible	cmol(+)/Kg	0,14	0,14	0,24
Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/Kg	<0,14	<0,44	<0,14
Hierro (He) Olsen disponible	mg/g	1065,82	1407,88	331,45
Cobre (Cu) Olsen disponible	mg/g	<1,00	<1,00	1,38
Manganeso (Mn) Olsen disponible	mg/g	2,60	29,57	27,95
Zinc (Zn) Olsen disponible	mg/g	<1,00	1,52	2,70

Fuente: Reporte de resultados de laboratorio de química analítica de Agrosavia (2020).

Elaboración material educativo

A partir de los resultados se construyen diferentes materiales todos estos pensados de una forma integral que permita la complementariedad entre los mismos. De esta manera en primer lugar se construye la guía “Oporapa Biodiversa” la cual cuenta con el registro fotográfico de los diferentes grupos taxonómicos encontrados en campo e información pertinente que permite el reconocimiento de los mismos. Esta herramienta pretende dar a conocer la diversidad de especies que se encuentran en el ecosistema de roble que faciliten otras actividades propuestas por los demás materiales producidos a partir de este trabajo.

En segundo lugar, se genera una unidad didáctica que comprende los diferentes servicios ecosistémicos que provee el bosque de roble, visto desde los grupos taxonómicos trabajados, aves, mariposas, plantas y edafofauna, con la necesidad de evidenciar la importancia de la biodiversidad en los ecosistemas para el desarrollo de actividades humanas y la existencia del mismo y así promover un enfoque ecocientífico que fomente la conservación del bosque y el estudio del mismo.

Finalmente se construye un sendero interpretativo, el cual cuenta con un circuito en el PNRSM en o cerca de las estaciones de muestreo trabajadas. En este se abordan temáticas que abarcan características generales de los diferentes grupos, así como las técnicas de muestreo de estos, tomando las bases metodológicas de autores como Villareal *et al.* (2004), Gonzales (2011), Andrade-c *et al* (2013), Gentry, A (1992) y Sandoval (2015). Además, se proponen actividades recreativas cooperativas y de reconocimiento del ecosistema.

Discusión

El estudio permitió la actualización de ocurrencias de especies, familias y órdenes en el PNRSM, puesto que no se encontró ningún listado de edafofauna o mariposas reportadas para la zona y así mismo de las 56 especies de aves amenazadas registradas por la CAM (2018) se identifican 19 diferentes, dos en categoría VU, una en NT y 16 en el apéndice II; en cuanto a las 26 especies endémicas se registran 9 con algún grado de endemismo. En cuanto a las plantas los resultados obtenidos concuerdan con lo obtenido por la CAM (2018) los cuales mencionan que las familias más abundantes corresponden a Melastomatácea con 47 especies, seguido de Laurácea con 43 y Orchidaceae con 39 especies.

A partir de la elaboración de los listados, se evidencia la existencia de una intervención directa en los procesos ecológicos. Se registra en la mayoría de las estaciones de muestreo organismos como *A. stranotice*, especie generalista que tiene la capacidad de colonizar diferentes hábitats (Campos-Salazar *et al.*, 2011) y de no necesitar estados de conservación específicos del mismo (Palacios-Mayoral *et al.*, 2018) o por otra parte, especies como *L. lacrymiger* y *P. cyanoleuca*, no requieren de un tipo de bosque o plantas arbóreas (Stiles y Bohórquez, 2000) además de la familia formicidae, particular de los paisajes cafeteros (Machado *et al.*, 2021). No obstante, existen áreas como E9 y E10 que aún conservan características de bosque poco intervenido, al poseer suelos ácidos propios de los ecosistemas de roble, debido a una mayor cantidad de materia orgánica acumulada y a su vez zonas que cuentan con el mayor espesor de mantillo, debido a la eficiencia en la mineralización (Lavelle *et al.*, 1993). Sumado a esto, se registran especies como *P. hypaesia*, *G. andromica*, *G. ochretis*, *H. leucophrys* y *B. tristriatus*, consideradas exclusivas del interior del bosque. (García-Pérez *et al.*, 2007; Orozco *et al.*, 2009; Stiles y Bohórquez, 2000).

Finalmente, se evidencia el agrupamiento de depredadores como escolopendras y *araneae* con sus presas lo que refleja un equilibrio ecológico como lo afirma (Marc *et al.*, 1999; Pearce y

Venier, 2006). De esta manera, es imprescindible seguir revisando el estado de estos bosques que constituyen una importante fuente de germoplasma en la zona (Malagón, 2019).

En la identificación de los servicios ecosistémicos que suministran los bosques de roble del parque, se encuentra la presencia de *Quercus humboldtii*, además de la abundancia de Melastomataceas, Rubeaceas, Lauráceas, Solanáceas, Poaceae, Arecaceae, contribuyen en los servicios de aprovisionamiento al ser fuente de alimento de las familias Nymphalidae y Thraupidae (García-Robledo et al., 2002; Medina et al., 2010; CAM, 2018) siendo las más diversas y abundantes en el muestreo con un 69,8% y 20,9%. Así mismo, se identificaron especies como *Clusia aff schomburgkiana*, *Hieronyma huilensis*, *Hedyosmum racemosum*, *Pseudolmedia laevis* y *Virola macrocarpa*, las cuales poseen características medicinales (Malagón, D. 2019).

Por otro lado, existen varias quebradas que suministran un total de 19 acueductos rurales y urbanos según la CAM (2018). Sin embargo, a partir de esta caracterización se evidencia que el uso de leña y combustible, está afectando las partes del relicto de bosque que se encuentran en estado de sucesión del PNRSM además de las dinámicas ecológicas que se dan en el mismo, a pesar de la veda del roble según Resolución No 316 de 1974 y Resolución 1408 de 1975.

En cuanto los servicios de regulación, se considera que algunas especies registradas pueden estar contribuyendo en el control de plagas de agroecosistemas como los cultivos de café con sombra o zonas de bosque cercanas, como menciona Escobar- Ramírez, E., et al (2019) las aves insectívoras (las cuales representaron un 37,93%) disminuyen con éxito la pérdida en el rendimiento de los cultivos de café por infestación de la broca (*Hypotenemus hampei*). Especies comunes como *Tiaris olivaceus* y *Myioborus miniatus* (Karp, D., et al 2014) son habituales consumidores de la broca y se evidenció una abundancia significativa de estas en E1, además según Karp, D., et al 2014 “un aumento en la uniformidad de la distribución de la abundancia de insectívoros puede aumentar la depredación de *H. hampei* en consecuencia de la competencia entre las especies” (p. 283), por lo que se puede deducir el beneficio del consumo de organismos plaga como *H. hampei* ya que un 50% de las aves registradas en el mismo consumen insectos.

En contraste, se registró la presencia de *Mechanitis menapis*, especie considerada plaga de los cultivos agrícolas, sin embargo, existen varios estudios como el de Santacruz, et al., (2019) que muestran la diversidad de consumidores de esta mariposa destacando a organismos de tipo parasitoide de las familias Ichneumonidae, Scelionidae, Braconidae, Eulophidae (Hymenoptera) y Tachinidae, Sarcophagidae, Muscidae (Diptera), así mismo, organismos depredadores como algunas especies de pentatomidae (Hemíptera), Mantodea y Araneae, por lo que es posible emplear alternativas al uso de agroquímicos en cultivos que tienen un efecto negativo en la biodiversidad.

Por lo que refiere a la polinización, Tobar-L, et al (2001), ha demostrado la importancia de *Heliconius clysonymus* y *Heliconius cydno*, las cuales tienen la capacidad de transportar una alta cantidad de granos de polen por individuo (en promedio 372,3 gramos/individuo y 173,5 gramos/individuo respectivamente) principalmente de las familias Cucurbitaceae, Rubiaceae, Verbenaceae, Boraginaceae, Solanaceae y diversas Asteraceae, familias abundantes en los bordes de bosque, senderos y áreas en transición. Esto demuestra que el Género *Heliconius*, presenta amplio espectro de comunidad florística de la cual puede aprovechar como recurso alimenticio primario y las repetidas visitas a las flores de las que se alimenta favoreciendo así, el proceso de polinización. De manera similar, especies como *Anartia jatrophae* (Nymphalidae) y *Anteos clorinde* (Pieridae), presentan hábitos alimenticios preferiblemente nectarívoros, junto a los miembros de las familias Lycaenidae, Riodinidae y Hesperidae (Martínez-Noble, et al, 2015), razón por la cual sus representantes se encuentren inmersas en procesos de polinización. En cuanto a los colibríes se ha identificado que *Lesbia nuna* es un activo consumidor de *Clusia multiflora*,

clasificándose como una de las diez especies más importantes en las cargas de polen (Gutiérrez, 2005), que ejerce un importante papel en la reproducción y el flujo genético del bosque.

En relación con el almacenamiento de carbono se evidencia según Aguilar et al., (2012) y Díaz et al., (2020) se encuentra positivamente relacionado con las condiciones climáticas, el aumento de mantillo y la edad de los bosques, lo que indica que los suelos con una menor intervención están siendo más eficientes en la fijación de CO₂, en comparación al grado de intervención alta, donde el espesor del mantillo es casi inexistente y el contenido de MO (g/100g) CO₂ (g/100g) de la zona evaluada son los más bajos. Factores que podrían incidir negativamente en la conservación del suelo al retirar la cobertura vegetal, exponiéndolo a la precipitación aumentando así la escorrentía superficial y la erosión de los mismos (Guo et al., 2019; Guerra et al., 2020). Así mismo, afectan la diversidad de invertebrados que habitan en la materia orgánica disminuyendo su actividad como el ciclaje de nutrientes y de igual modo la prestación de los servicios ecosistémicos, ya que la abundancia y diversidad de este grupo se presentó en los estratos más inferiores lo que representa según (Filser et al., 2016) que su actividad está relacionada con la presencia de MO y que su hábitat es sumamente frágil a cambios (Lavelle et al., 2014).

A su vez la edafofauna que es considerada como indicadora de los servicios ecosistémicos ofrecidos por el suelo (Lavelle et al., 2021; Velasquez y Lavelle, 2019) presentó una mayor asociación en el ACP al grado de intervención baja, posiblemente debido a condiciones más propicias para albergar una mayor cantidad y diversidad de invertebrados en comparación con los otros grados de intervención, donde se presenta una menor relación de organismos.

Finalmente, este estudio permitió promover el acercamiento de la comunidad aledaña y estudiantil a la biodiversidad local mediante el ecoturismo y el aprendizaje en educación ecocientífica, a través de la creación de diferentes materiales educativos: sendero interpretativo, la guía “Oporapa Biodiversa y la Educación Ecocientífica”, una unidad didáctica desde los servicios ecosistémicos que ofrece el robledal y finalmente un libro de informes de muestreo. De esta manera, se trabajaron actividades desde el aviturismo considerado como la modalidad de ecoturismo con mayor crecimiento global (Cartay, R. 2020) y que podría generar fondos para financiar áreas protegidas e invitar a la comunidad a valorar la importancia de los ecosistemas (Gómez- Cardona, C., *et al.* 2019), sin embargo, se considera que los demás grupos estudiados (plantas, mariposas y edafofauna) también representan una oportunidad para fomentar aprendizaje y conservación de los ecosistemas. Cartay, R (2020) menciona que las mariposas, colibríes y orquídeas debido a “la abundancia, atributos estéticos y la importancia que tienen como bioindicadores (...) son grupos que pueden propiciar la creación de empleos y actividades turísticas que beneficien a las comunidades locales” (p. 47).

Conclusiones

La investigación genera un listado que comprende 116 especies de aves, 62 mariposas, 33 plantas, 24 familias y 11 órdenes de edafofauna en el PNRSM. Se resalta la alta representatividad de especies que habitan en zonas intervenidas, evidenciando que las dinámicas ecológicas de los bosques andinos son cada vez más afectadas por la intervención antropogénica, no obstante, aún existen zonas que albergan especies endémicas, migratorias y en estado de vulnerabilidad, por lo que proponer nuevas estrategias como la educación ecocientífica puede ser una oportunidad en pro de la conservación de estos ecosistemas y sus servicios ecosistémicos. Para esto se requiere seguir investigando cómo se puede mantener la diversidad biológica dentro de los paisajes rurales o agrícolas como afirma Harvey, C y Saenz, J (2007) y promoviendo además la plantación de

especies nativas adyacentes a los cultivos, ya que estos pueden generar un incremento en la diversidad de aves (Díaz-Klosh, N et al. 2016).

Igualmente se registra la presencia de 13 especies y 11 subespecies endémicas, considerando así que se obtiene un 15,6% del registro actual de aves endémicas reportadas en los listados o por otro lado si se tienen en cuenta las subespecies se obtiene un 27,7% del total según los reportes de la Asociación Colombiana de Ornitología (2020), validando así la atención a promover procesos de conservación en los ecosistemas de robledales.

Se identifica que las plantas que presentan la mayor asociación con *Quercus humboldtii* son las epífitas puesto que cuenta con una similitud del 100%, siendo las familias más representativas: Orquideaceae, Bromeliaceae, Aracaceae, Fagaceae, Lamiaceae, Meslatomataceae y Lauraceae. Por otro lado, las familias más significativas encontradas en este estudio, concuerdan con las halladas en la propuesta de la CAM (2018), Aaracaceae, Bromeliaceae, Clusiaceae, Ericaceae, Lauraceae, Meslastomataceae, Orchidaceae, Rubiales, de igual manera esta información refuerza lo hallado en el 2018, y que para el año 2020, estas familias se mantienen dominantes en el bosque de roble.

Así mismo, se registra un DAP mayor a 40 cm en las zonas menos intervenidas, lo que significa que estos robledales podrían tener una edad de más de 50 años, siendo de suma importancia por su aporte en la captura de carbono, además de ser fuente de abastecimiento de la fauna asociada. Los bosques de robledal estudiados proveen de diferentes servicios ecosistémicos en los que se resaltan las materias primas, alimentos, agua dulce, control biológico, polinización, captura de carbono, ciclaje de nutrientes y servicios culturales. No obstante, es necesario recalcar que estos pueden verse afectados por la fragmentación y diferentes intervenciones humanas donde las prácticas de la comunidad deben orientarse en pro de la conservación de estos bosques.

La especie *M. menapis* presenta una gran variedad de plantas hospederas de la familia Solanaceae, como *Solanum acerifolium*, *Solanum atropurpureum*, *Solanum rudepannum* (Muriel, et al, 2011), así mismo, especies de interés comercial presentes en la región como, el lulo (*Solanum quitoense*) y el tomate de árbol (*Solanum betaceum*) (Santacruz, et al, 2019), se hace necesario realizar estudios que permitan seguir contribuyendo a la comprensión de sus controladores biológicos y su relación con la cobertura vegetal circundante a los diferentes cultivos presentes en el área de influencia del PNRSM. De igual forma, es posible implementar estrategias en donde se haga uso de dichos controladores con el fin de reducir el uso de plaguicidas en cultivos de la región.

Este estudio encuentra que los robledales con una presión antrópica menor presentan, una mayor acumulación de mantillo de bosque (material vegetal en descomposición), relacionados con un mayor contenido de MO (g/100g) y CO (g/100g) y una mayor relación con los invertebrados edáficos, que posiblemente se encuentran ofreciendo eficientemente servicios ecosistémicos como fijación de CO₂, ciclaje de nutrientes y prevenir la erosión de los suelos. En contrapartida las zonas con mayor presión antrópica, presentó el menor espesor en mantillo lo que indica la susceptibilidad a sufrir las inclemencias de las condiciones climáticas lo que provoca pérdida de suelo y diversidad de invertebrados edáficos (Lavelle et al.,2021; Velásquez & Lavelle, 2019).

De manera similar el estudio supone un inicio de la ampliación de órdenes y familias que se encuentran interactuando en los suelos de robledal, y a su vez, en la comprensión de la función de los invertebrados edáficos en los bosques de roble, como una estrategia de conservación y metodología a bajo costo para llevar a cabo con los actores directamente involucrados de la zona.

Se considera pertinente la creación de materiales educativos como un medio entre el objeto de estudio, en este caso la biodiversidad y el sujeto. Estos deben estar acordes a las formas de acceso que tenga la comunidad, puesto que en las zonas rurales aún existen deficiencias en cuanto

a la disponibilidad de las TICS, por esto, es necesario recurrir a materiales que puedan ser divulgados fácilmente y no se impongan barreras en el camino del aprendizaje.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, H., Ortiz, E., Vélchez-Alvarado, B., & Chazdon, R. (2012). Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9, 22. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v9i22.360>
- Aguirre, Z. (2013). Guía de métodos para medir la biodiversidad. Loja- Ecuador.
- Aldana, C. A. P., Gómez, M. C. D., & Hurtado, F. H. M. (2011). Regeneración Natural del Roble Negro (*Colombobalanus excelsa*, Fagaceae) en Dos Poblaciones de la Cordillera Oriental de los Andes, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 64(2), 6175-6189.
- Anderson, J., & Ingram, J. (1994). Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. *Soil Science*, 157, 265. <https://doi.org/10.2307/2261129>
- Arias, H. A. (1991). La descomposición de la materia orgánica y su relación con algunos factores climáticos y microclimáticos. *Agronomía Colombiana*, 8(2), 384-388.
- Asociación Colombiana de Ornitología (2020). *Lista de referencia de especies de aves de Colombia- 2020. v2. Asociación Colombia de Ornitología*. Dataset/Checklist. <http://doi.org/15472/qhsz0p>
- Avella, A., y Rangel, O. (2017).: *Los Robledales*. Diversidad y Conservación. En Moreno, L. A., Andrade, G. I., y Ruiz-Contreras, L. F. (Eds.). 2016. *Biodiversidad 2016. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia.
- Avella M., A., Torres, S., Cardenas, L., & Royo, A. (2016). *Restoration of Oak Forests (Quercus humboldtii) in the Colombian Andes: A Case Study of Landscape-Scale Ecological Restoration Initiatives in the Guacha River Watershed* (pp. 429-444).
- Ayerbe Quiñones, F. (2019). *Birds of Colombia*: Wildlife Conservation Society
- Campos-Salazar, L., Gómez, J., Andrade-C, G. (2011). Mariposas (Lepidoptera: Hesperioidea - Papilionoidea) de las áreas circundantes a las ciénagas del departamento de Córdoba, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.: Volumen XXXV, Número 134-marzo de 2011*.
- Cartay, R. (2020). Ecoturismo en el paraíso terrenal: Orquídeas, *Mariposas y Colibríes en la megabiodiversidad suramericana*. *Turismo y Sociedad*, XXVII, p 43-56. [doi: https://doi.org/10.18601/01207555.n27.02](https://doi.org/10.18601/01207555.n27.02)
- Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (2021). *Checklist of Cites Species*. <https://checklist.cites.org/#/en>
- Corporación autónoma del alto Magdalena (2018). *Consortios naturales regionales. Homologación y/o Recategorización del Parque Natural Regional Serranía de Minas*.
- Colwell, R.K. (2019). EstimateS: Statical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9.1. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>.
- Díaz, J. S. G., Delgado, N. O., Gamboa, A. B., Bunning, S., Guevara, M., Medina, E., Olivera, C., Olmedo, G., Rodríguez, L. M., Sevilla, V., & Vargas, R. (2020). Estimación del carbono orgánico en los suelos de ecosistema de páramo en Colombia. *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 29(1), 12.

- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., y Robledo, C.W. (2018). InfoStat. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de <https://www.infostat.com.ar/>
- Echeverri, M. W. (2006). Insectos de Colombia. Universidad de Antioquia
- Escobar-Ramírez, S, Grass, I, Armbrecht, I y Tsharntke, T. (2019). Biological control of the coffee berry: Main natural enemies, control success and landscape influence. *Biological control* 136 (2019) <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.05.011>
- Ferrero, Brián G. (2014). *Conservación y comunidades: Una introducción*. Avá. Revista de antropología, (24), 11-33. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169039924001>
- Filser, J., Faber, J. H., Tiunov, A., Brussaard, L., Frouz, J., Deyn, G. B., Uvarov, A., Berg, M., Lavelle, P., Loreau, M., Wall, D., Querner, P., Eijsackers, H., & Jiménez, J. (2016). Soil fauna: Key to new carbon models. *SOIL*, 2, 565-582. <https://doi.org/10.5194/soil-2-565-2016>
- Gallo-Cajicao (2005). En: Renjifo, L. M., Gomez, M. F., Velasquez-Tibata, J., Amaya-Villarreal, A. M., Kattan, G. H., Amaya-Espinel, J. D., y Burbano-Giron, J., 2014. *Libro rojo de aves de Colombia*, Volumen I: bosques húmedos de los Andes y la costa Pacífica. Editorial Pontificia Universidad Javeriana e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia.
- García-Perez, J., Ospina-López, L., Villa-Navarro y Reinoso-Flórez, G. (2007). Diversidad y distribución de mariposas Satyrinae (Lepidoptera: Nymphalidae) en la cuenca del río Coello, Colombia. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 55 (2): 645-653, June 2007.
- García-Robledo, C.; Constantino, M.; Heredia, M.; Kattan, G. (2002). Guía de Campo: Mariposas Comunes de la Cordillera Central.
- Gaviria, J. (1998). Manejo del bosque secundario húmedo tropical. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín* 51(1):159-166.
- Gentry, A. H. 1982. *Patterns of Neotropical plant diversity*. *Evolutionary Biology* 15: 1-84.
- Gómez- Cardona, C., Contreras, A., Guillen-Oñate, K., Maldonado, C. y Bolaños, J. (2019). Potencial aviturístico en el Parque Natural Boca de Guacamaya, Colombia: Una perspectiva desde los servicios ecosistémicos. *Hornero*, 34 (1)
- Gonzales, F. (2011). Métodos para contar aves terrestres. En: Gallina, S., y López, C. (2011) Manual de técnicas para el estudio de la Fauna. Volumen I. *Universidad Autónoma de Quetaro- Instituto de Ecología*, A. C. Quetaro, México. 377 p.
- Guerra, C., Rosa, I., Valentini, E., Wolf, F., Filipponi, F., Karger, D. N., Nguyen Xuan, A., Mathieu, J., Lavelle, P., & Eisenhauer, N. (2020). Global vulnerability of soil ecosystems to erosion. *Landscape Ecology*, 35. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-00984-z>
- Gutierrez, A. (2005). Ecología de la interacción entre colibríes (Aves: Trochilidae) y plantas que polinizan en el bosque altoandino de Torca. Universidad Nacional de Colombia.
- Guo, Y., Zhang, Y., Zhang, T., Wang, K., Ding, J., & Gao, H. (2019). *Surface Runoff* (pp. 241-306). https://doi.org/10.1007/978-3-662-48297-1_8
- Hammer, O. (2020). Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Versión 4.03 URL < <https://past.en.lo4d.com/windows> >
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2021). *Biomodelos*. <http://biomodelos.humboldt.org.co/es>
- Karp, D., Judson, S., Dail, G., Hadly, E. (2014). Molecular diagnosis of bird-mediated pest consumption in tropical farmland. *SpringerPlus*, 3(630) doi: 10.1186/2193-1801-3-630

- Lavelle, Patrick, Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., & Spain, A. (1993). A Hierarchical Model for Decomposition in Terrestrial Ecosystems: Application to Soils of the Humid Tropics. *Biotropica*, 25, 130. <https://doi.org/10.2307/2389178>
- Lavelle, P., Rodríguez, N., Arguello, O., Bernal, J., Botero, C., Chaparro, P., Gómez, Y., Gutiérrez, A., Hurtado, M. del P., Loaiza, S., Pullido, S. X., Rodríguez, E., Sanabria, C., Velásquez, E., & Fonte, S. J. (2014). Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 185, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.020>
- Lavelle, P., Rousseau, L., Sanabria, C., Vasquez, J., & Duran-Bautista, E. (2021). *Soil Macroinvertebrate Communities as Indicators of Ecosystem Services in American Tropical Environments*.
- Laverde-R., O., Stiles, F.G y Múnera-R. C. (2005). *Nuevos registros e inventario de la avifauna de la Serranía de las Quinchas, un área importante para la conservación de las aves (AICA) en Colombia*. *Caldasia* 27:247-265.
- Machado-Cuellar, L., Rodríguez Suárez, L., Murcia Torrejano, V., Orduz, S., Ordoñez Espinosa, C., & Suárez Salazar, J. (2021). Macrofauna del suelo y condiciones edafoclimáticas en un gradiente altitudinal de zonas cafeteras, Huila, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 66, 102-112. <https://doi.org/10.15517/RBT.V69I1.42955>
- Mahecha, G. (2002). *Fundamentos y metodología para la identificación de plantas*. Ed. Proyecto bio-pacífico. Bogotá.D.C
- Malagón, D. (2019). Tipos funcionales de plantas en un bosque subandino en el municipio de Suaita (Santander, Colombia) y sus implicaciones en la provisión de servicios ecosistémicos. Facultad de Ciencias, Área curricular de Biología. Universidad Nacional Bogotá Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/75748/1032360341.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marc, P., Canard, A., & Ysnel, F. (1999). Spiders (Araneae) useful for pest limitation and bioindication. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1-3), 229-273. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00038-9)
- Medina, R; Reina, M; Herrera, E; Ávila, F; Chaparro, O; Cortés, R. (2010). Catálogo preliminar de la flora vascular de los bosques subandinos de la Cuchilla El Fara (Santander–Colombia). *Revista Colombia Forestal*, Vol. 13(1): 55-85
- Nieto, V. M., & Rodríguez, J. (2010). *Quercus humboldtii* Bonpl. En *Manual de Semillas de Árboles Tropicales* (Vozzo J. A., p. 887).
- Orozco, S., Murriel, S., Palacio, J. (2009). Diversidad de Lepidópteros Diurnos en un área de Bosque seco Tropical del Occidente Antioqueño. *Actual Biol* 31 (90): 31-41, 2009.
- Orozco, C. G., & Palacio, J. (2011). Predicción de la distribución climática del roble colombiano *Quercus humboldtii* Bonpl. (Fagaceae). *Revista Novedades Colombianas*, 11(1), Article 1. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/novedades/article/view/1173>
- Palacios-Mayoral, V., Palacios-Moquera, L., Jimenez-Ortega, A. (2018). Diversidad de Mariposas Diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea) asociadas con tres hábitats en el corregimiento de Pacurita, Municipio de Quibdó, Chocó, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 42(164):237-245, julio-septiembre de 2018.
- Pearce, J. L., & Venier, L. A. (2006). The use of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneae) as bioindicators of sustainable forest management: A review. *Ecological Indicators*, 6(4), 780-793. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.03.005>

- Pérez-García, O.; Tamara, B.; Tobar-L, D. (2017). Los agrosistemas cafetaleros modernos y su relación con la conservación de mariposas en paisajes fragmentados. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 66(1): 394-402.
- Rafael, J. A., Melo, G. A. R., Carvalho, C. J. B. D., Casari, S. A., & Constantino, R. (2012). *Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia*. Editorial Holos
- Rasmussen, D. (2010). Spatio-temporal analysis of oak forests (*Quercus humboldtii* Bonpl.) change and its relationship with pottery at Aguabuena (Ráquira–Boyacá). *Colombia Forestal*, 13, 275-298.
- Renjifo, L. M., Gomez, M. F., Velasquez-Tibata, J., Amaya-Villarreal, A. M., Kattan, G. H., Amaya-Espinell, J. D., y Burbano-Giron, J., (2014). *Libro rojo de aves de Colombia*, Volumen I: bosques húmedos de los Andes y la costa Pacífica. Editorial Pontificia Universidad Javeriana e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia.
- RStudio Team (2021). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA. Recuperado de <http://www.rstudio.com/>.
- Sáenz Jiménez (2010). *Aproximación de la fauna asociada a los bosques de roble del corredor Guantiva-La Rusia- Iguaque (Boyacá-Santander, Colombia)*. *Revista Colombiana Forestal* 13(2): 299-334.
- Sandoval, E. (2015). Sistema de gestión de información para el herbario natural de la Universidad Técnica del Norte. Ibarra – Ecuador.
- Santacruz, P. G.; Despland, E., & Giraldo, C. E. (2019). Ciclo de vida y enemigos naturales de *Mechanitis menapis* (Lepidoptera: Ithomiini). *Revista de Biología Tropical*, 67(6), 1488-1504.
- Sauvé, L. (2010). Educación científica y educación ambiental: un cruce fecundo. (En línea) *Revista enseñanza de las ciencias* 28(1), 5- 18. <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/189092>
- Stiles, F.G., Rosselli, L. (1998). *Inventario de las aves de un bosque altoandino: Comparación de dos métodos*. *Caldasia* 20(1): 29-43. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Stiles, G. y Bohórquez, C. (2000). Evaluando el estado de la biodiversidad: El caso de la Serranía de las Quinchas, Boyacá, Colombia. *Caldasia* 22 (1): 61-92, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- Tobar-L, D.; Rangel-CH, O.; y Andrade-C, G. (2001). Las cargas polínicas en las Mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) de la parte alta de la cuenca en el río Roble-Quindío-Colombia. *Caldasia* 23(2): 549-557.
- Vásquez, F.N. (2017). Educación eco-científica en Chile: enseñanza de las ciencias como “espejo y manto” en procesos didácticos de educación ambiental escolar. Universidad autónoma de Madrid.
- Velasquez, E., y Lavelle, P. (2019). Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes. *Acta Oecologica*, 100, 103446. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103446>
- Villarreal, H. M., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., y Umaña, A. M. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Bogotá p. 236.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (2021). *The IUCN Red List Of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/>