



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

**Comunidad de aves y su relación con la vegetación en el gradiente altitudinal del
Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y la Escuela de Posgrado
como requisito para optar al grado de**

MAGISTER SCIENTIAE

en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad

Doris Karina Escalante Urbina

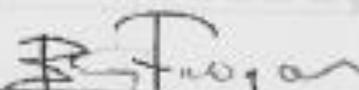
Turrialba, Costa Rica

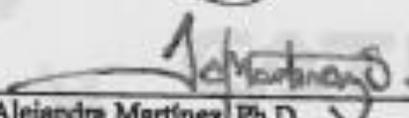
2020

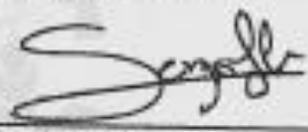
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero de la estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

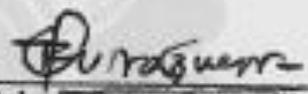
**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN
DE BOSQUES TROPICALES Y BIODIVERSIDAD**

FIRMANTES:


Bryan Finegan, Ph.D.
Codirector de tesis


Alejandra Martínez, Ph.D.
Codirectora de tesis


Sergio Vilchez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero


Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.
Decano, Escuela de Posgrado


Doris Karina Escalante Urbina
Candidata

DEDICATORIA

A mi abuela, mamá Carmen hasta el cielo, por apoyarme siempre y motivarme cada día a continuar.

A mi madre Adelina Escalante, por siempre estar para mí.

A mi esposo Ángel Fuentes, por su apoyo incondicional y motivarme a continuar con mis estudios.

A mi familia CATIE Promoción 2019-2020, especialmente a Rocío Castillo, Lorena Gordillo, Samuel Secaira, Leslie Morrison, Luis Alejandro Acosta, Ezequiel Gonzáles, Antony Mateo, Jean Carlos Polanco, Regina López, Brenda Figuereo y Cristina Moreno.

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores Ph.D. Alejandra Martínez y Bryan Finegan, por orientarme en este trabajo. Gracias por todo su interés, apoyo y enseñanza durante mi formación en CATIE y la orientación en la investigación.

A M.Sc. Sergio Vílchez miembro del comité de tesis, por su apoyo incondicional en el análisis de la información, sus comentarios y sugerencias acertadas en este trabajo.

Al Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), por darme la oportunidad de continuar formándome académicamente durante todo este tiempo.

A la mancomunidad de municipios de Celaque (MAPANCE), por el apoyo logístico; especialmente a Hermes Vega por el acompañamiento en la identificación de las especies vegetales y el monitoreo de aves.

Al equipo de monitoreo de aves de las diferentes giras, especialmente a Edwin Miranda, José Madrid, Fernando Pérez, Keyla Perdomo, Esdras Pinto, Elder Fuentes y Jasson Almendarez.

A Adelina Escalante y Ángel Fuentes, por el apoyo brindado en cada una de las etapas de la investigación.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
LISTA DE CUADROS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS	3
Descripción del área de estudio.....	3
Caracterización de la estructura y composición de la comunidad de aves.....	5
Establecimiento de parcelas de vegetación	7
Análisis de los datos.....	8
RESULTADOS	10
CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE AVES.....	10
CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD VEGETAL	11
DIVERSIDAD DE AVES Y VEGETACIÓN.....	17
RELACIÓN GREMIOS VS VARIABLES DE VEGETACIÓN Y ELEVACIÓN	19
DISCUSIÓN	22
REFERENCIAS	26
ANEXOS	31

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Relación de variables de vegetación y detección sobre la diversidad de aves con modelos N-mixture	17
Cuadro 2. Análisis de correspondencia canónica de las variables de vegetación y elevación con la composición de aves en el Parque Nacional Montaña de Celaque. C1 y C2 corresponden al eje 1 y 2 del análisis de componentes principales realizado con las variables estratos de vegetación (T10-20 T20-30, M_30), porcentaje de epífitas, índices de diversidad (H0, H1, H2), área basal, DAP y especies de sotobosque. EL MDS1 Y MDS2, corresponden a los ejes del análisis NMS (escalamiento multidimensional no métrico), realizados con la composición de la vegetación en los dos transectos evaluados.	17

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geopolítica del Parque Nacional Montaña de Celaque en el Occidente de Honduras. Ubicación general del Parque Nacional Montaña de Celaque en el Occidente de Honduras. A. indica la ubicación general del PNMC con respecto al territorio nacional; B. indica la ubicación del PNMC con respecto a los departamentos y municipios que abarca.	4
Figura 2. Diagrama de distribución de puntos de muestreo y su altitud en msnm en gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque (A). Ampliación de uno de los transectos en el gradiente donde se puede observar mejor la distribución de los puntos de muestreo (B). 6	6
Figura 3. Protocolo de establecimiento puntos de muestreo dentro de las parcelas de vegetación en el gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras.....	8
Figura 4. Distribución de especies de aves según orden en el gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras	10
Figura 5. Familia de vegetación más abundantes en el gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras.....	12
Figura 6. Relación entre el número de especies de sotobosque y la elevación a lo largo del gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras	13
Figura 7. Relación de los índices de diversidad de Hill de la vegetación con la elevación en el gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras. A: riqueza de especies, B: abundancia de especies, C: dominancia de especies.....	14
Figura 8. Análisis NMS (escalamiento multidimensional no métrico) de la vegetación del Parque Nacional Montaña del Celaque. Círculo color negro representan las parcelas del transecto B y los triángulos negros los del transecto A; los asteriscos representan las especies y los códigos las especies con un coeficiente de correlación mayor al 35% y que se asociaron a una elevación específica.	15
Figura 9. Análisis de componentes principales de las variables de vegetación en el Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras. Los círculos representan parcelas de vegetación en el transecto A y los cuadrados las parcelas del transecto B.....	16
Figura 10. Análisis de correspondencia canónica de la composición de aves y variables de vegetación y elevación del gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras. Círculos negros agrupan las especies de aves en tres ensambles. Letras significa el código de las especies de aves en cada ensamble.	19
Figura 11. Ordenación de riqueza de aves de los gremios con influencia de variables de vegetación y elevación el gradiente del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras.	20
Figura 12. Ordenación de la abundancia de aves de los gremios con influencia de variables de vegetación y elevación el gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras.....	21

RESUMEN

El presente estudio analiza la diversidad y composición de la comunidad de aves y su relación con la vegetación a lo largo de un gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque (PNMC). Se utilizó la metodología de puntos de conteo con radio definido, adaptada por la iniciativa PROALAS (Programa de América Latina para las Aves Silvestres), en dos transectos del PNMC (n=54 en total). Dentro de cada punto de muestreo se estableció una parcela circular de 1000 m² donde se recolectó información de la vegetación. Se registró un total de 1148 individuos de aves de un total de 165 especies de aves, que se distribuyeron en 32 familias y 16 órdenes. En la vegetación se registró un total de 2019 individuos, distribuidos en 108 especies y 50 familias. Además, dentro de las parcelas se registraron 220 especies en sotobosque (0-2 m), distribuidas en 85 familias. Los números de Hill (H0, H1 y H2) de la vegetación indican que los bosques de mayor altitud son los más diversos y presentan número similares de especies e individuos en comparación a los bosques ubicados en las partes bajas del gradiente. La composición de la vegetación es diferente en los dos transectos evaluados; además, la composición de los bosques del gradiente alto y medio es diferente al de los bosques de gradiente bajo. Los bosques de altitudes bajas tienen mayor cobertura de vegetación en el estrato 0-2 y mayor número de especies en sotobosque y los bosques a mayor elevación se relacionan con estratos de vegetación (T10-20 T20-30, M-30), porcentaje de epífitas, números de Hill (H0, H1, H2), área basal y DAP. La diversidad de orden H0 y H1 tiene influencia de las variables de detección, temperatura y viento (valores colectados en campo con el uso de anemómetro); sin embargo, la composición de la comunidad de las aves del PNMC es influenciada por variables ambientales correspondientes a la elevación ($p = 0,001$), $elevacion^2$ ($p=0,001$) y variables de la vegetación como CP1 (eje 1 del análisis de componentes principales) ($p = 0,001$) y MDS2 (Eje 2 de NMS) ($p = 0,002$). Finalmente, la riqueza y la abundancia de especies en los gremios de la avifauna están influenciadas por las variables de la vegetación (CP1) y la elevación.

Palabras claves: Comunidad de aves, vegetación, gradiente altitudinal.

Comunidad de aves y su relación con la vegetación en el gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras

Karina Escalante Urbina¹, Bryan Finegan², Sergio Vílchez Mendoza³, Alejandra Martínez-Salinas²

ABSTRACT

This study analyzes the diversity and composition of the bird community and its relationship with the vegetation along the altitudinal gradient in the Montaña de Celaque National Park (PNMC). The methodology of counting points with defined radius, adapted by the PROALAS initiative (Latin American Program for Wild Birds) was used in two transects of the PNMC, a total (n=54), within each sampling point a circular plot of 1000m² was established. A total of 1,148 birds of 165 species of birds were recorded, distributed in 32 families and 16 orders. Within these, nine species of birds were identified that are found in three of the categories of the IUCN Red List, among them *Setophaga chrysoparia* (EN). In addition, a new record was made for the PNMC and for Honduras with the species *Aegolius ridgwayi*. A total of 2019 individuals were recorded in the vegetation, distributed in 108 species and 50 families. In addition, within the plots 220 species were recorded in the understory (0-2m), distributed in 85 families. The Hill numbers, H0 Wealth ($r^2 = 0.2946$ $p = 0.0000511$), H1 Shannon-Wiener Index ($r^2 = 0.3329$ $p = 2.966 \cdot 10^{-6}$) and H2 Simpson Index, ($r^2 = 0.3135$, $p = 2.56 \cdot 10^{-5}$), showed a positive relationship with altitude, indicating that the higher altitude forests are the most diverse and have similar numbers of species and individuals as the forests located in the lower parts of the gradient. The analysis of vegetation composition was done through NMS (Non-Metered Multidimensional Scaling). The MDS1, separated the forests of high and medium altitudes from the forests of low altitude of the gradient, associating species with a correlation coefficient greater than 35% in the different altitudinal floors, with a greater amount in the forests of higher altitude in the gradient. An arrangement of the vegetation variables was carried out through a Principal Component Analysis. It separated the low altitude forests with the variables stratum 0-2 and number of species in the understory, explaining the greater variability of the variables that were associated with the forests of higher elevations (Vegetation strata (T10-20 T20-30, M-30), percentage of epiphytes, Hill numbers (H0, H1, H2), basal area, WTP and understory species). Subsequently, to know the relationship of vegetation and detection variables with bird diversity along the gradient, N-mixture models were built, identifying that for diversity of order H0 and order H1 the variables of detection, temperature and wind (Values collected in the field with the use of anemometer), are those that have a greater influence on the numbers of bird Hill, nevertheless the analysis of canonical correspondence, determined that 56% of the variability of the composition of the community of the birds of the PNMC, is explained by the environmental variables corresponding to the elevation ($p = 0.001$), Elevation^2 ($p = 0.001$), and vegetation variables such as: CP1(Axis 1 of Principal Component Analysis) ($p = 0.001$) and MDS2(Axis 2 of NMS) ($p = 0.002$). Finally, the restricted quadratic ordination (CQO), showed that the greatest influence on the richness of species in the guilds is represented by the CP1 with an ordination coefficient of (0.04) and the elevation (-0.1561) and for the abundance of species in the guilds CP1 (0.15) and (-0.35). Our results confirm the importance of the PNMC in the

conservation of biodiversity in flora and fauna of Honduras. We highlight the need to continue exploring over time the relationships that exist between the bird community and the vegetation along the elevation gradient and the role of this protected area for migratory birds.

Key words: Bird community, vegetation, altitudinal gradient.

INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales albergan un gran número de especies a lo largo de los gradientes de elevación. La gran diversidad de especies presente a lo largo de estos gradientes los convierte en áreas de gran importancia para la conservación de la biodiversidad del planeta (Malhi *et ál.* 2010). Sin embargo, los bosques tropicales de montaña son de los ecosistemas más sensibles y vulnerables a los efectos negativos del cambio climático (Malhi *et ál.* 2010, Freeman *et ál.* 2018). En estos ecosistemas, variables ambientales como la precipitación y la temperatura cambian a distancias relativamente cortas a lo largo de los gradientes altitudinales, influyendo en la distribución temporal y espacial de las especies que habitan estos ecosistemas (Blake y Loiselle 1991, Lieberman *et ál.* 1996, McCain y Grytnes 2010, Malhi *et ál.* 2010).

Los gradientes altitudinales son importantes y útiles en la tarea de identificar las causas de los patrones de la biodiversidad a gran escala, la ecología y, en general, la función de los ecosistemas (McCain y Grytnes 2010, Freeman *et ál.* 2018, Freeman *et ál.* 2019). Además, permiten explorar y comprender las amenazas a la biodiversidad como producto del cambio climático y los procesos de perturbación del hábitat (McCain y Grytnes 2010), principalmente las montañas tropicales que son refugios esenciales para una gran diversidad de especies (Malhi *et ál.* 2010). Las especies que ocupan ecosistemas a mayor altitud son las más vulnerables al cambio climático, mientras que las que ocupan ecosistemas en altitudes bajas pueden verse beneficiadas por aumentos de temperaturas por medio de ampliaciones en sus rangos de distribución (Freeman *et ál.* 2018, CLIMIFORAD 2010).

Existen aportes importantes referentes a investigaciones sobre aves en el gradiente altitudinal. En Centroamérica, por ejemplo, los estudios tratan sobre los cambios en la composición de especies influenciados por la disponibilidad de alimento en el gradiente y movimientos migratorios locales (Loiselle Blake 1991, Loiselle y Blake 2000, Chaves *et al.* 2003, Blake y Loiselle 2015). En Guyana Francesa se identificó como las perturbaciones en el hábitat y estructura de la vegetación causan un cambio en la comunidad de aves en el espacio y tiempo (Thiollay 1992, Thiollay 2002). En Perú, Freeman *et ál.* (2018) estudió los efectos de cambio climático en la biodiversidad de aves y su distribución. Todos estos aportes permiten conocer las causas de los cambios en las poblaciones (McCain 2009).

Evaluar los patrones de cambio en las comunidades animales y vegetales sienta las bases para entender las diversas contribuciones de la naturaleza a las personas. Las especies que habitan los ecosistemas de montaña proveen de múltiples contribuciones o servicios ecosistémicos (Diaz *et ál.* 2018). Estas contribuciones son posibles a través de complejas redes ecológicas, donde diferentes especies (aves y vegetación) interactuando pueden beneficiarse mutuamente (Maglianesi *et ál.* 2015). Por ejemplo, la dispersión de semillas por aves frugívoras como el quetzal (*Pharomachrus mocinno*), particularmente por la ingesta de frutos de árboles de aguacatillos (*Persea* sp.), y otras especies vegetales de la familia lauraceae; donde la disponibilidad de este fruto estimula la migración altitudinal de la especie a tierras bajas (Solórzano y Oyama 2002). La polinización por la familia de aves Trochilidae que contribuye

al mantenimiento de la composición, estructura y la diversidad de los bosques a través de una red ecológica que permite el flujo de genes y que ayuda a entender procesos de especialización y dependencia de una especie específica o generalista cuando la red está constituida por múltiples especies (Maglianesi *et ál.* 2015). Lo anterior permite identificar cambios en la composición y la especialización de las aves a través del gradiente de elevación y genera una alta diversidad beta en paisajes montañosos (McCain y Grytnes 2010). Además, estas interacciones crean bosques más resilientes a los cambios (MEA 2005, IPCC 2014).

Las áreas protegidas juegan un papel crítico en la conservación de la biodiversidad (Loiselle y Blake 1991), ya que constituyen una de las principales estrategias para la conservación de hábitat y especies (Thiollay 2002). Las áreas protegidas permiten la protección y conservación de áreas extensas de bosques y de hábitats heterogéneos, factores que influyen en la diversidad (Anderson *et ál.* 2016); reducen la pérdida de especies (Gómez-Chuquillanqui 2016) y mantienen relaciones estructurales e interacciones funcionales con los demás componentes del ecosistema (Primack *et ál.* 2001). Sin embargo, para asegurar la conservación de tales especies, es necesario conocer su hábitat y la vulnerabilidad a los cambios (Chaves *et ál.* 2003). Los corredores biológicos son una de las principales alternativas para unir los territorios de áreas protegidas, frenar y prevenir la fragmentación de los bosques, además de mantener la conexión de flora y fauna garantizando la movilidad de especies y dispersión genética (Schlönvoigt 2019).

Honduras cuenta con 91 áreas protegidas que cubren el 17% del territorio nacional (Anderson *et ál.* 2016) y representan en su conjunto todos los ecosistemas existentes en el territorio hondureño. El Parque Nacional Montaña de Celaque (PNMC), ubicado en el occidente del país, es considerado una de las áreas protegidas de bosque nuboso de mayor importancia en el país por la presencia del bosque nuboso más extenso en el altiplano del parque (ICF y MAPANCE 2016), formando parte del territorio de la reserva de biosfera y del corredor biológico Cacique Lempira Señor de las Montañas. El PNMC abastece de agua a más de 120 comunidades integradas por más de cien mil personas. El servicio de provisión de agua es una de las contribuciones más tangibles de este ecosistema; su nombre ‘Celaque’ se deriva del vocablo lenca “Celac”, que significa “caja de agua” o “agua helada”. El PNMC brinda seguridad hídrica a las comunidades humanas en la zona de amortiguamiento (ICF y MAPANCE 2016). Esta contribución es aún más relevante por encontrarse ubicado dentro de la zona del corredor seco centroamericano (CSC), la cual sufre de sequías prolongadas o excesos de lluvia, eventos relacionados estrechamente con el fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENOS). Además, el 50% de los habitantes del CSC del territorio hondureño viven en condiciones de pobreza y el 20% en condiciones de extrema pobreza (FAO 2012, FAO 2019).

La existencia de áreas protegidas como el PNMC es fundamental para la conservación de la biodiversidad hondureña. En Honduras se pierden anualmente 23 303,56 ha de bosques al año (ICF 2020). El PNMC, a pesar de estar protegido por ley, presenta una pérdida de 17,1 ha al año causada principalmente por la expansión de la frontera agrícola, particularmente por el aumento de áreas dedicadas al cultivo del café (MAPANCE 2019). La pérdida de bosques por el avance de este cultivo representa una de las principales amenazas a la integridad ecológica

del PNMC (MAPANCE 2019). Por otro lado, el cambio de uso de suelo constituye además el principal impulsor de extinción masiva de aves a nivel mundial (Sekercioglu *et ál.* 2019).

Con la presente investigación se generó la línea base de las características de la comunidad de aves y vegetación a lo largo del gradiente altitudinal del PNMC. Además de dar respuesta a preguntas importantes como ¿Cuál es la relación de la comunidad de aves con la vegetación a lo largo del gradiente altitudinal del PNMC?, ¿Cuál es el cambio de composición y diversidad de aves?, ¿Qué gremios alimenticios son predominantes en la comunidad de aves?, ¿Cuál es el cambio de composición y diversidad de vegetación en el gradiente altitudinal?, ¿Cuáles son las especies vegetales que proporcionan recursos alimenticios a las aves? También este estudio fija un precedente de investigación a largo plazo a través del establecimiento de una red de parcelas permanentes en el gradiente que aportan a investigaciones en la zona y que permiten a futuro responder preguntas puntuales sobre cómo y por qué cambian las poblaciones en el tiempo junto con las características de su entorno (Loiselle y Blake 1991, Ralph *et ál.* 1996, McCain 2009). También registran información sobre el impacto de la variabilidad climática a lo largo de diferentes períodos de medición y posibles efectos del cambio climático sobre la comunidad de aves y vegetación; brindando una oportunidad única para evaluar los cambios en la diversidad de aves y la rotación de la composición de especies entre elevaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio: El estudio se realizó dentro del Parque Nacional Montaña de Celaque (PNMC), el cual se ubica en la región suroccidental de Honduras (14°33'29.36"N, 88°41'36.88"O) y abarca un área correspondiente a 26 631 ha. Además, se ubica en la convergencia limítrofe de los departamentos de Lempira, Copán y Ocotepeque. El PNMC abarca 11 municipios distribuidos en estos tres departamentos. En el de Lempira incluye los municipios: Gracias, San Manuel de Colohete, La Campa, San Marcos Caiquin, San Sebastián, Las Flores y Talgua; en Copán los municipios San Pedro, Corquin y Cucuyagua; finalmente en el departamento de Ocotepeque se incluye el municipio de Belén Gualcho (Fig. 1).



Figura 1. Ubicación geopolítica del Parque Nacional Montaña de Celaque en el Occidente de Honduras. Ubicación general del Parque Nacional Montaña de Celaque en el Occidente de Honduras. A. indica la ubicación general del PNMC con respecto al territorio nacional; B. indica la ubicación del PNMC con respecto a los departamentos y municipios que abarca.

Figure 1. Geopolitical location of the Montaña de Celaque National Park in western Honduras. General location of the Montaña de Celaque National Park in western Honduras. A. indicates the general location of the PNMC with respect to the national territory; B. indicates the location of the PNMC with respect to the departments and municipalities it covers.

El PNMC posee características que propician un escenario idóneo para la investigación ecológica, particularmente la presencia de un gradiente altitudinal amplio que se extiende desde los 1100 hasta los 2849 msnm. (1749 m) ubicado en el Cerro las Minas, el punto más alto de Honduras. Además, está asociado a las vertientes pacífica y atlántica (ICF y MAPANCE 2016).

El PNMC es parte del sistema nacional de áreas protegidas del estado de Honduras. Del total de su área (26 631 ha), 15 877 ha (60%) corresponden a la zona núcleo; las restantes 10 754 ha (40%) corresponden a zonas de amortiguamiento (Flores *et ál.* 2012) (Fig. 1). Se caracteriza por presentar clima lluvioso de altura (ICF y MAPANCE 2016) y con base en la clasificación de los suelos de Honduras de Simmons y Castellanos (FAO 1969), los suelos predominantes son Ojojona y Milile. Los suelos Ojojona se caracterizan por ser poco profundos (20-30 cm), con un pH de 6,3 y textura franco arenosa muy fina, mientras que los suelos Milile se caracterizan por ser profundos y bien drenados, con textura franco limosa y un pH de 6,0, siendo

estos últimos óptimos para la producción agrícola y una de las razones por las que el avance de la frontera agrícola es una de las principales amenazas al PNMC (ICF y MAPANCE 2016; FAO 1969). El PNMC cuenta con seis tipos de ecosistemas: bosque tropical siempre verde aciculifoliado submontano, bosque tropical siempre verde estacional mixto montano inferior, bosque tropical siempre verde estacional mixto montano superior, bosque tropical siempre verde mixto altimontano y sistema agropecuario (Flores *et ál.*, 2012).

En el año 2015 el PNMC fue declarado por la UNESCO como parte de la Reserva del Hombre y Biosfera Cacique Lempira Señor de las Montañas. El PNMC tiene una alta diversidad de flora y fauna, con aproximadamente 1200 especies de plantas, 22 de las cuales son especies endémicas nacionales y de estas, tres son endémicas exclusivas (*Oreopanax lempiranus*, *Miconia celaquensis* y *Rondeletia evansii*); además, seis de las siete especies de pino reportadas para el país. Incluye también 67 especies de mamíferos, de las cuales 18 son mamíferos voladores; 67 especies de anfibios y 45 especies de reptiles. Se reportan 280 especies de aves de las cuales 60 son migratorias; estas pertenecen a 19 órdenes y 41 familias (ICF y MAPANCE 2016), que representan el 36% del total de especies reportadas en todo el territorio nacional (770 especies) (Gallardo 2014).

Caracterización de la estructura y composición de la comunidad de aves. Para obtener las características de la avifauna, se utilizó la metodología de puntos de conteo con radio definido (Ralph *et ál.* 1996); adaptada por la iniciativa PROALAS (Programa de América Latina para las Aves Silvestres) (Ruiz-Gutiérrez *et ál.* 2018). Este es el principal método de muestreo de aves terrestres debido a su eficacia en todo tipo de terreno y hábitat (Ralph *et ál.* 1996).

Los recorridos se establecieron en dos accesos principales al PNMC: el primero por el municipio de Gracias, al cual se denominó Transecto A y el segundo por el municipio de San Manuel Colohete, en la comunidad de Naranjito, el cual se denominó Transecto B (Fig. 2). Ambos municipios pertenecen al departamento de Lempira (Fig. 1). A lo largo del gradiente, específicamente entre los 1100 y los 2849 msnm se establecieron 54 puntos de monitoreo ubicados cada 100 msnm. Adicionalmente, cada 200 msnm se estableció un segundo punto de conteo al lado opuesto del camino de acceso (Fig. 2).

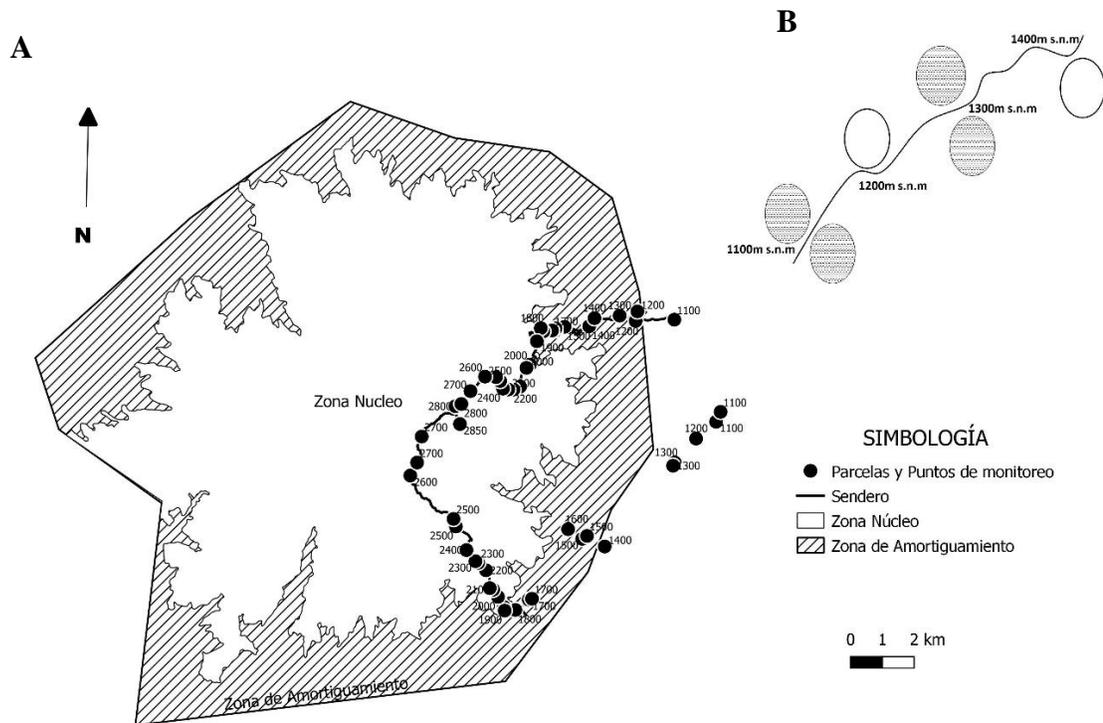


Figura 2. Diagrama de distribución de puntos de muestreo y su altitud en msnm en gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque (A). Ampliación de uno de los transectos en el gradiente donde se puede observar mejor la distribución de los puntos de muestreo (B).

Figure 2. Diagram of distribution of sampling points and their altitude in m.a.s.l.in altitudinal gradient of the Montaña de Celaque National Park (A). Enlargement of one of the transects in the gradient where the distribution of the sampling points can be better observed (B).

Los puntos de observación se establecieron de forma permanente, de manera que pudiesen ser ubicados y revisitados fácilmente y ser puntos de muestreo permanente bajo seguimiento de las autoridades del PNMC. Cada uno de los puntos establecidos fue marcado con pintura, cintas y etiquetas en los árboles georreferenciados con GPS (Ralph *et ál.* 1996; Ruiz-Gutiérrez *et ál.* 2018). Para efectos de esta investigación, cada uno de los puntos correspondientes al Transecto A (n=27) fueron evaluados tres veces y los puntos correspondientes al Transecto B (n=27) fueron evaluados dos veces, debido a las restricciones de acceso a PNMC derivadas de la emergencia sanitaria producto de la COVID19. Todos los puntos fueron evaluados en un lapso de cinco meses entre diciembre 2019 y abril 2020. El período de evaluación coincidió con la época de migración neotropical (eBird 2020).

En cada punto de muestreo se registraron todas las aves observadas y escuchadas dentro y fuera de un radio de 30 m durante un lapso de 15 minutos (Fig. 3). Se tomó nota del comportamiento de los individuos observados (p.ej., alimentándose, perchado, en busca de alimento, cortejo, acarreo de material, etc.) y del estrato en que fueron observados. Con el fin de garantizar la variabilidad con base en el horario de las observaciones, el orden de los

muestreos en cada uno de los sitios fue alternado, de tal forma que un mismo sitio fue muestreado en diferentes horarios. Adicionalmente, para evitar sesgos inherentes al observador, se alternaron los observadores de aves a lo largo del período de muestreo de tal forma que ninguno realizó todas las observaciones en un mismo punto de muestreo. Además, se registraron especies de aves observadas al momento de acercarse al punto de conteo; para tomar registro de estas se elaboró un listado de especies observadas de forma casual que no estuvieron incluidas dentro de los análisis pero que aportan información adicional sobre la composición de la comunidad de aves que habita el PNMC (Ralph *et ál.* 1996).

Se describieron cualitativamente las condiciones meteorológicas (en caso de lluvia, llovizna, niebla); se tomó registro de la temperatura y velocidad del viento con el uso de un anemómetro digital (HoldPeak HP-866B), se realizó dos lecturas una al iniciar los 15 min de muestreo y otra al terminar y se registró el promedio de ambas lecturas. Debido a que la detección de las aves puede estar bajo la influencia de factores como las condiciones meteorológicas y los observadores las evaluaciones de los puntos de muestreo fueron realizadas durante las mañanas, entre las 6:00 y las 11:00 am. en altitudes bajas, mientras que en zona núcleo, el periodo de observación se extendió hasta las 12:30 pm. Esto último en respuesta a las condiciones ambientales con temperaturas bajas al iniciar por las mañanas y considerando también el tiempo de desplazamiento entre los puntos de muestreo en la zona núcleo (Ralph *et ál.* 1996).

Establecimiento de parcelas de vegetación. La caracterización de la vegetación se llevó a cabo en cada uno de los puntos de muestreo establecidos para la evaluación de la comunidad de aves. La metodología utilizada permite medir variables de la estructura y el funcionamiento del bosque como la provisión de hábitat para la fauna; es flexible y de fácil aplicación en cualquier tipo de hábitat (Ralph *et ál.* 1996).

En cada sitio de muestreo (n=54), se estableció una parcela circular de 1000 m² (Fig. 3), en donde se midieron todos los árboles de diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm, incluyendo lianas. Se identificó y registró la especie y la condición (vivo o muerto) de cada individuo censado. Además, dentro de la parcela se realizó un recorrido identificando y registrando especies presentes en la vegetación del sotobosque. La identificación botánica fue realizada con el apoyo del biólogo Hermes Vega, encargado del componente de investigación del PNMC.

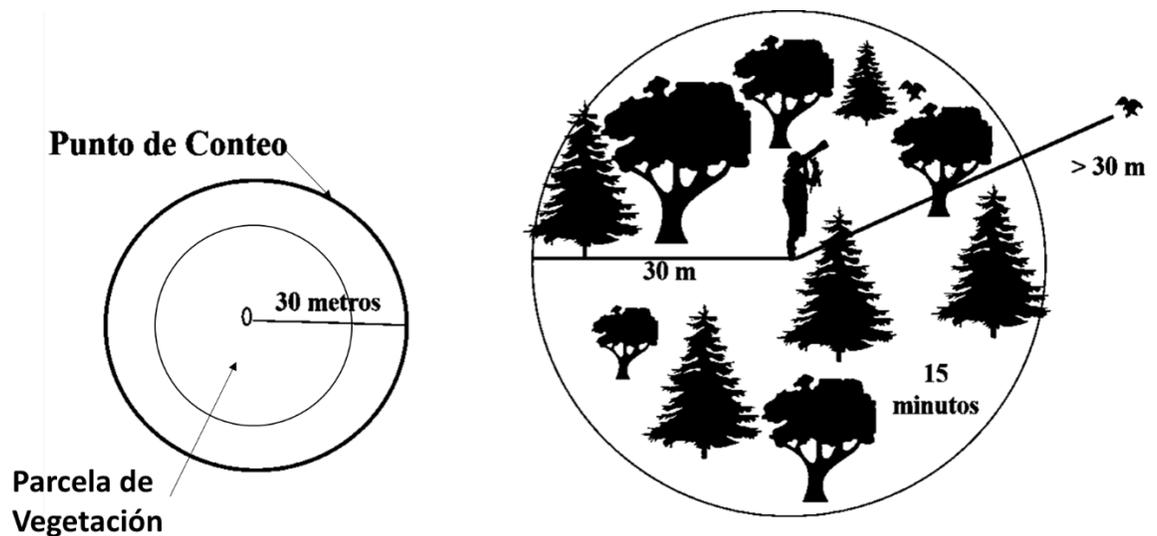


Figura 3. Protocolo de establecimiento puntos de muestreo dentro de las parcelas de vegetación en el gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras

Figure 3. Protocol for the establishment of sampling points within the vegetation parcels in the altitudinal gradient of the Montaña de Celaque National Park, Honduras

Con base en la metodología propuesta por Thiollay (1992), en cada parcela evaluada se estimó el índice de heterogeneidad vertical (IHV), calculado con base en la estimación de la cobertura observada en cinco diferentes estratos verticales. Los estratos considerados fueron: a) 0-2 m, b) 2-9 m, c) 10-20 m, d) 20-30 m y e) >30 m. Usando una escala simple con valores de 0, 1, 2 o 3: 0% (índice 0), 1–33% (índice 1), 34–66% (índice 2) y 67–100% (índice 3). Estos índices proporcionan información de variabilidad por estrato y los coeficientes acumulados proporcionan un valor de variabilidad estructural del sitio evaluado.

Análisis de los datos. Para la información de cada punto de monitoreo de aves y parcelas de vegetación se calculó la serie de números de Hill que permiten calcular el número efectivo de especies de una muestra, es decir, una medida del número de especies cuando cada una de ellas es ponderada por su abundancia relativa; lo anterior permite comparar directamente qué tan diferente es la diversidad entre comunidades. De toda la serie se calculó el H_0 = número total de especies (S); H_1 = número de especies comunes e H' índice de Shannon; H_2 = número de especies dominantes $1/D_{si}$; índice de diversidad de Simpson utilizando el paquete “iNEXT” del programa estadístico *R* (R Core Team 2020).

Posteriormente, con el fin de determinar la variación en la composición de la vegetación a través del gradiente, se realizó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS por sus siglas en inglés), una técnica multivariada de interdependencia que representa en un espacio geométrico de k dimensiones las proximidades existentes entre un conjunto de objetos (Legendre y Legendre, 2012). Este análisis se realizó utilizando la composición de especies de vegetación presentes en cada parcela para árboles $DAP \geq 10$ cm y estimadas con la librería “vegan” del programa estadístico *R* (R Core Team 2020).

Usamos regresión lineal para explorar las relaciones entre las métricas de estructura y diversidad de la vegetación como: área basal (AB), número de especies de sotobosque y los índices de diversidad (H0, H1 y H2) con la altitud utilizando el programa estadístico *Infostat* (Di Rienzo *et ál.* 2020). Adicionalmente, para explorar la influencia de las variables de vegetación sobre la diversidad de aves, se utilizó el modelo de Royle N-mixture, ya que se ajusta a los datos de recuento replicados espacialmente (Royle 2004). Este análisis se realizó utilizando la librería “Unmarked” del programa estadístico *R* (R Core Team 2020).

Además, se realizó un análisis de correspondencia canónica en el programa estadístico *R*. Este corresponde a una extensión del análisis de componentes principales, donde la ordenación de una matriz de variables respuesta (composición de especies de aves), es restringida por una matriz de variables explicativas (variables de vegetación y la elevación). Es similar a un análisis de regresión múltiple, cuyo objetivo es modelar variables respuesta multivariadas (Legendre y Legendre, 2012, Di Rienzo *et ál.* 2008).

Finalmente, se realizó una ordenación de la matriz de variables respuesta (riqueza y abundancia de especies por gremio), restringida por una matriz de variables explicativas (variables de vegetación y la elevación), por medio de la técnica multivariada de ordenación cuadrática restringida (CQO), anteriormente llamada ordenación canónica de Gauss (CGO). Esta herramienta es útil en enfoques de modelización ya que se adapta a los datos de presencia-ausencia y las curvas de variables respuesta, generando curvas suavizadas. Esta técnica de ordenación se basa en el ajuste de modelos lineales generalizados (GLM) (Yee 2006).

RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE AVES

Se registró un total de 1148 individuos de aves distribuidos en 165 especies (57%) de las 289 especies de aves reportadas para el Parque Nacional Montaña de Celaque. Dentro de las aves determinadas como casuales, se registraron ocho especies (3%), para un total de 173 especies (60% del total reportadas para el PNMC). Además, se agregó una nueva especie (*Aegolius ridgwayi*) a los reportes oficiales. Las especies registradas representan en total el 22% de la avifauna reportada para Honduras (Gallardo 2014). Estas se distribuyeron en 32 familias (78%) de 41 registradas y se identificaron 16 órdenes (84%) de los 19 registrados para el PNMC (ICF y MAPANCE 2016). En el transecto A se registraron 696 individuos (61%) y en el B, 453 (39%), distribuidos en 122 y 111 especies respectivamente.

Las especies identificadas pertenecen a 32 familias (Fig. 4), siendo la de mayor abundancia en ambos transectos la familia Parulidae. Sin embargo, las familias Turdidae y Thraupidae fueron mejor representados en el Transecto A.

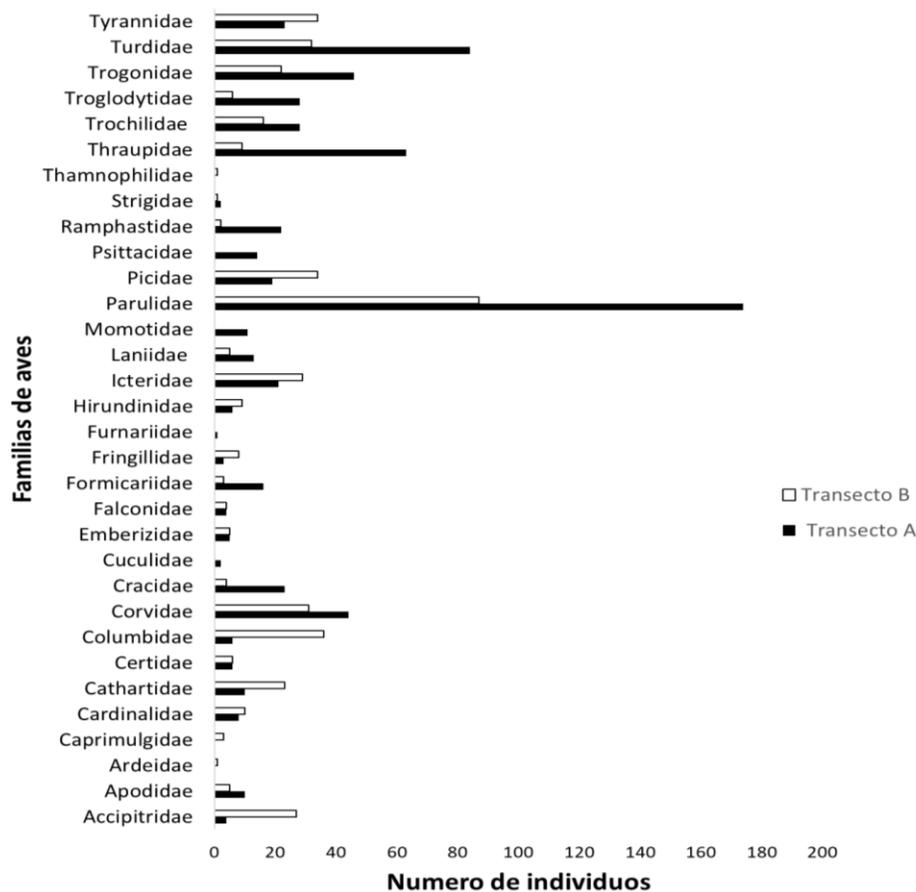


Figura 4. Distribución de especies de aves según orden en el gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras

Figure 4. Distribution of bird species distributed by order in the altitude gradient of the Montaña de Celaque National Park, Honduras

El total de especies detectadas correspondió a siete gremios alimenticios. El gremio con mayor número de individuos es el insectívoro (65% del total de especies), seguido de frugívoros (13%), omnívoros (7%), granívoros (6%), nectarívoros (4%) y los gremios carnívoros y carroñeros con un 3% respectivamente.

Se registró nueve especies de aves en tres categorías de la lista roja de especies en riesgo de la UICN: *Setophaga chrysoparia* (Parulidae, migratoria) que se encuentra catalogada en peligro de extinción (EN) y *Penelopina nigra* (Cracidae, residente), catalogada como vulnerable; ambas especies también se encuentran en la categoría de amenazadas globalmente. En la categoría casi amenazado (NT) se encontró a las especies residentes *Spizaetus ornatus* (Accipitridae), *Pharomachrus mocinno* (Trogonidae) y *Sturnella magna* (Icteridae), y las aves migratorias *Contopus cooperi* (Tyrannidae), *Vermivora chrysoptera* (Parulidae), *Setophaga cerulea* (Parulidae) y *Anrostomus carolinensis* (Caprimulgidae) (UICN 2020).

Las diez especies de aves más comúnmente registradas en los puntos de muestreo representan el 30% del total de individuos detectados. El 83% de estas son aves residentes y el 17% migratorias. La familia Parulidae fue la más abundante con especies como *Cardelina pusilla*, *Setophaga virens* y *Myioborus pictus* como las más abundantes (Anexo 1), donde *C. pusilla* y *S. virens* corresponden a especies migratorias neotropicales y *M. pictus* es una especie residente.

Durante los desplazamientos a los puntos de muestreo y los sitios de acampar en la zona núcleo se registraron ocho especies adicionales a las reportadas en los muestreos formales. De estas, el 62,5% corresponde a la familia Strigidae y 12,5% a las familias Trogonidae, Cathartidae y Accipitridae, respectivamente (Anexo 3).

Dentro de las especies de la familia Strigidae se realizó un nuevo registro para el PNMC y para Honduras con la especie *Aegolius ridgwayi* (Unspotted Saw-whet Owl). Los registros más cercanos corresponden a la Sierra de las Minas, Guatemala y el Cerro El Pital, El Salvador. También, se reportó por primera vez en los últimos 89 años la especie *Athene cunicularia* (Burrowing Owl), cuya última observación registrada es del año 1931.

CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD VEGETAL

Se registró un total de 2019 individuos, distribuidos en 108 especies y 50 familias. En el transecto A se registraron 1181 (58,5%), y 838 individuos en el B (41,5%).

Las familias que presentaron la mayor abundancia de individuos fueron: Pinaceae (27,3 %), Fagaceae (20,8%), Hamamelidaceae (8%), Myrcinaceae (6,8%), Lauraceae (4,7%), Symplocaceae (4,1%), Clethraceae (3,1%), Betulaceae (2,5%), Aquifoliaceae y Ericaceae (2% respectivamente) (Fig. 5), las cuales representan el 81,3% del total de individuos registrados. El mayor número de especies registradas correspondió a las familias Fagaceae con 15 especies y Pinaceae con ocho.

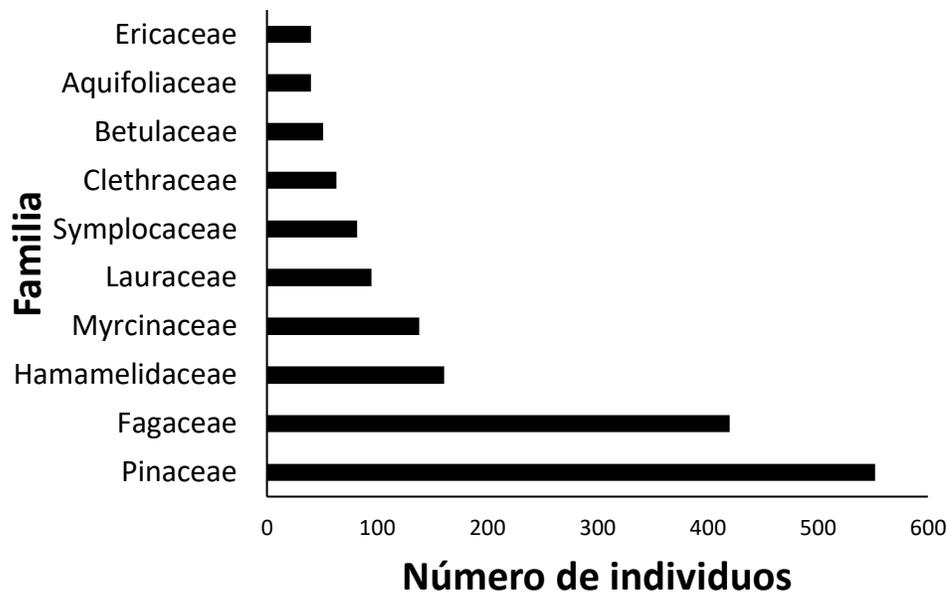


Figura 5. Familia de vegetación más abundantes en el gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras

Figure 5 Most abundant vegetation family in the gradient of the Montaña de Celaque National Park, Honduras

Durante los recorridos realizados dentro de las parcelas se registraron 220 especies en sotobosque, distribuidas en 85 familias. Las diez familias más abundantes fueron: Asteraceae (11%), Fabaceae (8%), Orchidaceae (6%), Poaceae (5%), Rubiaceae y Ericaceae (con 4% respectivamente), Dryopteridaceae, Melastomataceae, Myrsinaceae y Myrtaceae (con 2% cada una) y finalmente Aracaceae (1%), las cuales representan el 46,8% del total de especies registradas en el sotobosque.

Se identificó una relación lineal negativa entre el número de especies de sotobosque y la altitud ($r^2 = 0,24$; $P = 0,0002$) (Fig. 6), lo que indica que los bosques evaluados en las zonas bajas tienen un mayor número de especies en el sotobosque en comparación con los bosques evaluados en las zonas altas.

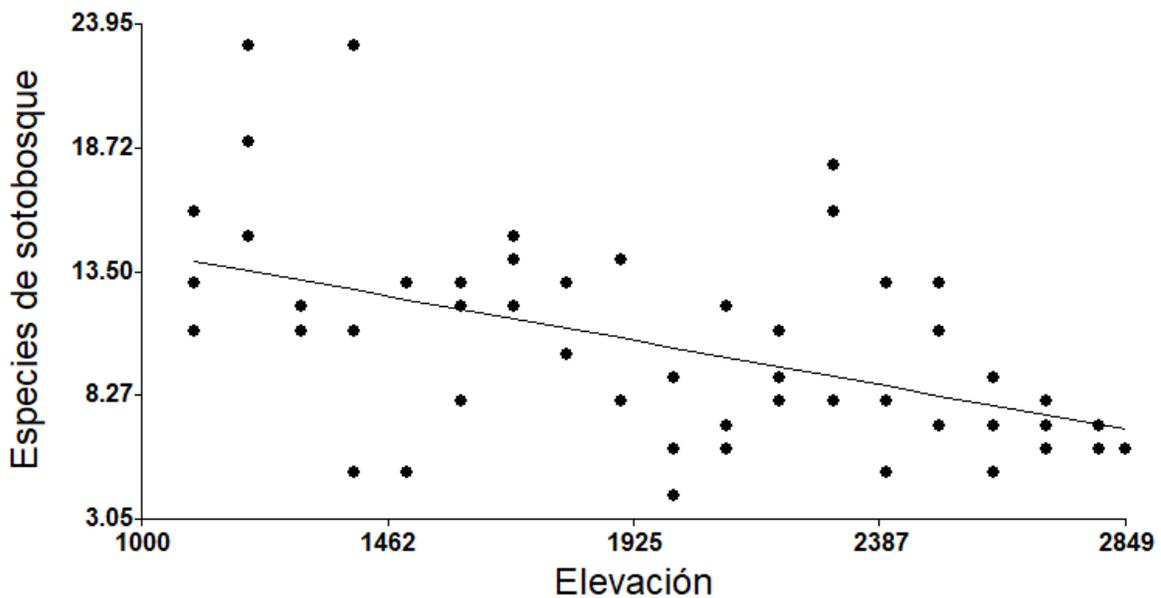


Figura 6. Relación entre el número de especies de sotobosque y la elevación a lo largo del gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras

Figure.6. Relationship of understory species and elevation in the gradient of the Montaña de Celaque National Park, Honduras

Del total de especies >10 cm DAP y de las especies encontradas en el sotobosque, se identificaron 13 especies endémicas, 10 de Honduras y tres exclusivas del PNMC: *Oreopanax lempirianus* (2849 msnm), *Ctenitis leonii* (2000-2400 msnm) y *Weinmannia abstrusa* (1800 msnm). (Anexo 2) También se identificó que el área basal (AB) tiene una relación lineal positiva con la elevación ($r^2 = 0,54$ ($p = 1,002e^{-10}$)). Es decir, a medida que aumenta la altitud a lo largo del gradiente hay un incremento en el AB encontrada.

Los índices de diversidad de Hill, específicamente la diversidad de orden H0 (riqueza), H1 (índice de Shannon–Wiener) y H2 (índice de Simpson), presentaron una relación positiva con la altitud. H0, con un $r^2 = 0,29$ ($p = 0,0000511$) (Fig. 7), muestra que, al aumentar la elevación, la riqueza de especies de vegetación presentó un aumento significativo, lo cual indica que los bosques de mayor altitud son los más diversos con relación a la riqueza de especies encontrada. H1, con un $r^2 = 0,3329$ ($p = 2,966e^{-06}$), mostró que los bosques encontrados en las partes bajas del gradiente tienen menor diversidad de especies que los bosques en las mayores altitudes del gradiente. H2, con un $r^2 = 0,3135$ ($p = 2,56e^{-05}$), indica que los bosques ubicados en las partes bajas del gradiente presentan una menor equitatividad en comparación con los bosques encontrados a mayores altitudes, indicando que en los bosques de altitudes bajas existen especies mejor representadas que en bosques de mayor altitud, donde las especies presentan números similares de individuos.

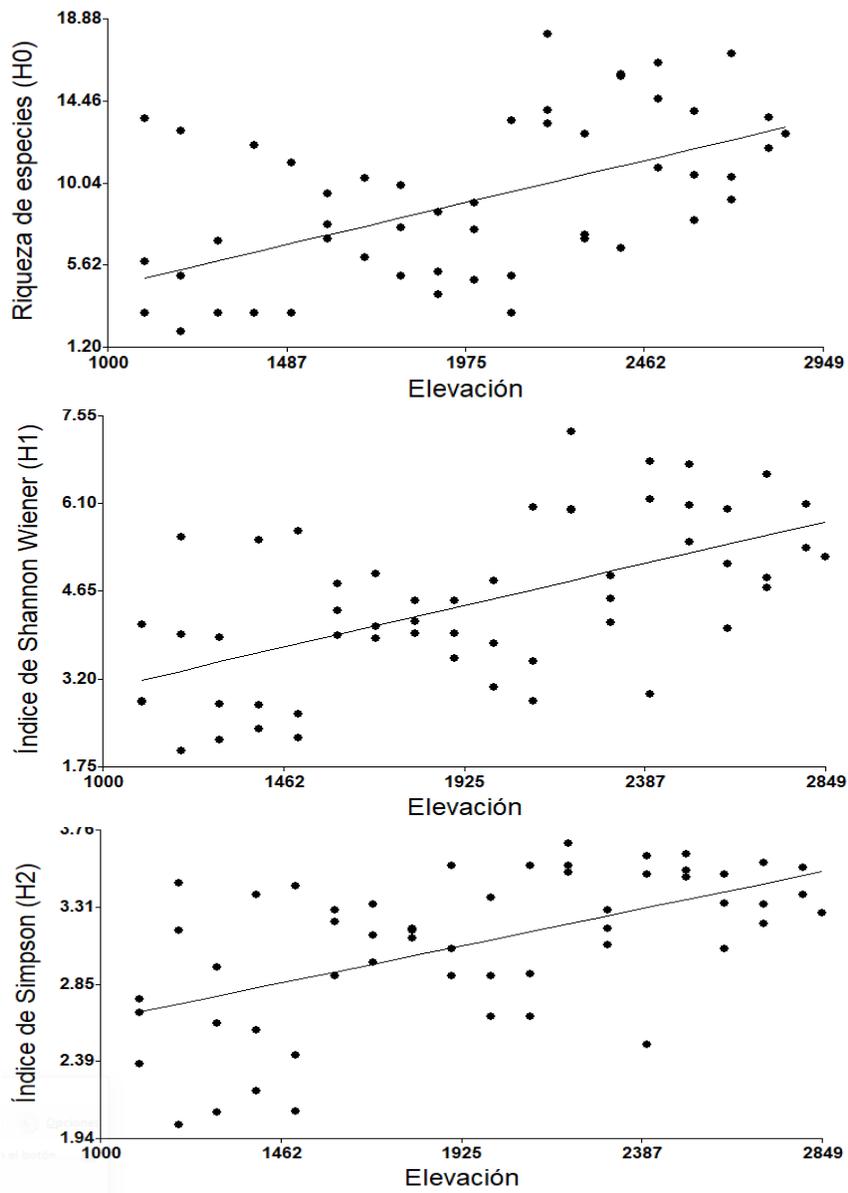


Figura 7. Relación de los índices de diversidad de Hill de la vegetación con la elevación en el gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras. A: riqueza de especies, B: abundancia de especies, C: dominancia de especies.

Figure 7. Relationship of Hill Diversity indices of vegetation with the elevation in the gradient of the Montaña de Celaque National Park, Honduras A: Species richness with elevation. B: Species abundance with elevation. C: Species dominance with elevation

El análisis de composición de la vegetación se realizó con un NMS (escalamiento multidimensional no métrico), el cual separó los bosques de altitudes altas y medias de los bosques de altitudes bajas del gradiente, asociando especies con una correlación mayor al 35%, principalmente en el transecto A (Fig. 8).

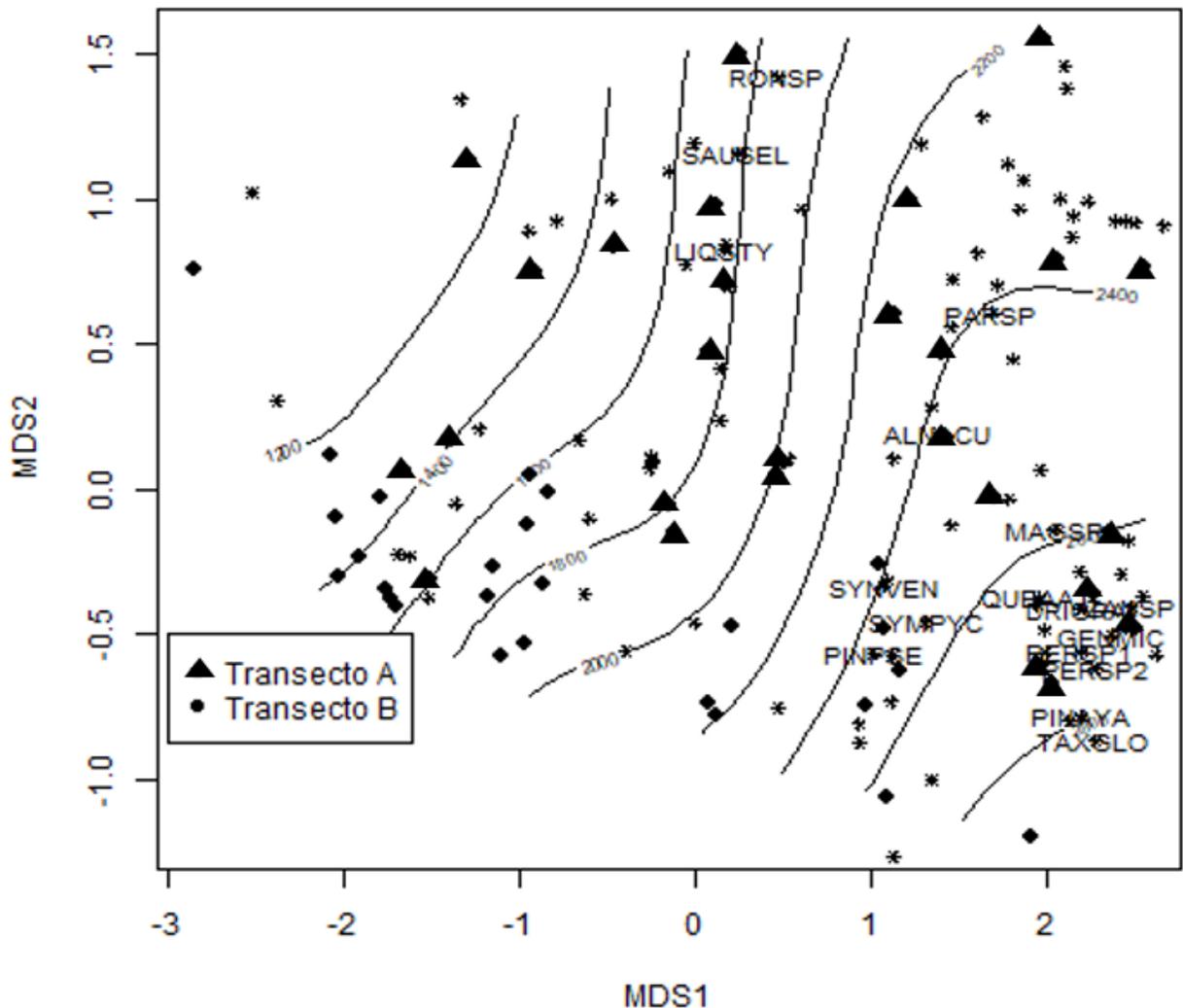


Figura 8. Análisis NMS (escalamiento multidimensional no métrico) de la vegetación del Parque Nacional Montaña del Celaque. Círculo color negro representan las parcelas del transecto B y los triángulos negros los del transecto A; los asteriscos representan las especies y los códigos las especies con un coeficiente de correlación mayor al 35% y que se asociaron a una elevación específica.

Figure 8. NMS (Non-Metered Multidimensional Scaling) analysis of the NWFP vegetation. The black circle the plots of transect B and the black triangles represent those of transect A, the asterisks the species and the codes represent the species with a correlation coefficient greater than 35% and that were associated with a specific elevation.

En el gradiente existe un mayor número de especies asociadas a los bosques de mayor altitud que a los bosques de altitudes bajas; las especies *Pinus ayacahuite* y *Taxus globosa*, se asocian únicamente a la altitud 2800; entre la altitud 2800 y 2600 m se identificaron las especies *Persea* sp.2, *Persea* sp.1; *Gentlea micranthera*, *Drimys granadensis* *Zanthoxylum* sp. *Quercus aata* y *Magnolia* sp., entre la altitud 2600 y 2400 m las especies *Parathesis* sp., *Alnus acuminada*, *Synardisia venosa*, *Symplocos pycnantha* y *Pinus pseudostrobus*. En el gradiente de 2200 msnm a 1800 msnm se puede observar una disminución de especies asociadas a las altitudes bajas tales como *Liquidambar styraciflua*, *Saurauia selerorum* y *Rondeletia* sp.

También se realizó una ordenación de las variables de la vegetación con un análisis de componentes principales (Fig. 9), donde el componente principal 1 (CP1), explica el 33,2% de la variabilidad de los datos y el 2 (CP2), el 14,5%.

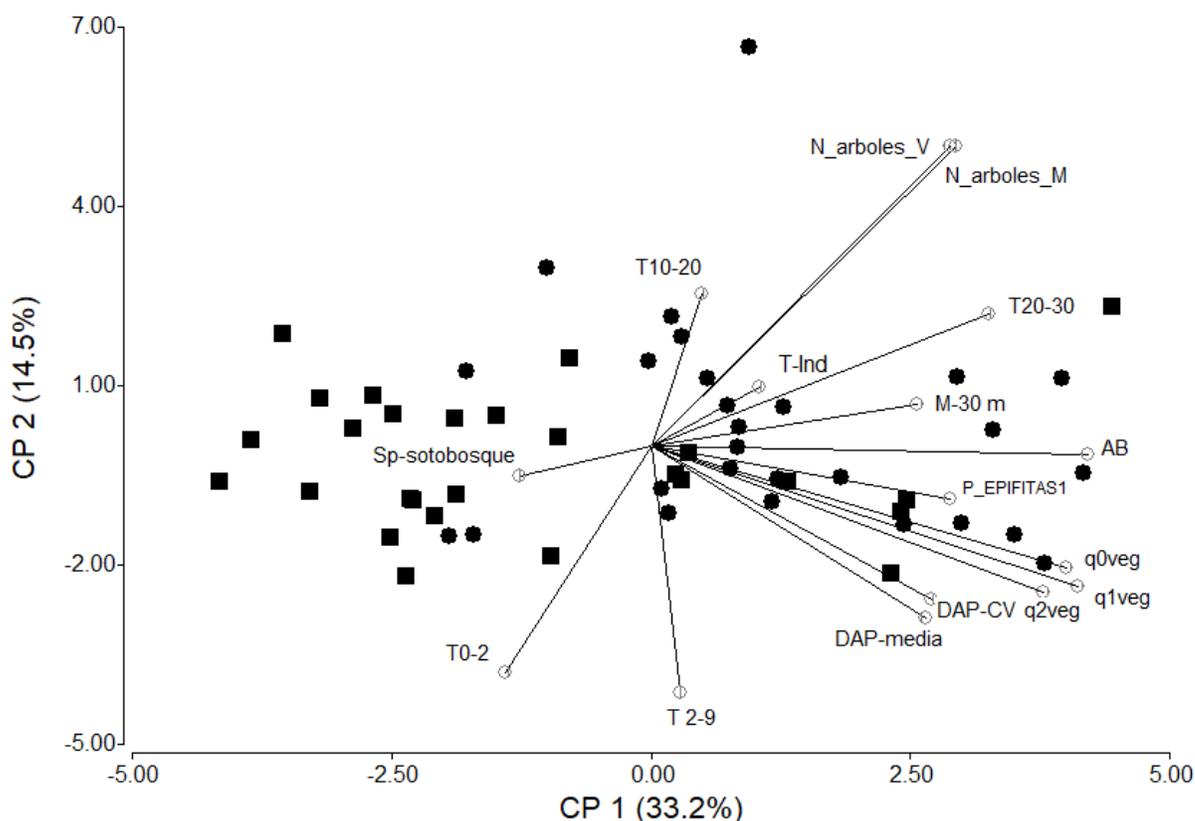


Figura 9. Análisis de componentes principales de las variables de vegetación en el Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras. Los círculos representan parcelas de vegetación en el transecto A y los cuadrados las parcelas del transecto B.

Figure 9. Analysis of main components of vegetation variables in Montaña de Celaque National Park, Honduras. Circles represent vegetation plots in transect A and squares represent transect B plots.

El CP1 separó las variables, estrato 0-2 y el número de especies del sotobosque de las demás variables, lo que indica que la mayor variabilidad de las parcelas de vegetación es explicada por estos dos estratos. Los bosques ubicados al lado derecho en la gráfica representan los bosques de las altitudes mayores, indicando que estos tienen una mayor estratificación (T10-20 T20-30, M-30), mayor porcentaje de epífitas, diámetros, área basal y mayor diversidad (H0, H1, H2), que los que se encuentran del lado izquierdo que representan a los bosques de altitudes bajas. Sin embargo, son bosques con mayor número de especies de sotobosque y estratos bajos. El CP2 separa los bosques del transecto A con estratificación mayor (T10-20) de los bosques del transecto B con estratos inferiores (T0-2 y T2-9).

DIVERSIDAD DE AVES Y VEGETACIÓN

En el Cuadro 1 se presenta el modelo que mejor representa la diversidad de orden H0 y orden H1 y las variables de detección, temperatura y viento (Cuadro 1).

Cuadro 1. Relación de variables de vegetación y detección sobre la diversidad de aves con modelos N-mixture

Table 1. Relationship of vegetation and detection variables on bird diversity, with the Nmixture Model

	Modelo	H0	H1	H2
AIC	Nulo: ~1 ~1	1380.722	1468.779	1809.383
	Detección: ~1 + viento + temp ~1	1056.252	1135.342	

Nota: Factor de selección AIC

Ninguna de las variables mostró influencia sobre la diversidad de orden H2.

El análisis de correspondencia canónica, que determinó que el 56% de la variabilidad de la composición de la comunidad de aves del PNMC es explicada por las variables ambientales correspondientes a la elevación ($p = 0,001$), elevacion² ($p=0,001$) y variables de la vegetación (estratos de vegetación (T10-20 T20-30, M-30), porcentaje de epífitas, números de Hill (H0, H1, H2), área basal, DAP y especies de sotobosque), como: CP1 ($p = 0,001$) y MDS2 ($p = 0,002$). También se identificó que las variables CP2 ($p=0,469$) y MDS1 ($p = 0,165$), no muestran influencia con las variables de composición (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de correspondencia canónica de las variables de vegetación y elevación con la composición de aves en el Parque Nacional Montaña de Celaque. C1 y C2 corresponden al eje 1 y 2 del análisis de componentes principales realizado con las variables estratos de vegetación (T10-20 T20-30, M-30), porcentaje de epífitas, índices de diversidad (H0, H1, H2), área basal, DAP y especies de sotobosque. EL MDS1 Y MDS2, corresponden a los ejes del

análisis NMS (escalamiento multidimensional no métrico), realizados con la composición de la vegetación en los dos transectos evaluados.

	Df	ChiSquare	F	Pr(>F)	
Elevación	1	0,6911	3,9075	0,001	***
I(Elevación ²)	1	0,3449	1,9497	0,001	***
CP.1	1	0,3177	1,796	0,001	***
CP.2	1	0,1738	0,9824	0,469	
MDS1	1	0,2085	1,1787	0,165	
MDS2	1	0,2859	1,6165	0,002	**
Residual	47	8,3133			

El primer eje canónico expresa el 36% de la variabilidad de los datos explicada por las covariables y el eje canónico dos el 20%. Estos ejes dividieron la composición de las aves en tres ensambles o grupos diferentes (Fig.10).

El primer grupo de especies está asociado a las variables CP1, MDS2 y elevaciones medias. Entre ellas se encuentran *Aspata gularis*, *Lampornis viridipallens*, *Automolus ochrolaemus*, *Spizaetus ornatus* y *Clorospingus flavopectus*.

El grupo dos se asoció a las mayores altitudes y entre las especies están *Troglodytes rufociliatus*, *Pharomachrus mocinno* y *Lamprolaima rhami*. En el tercer grupo, asociado a las variables MDS2 y elevaciones bajas, se identifica un número mayor de especies que en los grupos uno y dos, tales como *Ara macao*, *Amazilia cyanocephala*, *Icterus wagleri*, *Streptoprocne rutila*, *Spinus psaltria* y *Sturnella magna*.

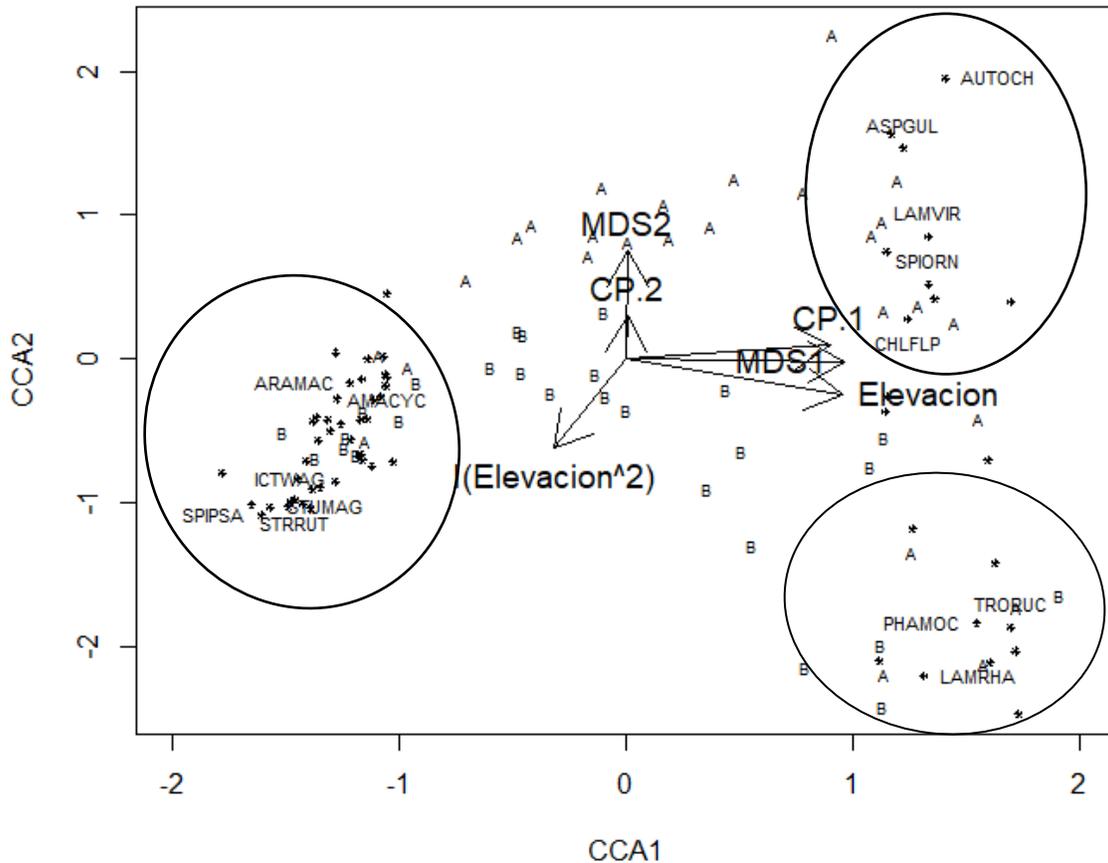


Figura 10. Análisis de correspondencia canónica de la composición de aves y variables de vegetación y elevación del gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras. Círculos negros agrupan las especies de aves en tres ensambles. Letras significa el código de las especies de aves en cada ensamble.

Figure 10. Analysis of canonical correspondence of bird composition and vegetation variables and elevation of the altitudinal gradient of the Montaña de Celaque National Park, Honduras Black circles group the bird species into three assemblages. Letters means the code of the bird species in each assembly.

RELACIÓN GREMIOS VS VARIABLES DE VEGETACIÓN Y ELEVACIÓN

El análisis de Ordenación Cuadrática Restringida (CQO), identificó que para la riqueza en los gremios la mayor influencia de forma positiva es representada por el CP1, con un coeficiente de 0,04 y la elevación con influencia negativa con un coeficiente de -0,1561 (Anexo 4). Para visualizar la ordenación de los gremios que mayor variabilidad explican (Fig. 11), no se incluyeron en el análisis los gremios carnívoros y nectarívoros.

La mayor variabilidad se explicó por el gremio granívoro (61%), seguido del gremio carroñeros (51%), insectívoros (29%), frugívoros (27%) y los omnívoros (12%).

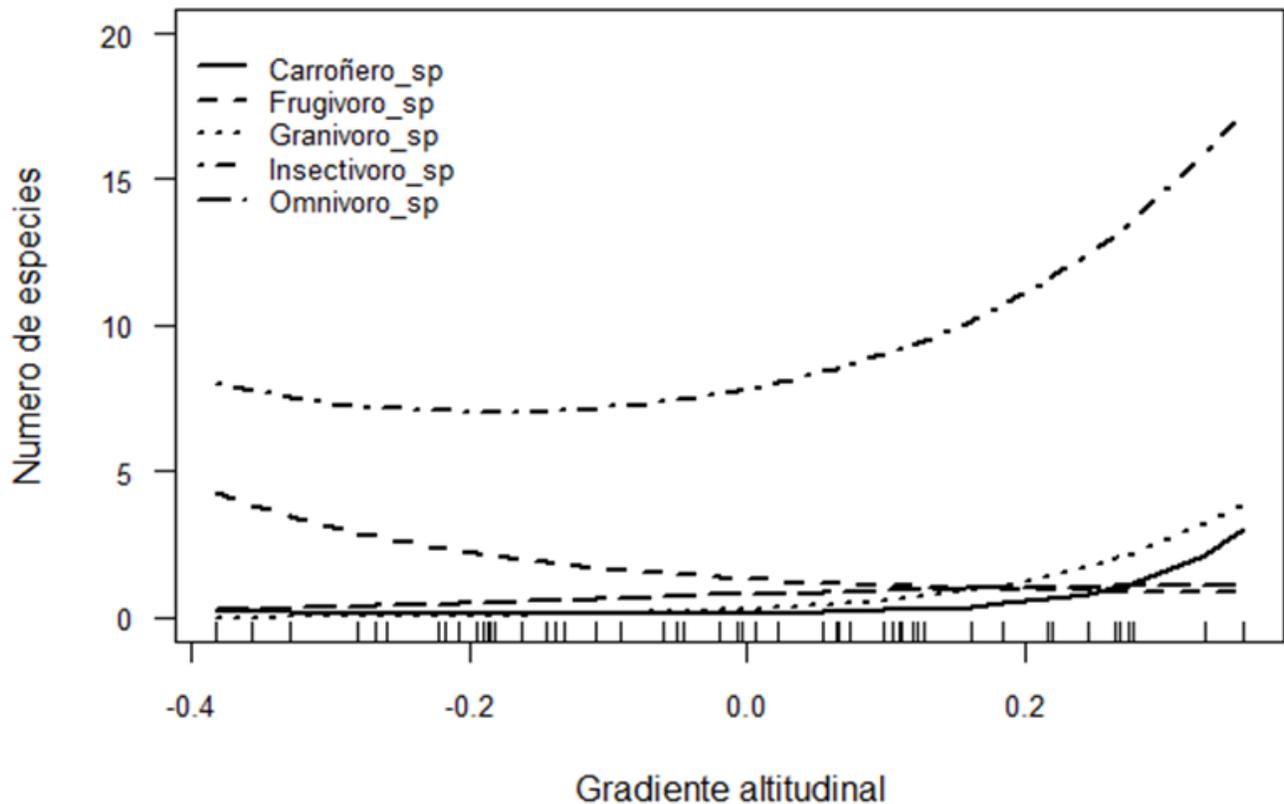


Figura 11. Ordenación de riqueza de aves de los gremios con influencia de variables de vegetación y elevación el gradiente del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras.

Figure 11. Order of bird richness of the guilds with the influence of vegetation variables and elevation the gradient of the Montaña de Celaque National Park, Honduras

En cuanto a las tendencias de la riqueza de especies para los gremios en el gradiente, se identificó un aumento en el número de especies con la altitud en los gremios insectívoro, granívoro, carroñero y omnívoro con una tendencia leve al aumento, y para el gremio frugívoro se identificó una disminución a medida que aumentamos la elevación del gradiente.

La abundancia de aves en los gremios es influenciada principalmente por el CP1 de forma positiva y con un coeficiente de 0,15, seguido de la elevación con una influencia negativa de -0,35. En este análisis los gremios carnívoros y omnívoros no fueron significativos por lo que no se incluyeron en las distribuciones (Fig. 12).

La mayor variabilidad explicada corresponde a los gremios granívoros (55%), seguido de los carroñeros (37%), insectívoros (22%), frugívoros (16%) y los nectarívoros (5%). Las

tendencias de las abundancias para los gremios nectarívoro, carroñero y granívoro en el gradiente fueron la de aumentar el número de individuos con la elevación; sin embargo, para frugívoros el número de individuos disminuye con la elevación, encontrándose más en las altitudes bajas. El gremio de los insectívoros muestra una tendencia en U, la cual indica que tiene valores altos en la altitud baja del gradiente, disminuye en las elevaciones medias y luego presenta un aumento para las zonas con una mayor elevación.

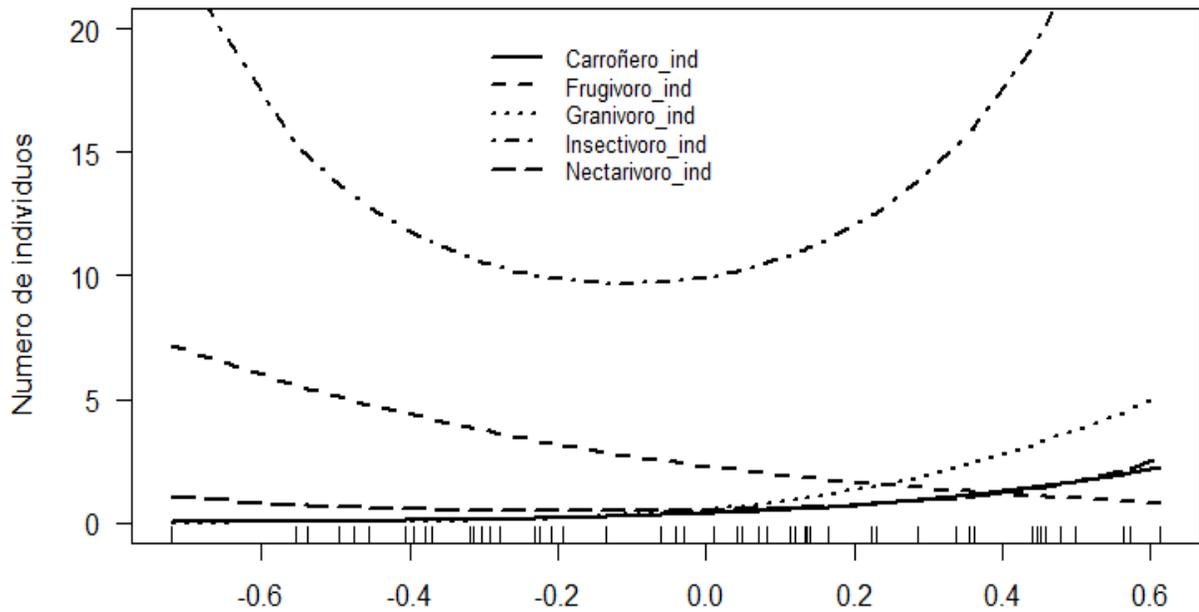


Figura 12. Ordenación de la abundancia de aves de los gremios con influencia de variables de vegetación y elevación el gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras

Figure 12. Bird abundance management of guilds with influence of vegetation variables and elevation gradient of Montaña de Celaque National Park, Honduras

DISCUSIÓN

Se registró el 78% de las familias reportadas para el PNMC, siendo la familia Parulidae la mejor representada en los dos transectos muestreados. Esta se consideran el grupo más diverso de América del Norte y la mayoría son arborícolas (INECC 2020). Báez Pérez *et ál.* (2016), encontraron resultados que coinciden con los nuestros. De los gremios existentes en la comunidad de aves, el más abundante fue el insectívoro. Si se considera que la familia Parulidae también pertenece a este gremio, se sugiere que el PNMC proporciona disponibilidad de alimento, refugio y la posibilidad de reproducirse. Almazán *et. ál.* (2009), Kopij (2015) y Salas-Correa y Mancera (2018), sugieren que la mayoría de los gremios alimenticios de las aves son influenciados por las características de la vegetación (Martínez y Rechberger 2007, Ramírez y Pérez 2018).

La adición de la especie *Aegolius ridgwayi* (Unspotted saw whet owl), una especie con rango restringido desde 1660 msnm a 3475 msnm en el bosque nuboso latifoliado y pino encino (ASHO 2020) y presente en el PNMC a los 2700 msnm, ratifica la importancia de la conservación de estos espacios al ser refugios esenciales para la biodiversidad (Malhi *et ál.* (2010) y Rahbek *et ál.* (2019).

Descripción del hábitat

Los análisis de gradiente de elevación del PNMC para la vegetación resultaron particularmente desafiantes dada la gran cantidad de especies involucradas. Se identificó una relación positiva de los números de Hill con la elevación, lo que indica que el bosque de mayor altitud del gradiente del PNMC es el más diverso y tiene un número mayor de especies mejor distribuidas que los bosques de tierras bajas (Sánchez y López 2005, Medrano-Meraz *et ál.* 2017). Este patrón se considera que puede estar asociado a los cambios de vegetación a medida que aumentamos en altitud, ya que el PNMC posee seis diferentes ecosistemas y presenta una característica sobresaliente como lo es la presencia del bosque nuboso más extenso del país en el altiplano del parque (ICF y MAPANCE 2016).

Estos resultados coinciden con los de McCain y Grytnes (2010), Grytnes y Vetaas Ole (2002), en el Himalaya; Sánchez y López (2005) en México y Cueva *et ál.* (2019) en Bolivia. Autores como Rahbek *et ál.* (2019) y Ávila-Sánchez *et ál.* (2018), sugieren que las regiones montañosas tropicales son excepcionalmente ricas en número de especies y más en especies de rango restringido y endémicas de montaña debido a las configuraciones complejas de topografía y clima. Lo anterior coincide con los resultados encontrados en nuestro estudio donde se registraron 13 (56,5 %) de las 23 especies endémicas (tres exclusivas para el parque) en altitudes sobre los 2000 msnm. Además, se identificó la especie *Pinus luzmariae*, con una distribución limitada en México y Honduras, reportada para los departamentos de Intibucá, el cual es un registro reciente (2019) para Celaque (MAPANCE 2019). Se identificó una relación lineal positiva (AB) con la elevación, los bosques que se encuentran en la mayor elevación tienen más área basal. Estos resultados coinciden con los obtenidos en Costa Rica en el bosque del gradiente altitudinal Caribe-Villa Mills (Veintimilla *et ál.* 2019 y Vázquez y Givnish 2002).

El MDS2 del análisis NMS, mostró una tendencia a separar los dos transectos muestreados en el gradiente, identificando una diferencia en las comunidades de vegetación de ambos. Asociamos este cambio a la influencia de las dos vertientes del país ya que el transecto B tiene una mayor influencia de la vertiente del Pacífico y el transecto A a la del Atlántico, lo que crea diferentes condiciones ambientales y edáficas de ambos transectos en el gradiente. Resultados similares encontró Ávila Sánchez *et ál.* (2018) en el Cañón del Zopilote, México. McCain y Grytnes (2010), sugiere que las tendencias específicas de la riqueza de especies que se presentan en cada región dependen de los factores climáticos y edáficos que están ligados al gradiente.

El análisis de componentes principales mostró que las características de estructura del bosque, porcentaje de epífitas, DAP, AB e índices de diversidad, se asociaron a los bosques de mayor elevación, describiendo a estos con una mejor estructura vertical compuesta por tres estratos 1(0-20, 20-30 y mayores a 30 m), con un porcentaje mayor a las epífitas y mayor diversidad, características propias del bosque tropical siempre verde mixto Altimontano, presente arriba de los 2000 msnm en el PNMC (Flores *et ál.* 2012). Resultados similares encontraron Cueva *et ál.* (2019), Herrera-Acevedo (2011), Lieberman *et ál.* (1996), Vega *et ál.* (2016) y Kennedy y Fjeldså (2020).

Diversidad de aves y su relación con el gradiente y las características de hábitat

En los modelos de diversidad de aves con el gradiente y las características del hábitat, las variables temperatura y viento (para los modelos de H0 y H1), estuvieron correlacionadas con la detectabilidad de aves. McCain y Grytnes 2010, Malhi *et ál.* 2010, Herrera-Acevedo 2011, Katerina *et ál.* 2017), encontraron que las variables ambientales como la temperatura, influyen en las respuestas ecológicas de la avifauna como la distribución temporal y espacial de las especies en el ecosistema. Sin embargo, el análisis de correspondencia canónica de la composición de aves en el gradiente está influenciado por la elevación y variables de vegetación CPI y MDS2, lo cual indica que dependiendo de la parte del gradiente elevación, la vegetación y las características del hábitat, la composición de aves cambia. Resultados que coinciden con los obtenidos por Salas-Correa y Mancera (2018) y Thiollay (1992). McCain y Grytnes (2010) y Escalante *et ál.* (2016), muestran que las variables de vegetación tienen influencia en la composición de especies.

En el CQO se identificó que la elevación tiene una influencia sobre la riqueza y abundancia de los gremios en el gradiente altitudinal. Variables que crean patrones de distribución de vegetación y estructura, que estimulan directamente a la comunidad de aves. La riqueza y abundancia de aves del gremio frugívoro, mostró una tendencia a disminuir con la elevación, pues en la parte alta del gradiente se registraron cuatro especies y en la baja siete especies. Las especies de aves frugívoras tales como *Trogon collaris*, *Aulacorhynchus prasinus* y *Euphonia elegantissima* estuvieron presentes en las partes altas y bajas. Resultados similares encontraron Thiollay (2002, Loiselle y Blake (1991), Herrera-Acevedo (2011), Blake y Loiselle (2015) y Katerina *et ál.* (2017). Hernández-Martínez *et ál.* (2008), señalan que los gremios de aves pueden tener una limitación temporal por recursos alimenticios que provee la vegetación. En

Costa Rica, Loiselle y Blake (1991) identificaron una relación estrecha con la cantidad de frutos disponibles, aunque desafortunadamente no se tienen los datos para determinar cuál fue la causa real de las diferencias en la riqueza de aves frugívoras encontradas en el gradiente del PNMC.

Se encontró un aumento de la abundancia del gremio de aves nectarívoras, un componente importante en los bosques tropicales por la presencia de plantas polinizadas por aves, particularmente epífitas que frecuentemente se incrementan en los bosques de mayor altitud. Vega *et ál.* (2016), registraron 11 nuevas especies, de las cuales cinco pertenecen a la familia Orchidaceae y una a la familia Bromeliaceae; resultados similares encontraron Martínez y Rechberger (2007) y Kopij (2015).

Los valores de abundancia de aves insectívoras presentaron un patrón de U, donde la abundancia total de especies fue mayor en los extremos del gradiente altitudinal y menor en la parte intermedia. En los bosques de elevaciones bajas se encontró, a nivel de composición, las especies *Dives dives* y *Setophaga ruticilla*, exclusivas para el gradiente bajo y a la especie *Myadestes occidentalis*, con el mayor número de individuos reportados (1100-1600 msnm). En el gradiente alto (2200-2849 msnm), se identificó las especies *Turdus infuscatus*, *Henicorhina leucophrys*, *Myadestes unicolor*, *Troglodytes rufociliatus*, *Basileuterus belli*, exclusivamente en la parte alta del gradiente y a la especie *Clorospingus flavopectus*, con el mayor número de individuos. Se puede identificar en ambos grupos del gradiente, que las especies que lo componen son diferentes y que de cierta forma presentan un asocio a las condiciones ambientales y de vegetación (Almazán *et ál.* 2009 Martínez y Rechberger 2007, Katerina *et ál.* 2017). Kopij (2015), Salas-Correa y Mancera (2018) y Katerina *et ál.* (2017), sugieren que la mayoría de los gremios alimenticios de las aves son influenciados por las características de la vegetación y que las aves pueden desarrollar un comportamiento migratorio, creando gradientes de diversidad inversos; sin embargo, lo hacen conservando sus adaptaciones ambientales y en zonas que son capaces de proporcionar los recursos necesarios.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio demuestran que el PNMC constituye uno de los principales reservorios de diversidad de flora y fauna de Honduras. Existe una relación entre la comunidad de aves y la vegetación en el gradiente considerando que el 56% de la variabilidad de la composición de la comunidad de las aves es explicada por las variables ambientales y de vegetación. Además de ser un área de importancia para la conservación de especies migratorias que requieren de bosque como *Setophaga chrysoparia*, especie en peligro de extinción y amenazada globalmente según datos de UICN, y especies migrantes altitudinales como *Pharomacrus moccino*, lo cual refleja la importancia para la protección de estos bosques como refugio para muchas aves.

En cuanto a las especies de vegetación asociadas a mayores elevaciones, se identificó al *Pinus ayacahuite* (2800 msnm) en la categoría casi amenazado y *Taxus globosa*, en peligro de extinción, según la UICN. Por tal razón son especies vulnerables a los posibles efectos del cambio climático en el PNMC y su extinción puede causar cambios en la estructura vertical (superior e intermedio) y afectar la disposición de alimentos (conos y bayas, respectivamente),

lo que sugiere una influencia en cambios de la composición de la comunidad de aves (Thiollay 1962).

Por lo anterior es importante estudiar el comportamiento de las poblaciones de aves y vegetación a lo largo del tiempo y abarcar meses del año no considerados en esta ocasión, con el fin de encontrar diferencias y observar si los patrones de diversidad cambian.

REFERENCIAS

- Almazán-Núñez, R; Puebla-Olivares CF; Almazán-Juárez, Á. 2009. Diversidad de aves en bosques de pino-encino del centro de Guerrero, México. *Acta Zoológica Mexicana* 25(1):123-142.
- Anderson, DL; Devenish, C; Devenish, DF; Díaz Fernández, I; Davidson, Clay; Yépez Zabala I. 2016. Important Bird Áreas Américas: Priority sites for biodiversity conservation (Honduras). Quito, Ecuador, BirdLife International. 255-260 p.
- Ávila-Sánchez, P; Sánchez-González, A; Catalán-Heverástico, C; Almazán-Núñez, R; Jiménez-Hernández, J. 2018. Patrones de riqueza y diversidad de especies vegetales en un gradiente altitudinal en Guerrero, México. *Polibotánica*. 45:101-113. Disponible en [10.18387/polibotanica.45.8](https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.8)
- Báez Pérez, SA; Pintado Martínez, L; Hernández Martínez, F. 2016. Relación entre aves y variables dendrométricas en plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* W. H. Barret et Golfari en Viñales, Cuba. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(33):8-19.
- Blake, J; Loiselle B. 2015. Enigmatic declines in bird numbers in lowland forest of eastern Ecuador may be a consequence of climate change. *PeerJ* 3:1177. Disponible en <https://doi.org/10.7717/peerj.1177>
- Blake, John & Loiselle, Bette. 2000. Diversity of birds along an elevational gradient in the Cordillera Central, Costa Rica. *Auk*. 117:663-686. Disponible en [10.2307/4089592](https://doi.org/10.2307/4089592).
- Chaves-Campos, J; Arévalo, J; Araya, M. 2003. Altitudinal movements and conservation of Bare-necked Umbrellabird *Cephalopterus glabricollis* of the Tilarán Mountains, Costa Rica. *Bird Conservation International*, 13(1). 45-58. Disponible en [10.1017/S0959270903003046](https://doi.org/10.1017/S0959270903003046)
- CLIMIFORAD. 2010. Establecimiento de red de parcelas permanentes (PPM) para el monitoreo de impactos de cambio climático en la vegetación arbórea del Parque Nacional “Cerro Azul” Meambar (PANACAM), Honduras. Tegucigalpa, Honduras.
- Cueva Ortiz, E; Deicy, L; Celso, Y. 2019. Efecto de la gradiente altitudinal sobre la composición florística, estructura y biomasa arbórea del bosque seco andino, Loja, Ecuador. *Bosque* 40(3):365-378.
- R Core Team .2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en <https://www.R-project.org/>.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Balzarini M.G., González L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). *Infostat. Manual del Usuario*, Córdoba, Argentina, Editorial Brujas.
- Díaz, S; Unai, P; Stenseke, M; Martín, B; Watson, RT; Molnár, Z; Hill, R; Kai, MA; Chan, IA; Brauman, B; Kate AP.S; Church, AM; Larigauderie, A; Leadley, PW; Alexander P.E; Van Oudenhoven, Felice Vander Plaat, ; Schröter Lavorel, M; Yildiz, S; Aumeeruddy, T; Bukvareva,

- E; Davies, K; Sebsebe, D; Erpul, G; Failler, P; Guerra, CA; Hewitt, CL; Hans, K; Lindley, S; Shirayama, Y. 2018. Supplementary Material for Assessing nature's contributions to people. Science AAAS. Disponible en www.sciencemag.org/content/359/6373/270/suppl/DC1.
- Freeman, BG; Scholer, Y; Ruiz-Gutiérrez, V; Fitzpatrick, J. 2018. Climate change causes upslope shifts and mountaintop extirpations in a tropical bird community. 115:6. Disponible en <https://www.pnas.org/content/115/47/11982>
- Freeman, B.G., Tobias, J.A. and Schluter, D. 2019. Behavior influences range limits and patterns of coexistence across an elevational gradient in tropical birds. *Ecography*, 42:1832-1840. Disponible en <https://doi.org/10.1111/ecog.04606>
- Flores E; Sánchez A; Castellanos N; Ávila R; Zelaya E; Paz G. 2012. Plan de Manejo Parque Nacional Montaña de Celaque periodo 2012-2016. Honduras, MAPANCE-ICF-GIZ. 173 p.
- eBird (2020). Migración neotropical (en línea, sitio web). Consultado octubre 2020. Disponible en <https://ebird.org/science>
- Escalante J & Gisell N. 2016. Altitudinal distribution, richness and composition of bird assemblages in a mountainous region in Southern Nayarit, Mexico. *Revista de Biología Tropical*. 64(4).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2019. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe: Corredor Seco Centroamericano y soluciones de desarrollo. Disponible: <http://www.fao.org/americas/eventos/ver/es/c/1196866/>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2012. Marco Estratégico Regional para la Gestión de Riesgos Climáticos en el Sector Agrícola del Corredor Seco Centroamericano. Roma, Italia. 67 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1969. Clasificación de suelos de Honduras. Disponible en <http://www.fao.org/3/ar884s/ar884s.pdf>
- Gallardo, R. 2014. Guide to the birds of Honduras. Mountain Gem Tours.
- Gómez-Chuquillanqui, J. 2016. Distribución altitudinal y vulnerabilidad de las aves frente al cambio climático en la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Francisco Morazán Honduras. Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana.
- Grytnes, JA; Vetaas, OR. 2002. Species Richness and Altitude: A Comparison between Null Models and Interpolated Plant Species Richness along the Himalayan Altitudinal Gradient, Nepal. *The American Naturalist* 159(3):294-304.
- Vega, H; Cetzal-Ix, W; Romero-Soler, K. 2016. Nuevos registros para la flora de Honduras y el Parque Nacional Montaña de Celaque. *Acta Biol. Colomb.* 2016 (21):635-644. Disponible en [10.15446/abc.v21n3.51020](https://doi.org/10.15446/abc.v21n3.51020)
- Herrera-Acevedo J. 2011. Estructura y composición de la vegetación en la subcuenca Santiago Bayacora (Durango) a través de un gradiente altitudinal. Tesis Maestría Gestión Ambiental. Disponible en Durango, Instituto Politécnico Nacional. Disponible en <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/15622>

- Hernández-Martínez, FR; Torrens, YA; Sotolongo Sospedra, R; Sánchez-Oliva Y. 2008. Structures and composition of communities birds in natural áreas of *Pinus caribaea* Morelet, of the efi minas de matahambre. México, Universidad Autónoma Indígena de México.
- ICF (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre, Honduras). 2020. Anuario Estadístico Forestal de Honduras, 2019 (34). Tegucigalpa, Honduras.
- ICF (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre, Honduras); MAPANCE (Mancomunidad de Municipios del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras).2016. PLAN DE MANEJO: Parque Nacional Montaña de Celaque. Tegucigalpa, Honduras.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2020. Parulidae (en línea, sitio web). Consultado octubre 2020. Disponible en <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/329/chipes.html>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C.B., Barros, V.R., D.J. Dokken, D.J. Mach, K.J. Mastrandrea, M.D. Bilir, T.E. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y and Nueva York, NY Estados Unidos.
- Kennedy JD. Y Fjeldså J. 2020. Completing Wallace's. *Science* 367 (6474).140-141.Disponible en [10.1126/science.aba3798](https://doi.org/10.1126/science.aba3798).
- Kopij, G. 2015. Avian Diversity Along an Altitudinal Gradient in Highveld/Drakensberg Grasslands. *Vestnik Zoologii* 49(4). Disponible en <https://doi.org/10.1515/vzoo-2015-0038>
- Legendre, P; Legendre, L. 2012. Numerical Ecology. 3rd English edition. Amsterdam, Elsevier Science BV, 512-518.
- Lieberman D; Lieberman M; Peralta R; Hartshorn G. 1996. Tropical Forest Structure and Composition on a Large-Scale Altitudinal Gradient in Costa Rica. *Ecology* 84(2):137-152. Disponible en doi:10.2307/2261350
- Loiselle, B; Blake, JG.1991. Temporal Variation in Birds and Fruits Along an Elevational Gradient in Costa Rica. *Ecology* 72(1):180-193. Disponible: 10.2307/1938913
- MAPANCE (Mancomunidad de Municipios del Parque Nacional Montaña de Celaque).2019. Parque Nacional Montaña de Celaque y Biosfera Cacique Lempira Señor De Las Montañas 2018-2019. Gracias Lempira, Honduras.
- Martínez, O; Rechberger, J. 2007. Características de la avifauna en un gradiente altitudinal de un bosque nublado andino en La Paz, Bolivia. *Revista Peruana de Biología* 14(2):225-236.
- McCain, CM. 2009. Global analysis of bird elevational diversity. *Global Ecology and Biogeography* 18(3):346–360.
- McCain, CM; Grytnes A., J. 2010. Elevational Gradients in Species Richness. Wiley Disponible en doi.org/10.1002/9780470015902.a0022548.

- Maglianesi, M.A; Böhning-Gaese, K.; Schleuning, M. 2015. Different foraging preferences of hummingbirds on artificial and natural flowers reveal mechanisms structuring plant–pollinator interactions. *J Anim Ecol*, 84: 655-664. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12319>
- Malhi, Y; Silman M; Salinas, M. Bush, P. Meir, S. Saatchi. 2010. Introduction: Elevation gradients in the tropics: laboratories for ecosystem ecology and global change research. *Global Change Biology* 16(12) 3171-3175
- MEA (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio). 2005. Un Informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Disponible en <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>
- Medrano Meraz, M deJ; Hernández, FJ; Corral Rivas, S; Nájera Luna, JA. 2017. Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8:57-68.
- Primack, R.; Rozzi, R.; Feinsinger, P.2001. Diseño de áreas protegidas. Fundamentos de conservación biológica Perspectivas latinoamericanas. Fondo de Cultura Económica, México D.F. 477-496
- Ramírez-Albores, JE; Pérez-Suárez, M. 2018. Tropical forest remnants as shelters of avian diversity within a tourism development matrix in Yucatan Peninsula, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 66(2):799-813. Disponible en 10.15517/rbt.v66i2.33410
- Ralph, CJ; Geupel, GR; Pyle, P; Martin, TE; DeSante, DF; Mila, B. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Albany, CA, United States of America, Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 46 p.
- Rahbek, C; Borregaard, MK; Colwell, RK; Dalsgaard, B; Holt, BG; Morueta-Holme, N; Noguez-Bravo, RJ; Whittaker, JF. 2019. Humboldt’s enigma: What causes global patterns of mountain biodiversity? *Science* 365:1108-1113. Disponible en <https://science.sciencemag.org/content/sci/365/6458/1108.full.pdf>
- Royle, JA. 2004. Modelos de mezcla N para estimar el tamaño de la población a partir de recuentos replicados espacialmente. *Biometrics* 60:108-105.
- Ruiz-Gutiérrez, V; Calderón Parra, JC; Berlanga, H. 2018. Programa de América Latina para Aves Silvestres: Proalás. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) / Iniciativa para la Conservación de las Aves de América del Norte (NABCI-México).
- Katerina, S; Koane, B; J Jeppy, S; Sykorova, J; Novotny, V.2017. Diet of land birds along an elevational gradient in Papua New Guinea. Disponible en www.nature.com/articles/srep44018#Sec2
- Sánchez GA; López-Mata, L.2006.Composición y patrones de distribución geográfica de la flora del bosque de oyamel del Cerro Tlálloc, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 79. 67-78 Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57707907>

- Schlönvoigt, M. 2019. La importancia de los corredores biológicos como estrategia de conservación de la biodiversidad y adaptación al cambio climático. *Ambientico* 272:13-18.
- Salas-Correa, ÁD; Mancera, NJ. 2018. Relationships Between Bird Diversity and Vegetation Structure In Four Secondary Forest Successional Stages, Antioquia, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 21(2):519-529. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v21n2/0123-4226-rudca-21-02-00519.pdf>
- Sekercioglu, CH; Mendenhall, CD; Oviedo-Brenes, F; Horns, JJ; Ehrlich, PR; Gretchen C, D. 2019. Disminución a largo plazo de las poblaciones de aves en el campo agrícola tropical. Disponible en <https://www.pnas.org/content/116/20/9903>
- Solórzano, S; Oyama, K. 2002. El quetzal, una especie en peligro de extinción. *Biodiversidad* 45:1-6.
- Thiollay, JM. 2002. Bird diversity and selection of protected areas in a large neotropical forest tract. *Biodiversity and Conservation* 11(8):1377-1395. Disponible en 10.1023/A:1016269813160
- Thiollay, JM. 1992. Influence of Selective Logging on Bird Species Diversity in a Guianan Rain Forest. Paris, France, Laboratoire d'Ecologie.
- Veintimilla, D; Ngo Being, MA; Delgado, D; Vílchez-Mendoza, S; Zamora, N; Finegan, B. 2019. Drivers of tropical rainforest composition and alpha diversity patterns over a 2,520 m altitudinal gradient. *Ecology and Evolution* 9(10):5720-5730.
- UICN 2020. The IUCN red list threatened species (en línea, sitio web). Consultado octubre 2020 Disponible <https://www.iucnredlist.org/>
- Vázquez G, JA; Givnish, TJ. 2002. Altitudinal gradients in tropical forest composition, structure, and diversity in the Sierra de Manantlán. *Journal of Ecology* 86(6): 999-1020. Disponible en 10.1046/j.1365-2745.1998.00325.
- YEE WT.2006. Constrained additive ordination. *Ecology*, 87(1). 203–213

ANEXOS

Anexo 1. Lista de las 10 especies de aves más abundantes distribuidas en los dos transectos muestreados en el Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras. Appendix 1. List of 10 most abundant bird species distributed in the two Transects sampled in Montaña de Celaque National Park, Honduras

Transecto A Nombre científico	Código especie	1100 1A	1200 1A	1200 2A	1300 1A	1400 1A	1400 2A	1500 1A	1600 1A	1600 2A	1700 1A	1800 1A	1800 2A	1900 1A	2000 1A	2000 2A	2100 1A	2200 1A	2200 2A	2300 1A	2400 1A	2400 2A	2500 1A	2600 1A	2600 2A	2700 1A	2800 1A	2800 2A	Total	
<i>Aulacorhynchus prasinus</i>	AULPRA				2				1		1	1		1	2	4	1	2	2		2	2							1	22
<i>Cardellina pusilla</i>	CARPUS	3	2	5		2	3	1			2				1		3	2	1	2	1	1	2							31
<i>Clorospingus flavopectus</i>	CHLFLP								3					3	5	3	6	3	3	5	1	6	5	4	4	4	2	2		59
<i>Cyanocorax melanocyaneus</i>	CYAMEL	7	3	3	2	1	1	1		1	2																			26
<i>Myadestes occidentalis</i>	MYAOCC				3	3	6	7	2	2	1	1	1	1	2	1														34
<i>Myadestes unicolor</i>	MYAUNI								1	1				2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	3	2	1				34
<i>Myioborus pictus</i>	MYIPIC	1	2	1	2	3	2	2				1																		21
<i>Penelopina nigra</i>	PENNIG														2	2	1	3	2	1	4	3	3	1		1				23
<i>Setophaga virens</i>	SETVIR	3	3		1		2	1	1		1	2		3			1			2										21
<i>Trogon mexicanus</i>	TROMEX										2		1	1	1	1		1	2	2	1	3		3	4	1				23
Total, general		14	10	9	10	9	14	12	8	4	9	5	2	11	16	13	14	14	13	15	12	18	12	11	10	7	2	3	294	

Transecto B Nombre Científico	Código de especies	1100 1B	1100 2B	1200 1B	1200 2A	1300 1B	1300 2B	1400 1B	1500 1B	1500 2B	1600 1B	1700 1B	1700 2B	1800 1B	1900 1B	1900 2B	2000 1B	2100 1B	2100 2B	2200 1B	2300 1B	2300 2B	2400 1B	2500 1B	2600 1B	2700 1B	2700 2B	2849 1B	Total general	
<i>Cardellina pusilla</i>	CARPUS		2		5										2	2	1	1												13
<i>Clorospingus flavopectus</i>	CHFLP																									1	2	3		
<i>Coragyps atratus</i>	CORATR	2	1		1		1		2	3	1	3		2									1	1				1	19	
<i>Cyanocorax melanocyaneus</i>	CYAMEL			1	3		1	2	2			1	3	1	2				1										17	
<i>Myadestes occidentalis</i>	MYAOCC											2	1	1	2														6	
<i>Myadestes unicolor</i>	MYAUNI																			1	1							1	3	
<i>Myioborus pictus</i>	MYIPIC		1		1		1	1	1	1	2	2	1	2		2	1												16	
<i>Penelopina nigra</i>	PENNIG																									2	1	1	4	
<i>Pharomachrus mocinno</i>	PHAMOC																									1	8	1	10	
<i>Setophaga virens</i>	SETVIR		1			2		1			1																		5	
<i>Trogon mexicanus</i>	TROMEX																1	1							1	1	1	2	1	8
Total general		2	5	1	10	2	3	4	5	4	4	8	5	6	6	4	3	3	1	1			1	2	1	5	11	7	104	

Anexo 2. Especies endémicas registradas en parcelas de vegetación y sotobosque a lo largo del gradiente altitudinal del Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras

Appendix 2. Endemic species recorded in vegetation and understory plots along the Altitudinal Gradient of Montaña de Celaque National Park, Honduras

No	Especie	Familia
1	<i>Ageratina intibucensis</i>	Asteraceae
2	<i>Alfaroa hondurensii</i>	Juglandaceae
3	<i>Chamaedorea frondosa</i>	Aracaceae
4	<i>Ctenitis leoni</i>	Dryopteridaceae
5	<i>Dendropanax hondurensis</i>	Araliaceae
6	<i>Oreopanax lempiranus</i>	Araliaceae
7	<i>Rondeletia evansii</i>	Rubiaceae
8	<i>Rubus hondurensis</i>	Rosacea
9	<i>Salvia dorisiana</i>	Lamiaceae
10	<i>Senecio magistri</i>	Asteraceae
11	<i>Senecio merendonensis</i>	Asteraceae
12	<i>Weinmannia abstrusa</i>	Rubiaceae
13	<i>Ilex williamsii</i>	Aquifoliaceae

Anexo 3. Lista de especies registradas fuera de puntos de muestreo en el Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras

Appendix 3. List of species registered outside sampling points in Montaña de Celaque National Park, Honduras

No.	Familia	Especie	Código
1		<i>Bubo virginianus</i>	BUBVIR
2		<i>Ciccaba virgata</i>	CICVIR
3	Strigidae	<i>Strix fulvescens</i>	STRFUL
4		<i>Aegolius ridgwayi</i>	AEGRID
5		<i>Athene cunicularia</i>	ATHCUN
6	Cathartidae	<i>Sarcoramphus papa</i>	SARPAP
7	Trogonidae	<i>Pharomachrus mocinno</i>	PHAMOC
8	Accipitridae	<i>Accipiter striatus</i>	ACCSTR

Anexo 4. Matriz de coeficiente de variables de vegetación y elevación obtenidas por el análisis de ordenación cuadrática restringida para riqueza de especies de aves en los diferentes gremios en el Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras

Appendix 4. Coefficient matrix of vegetation and elevation variables obtained in restricted quadratic ordination analysis for bird species richness in the different guilds, in Montaña de Celaque National Park, Honduras

Elevación	-0,15613659
CP.1	0,04319004
CP.2	-0,03907377
MDS1	-0,09085946
MDS2	-0,03145119

Anexo 5. Matriz de coeficientes de variables de vegetación y elevación obtenidos por el análisis de ordenación cuadrática restringida para abundancia de aves en los diferentes gremios en el Parque Nacional Montaña de Celaque, Honduras

Appendix 5. Coefficient matrix of vegetation and elevation variables obtained in restricted quadratic management analysis for bird abundance in the different guilds, in Montaña de Celaque National Park, Honduras

elevación	-0,35878918
CP.1	0,15985154
CP.2	-0,01190803
MDS1	-0,1776649
MDS2	-0,12231062
