

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
INSTITUTO INTERNACIONAL EN CONSERVACION
Y MANEJO DE VIDA SILVESTRE

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y EVALUACIÓN DEL HÁBITAT DE LA GALLINA DE
MONTAÑA (*DENDRORTYX LEUCOPHRYS*) EN GUATEMALA

Juan Miguel Quiñónez Guzmán

Heredia, junio de 2017

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador de Postgrado
de la Universidad Nacional para optar al título de Magister Scientiae
en Conservación y Manejo de Vida Silvestre

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y EVALUACIÓN DEL HÁBITAT DE LA GALLINA DE
MONTAÑA (*DENDRORTYX LEUCOPHRYS*) EN GUATEMALA

Juan Miguel Quiñónez Guzmán

Tesis presentada para optar al grado de Magister Scientiae en Conservación y Manejo de
Vida Silvestre. Cumple con los requisitos establecidos por el Sistema de Estudios de
Posgrado de la Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.

Miembros del Tribunal Examinador



Dr. Luis Alfredo Miranda Calderón
Representante del Consejo Central de Posgrado



Dr. Luis Diego Alfaro
Representante de la Dirección del
ICOMVIS



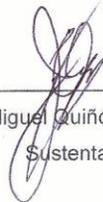
Manuel Spinola Parallada Ph.D.
Tutor



Joel Sáenz Méndez M.Sc.
Asesor



Javier Rivas Romero M.Sc.
Asesor



Juan Miguel Quiñónez Guzmán
Sustentante

RESUMEN

La gallina de montaña (*Dendrortyx leucophrys*) es un ave endémica a Mesoamérica de la familia Odontophoridae. Se sabe que está distribuida desde Chiapas (México) a Costa Rica, sin embargo, el mapa de distribución conocido fue realizado a partir de polígonos de distribución a “mano alzada”, establecidos según registros de presencia de la especie, revisión de literatura y a discreción de expertos. Por tanto, no refleja a detalle el área, localidades, ni variables determinantes en la distribución de la especie. Por otro lado, aspectos de historia natural como las preferencias de hábitat de la gallina de montaña, son poco conocidos ya que es una especie elusiva, por lo que se ignoran características ecológicas básicas. Esto impide generar lineamientos de manejo, a pesar de ser una especie sujeta a presión por cacería. El objetivo de este estudio fue analizar aspectos biogeográficos y ecológicos de la gallina de montaña en su ámbito de distribución. A partir de registros georeferenciados de la especie y de información bioclimática, se generaron modelos de distribución. En la escala biogeográfica, la altitud fue la variable más importante para explicar la distribución de la especie seguido por dos variables asociadas a la temperatura (temperatura máxima del mes más caliente y temperatura media anual). Se estimó que el área de distribución de la gallina de montaña es de 10.845 km², de los cuales 42,68% se encuentran dentro de áreas protegidas. A escala local, se evaluó la selección de hábitat de la gallina de montaña, para lo cual se establecieron 45 puntos de conteo de radio fijo (r= 50m) en cuatro bosques del departamento de Guatemala, en los cuales se registró la presencia/ausencia de la especie. Se ajustaron modelos de regresión logística con los datos de presencia y variables de hábitat (número de árboles, DAP, altura y cobertura del dosel, altura y cobertura de hierbas, humedad y temperatura ambiental y del sustrato). Se encontró que la selección de unidades de recurso por la gallina de montaña está relacionada negativamente con el número de árboles y con la cobertura del dosel y positivamente con la cobertura de hierbas. En conclusión, la gallina de montaña tiene una distribución relativamente pequeña, discreta y limitada por la altitud y la temperatura y, aunque se registró mayormente en zonas de ecotonos o bordes, necesita la presencia de bosque. Con base en su estrecha distribución geográfica y en que no se tienen datos sobre números poblacionales, se recomienda re-categorizar a la especie en cuanto a su estado de conservación, de “menor importancia” a “deficiente de datos”. Además, se recomienda evaluar si existe cacería furtiva y el impacto que puede tener para las poblaciones de esta especie. También se recomienda generar información específicamente sobre aspectos demográficos, función ecológica y filogeografía de la especie.

ABSTRACT

The Buffy-crowned Wood Partridge (*Dendrortyx leucophrys*) is an endemic mesoamerican bird of the Odontophoridae family. It is distributed from Chiapas (Mexico) to Costa Rica, but distribution map was made from “hand free” polygons of distribution, established with presence records of the species, reviewing of literature and expert criteria. For these reasons, it does not reflect details about areas, locations, nor determinant variables in the distribution of this species. On the other hand, aspects about natural history as habitat preferences of the Buffy-crowned Wood Partridge are little known because it is considered an elusive species, so basic ecological aspects are ignored. This does not permit to generate management guidelines, although it is a species with hunting pressure. The goal of this research was to analyze biogeographic and ecological aspects of the Buffy-crowned Wood Partridge in its geographical distribution range. At biogeographic scale, the altitude was the most important variable followed by two other variables related to temperature (Maximum temperature of the hottest month and Mean annual temperature). The area of distribution of the species was estimated in 10.845 km², of which 42,68% are on protected areas. To local scale, habitat selection of Buffy-crowned Wood partridge was evaluated, for which it was established fixed ratio pointing counts (r=50m) in four forests of Guatemala department, where registered presence/absence of the species was done. Logistic regression models with presence data and habitat variables (number of trees, DBH, height and cover of the canopy, height and cover of herbs, humidity and temperature of environment and substrate temperature) was adjusted. Selection of resource units by the Buffy-crowned Wood Partridge was related negatively with the number of trees and with canopy cover and it was related positively with herbs cover. In conclusion, the Buffy-crowned Wood Partridge has a relative small and discrete distribution, limited by altitude and temperature and although it was registered specially in ecotones or forest edges areas, it still needs the presence of forest. It is recommended to re-categorize conservation status of this species, from Least Concern to Data Deficient, based on its narrow geographic distribution and the lack of population numerical data. Furthermore, it is recommended to evaluate the impact of poaching in this species populations and to generate information specifically about demographic topics, ecological function of the species and phylogeography.

AGRADECIMIENTOS

A la sección de fauna del Centro de Datos para la Conservación, Centro de estudios Conservacionistas de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CDC-CECON-USAC) en especial al biólogo Manolo García por facilitarme información sobre registros de la gallina de montaña en Guatemala. Al M.Sc. José Castro del laboratorio de teledetección y sistemas de información geográfica del ICOMVIS-UNA por facilitarme algunas capas de información digital para Mesoamérica.

A la biblioteca de sonidos de *Macaulay library* del *Cornell Lab of Ornithology* por proveerme las grabaciones de alta calidad de la especie *Dendrortyx leucophrys* (ML 2642). A la institución IdeaWild por la donación de una grabadora digital de alta calidad y una memoria *Flash card* para la reproducción de las vocalizaciones en campo.

Al ecólogo Challen Willemsen de la Finca El Tular, por la ayuda en la gestión de mi estadía en el lugar y por la identificación botánica de las especies registradas durante los muestreos. Así como también al personal de campo del lugar por compartirme información sobre el nido de la gallina de montaña e información anecdótica sobre observaciones de la especie.

Al biólogo Alejandro Sagone, por facilitarme el acceso a las propiedades privadas del Cerro Naranjo, y por su colaboración profesional durante los muestreos en campo. A la administradora del parque ecológico Cayalá doña Patricia Lux, al director de la sección metropolitana de Fundaeco lic. César Barrios y a todo el personal del parque por facilitarme el acceso al mismo y su disposición profesional a colaborar con mi trabajo siempre. Al administrador del parque Kanjuyú José Luis González por su atención y disposición a colaborar conmigo, a pesar de que ya no fue posible realizar los muestreos en dicho sitio. Al personal del parque Muxbal, por su atención y por su disposición en brindarme información sobre observaciones de la especie en el lugar.

A BirdLife International por proveerme la información geográfica digital de los polígonos de distribución de la gallina de montaña, especialmente a Mark Balman de la oficina GIS, la información la solicité a través de la dirección electrónica

<http://datazone.birdlife.org/species/requestdis>

A la prof. Dr. Ilse Storch, (ex) co-presidente del grupo especialista de Galliformes de la IUCN y directora del departamento de Ecología y Manejo de Vida silvestre de la Universidad de Freiburg, Alemania. Por aceptarme en su departamento para realizar parte del análisis de los datos y a todo el personal de dicho departamento por realizar valiosas observaciones a mi investigación.

Al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD por sus siglas en alemán) por beneficiarme con las becas: 2015-91586821, 2016-8011162 y 2017-91586821 para realizar los estudios del programa de maestría del ICOMVIS. También el DAAD me benefició con la beca del programa *Research grants-short term grants 2017-57314022/91586821* para realizar la estancia corta de investigación en la universidad de Freiburg, Alemania.

A los profesores miembros de mi comité de tesis: Dr. Manuel Spinola, M.Sc. Joel Saénz (ICOMVIS) y M.Sc. Javier Rivas (Escuela de Biología de la Universidad de San Carlos de Guatemala), por su apoyo y orientación en la realización de esta investigación.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	IV
ABSTRACT	IV
AGRADECIMIENTOS	V
LISTA DE CUADROS	IX
LISTA DE FIGURAS	10
INTRODUCCIÓN	12
AREA DE ESTUDIO	19
Sección 1.01 Determinación de la distribución geográfica de la gallina de montaña	19
Sección 1.02 Selección de hábitat de la gallina de montaña en Guatemala	20
MÉTODOS	23
Sección 1.03 Determinación de la distribución geográfica de la gallina de montaña	23
Sección 1.04 Selección de hábitat de la gallina de montaña en Guatemala	25
(a) Registro de presencias	25
(b) Medición de variables de hábitat	26
Sección 1.05 Análisis de datos	29
(a) Determinación de la distribución geográfica de la gallina de montaña	29
(b) Selección de hábitat de la gallina de montaña en Guatemala	30
RESULTADOS	31
Sección 1.06 Determinación de la distribución geográfica de la gallina de montaña	31

Sección 1.07 Selección de hábitat de la gallina de montaña en Guatemala	38
DISCUSION	46
Sección 1.08 Determinación de la distribución geográfica de la gallina de montaña	46
Sección 1.09 Selección de hábitat de la gallina de montaña en Guatemala	50
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
LITERATURA CITADA	56
ANEXOS	63
Sección 1.10 Anexo A. La gallina de montaña (<i>Dendrortyx leucophrys</i>) especie endémica a Mesoamérica, distribuida discontinuamente desde Chiapas (México) hasta Costa Rica. Crédito fotográfico: Claire de Masaya. Facilitada por: Parque ecológico Cayalá	63
Sección 1.11 Anexo B. Especies de plantas de las parcelas en donde se midieron variables de hábitat en puntos de conteo con presencia y ausencia de detección de la gallina de montaña en la finca El Tular, San José Pinula, Guatemala (información proporcionada por el ecólogo del lugar Challen Willemsen).	64
Sección 1.12 Anexo C. Nido de la gallina de montaña encontrado en la finca El Tular, San José Pinula, Guatemala el 15 de julio de 2016.	68

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1 Sitios de muestreo y sus características biofísicas en los cuales se establecieron puntos de conteo para evaluar la selección del hábitat de la gallina de montaña en el departamento de Guatemala en el año 2016. La descripción de la vegetación en el sitio El Tular se detalla en el Anexo B	22
Cuadro 2. Descripción de las variables utilizadas para el modelamiento de distribución de la gallina de montaña obtenidas de la base de datos de Worldclim (http://www.worldclim.org/version1) en el año 2017.	24
Cuadro 3 Variables de hábitat medidas y su respectiva descripción, que podrían potencialmente explicar la presencia de la gallina de montaña en puntos de conteo establecidos en bosques del departamento de Guatemala, Guatemala, 2016.	28
Cuadro 4. Evaluación de los algoritmos utilizados para el modelamiento de la distribución de la gallina de montaña en 2017, según criterios de AUC (Área bajo la curva ROC), TSS (True skill statistics) y Deviance (desviación)	34
Cuadro 5. Modelos de regresión logística explicando la presencia en la selección de hábitat de la gallina de montaña en 2017, según criterio de información de Akaike (AICc), diferencia entre valores del criterio de Akaike ($\Delta AICc$) y peso de los modelos (w_i).....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1 Mapa de distribución geográfica de la gallina de montaña según BirdLife International and Handbook of the Birds of the World (2016).	13
Figura 2. Localización geográfica de cuatro sitios en el departamento de Guatemala, en donde se evaluó la selección del hábitat de la gallina de montaña, en el año 2016.	21
Figura 3 Puntos de conteo utilizados para evaluar la selección de hábitat de la gallina de montaña en bosques del departamento de Guatemala, Guatemala en 2016. Radio de cada punto: 50m; distancia entre el centro de un punto al centro del próximo: 200m.	25
Figura 4. Parcela de 12 m de radio (línea discontinua) establecida en el borde de cada punto de conteo (línea continua), utilizada para el muestreo de variables de hábitat. Dentro de cada parcela, 5 sitios de muestro fueron establecidos (círculos llenos) en donde se tomaron los datos para evaluar la selección de hábitat de la gallina de montaña en el departamento de Guatemala en 2016 (la ilustración no está a escala espacial).	27
Figura 5. Registros de la gallina de montaña utilizados para generar modelos de distribución de la especie en 2017, obtenidos de la base de datos de <i>Global Biodiversity Information Facility</i> (GBIF), el Centro de Estudios Conservacionistas de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CECON-USAC) y datos de campo de este estudio.	32
Figura 6. Mapas de distribución de la gallina de montaña, generados por 10 diferentes algoritmos en 2017. De izquierda a derecha: BRT (Boosted Regression Trees), CART (Classification And Regression Trees), GAM (Generalized Additive model), GLM (Generalized Lineal Models), MARS (Multivariate Adaptive Regression Spline), MaxEnt (Maximum Entropy), MaxLike, RF (Random Forest), RPART (Recursive Partitioning) y SVM (Support Vector Machine). Los valores en la paleta de colores muestran información probabilidad de idoneidad de hábitat para la especie desde 0 hasta 1.	33
Figura 7. Importancia relativa de las variables utilizadas para el modelamiento de la distribución de la gallina de montaña en 2017.	34
Figura 8. Mapa de distribución de la gallina de montaña, generado a partir del algoritmo Random Forest (RF), en 2017. Los valores en la paleta de colores muestran información de probabilidad de idoneidad de hábitat para la especie desde 0 hasta 1.	35

- Figura 9. Mapa binario (ausencia/presencia) para estimar el área de distribución de la gallina de montaña en 2017, generado a partir del algoritmo Random Forest (RF), y utilizando el enfoque de prevalencia (Liu et al. 2005), para fijar umbrales de valores de idoneidad. El valor del umbral estimado para RF fue de 45%. 36
- Figura 10. Traslape entre el área de distribución de la gallina de montaña y las áreas protegidas en 2017. 37
- Figura 11. Número de nuevas presencias detectadas por días de muestreo continuos en los puntos de conteo establecidos en bosques del departamento de Guatemala, Guatemala para evaluar la selección de hábitat de la gallina de montaña en 2017. 38
- Figura 12. Valores de mediana (línea horizontal al centro de la caja) y primero y tercer cuartil (línea inferior y superior de la caja respectivamente), valores de media (punto rojo de mayor tamaño) y valores de las mediciones (puntos azules) de variables utilizadas para evaluar la selección de hábitat de la gallina de montaña en el departamento de Guatemala, Guatemala en 2017. Los gráficos comparan los estadísticos entre los sitios con Ausencia (A) y Presencia (P) de la especie. De Izquierda a derecha y de arriba hacia abajo las variables son: Número de árboles por unidad de muestreo, Diámetro a la altura del pecho DAP, altura del dosel, cobertura del dosel, altura de hierbas, cobertura de hierbas, humedad, temperatura ambiental y temperatura de sustrato. 40
- Figura 13. Correlación entre las potenciales variables ambientales explicativas para la presencia de la gallina de montaña en los puntos de conteo, en el departamento de Guatemala, Guatemala en 2017. Los valores numéricos corresponden al coeficiente de correlación de Pearson (P x,y). 42
- Figura 14. Relación entre la probabilidad de selección y número de árboles por unidad de muestreo (radio= 12 m), para explicar la presencia de la gallina de montaña en los puntos de muestreo en el departamento de Guatemala, Guatemala, 2017, según el ajuste de modelos de regresión logística. 43
- Figura 15. Relación entre la probabilidad de selección y cobertura del dosel, para explicar la presencia de la gallina de montaña en los puntos de muestreo en el departamento de Guatemala, Guatemala, 2017, según el ajuste de modelos de regresión logística. 44
- Figura 16. Relación entre la probabilidad de selección y cobertura de hierbas, para explicar la presencia de la gallina de montaña en los puntos de muestreo en el departamento de Guatemala, Guatemala, 2017, según el ajuste de modelos de regresión logística. 45

INTRODUCCIÓN

La gallina, perdiz o codorniz de montaña (*Dendrortyx leucophrys*) es un ave de la familia Odontophoridae (Anexo A). En esta familia se clasifican las gallinas del nuevo mundo, y está ubicada dentro del orden de los Galliformes (Gutiérrez 1980). La gallina de montaña es endémica a Mesoamérica y de manera general se sugiere que está distribuida discontinuamente desde Chiapas en México, hasta Costa Rica, sin embargo, no se conoce a detalle el área, ni las localidades en que está presente, ya que los mapas de distribución conocidos solamente establecen polígonos de distribución realizados a “mano alzada” a partir de los límites de distribución según registros de presencia de la especie, revisión de literatura y a discreción de expertos (Mota-Vargas & Rojas-Soto 2012, IUCN 2016, BirdLife International and Handbook of the Birds of the World 2016, BirdLife International 2017; Figura 1). La especie se ha reportado en el rango altitudinal entre los 1.000 a 2.800 msnm; aunque también hay reportes a mayores y menores altitudes (Stiles y Skutch 1998, Aguilar-Rodríguez 2000, Van Perlo 2006). En Guatemala, se le ha reportado en las montañas centrales y del noroccidente del país, es decir, en el altiplano occidental (≥ 900 msnm), así como en la cadena volcánica que atraviesa el sur del país de occidente a oriente (Eisermann y Avendaño 2006).

Se conoce que esta especie habita en bosques de montaña siempre verdes, de pino-encino y nubosos, aunque también se encuentra en hábitats más secos, como bosques de encino e incluso en áreas de crecimiento secundario (Johnsgard 1988). Aunque principalmente se encuentra en sitios con denso sotobosque (Land y Trim 1970, Howell y Webb 1995, Stiles y Skutch 1998), también se ha reportado en plantaciones de café con sombra y en pastizales en el borde de parches de bosques ribereños (Sandoval et al. 2013). Pasa la mayor parte del tiempo en el suelo entre matorrales, escarbando entre la hojarasca en busca de alimento (Del Hoyo et al. 1994, Stiles y Skutch 1998).

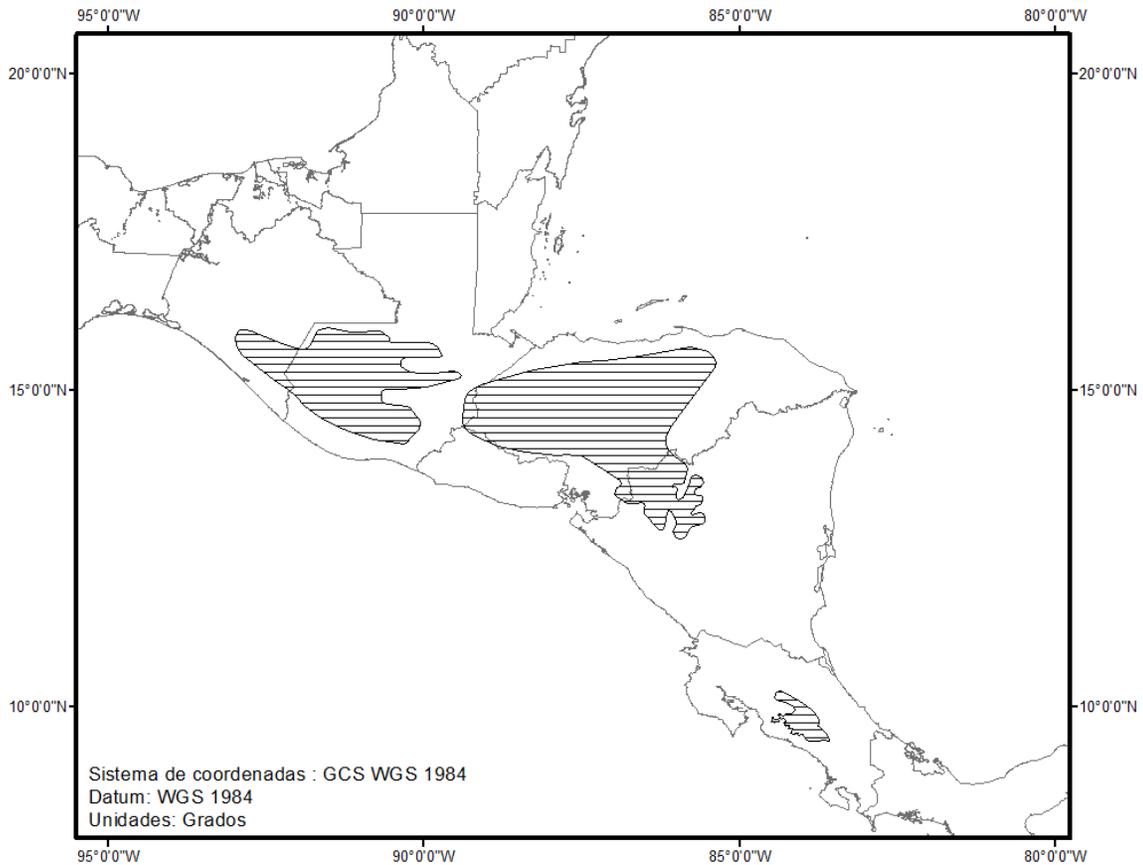


Figura 1 Mapa de distribución geográfica de la gallina de montaña según BirdLife International and Handbook of the Birds of the World (2016).

La historia natural de la gallina de montaña es poco conocida, no se conoce con certeza la distribución geográfica de las localidades en que está presente, ni tampoco características específicas de su hábitat, debido a que es una especie considerada elusiva (Johnsgard 1988). A pesar de esto, está documentado que es una especie sujeta a cacería, ya sea como actividad deportiva o para consumo humano, principalmente en áreas rurales (CECON-PROBIOMA 2005). En Guatemala, anteriormente fue permitida la cacería deportiva y de subsistencia (CONAP 2006), sin embargo, recientemente se prohibió su aprovechamiento (CONAP 2011). El desconocimiento de información científica básica sobre la gallina de montaña ha imposibilitado establecer lineamientos de manejo para la especie.

El hábitat de una especie es una porción de la superficie de la tierra que es capaz de colonizar y que le brinda recursos críticos (por ejemplo: comida y refugio) para su supervivencia y reproducción (Fretwell y Lucas 1970, Morrisson et al. 2006, Anderson y Gutzwiller 2005). El hábitat generalmente es especie-específico, definido por un área con una combinación de condiciones físicas y bióticas que son seleccionados positivamente por la especie (Morris 2003, Morrisson et al. 2006).

El hábitat es un aspecto central en el manejo y conservación de la vida silvestre. A través de la evaluación de hábitat, se puede conocer la selección de los recursos utilizados para identificar el “hábitat crítico” para las especies, así como la cantidad y calidad de hábitat disponible para determinada especie, lo cual puede ayudar a evaluar la viabilidad de las poblaciones. Además, se puede monitorear si la cantidad y calidad del hábitat mejora o declina a través del tiempo, y las consecuencias del cambio de uso de la tierra y el clima (entre otros factores), en especies que son objeto de manejo, como las especies cinegéticas (Anderson y Gutzwiller 2005, Morris et al. 2008).

La distribución espacial del hábitat en las aves está usualmente basada en la selección, es decir, los individuos preferencialmente utilizan o seleccionan de manera no azarosa un conjunto de hábitat disponibles (Fretwell y Lucas 1970, Morris 2003). A partir del entendimiento de las respuestas a la selección de hábitat, es posible aproximarse al entendimiento de la distribución del mismo (Fretwell y Lucas 1970).

La delimitación espacial del hábitat a nivel regional o biogeográfico comprendido como el área de distribución geográfica de una especie, es fundamental para mejorar la comprensión sobre su historia natural, así como para la toma de decisiones en conservación y manejo (Krebs 2009, Lamoureux et al. 2006, Mota-Vargas y Rojas-Soto 2012). Las áreas de distribución generalmente se representan como mapas, detrás de los cuales, existen patrones espaciales y temporales en los cuales los organismos se distribuyen (Soberón 2007).

Tres factores han sido identificados como importantes en la definición de la distribución de las especies: **1)** la distribución espacial de condiciones ambientales favorables para la sobrevivencia y reproducción de los individuos, llamadas variables abióticas (A) o nicho ecológico Grinelliano (Hutchinson 1978, Soberón y Peterson 2005, Soberon 2007), **2)** el ambiente biótico (B), el cual está constituido por los competidores, depredadores y patógenos de la especie, junto con la disponibilidad dinámica de los recursos consumibles, también llamadas variables bionómicas o nicho ecológico Eltoniano (Hutchinson 1978, Soberón y Peterson 2005) y **3)** la capacidad de movimiento (M) o dispersión de la especie (Soberón y Peterson 2005).

Es posible proyectar geográficamente el área de distribución de una especie a partir del modelamiento de su nicho ecológico, utilizando información sobre las variables abióticas (A) y el área de dispersión (M) de dicha especie (nicho fundamental, relacionado con los límites fisiológicos de las especies). Ya que se sabe que a una resolución gruesa (biogeográfica), las variables bióticas (B) no son determinantes, sino más bien a escalas locales. La teoría ecológica y la experiencia han demostrado que a las escalas geográficas a las cuales las distribuciones están definidas, la presencia de factores bióticos, no necesariamente implica que el área de distribución se reduce (Soberón 2007). Una gran cantidad de información sobre datos geo-referenciados de presencia de especies y sobre variables abióticas están disponibles y pueden ser utilizadas para atender problemas relacionados con caracterización y variación de la distribución del hábitat de las especies (Soberón 2007).

A una escala espacial menor (escala local o ecológica), las aves generalmente seleccionan su hábitat con base en características estructurales como por ejemplo la altura y densidad de la vegetación, entre otras (Cody 1985). Sin embargo, no todas las variables del hábitat tienen los mismos valores de importancia, muchas pueden ser irrelevantes, mientras que otras, como, por ejemplo, la temperatura y la humedad son generalmente importantes (Fretwell y Lucas 1970).

A través de estudios de selección de hábitat se intenta relacionar la presencia de la especie de interés a ciertos atributos a medir (p.ej. atributos físicos y bióticos), por lo que se asume que las características del hábitat en donde está presente la especie, corresponden a aquellas que son seleccionadas positivamente y de manera desproporcional a su disponibilidad (Guiérrez 1980, Block et al. 1987). El conocimiento sobre la selección de recursos por un animal puede ser aplicado para darle manejo y priorizar los recursos que son identificados como importantes para la especie (Thomas y Taylor 2006).

A modo de antecedentes, existen algunas investigaciones ecológicas de las tres especies que conforman el género *Dendrortyx*: La gallina de montaña (*Dendrortyx leucophrys*), y otras dos especies restringidas en su distribución a México: *Dendrortyx macroura* y *Dendrortyx barbatus*. En un estudio sobre abundancia y distribución de *Dendrortyx macroura*, realizado en Michoacán, México, los investigadores encontraron la mayor densidad poblacional en hábitat con dosel cerrado y altamente estratificado, en comparación con otros sitios, además, a nivel de macrohábitat la especie estuvo restringida a un tipo de vegetación, particularmente a la asociación vegetal *Pinus pseudostrobus-Ternstroemia pringeli*, mientras que a nivel de microhábitat, esta especie aparece como generalista en respuesta a la distribución de las asociaciones vegetales en un gradiente de uso del hábitat (Chavéz-León y Velázquez 2004).

En cuanto a *Dendrortyx barbatus*, se conocen al menos tres publicaciones sobre aspectos ecológicos de la especie. Eitniear y Baccus (2002) estimaron la abundancia de esta especie en el noreste de México, siendo los meses de octubre y noviembre cuando se presentaron más registros. En otra publicación, se describe la ampliación de la distribución en la sierra norte de Oaxaca (Aguilar-Rodríguez 2000), además se reporta que la vegetación en donde se encontró la especie es una mezcla de especies primarias y secundarias, así como especies sembradas por campesinos locales como maíz, frijol y cafetales con sombra. Además, se reportó que la especie es conocida por campesinos locales, los cuales la asociaron a daños a cultivos de frijol, incluso como plaga. También se menciona que los campesinos ocasionalmente pueden incluirla en su dieta (Aguilar-Rodríguez 2000).

Asimismo, Mota-Vargas y Rojas-Soto (2012) realizaron una delimitación y comparación del área de distribución de *Dendrotyx barbatus* en México, utilizando cinco diferentes métodos, basados en registros históricos geo-referenciados. Encontraron que la modelación de nicho proveyó los mejores resultados, por lo cual sugieren que se utilicen estos métodos para la delimitación de áreas de distribución, principalmente en especies con alta restricción geográfica (Mota- Vargas y Rojas-Soto 2012).

Por otro lado, en una investigación sobre distribución geográfica, en la cual se analizaron las implicaciones de la incertidumbre taxonómica para el modelado de nichos para las tres especies del género *Dendrotyx* (Mota-Vargas y Rojas-Soto 2016). Utilizando los algoritmos GARP y Maxent para realizar los modelos, encontraron que las variables importantes para el modelo de nicho, cambian dependiendo del nivel taxonómico utilizado. A nivel de especies, encontraron que una combinación de variables de temperatura y precipitación fueron las más importantes (Mota-Vargas y Rojas-Soto 2016).

Con respecto a selección de hábitat a escala local, de la gallina de montaña (*Dendrotyx leucophrys*), las publicaciones disponibles están relacionadas a la descripción general de sitios de anidamiento, en hallazgos casuales de nidos en bordes de bosque en El Salvador (Komar et al. 2005) y Costa Rica (Sandoval et al. 2013).

Es importante investigar a la gallina de montaña, ya que, como todos los miembros del orden de los galliformes, históricamente han estado asociados a los humanos debido a que, su carne y huevos representan una rica fuente de proteínas (Fuller et al. 2000). La información generada a través de la investigación puede ser utilizada para lograr su aprovechamiento controlado, con lo cual se puede generar incentivos económicos que permitan su conservación y la de sus hábitats. El plan de acción de conservación para perdices, codornices, gallinas, pavos y similares a nivel mundial del grupo de especialistas en galliformes de la IUCN, indica que una de las cinco temáticas clave para la conservación de este grupo, es la obtención de información básica de las especies como: **distribución**, abundancia, densidad, **requerimientos de hábitat**, tolerancia a perturbación y uso de hábitat marginales entre otros aspectos (Fuller et al. 2000).

Está documentado el aprovechamiento para las tres especies del género *Dendrortyx* (Aguilar-Rodríguez 2000, CECON-PROBIOMA 2005), por lo cual estas codornices, al igual que otros miembros de la familia de las codornices del nuevo mundo, son consideradas de importancia económica. Sin embargo, para muchas especies que habitan bosques de montaña y bosques tropicales (como la gallina de montaña), aún no se han desarrollado estrategias de conservación. Generar información sobre la **distribución**, el estado de la población y el **hábitat** son aspectos indispensables para desarrollar estrategias de conservación apropiadas (Eitniear y Baccus 2002).

El estado de conservación a nivel mundial de la gallina de montaña es de menor importancia, ya que tiene una población mundial grande y un rango de distribución relativamente amplio (BirdLife International 2017). Sin embargo, no existen estudios sistemáticos que comprueben las anteriores aseveraciones.

Ante tal panorama, se plantearon las preguntas de investigación y objetivos que orientaron este estudio.

Preguntas de investigación

- ¿Cuál es la distribución geográfica de la especie?
- ¿Cuáles son las características del hábitat que determinan la presencia de la gallina de montaña en un sitio, y en toda su distribución?

Objetivo general

Analizar aspectos biogeográficos y ecológicos de la gallina de montaña en su ámbito de distribución.

Objetivos específicos:

1. Determinar la distribución geográfica de la gallina de montaña, y evaluar los atributos de hábitat que influyen en su distribución.
2. Analizar la selección del hábitat de la gallina de montaña en bosques del departamento de Guatemala, en Guatemala.

ÁREA DE ESTUDIO

Sección 1.01 Determinación de la distribución geográfica de la gallina de montaña

El análisis de la distribución geográfica de la especie, se realizó tomando el ámbito de distribución reportado en la literatura, o sea, Mesoamérica, abarcando desde Chiapas en México, hasta Costa Rica (Figura 1; Stiles y Skutch 1998, BirdLife International 2017). La región Mesoamericana, a nivel mundial es considerada como uno de los 25 *Hotspots* de prioridades de conservación de biodiversidad, porque posee al menos 1,7% de plantas endémicas y 4,2 % de vertebrados endémicos a nivel mundial (Myers et al. 2000).

Una de las asociaciones vegetales dominantes en las tierras altas de Mesoamérica, en donde habita la gallina de montaña, es la llamada ecorregión pino-encino, la cual está constituida por una dominancia de los géneros *Pinus* (a excepción de Costa Rica) y *Quercus*, dentro de un rango altitudinal de 600 a 2.500 msnm. Esta ecorregión es el resultado de alta actividad volcánica, sedimentación y migración de especies desde Norte y Suramérica, además posee características climáticas y edáficas favorables para la vida humana, por lo que ha sido históricamente, la comunidad vegetal más relacionada con las poblaciones humanas (CEAB-TNC 2009).

La temperatura ambiental en esta ecorregión varía, según el rango altitudinal, entre los 14 a 25 grados centígrados, mientras que la precipitación varía dependiendo de la orientación respecto a los vientos húmedos desde 900 a 3.700 mm anuales (Alianza para la Conservación de Pino-Encino de Mesoamérica 2008). Esta ecorregión tiene un alto número de especies endémicas de plantas, mamíferos, aves e insectos, se ha reportado que es hábitat de al menos 305 especies de aves, además de ser una ruta migratoria inter-regiones importante para al menos 225 especies de aves migratorias, considerándose la zona más importante de reabastecimiento para aves migratorias neotropicales (CEAB-TNC 2009).

Sección 1.02 Selección de hábitat de la gallina de montaña en Guatemala

Para analizar la selección del hábitat de la gallina de montaña, se realizaron muestreos en cuatro bosques de pino-encino y ciprés ubicados en una matriz urbana de la ciudad de Guatemala dentro del departamento de Guatemala (Figura 2, Cuadro 1). Las localidades se encuentran por encima de los 1.000 msnm y están ubicadas en la zona de vida bosque muy húmedo montano bajo subtropical según la clasificación de Holdridge, dicha zona está caracterizada por la presencia de especies vegetales: *Quercus* sp., *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrobus*, *Mimosa* sp., *Solanum americanus*, *Urtica* sp. entre otras. En la clasificación de Villar que se aplica a nivel nacional, los sitios están dentro del bioma bosque de montaña, el cual está caracterizado por abundancia de coníferas, encinos y otras. Además, tienen una diferencia marcada de temperatura entre la época fría y cálida (Castañeda 2008).

La mayoría de los bosques del departamento de Guatemala están dominados por encinos y/o coníferas, que interactúan en parches de distintas edades de sucesión vegetal, sujetos a intervención por la dinámica de la ciudad (urbanización, tala, contaminación, incendios, invasiones, industrialización, etc.). Algunas de las especies que se encuentran en el área son: *Alnus jorullensis*, *Arbutus xalapensis*, *Quercus spp.*, *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus oocarpa*, *Mimosa* sp., *Solanum americanum*, *Urtica* sp., *Taxodium mucronatum*, *Salix chilensis*, y especies de bosques secundarios como: *Prunus* sp., *Eritrina berteorama*, *Acacia* sp., *Bursera simarouba*, *Ricinus comunis*, *Ficus* sp., *Ipomea* sp., *Inga* sp., *Byrsonima crassifolia*, *Psidium guayaba*, *Aepogon* sp., *Adropogon* sp., *Asistida* sp., *Bouteloa* sp., *Bromas* sp., *Cyperus* sp., *Peperomia* sp., y *Piper* sp. entre otras (CDC y CONCYT 2007).

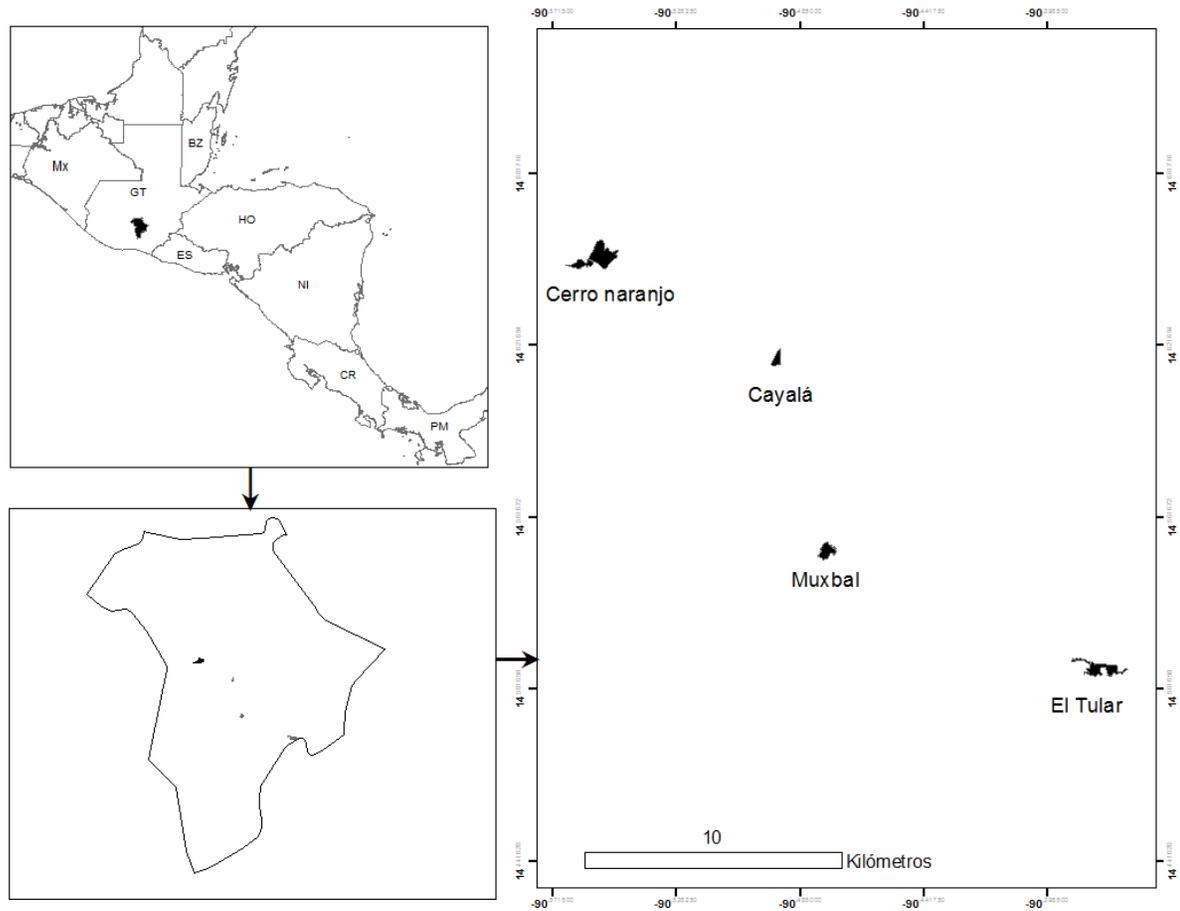


Figura 2. Localización geográfica de cuatro sitios en el departamento de Guatemala, Guatemala en donde se evaluó la selección del hábitat de la gallina de montaña, en el año 2016.

Cuadro 1. Sitios de muestreo y sus características biofísicas en los cuales se establecieron puntos de conteo para evaluar la selección del hábitat de la gallina de montaña en el departamento de Guatemala, Guatemala en el año 2016. La descripción de la vegetación en el sitio El Tular se detalla en el Anexo B.

Sitio	Altitud	Área (Ha) ¹	Puntos de conteo	Vegetación dominante
Cayalá	1400	14	4	Encinos
El Tular	1600-1900	50	13	Pino-encino-ciprés- latifoliadas (Anexo B)
Cerro Naranjo	1500-1700	80	18	Pino-encino-ciprés- latifoliadas
Muxbal	1800-1900	30	10	Ciprés, encino, latifoliadas

¹ área aproximada en hectáreas

MÉTODOS

Sección 1.03 Determinación de la distribución geográfica de la gallina de montaña

Para determinar la distribución, y evaluar variables de hábitat que determinan la presencia de la especie, se utilizaron registros geo-referenciados que están disponibles en la base de datos de *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF: www.gbif.com), además se utilizaron registros disponibles en la base de datos del Centro de Estudios Conservacionistas de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CECON-USAC), así como los datos de georreferenciación que se obtuvieron en campo entre el 9 de agosto y el 2 de septiembre del 2016 en los sitios de estudio.

También se utilizó información digital de 19 variables bioclimáticas y una capa geográfica digital de altitud (Cuadro 2), Se obtuvieron los datos de dichas variables en formato raster de la base de datos mundial de Worldclim (<http://www.worldclim.org/version1>: Hijmans et al. 2005). La información utilizada fueron las capas geográficas de 30 segundos de resolución, que equivalen aproximadamente a 1 km² de área por cada pixel. Los valores que contienen las capas equivalen a las condiciones actuales y han sido calculadas con base en información obtenida desde 1960 a 1990 (Hijmans et al. 2005). Se descargaron las capas de la red y se cortaron al área del ámbito de distribución de la especie actualmente reportado en la literatura, para lo cual se utilizó el programa R versión 0,99,903 (R Core Team 2016). Cada una de las 20 capas correspondieron a una variable diferente según se detalla en el Cuadro 2.

El área de distribución actual de la especie utilizada (Mesoamérica), fue seleccionada con base en la distribución histórica de la especie (Howell y Webb 1995, Del Hoyo et al. 1994), y se tomaron como límites las barreras biogeográficas del Istmo de Tehuantepec en México hasta el Istmo de Panamá, ya que está documentado que son límites de distribución para muchas especies de vertebrados (Peterson et al. 1999, Myers et al. 2000, Morrone 2004, Ficitola 2017). La selección del área de dispersión disponible para la especie, se realizó basado en el criterio de selección de barreras bióticas, lo cual ha sido sugerido por Barve et al. (2011).

Cuadro 2. Descripción de las variables utilizadas para el modelamiento de distribución de la gallina de montaña obtenidas de la base de datos de Worldclim (<http://www.worldclim.org/version1>) en el año 2017.

Variable	Descripción de la variable
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango de temperatura diurno (media de todos los meses (temperatura máxima-temperatura mínima))
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (*100)
BIO4	Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más caliente
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango de temperatura anual (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más caliente
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más caliente
BIO19	Precipitación del trimestre más frío
BIO20	Altitud

Sección 1.04 Selección de hábitat de la gallina de montaña en Guatemala

(a) Registro de presencias

En cada sitio de muestreo se establecieron tantos puntos de conteo cómo fue posible, sumando un total de 45 puntos para todos los sitios (Cuadro 1). Cada punto de conteo tuvo un radio fijo de 50m y estuvo separado del centro del siguiente punto por una distancia de 200m (Figura 3), la distancia entre puntos fue medida utilizando GPS.

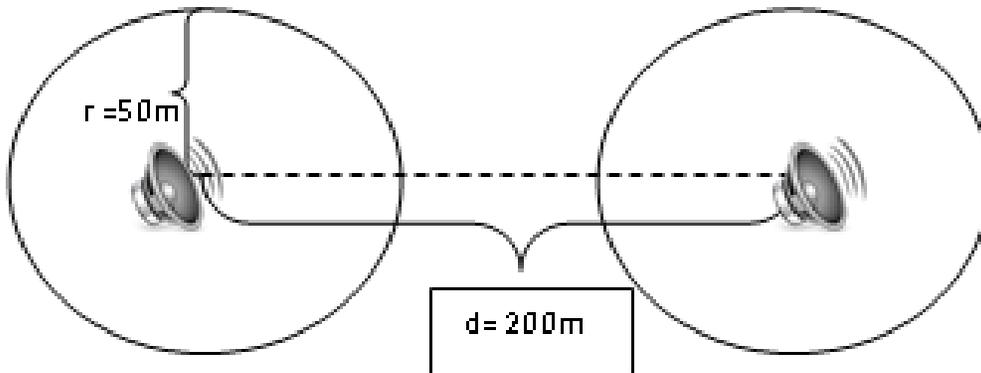


Figura 3 Puntos de conteo utilizados para evaluar la selección de hábitat de la gallina de montaña en bosques del departamento de Guatemala, Guatemala en 2016. Radio de cada punto: 50m; distancia entre el centro de un punto al centro del próximo: 200m.

Para detectar la presencia (o ausencia) de la especie en cada uno de los puntos de conteo, se utilizó la técnica del *playback* la cual ya había sido probada para otras especies del mismo género (Aguilar-Rodríguez 2000, Eitniear y Baccus 2002, Chavéz-León y Velázquez 2004). En el centro de cada punto de conteo se colocó una bocina (Shark Speaker Boombox®, 10 Watts, 60Hz-18 Hz) conectada a un dispositivo reproductor digital de sonidos MP3, desde el cual se reprodujeron las vocalizaciones de la especie a intervalos de tiempo estandarizados.

La grabación de las vocalizaciones de alta calidad de la especie se obtuvo mediante la base de datos de sonidos de Macaulay Library, Cornell Lab (*Dendrortyx leucophrys* ML 2642). Se editó la grabación original utilizando el programa Adobe Audition®, para obtener una grabación estandarizada la cual se reprodujo en cada uno de los puntos. La grabación tuvo una duración total de 5 minutos, comenzando con un minuto de vocalización seguido de un minuto de silencio, y así sucesivamente.

La respuesta a las vocalizaciones se registró como presencia en cada punto, mientras que la no respuesta se registró como ausencia de la especie. Los muestreos en los puntos de conteo se realizaron durante el 16 de agosto y el 2 de septiembre del 2016. Con la finalidad de disminuir la probabilidad de registrar falsas ausencias, se muestreó cada uno de los puntos durante cuatro días consecutivos entre las 06:00 y 10:00 h. Al registrar presencia de la especie en un punto de conteo, el mismo ya no era muestreado al día siguiente, ya que interesaba únicamente registrar si la especie estaba presente o no en cada uno de los puntos.

(b) Medición de variables de hábitat

En cada uno de los 45 puntos de conteo establecidos, se midieron un total de 9 variables de hábitat que potencialmente podrían explicar la presencia de la especie (Cuadro 3). Para esto fue establecida una parcela de 12 metros de radio en el borde de cada punto de conteo (Figura 4).

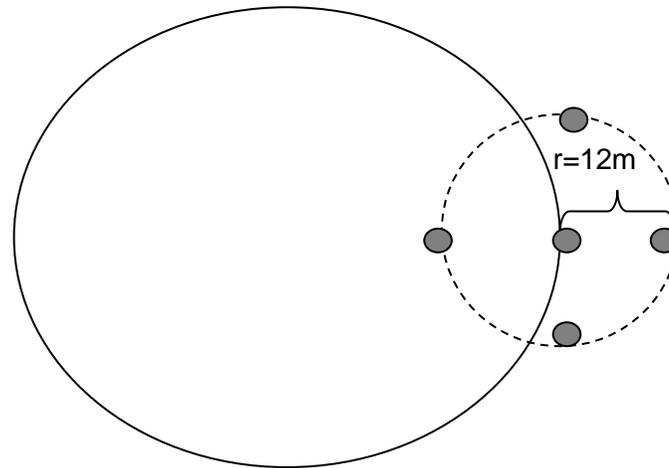


Figura 4. Parcela de 12 m de radio (línea discontinua) establecida en el borde de cada punto de conteo (línea continua), utilizada para el muestreo de variables de hábitat. Dentro de cada parcela, 5 sitios de muestreo fueron establecidos (círculos llenos) en donde se tomaron los datos para evaluar la selección de hábitat de la gallina de montaña en el departamento de Guatemala, Guatemala en 2016 (la ilustración no está a escala espacial).

Cuadro 3 Variables de hábitat medidas y su respectiva descripción, que podrían potencialmente explicar la presencia de la gallina de montaña en puntos de conteo establecidos en bosques del departamento de Guatemala, Guatemala, 2016.

Variable	Descripción
-Número de árboles	Número de árboles con DAP mayor a 10 cm dentro de la parcela.
-Diámetro a la altura del pecho DAP	Medición de todos los árboles con DAP mayor a 10 cm dentro de la parcela.
-Altura del dosel	Altura del árbol más grande dentro de la parcela. Fue estimado utilizando fotografías y el programa imageJ®.
-Cobertura del dosel	Fue medida utilizando un densiómetro, se tomaron datos de cinco puntos dentro de la parcela (Figura 4).
-Altura de hierbas	Estimada utilizando fotografías y el programa imageJ®, se tomaron datos de cinco puntos dentro de la parcela (Figura 4).
-Cobertura de hierbas	Estimada utilizando 10 fotografías tomadas a nivel del suelo hacia arriba, dentro de la parcela. Cada foto fue analizada visualmente en computadora y un porcentaje de cobertura fue asignado.
-Humedad	Medida utilizando un termohigrómetro digital, se tomaron datos de cinco puntos dentro de la parcela (Figura 4).
-Temperatura ambiental	Medida utilizando un termohigrómetro digital, se tomaron datos de cinco puntos dentro de la parcela (Figura 4).
-Temperatura del sustrato	Medida utilizando un termómetro infrarrojo digital, se tomaron datos de cinco puntos dentro de la parcela (Figura 4).

Sección 1.05 Análisis de datos

(a) Determinación de la distribución geográfica de la gallina de montaña

Se desarrolló un análisis exploratorio de los datos con la aplicación de internet NicheToolBox (Osorio-Olvera et al. 2016), la cual es una plataforma basada en la estructura “shiny” del programa R (R Core Team 2016) que elimina registros duplicados y registros dudosos, debido a que las coordenadas del registro a veces indican sitios en donde es muy poco probable encontrar a la especie según la literatura (p.ej. registros de la gallina de montaña a orillas del mar). Además, debido a que las capas bioclimáticas tienen una fecha posterior a 1960, se eliminaron los registros de la gallina de montaña que fueran más antiguos a este año, quedando únicamente los más recientes.

Los datos de registros de la especie se analizaron en conjunto con las 20 capas geográficas de variables bioclimáticas, utilizando la plataforma para modelación de distribución de especies sdm versión 1,0 (Naimi y Araújo 2016) en el programa R (R Core Team 2016). Se ajustaron 10 modelos con los algoritmos: GAM (Generalized Additive Model), RPART (Recursive Partitioning), GLM (Generalized Lineal Models), MARS (Multivariate Adaptive Regression Spline), BRT (Boosted Regression Trees), CART (Classification And Regression Trees), SVM (Support Vector Machine), Maxent (Maximum entropy), RF (Random Forest) y MaxLike. Para el entrenamiento de los modelos se utilizaron un total de 10.000 puntos de fondo (*background*) distribuidos al azar. En el ajuste de los modelos se realizaron 10 réplicas (n=10), utilizando el método de partición de los datos de sub-muestreo, 30 % de los datos los utilicé para la evaluación de los modelos.

Cada uno de los 10 modelos generó un mapa de distribución de la especie. Los resultados obtenidos para los modelos, fueron evaluados utilizando medidas de desempeño: TSS (True Skill Statistics), con valores entre -1 (valor no mejor que el azar) y +1 (desempeño perfecto; Allouche et al. 2006), AUC (Área bajo la curva ROC) con valores entre 0,5 (no diferencia del azar) y 1 (puntuación mejor que el azar; Fielding y Bell 1997) y la desviación (a menor valor de desviación, modelo más preciso). Además, se realizó una evaluación de la importancia de las variables utilizadas, para determinar la variable que mejor predice el nicho fundamental de la especie, para lo cual se utilizaron valores de AUC entre 0 (no importante) a 1 (importante).

Con el algoritmo mejor evaluado según los criterios mencionados, se estimó el área (km²) de distribución de la especie, para esto, se convirtió el mapa de valores de probabilidad de presencia (*suitability*) generados por los algoritmos a un mapa binario (presencia/ausencia). El umbral de los valores de probabilidad de presencia fue calculado utilizando el enfoque de prevalencia, el cual ha sido evaluado como uno de los mejores en cuanto a desempeño en comparación con otros 12 enfoques para establecer umbrales (Liu et al. 2005). Este enfoque consiste en establecer como umbral el valor de prevalencia de los datos generados durante la etapa de entrenamiento del modelo. El cálculo consiste en estimar la prevalencia o la proporción de los puntos geográficos utilizados durante la fase de entrenamiento de los modelos, que se ubican dentro del área de predicción de la especie en el modelo.

El mapa binario obtenido a partir del establecimiento de umbrales, fue traslapado con la capa de áreas protegidas de la región (IUCN y UNEP-WCMC 2016), para estimar el área de distribución de la especie que se encuentra bajo algún estado de conservación. Para esto se utilizó el programa Arcgis 10.2 (ESRI 2013).

(b) Selección de hábitat de la gallina de montaña en Guatemala

A partir de los datos obtenidos, se realizó un análisis exploratorio, para observar si las variables medidas mostraban algún patrón reconocible entre los sitios con presencia y ausencia de la especie. Además, se realizó un análisis de correlación, utilizando el paquete psych (Revelle 2016) en el programa R (R Core Team 2016). Se descartó una variable de cada par que tuviera un coeficiente de correlación de Pearson mayor o igual a 0,50 entre ellas, tanto positiva como negativamente.

Modelos de regresión logística fueron ajustados utilizando el programa R versión 0,99,903 (R Core Team 2016), para obtener las variables que selecciona la gallina de montaña en los bosques muestreados. Para la evaluación de modelos se utilizó como criterio los valores de AIC (Burnham y Anderson 2002).

RESULTADOS

Sección 1.06 Determinación de la distribución geográfica de la gallina de montaña

Luego del análisis exploratorio de los registros geo-referenciados, se obtuvieron 355 registros de la especie (Figura 5), los cuales fueron utilizados para realizar los modelos. A partir de los 10 modelos se obtuvo el mismo número de mapas de distribución (Figura 6). A partir de la evaluación de la importancia de las variables utilizadas en los modelos generados, la altitud (variable 020) fue la más importante, todos los registros de la especie estuvieron por arriba de los 1000 msnm. En segundo lugar, la temperatura máxima del mes más caliente (variable 05), la cual presentó un rango entre 12 a 32 °C para los sitios con presencia de la especie. Y, en tercer lugar, la temperatura media anual (variable 01), la cual presentó valores entre 5.6 a 26.2 °C para los sitios con presencia de la gallina de montaña. Un total de 8 variables, no aportaron información importante en los modelos de distribución de la gallina de montaña (Figura 7).

De la evaluación de los 10 modelos ajustados, según los criterios de TSS, AUC y desviación se obtuvo que los algoritmos mejor evaluados fueron: RF, GAM y MaxEnt (Cuadro 4). El mapa generado por el algoritmo mejor evaluado (RF) puede observarse en la Figura 8.

A partir del mapa generado con el modelo mejor evaluado (RF), se estimó el área de distribución de la gallina de montaña en 10.845 km², teniendo en cuenta que la resolución de las capas geográficas era de aproximadamente 1 km² por pixel (Figura 9). Utilizando el área estimada, se encontró que el área de traslape de la distribución de la especie con alguna categoría de manejo (áreas protegidas) fue de 4.628,89 km² que representa 42,68 % de su área de distribución (Figura 10), lo que deja 57,32% fuera de categorías de manejo.

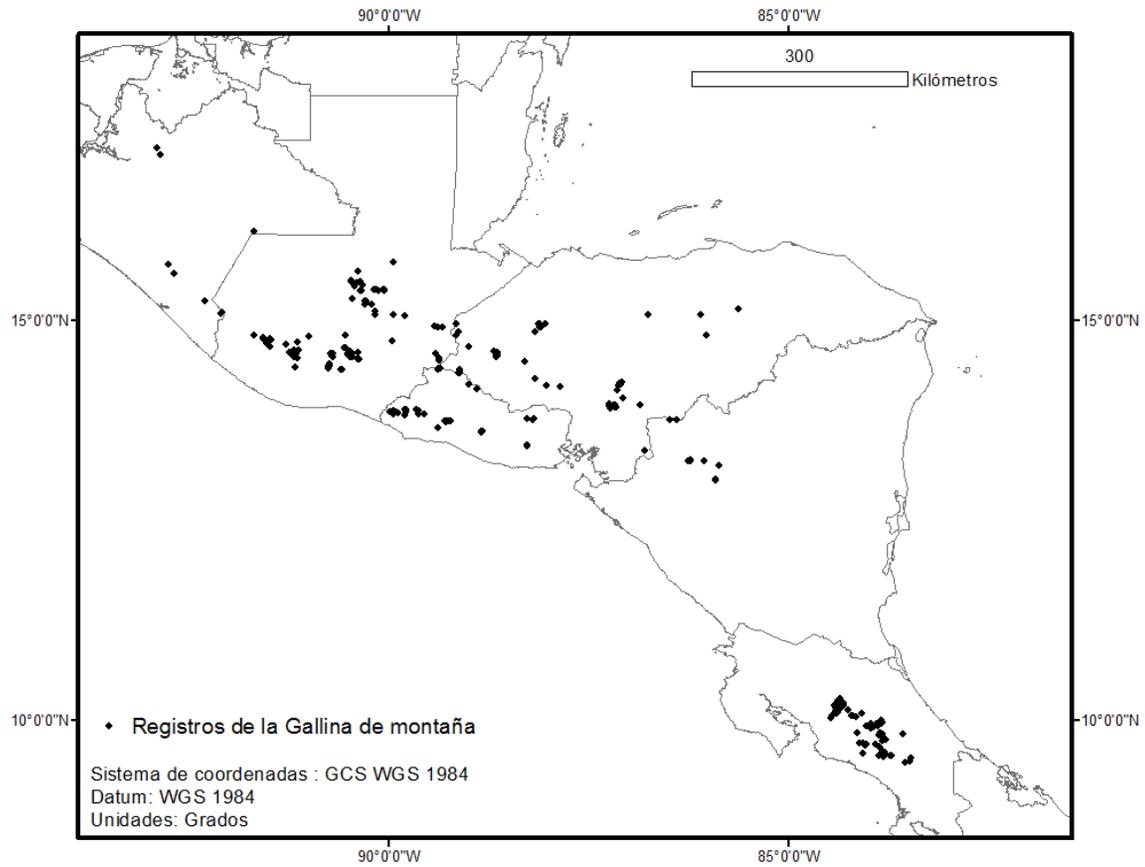


Figura 5. Registros de la gallina de montaña utilizados para generar modelos de distribución de la especie en 2017, obtenidos de la base de datos de *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), el Centro de Estudios Conservacionistas de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CECON-USAC) y datos de campo de este estudio.

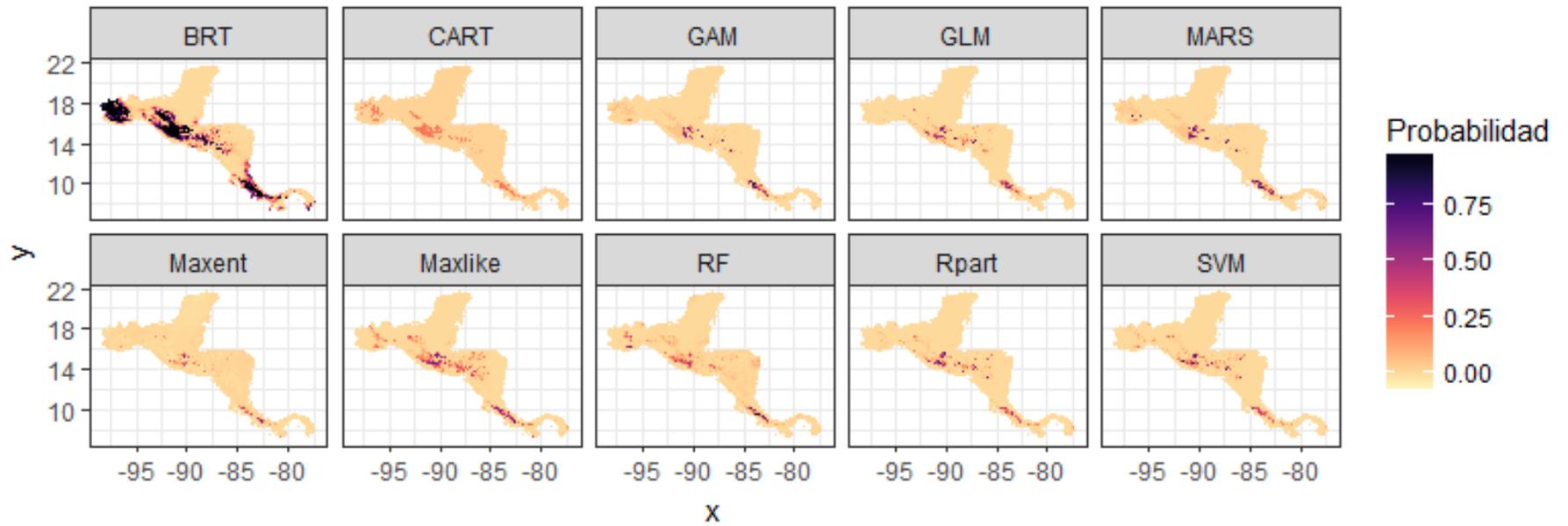


Figura 6. Mapas de distribución de la gallina de montaña, generados por 10 diferentes algoritmos en 2017. De izquierda a derecha: BRT (Boosted Regression Trees), CART (Classification And Regression Trees), GAM (Generalized Additive model), GLM (Generalized Lineal Models), MARS (Multivariate Adaptive Regression Spline), MaxEnt (Maximum Entropy), MaxLike, RF (Random Forest), RPART (Recursive Partitioning) y SVM (Support Vector Machine). Los valores en la paleta de colores muestran información probabilidad de idoneidad de hábitat para la especie desde 0 hasta 1.

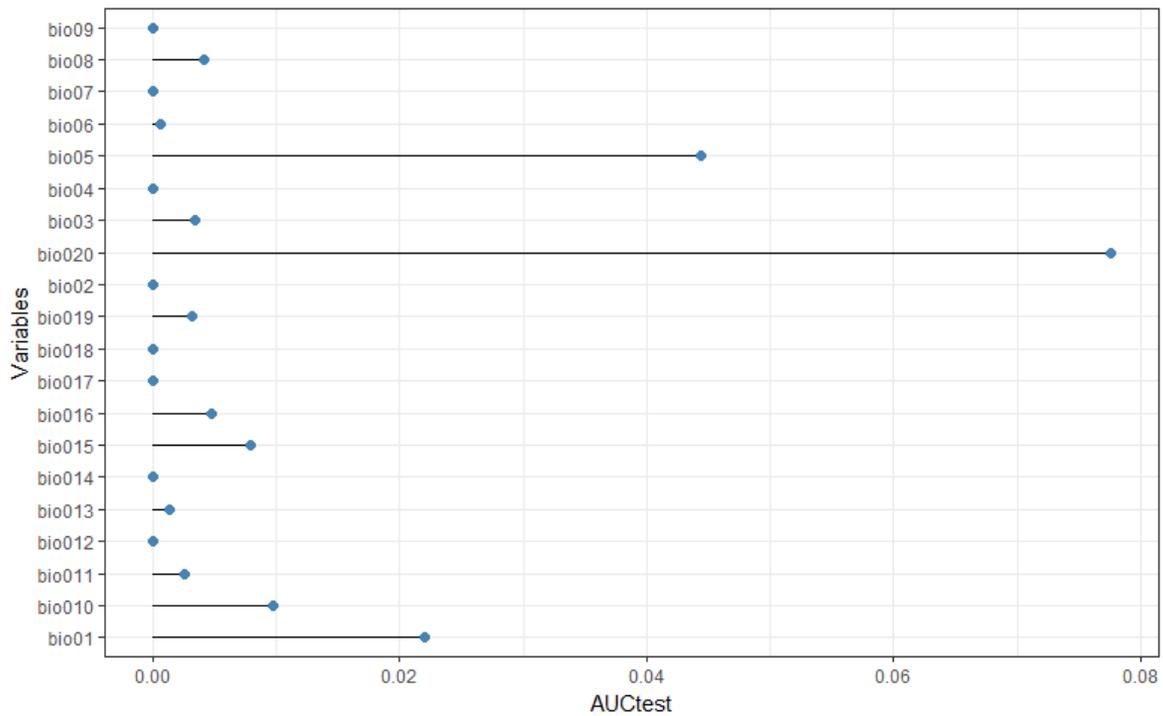


Figura 7. Importancia relativa de las variables utilizadas para el modelamiento de la distribución de la gallina de montaña en 2017.

Cuadro 4. Evaluación de los algoritmos utilizados para el modelamiento de la distribución de la gallina de montaña en 2017, según criterios de AUC (Área bajo la curva ROC), TSS (True skill statistics) y Deviance (desviación).

Método	AUC	TSS	Deviance
RF	0,98	0,84	0,12
GAM	0,97	0,85	0,13
MaxEnt	0,98	0,85	0,15
MARS	0,97	0,85	0,15
GLM	0,95	0,8	0,17
RPART	0,92	0,77	0,17
CART	0,89	0,75	0,17
SVM	0,9	0,8	0,2
BRT	0,93	0,8	0,21
MaxLike	0,92	0,77	1,17

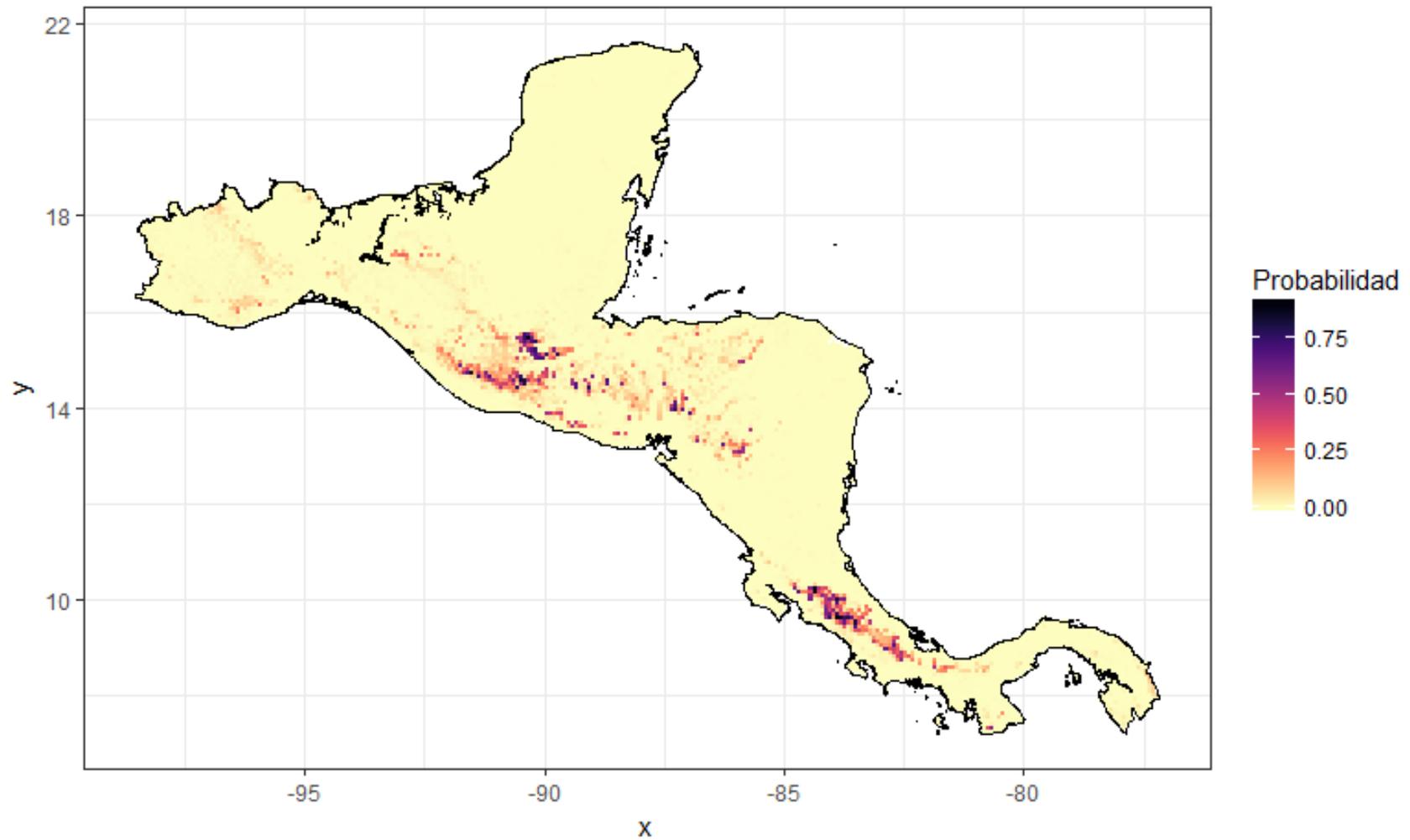


Figura 8. Mapa de distribución de la gallina de montaña, generado a partir del algoritmo Random Forest (RF), en 2017. Los valores en la paleta de colores muestran información de probabilidad de idoneidad de hábitat para la especie desde 0 hasta 1.

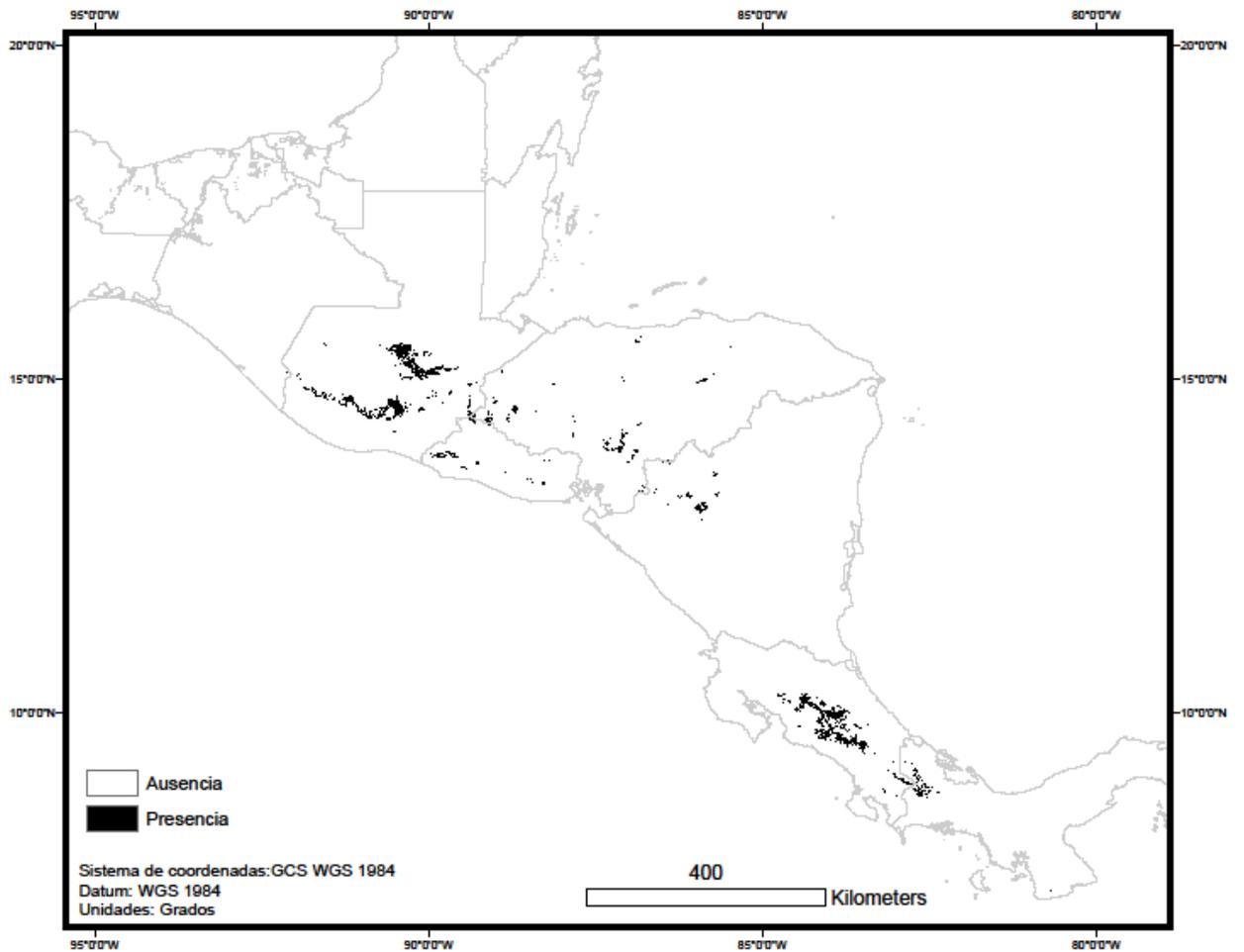


Figura 9. Mapa binario (ausencia/presencia) para estimar el área de distribución de la gallina de montaña en 2017, generado a partir del algoritmo Random Forest (RF), y utilizando el enfoque de prevalencia (Liu et al. 2005), para fijar umbrales de valores de idoneidad. El valor del umbral estimado para RF fue de 45%.

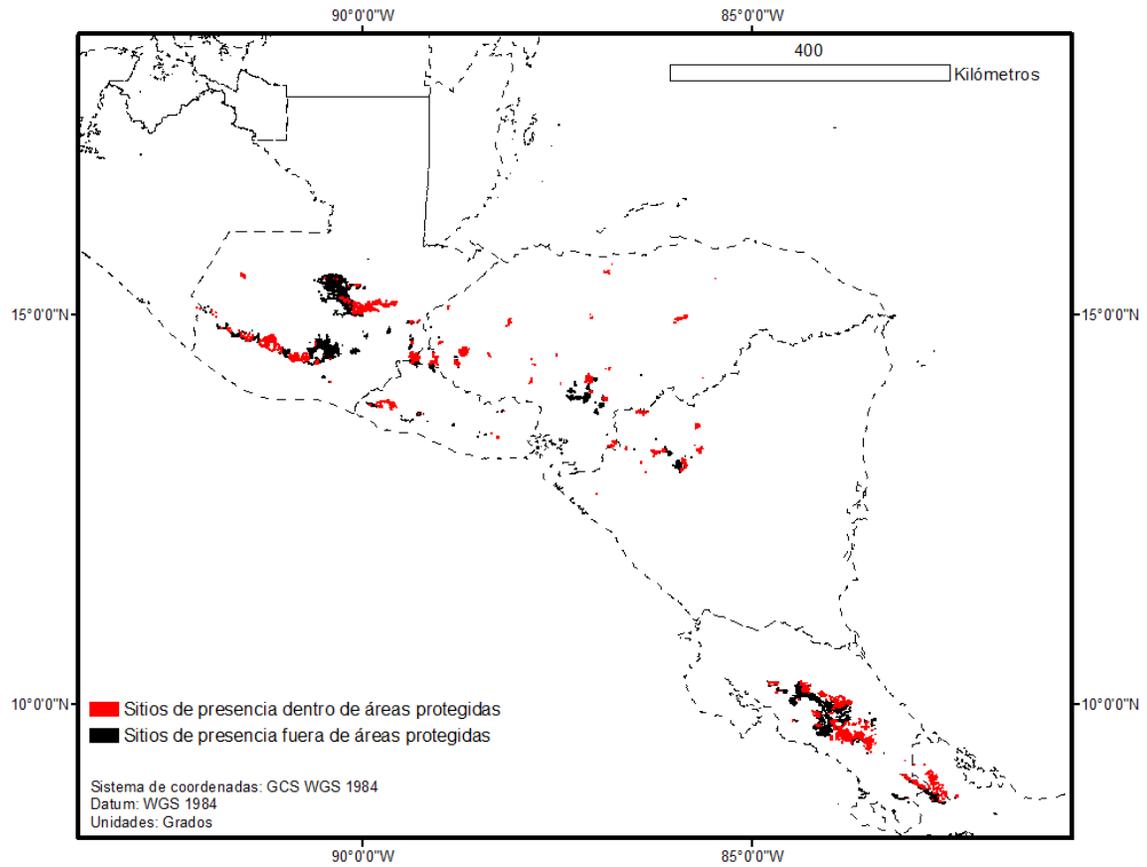


Figura 10. Traslape entre el área de distribución de la gallina de montaña y las áreas protegidas en 2017.

Sección 1.07 Selección de hábitat de la gallina de montaña en Guatemala

De los 45 puntos de conteo muestreados en las cuatro localidades, en 24 puntos se detectó presencia mientras que en 21 puntos se registraron ausencias. La mayoría de puntos de conteo con presencia fueron registrados durante el primer día de muestreo (n=13), disminuyendo la detección de nuevos puntos con presencia hacia el segundo y tercer día, y solamente se registró un nuevo punto con presencia de la especie durante el cuarto día de muestreo (Figura 11).

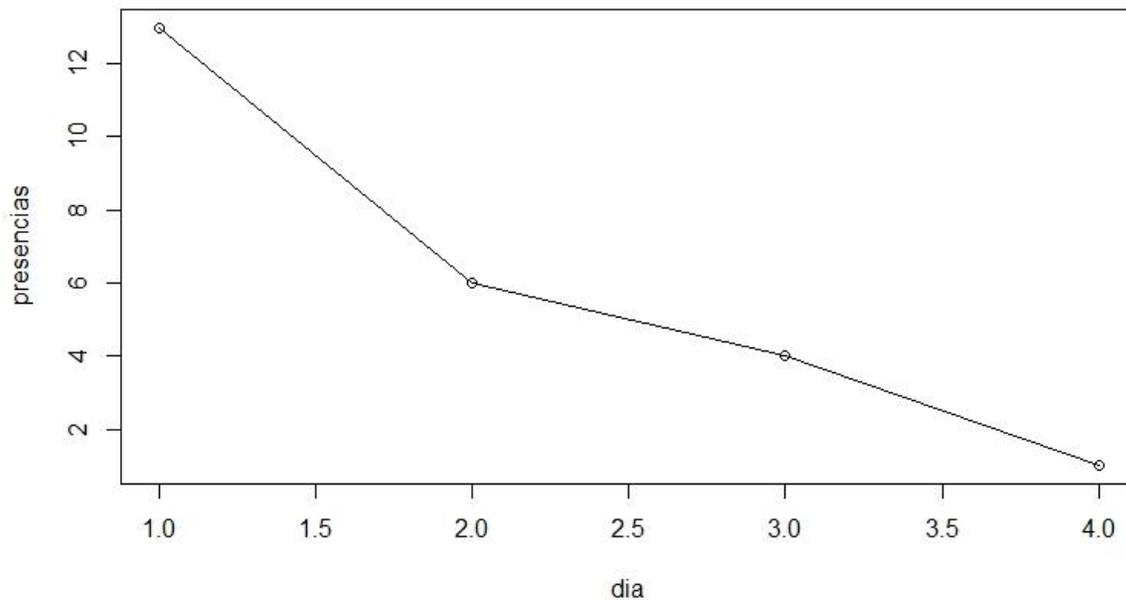


Figura 11. Número de nuevas presencias detectadas por días de muestreo continuos en los puntos de conteo establecidos en bosques del departamento de Guatemala, Guatemala para evaluar la selección de hábitat de la gallina de montaña en 2017.

No hubo un claro patrón de diferenciación en los valores de las mediciones entre los puntos con presencia y con ausencia de la especie (Figura 12). Las variables que tuvieron mayores coeficientes de correlación ($\geq 0,50$) fueron: cobertura del dosel, la cual estuvo correlacionada negativamente con la temperatura ambiental ($P_{x,y} = -0,50$), además, la cobertura del dosel tuvo una correlación positiva con la humedad ($P_{x,y} = 0,54$). La humedad a su vez estuvo negativamente correlacionada con la temperatura ambiental ($P_{x,y} = -0,73$) y ésta última estuvo correlacionada con la temperatura del sustrato ($P_{x,y} = 0,89$; Figura 13).

Las variables mejor evaluadas y, por tanto, las que más influyen en la selección de hábitat de la gallina de montaña, según los modelos de regresión, se muestran en el Cuadro 5. La gallina de montaña seleccionó positivamente sitios con menor número de árboles por parcela (Figura 14), menor cobertura del dosel (Figura 15) y mayor cobertura de hierbas (Figura 16).

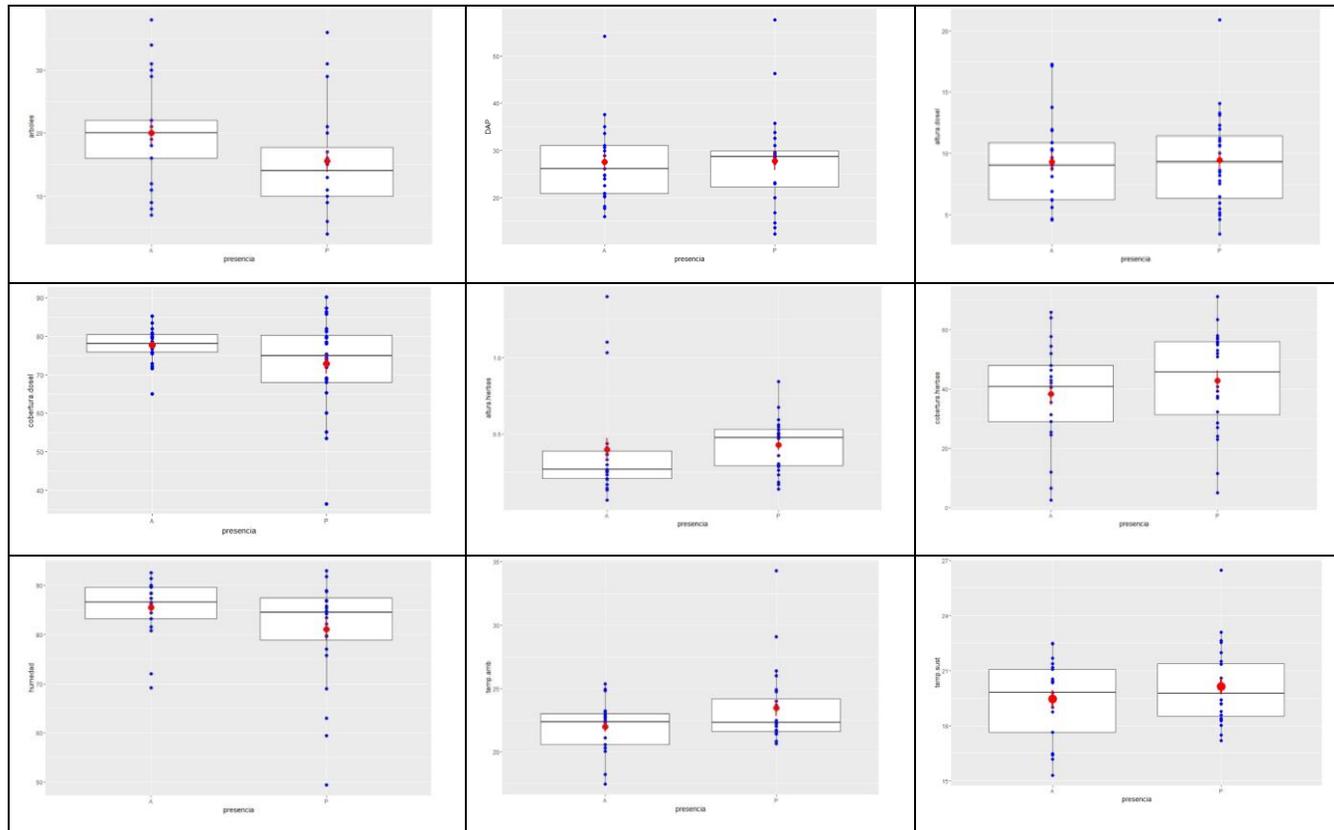


Figura 12. Valores de mediana (línea horizontal al centro de la caja) y primero y tercer cuartil (línea inferior y superior de la caja respectivamente), valores de media (punto rojo de mayor tamaño) y valores de las mediciones (puntos azules) de variables utilizadas para evaluar la selección de hábitat de la gallina de montaña en el departamento de Guatemala, Guatemala en 2017. Los gráficos comparan los estadísticos entre los sitios con Ausencia (A) y Presencia (P) de la especie. De Izquierda a derecha y de arriba hacia abajo las variables son: Número de árboles por unidad de muestreo, Diámetro a la altura del pecho DAP, altura del dosel, cobertura del dosel, altura de hierbas, cobertura de hierbas, humedad, temperatura ambiental y temperatura de sustrato.

Cuadro 5. Modelos de regresión logística explicando la presencia en la selección de hábitat de la gallina de montaña en 2017, según criterio de información de Akaike (AICc), diferencia entre valores del criterio de Akaike ($\Delta AICc$) y peso de los modelos (ω_i).

Modelo	AICc	$\Delta AICc$	ω_i
Número de árboles	68,52	0,00	0,09
Cobertura del dosel	68,77	0,25	0,08
Número de árboles + cobertura del dosel	68,87	0,35	0,07
Cobertura del dosel + cobertura de hierbas	69,33	0,81	0,06
Nulo	69,40	0,88	0,06
Número de árboles + cobertura del dosel + cobertura de hierbas	70,36	1,84	0,04

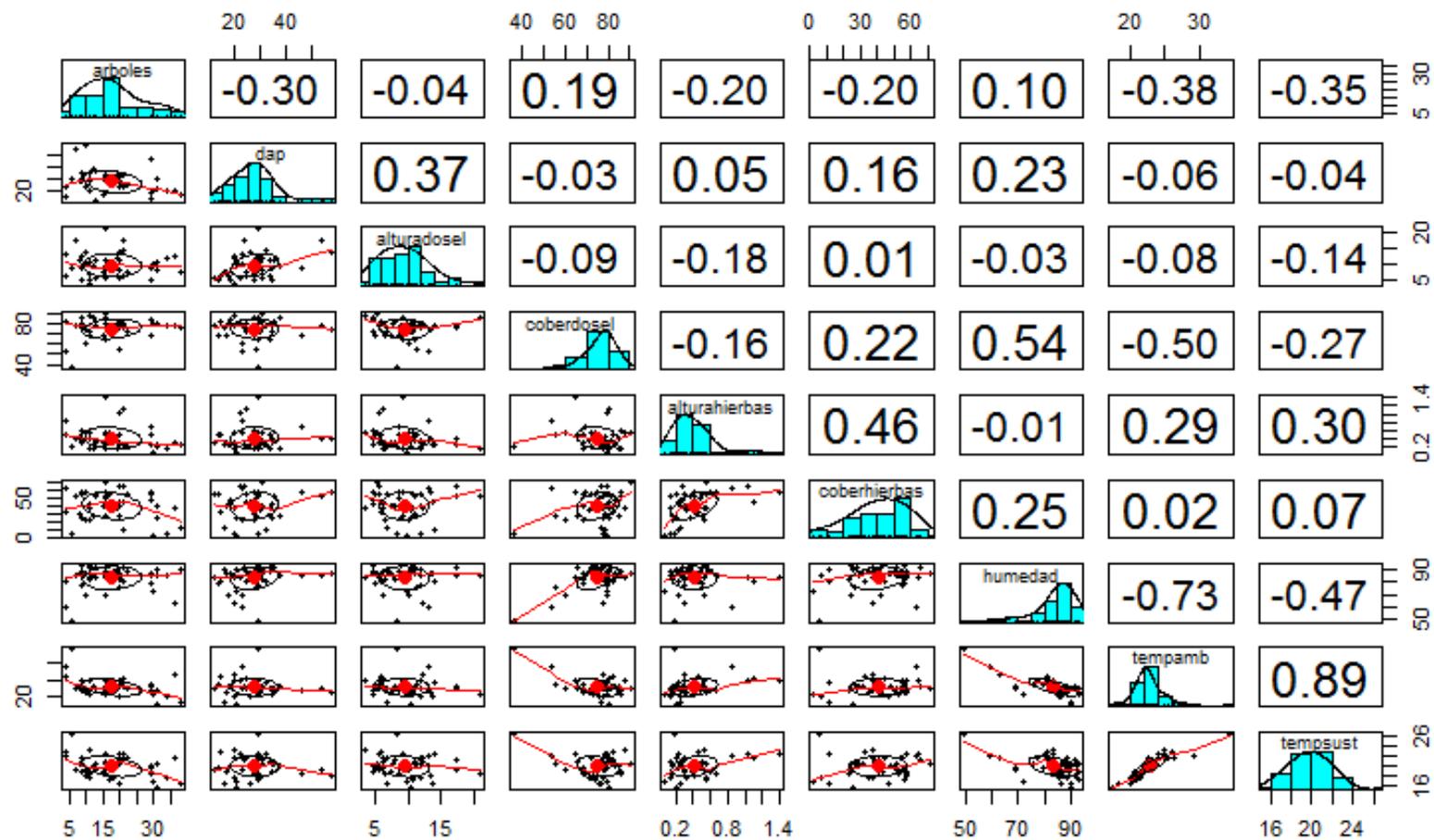


Figura 13. Correlación entre las potenciales variables ambientales explicativas para la presencia de la gallina de montaña en los puntos de conteo, en el departamento de Guatemala, Guatemala en 2017. Los valores numéricos corresponden al coeficiente de correlación de Pearson ($P_{x,y}$).

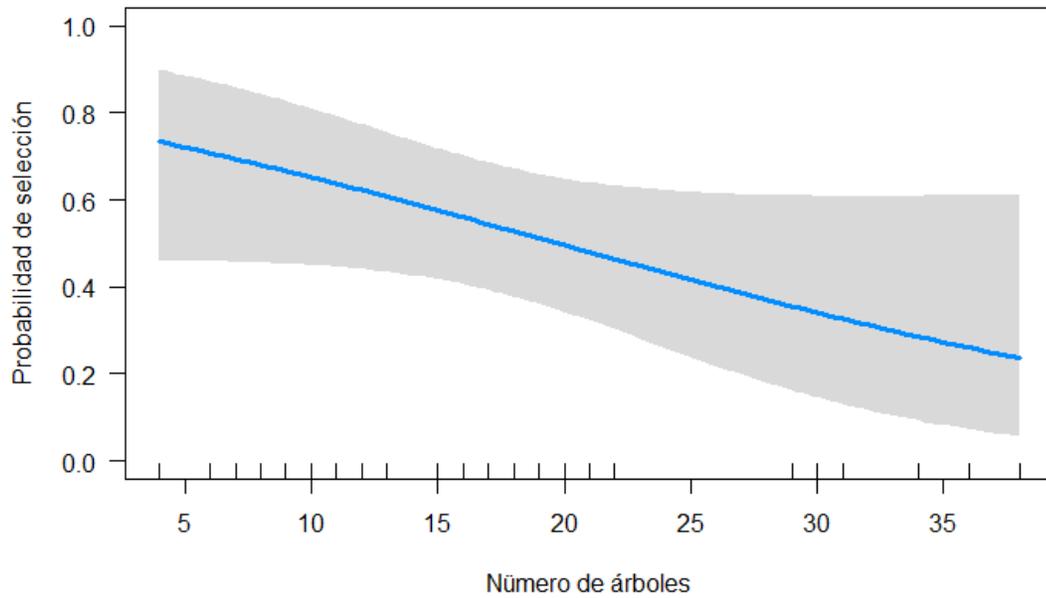


Figura 14. Relación entre la probabilidad de selección y número de árboles por unidad de recurso (radio= 12 m), para explicar la presencia de la gallina de montaña en los puntos de muestreo en el departamento de Guatemala, Guatemala, 2017, según el ajuste de modelos de regresión logística.

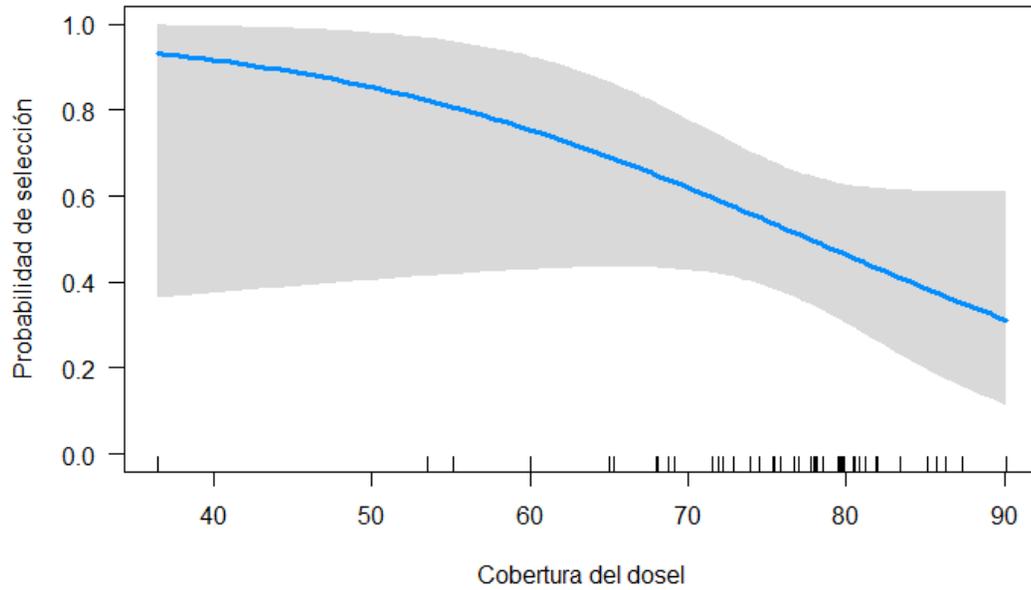


Figura 15. Relación entre la probabilidad de selección y cobertura del dosel, para explicar la presencia de la gallina de montaña en los puntos de muestreo en el departamento de Guatemala, Guatemala, 2017, según el ajuste de modelos de regresión logística.

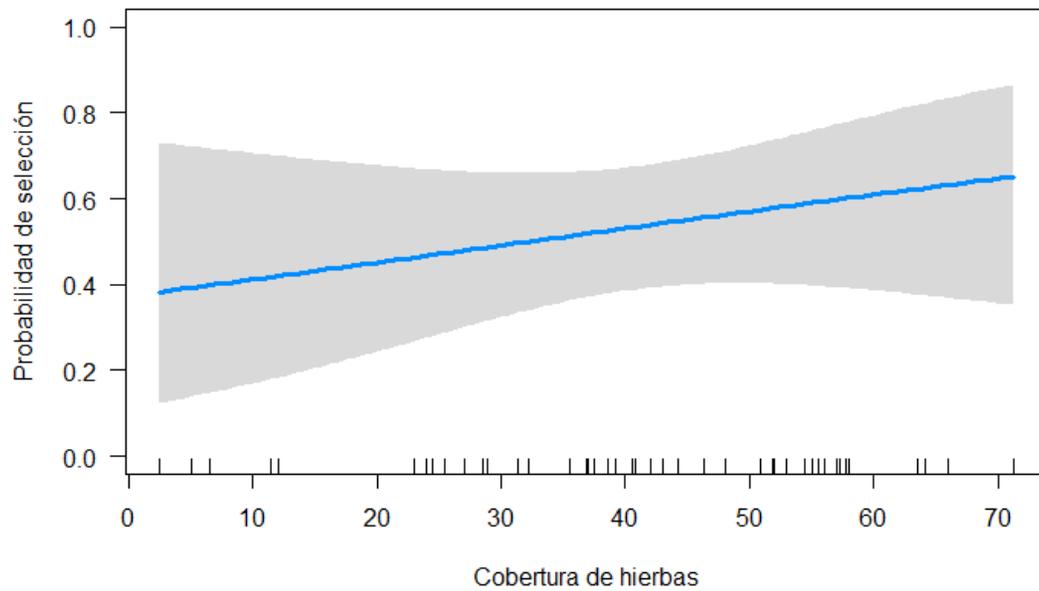


Figura 16. Relación entre la probabilidad de selección y cobertura de hierbas, para explicar la presencia de la gallina de montaña en los puntos de muestreo en el departamento de Guatemala, Guatemala, 2017, según el ajuste de modelos de regresión logística.

DISCUSIÓN

Sección 1.08 Determinación de la distribución geográfica de la gallina de montaña

La estimación del área de distribución de las especies al mayor detalle posible, es un aspecto fundamental para establecer medidas de manejo (Krebs 2009, Lamoureux et al. 2006, Mota-Vargas y Rojas-Soto 2012), especialmente para especies bajo alguna amenaza directa (p.ej. cacería) como la gallina de montaña. Actualmente esta especie se encuentra en la categoría de conservación de menor importancia debido, entre otras cosas, a que BirdLife International (2017) reporta una estimación del área de distribución muy amplio (323.000 km²), sin embargo, el método para la estimación no es muy sensible, ya que únicamente establece polígonos de distribución a partir de los límites, según los registros disponibles de presencia de la especie (BirdLife International and Handbook of the Birds of the World 2016, IUCN 2016). Los resultados obtenidos en este estudio muestran un área de distribución de la especie mucho menor y a mayor detalle. El área que fue estimada en este estudio coincide con uno de los criterios para considerar a la gallina de montaña en la categoría de conservación de “vulnerable” (criterio B1: IUCN 2016), sin embargo, no existe información sobre tamaño poblacional, número de poblaciones, calidad de hábitat, ni ninguna otra que permita complementar el argumento para determinar dicha categoría. Por tanto, se considera que la mejor aproximación sería clasificar a la especie en la categoría de “deficiente de datos”.

Es interesante que el mapa de distribución generado muestra que la gallina de montaña tiene una distribución geográfica discreta (o discontinua), contrario al mapa generado por BirdLife International (2017; Figura 1), por ejemplo, en la parte nor-occidental de Guatemala (altiplano), en donde se reportaba distribución continúa en toda el área, el mapa generado en este estudio (Figuras 8 y 9) predice presencia discontinua solo en la parte del sur-occidente (cadena volcánica).

La selección de la variable altitud como la de mayor importancia en la determinación de la presencia de la gallina de montaña, indica que la especie selecciona y podría estar limitada fisiológicamente a sitios montañosos o de elevadas altitudes (>1.000 msm), siendo esta la variable más importante en la definición de su hábitat a escala regional o biogeográfica. Esto coincide con el nombre común de la especie aquí utilizado y con lo reportado en la literatura (Johnsgard 1988, Stiles y Skutch 1998, Aguilar-Rodríguez 2000, Van Perlo 2006). Además, se vio reflejado en la base de datos de los 355 puntos que utilicé para realizar el modelamiento, en donde, únicamente 19 puntos se encuentran por debajo de los 1.000 msnm, mientras que los 336 puntos restantes se encuentran en el rango entre los 1.000 a 3.690 msnm. También, la altitud ya había sido reportada como una variable importante para otra especie del género: *Dendrortyx macroura* en México (Chavez-León et al. 2004).

La temperatura máxima del mes más caliente fue la segunda variable en orden de importancia, lo cual sugiere que la gallina de montaña presenta sensibilidad especialmente a altas temperaturas. Para otra especie de codorniz: *Colinus virginianus*, en Texas se ha encontrado que las temperaturas máximas son más críticas que las temperaturas mínimas, indicando que la especie necesita cobertura que le provea de refugio térmico en las épocas calurosas y evitar el exceso de calor en el medio ambiente del suelo (Guthery et al. 2005), lo cual también podría ser aplicable para la gallina de montaña.

La temperatura ya había sido reportada como una variable importante por Mota-Vargas y Rojas-Soto (2016), quienes consideran que la combinación de temperatura y precipitación son determinantes en la distribución de las especies del género *Dendrortyx*. Para otros miembros de la familia odontophoridae se ha encontrado que presentan sensibilidad fisiológica especialmente a la temperatura, como en el caso de *Oreortyx pictus* en Sierra Nevada, California (Hauptfeld et al. 2014), *Callipepla gambelii* en Arizona (Heffelfinger et al. 1999) y *Colinus virginianus* en Texas (Guthery et al. 2002, Brazil et al. 2012).

Es interesante la predicción de presencia de la gallina de montaña en el área de la frontera entre Costa Rica y Panamá, específicamente en la cordillera de Talamanca, en el parque Internacional La amistad, ya que a la fecha no hay registros de presencia de la especie en esa zona (Figura 5), sin embargo, parece ser que existe disponibilidad de hábitat. Probablemente se deba a que no ha habido suficiente muestreo, a que la especie pudo haberse extinguido localmente y/o a factores bióticos (p.ej. competencia, depredación, etc.).

Así mismo, resulta interesante la separación que existe en la distribución de la gallina de montaña en la depresión de Nicaragua, y la población aislada presente en Costa Rica (y tal vez en Panamá). Dicha separación ya ha sido notada con anterioridad por lo cual se ha asignado los dos grupos a subespecies distintas, siendo la de Costa Rica *Dendortyx leucophrys hypospodius* y la de Nicaragua hasta México *Dendortyx leucophrys leucophrys* (Miller y Griscom 1925, Land 1970, Mota-Vargas y Rojas-Soto 2016). Es necesario realizar estudios filogeográficos de esta especie, para evaluar si, por la separación mencionada, se pueden diferenciar dos o más grupos, lo cual tendría serias implicaciones en conservación, tal y como se ha estudiado en otras especies con distribuciones similares, como el Quetzal (Solórzano et al. 2004).

Con respecto a los mapas generados a partir de los diferentes algoritmos, por motivos prácticos y por presentar el mejor desempeño en la evaluación, se realizaron los análisis únicamente con RF, ya que se ha sugerido que este algoritmo puede tener mucho potencial para aplicaciones en ecología y biogeografía, así como aplicaciones en conservación, especialmente en áreas poco muestreadas, debido a que permite evaluaciones robustas y rápidas (Breiman 2001, Blau 2012). Además, es una efectiva herramienta de predicción ya que la utilización de la aleatoriedad lo hace muy preciso, porque discrimina entre variables sin tomar en cuenta cuantas variables de “ruido” estén presentes (Breiman 2001, Blau 2012).

También, se ha encontrado que RF ha mostrado mejores resultados en comparación con otros algoritmos para predecir la distribución con otras especies, tales como los erizos de mar (González-Irusta et al. 2014) y las Grullas (Mi et al. 2016). De cualquier modo, las puntuaciones similares en la evaluación de los modelos generados, sugieren que tanto GAM como MaxEnt podrían ser alternativas de modelos en la interpretación de los resultados.

El área de distribución obtenida a partir del mapa binario es relativamente pequeña, sin embargo, la interpretación debe de manejarse de manera cautelosa, ya que por motivos prácticos se estableció un umbral de idoneidad utilizando el enfoque de prevalencia. En cuestiones prácticas de manejo de especies, es más útil la información presentada como presencia/ausencia que en términos de probabilidad o idoneidad en los mapas de distribución. Existen diferentes enfoques para fijar el umbral sobre el cual se considera una presencia, que van desde el arbitrario (p.ej. más de 50% de probabilidad) hasta los más objetivos y rigurosos (Liu et al 2005). Sin embargo, es necesario fundamentar la decisión de la selección del umbral, ya que dependiendo del enfoque con que se realice, podría variar la estimación del área de presencia de la especie.

En cuanto al traslape de la distribución de la gallina de montaña y las áreas protegidas, se puede observar que casi la mitad se encuentra dentro de áreas protegidas. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que la predicción de la distribución no representa el área actual real (nicho realizado), ya que no toma en consideración variables bióticas, ni alteraciones antropogénicas (p.ej. cambios de uso del suelo, cacería, etc.) que puedan estar disminuyendo la extensión.

Finalmente, el hecho de que la especie se encuentre dentro de un área protegida, no es garantía de que sus poblaciones se estén conservando, ya que se ha puesto en duda la efectividad del diseño y el manejo de los sistemas de AP's para la conservación de la biodiversidad en Mesoamérica (SICA et al. 2014). Además, se ha reportado que el ecosistema pino-encino (el cual es parte del hábitat de la gallina de montaña), es uno de los menos representados en el sistema centroamericano de áreas protegidas y su integridad ecológica se calificó como mala o muy mala (Programa estado de la nación 2008). Además de las APs, podrían presentarse otras alternativas de manejo del hábitat que puedan estar brindando cierto grado de protección a la especie (p.ej, bosques comunales, bosques en generación, sistemas alternativos de producción, etc.) que no necesariamente se encuentran dentro de los sistemas formales reconocidos de conservación.

Sección 1.09 Selección de hábitat de la gallina de montaña en Guatemala

La variable que mejor explicó la selección de hábitat por la gallina de montaña según la evaluación de los modelos fue el número de árboles por parcela (Cuadro 5). La especie seleccionó positivamente los sitios que tuvieron menor número de árboles por parcela. El bajo número de árboles en los sitios puede resultar en sitios con baja cobertura arbórea, lo cual explica que el segundo modelo mejor evaluado sea el de dicha variable. Además, se observó correlación positiva entre el número de árboles y la cobertura arbórea (Figura 13). También, en el análisis exploratorio de las variables, los gráficos (Figura 12) muestran que los puntos con presencia de la especie, presentaron menores valores de cobertura arbórea.

El bajo número de árboles podría significar un sotobosque más denso, eso explica la selección de dicha variable como otro de los modelos mejor evaluados, además observé correlación negativa entre el número de árboles y las variables cobertura de hierbas y altura de hierbas (Figura 13), es decir que a menor número de árboles hay más cobertura de hierbas que forman el sotobosque. Esto también fue encontrado en el análisis exploratorio de las variables, en donde se observa que los sitios con presencia de la especie tuvieron mayores valores de cobertura y altura de hierbas (Figura 12). Estos resultados cuantitativos son apoyados por los reportes anecdóticos en la literatura en donde se menciona que la gallina de montaña prefiere sitios con baja cobertura arbórea y denso sotobosque (Land y Trim 1970, Howell y Webb 1995).

Según los resultados, el bajo número de árboles en la unidad de muestreo implica bajos valores de cobertura de dosel, lo cual permitiría mayor entrada de luz al sotobosque, lo que incrementa la producción y estimula la germinación de semillas, lo que resulta en un sotobosque más denso (Guariguata & Ostertag 2001, Martínez-Ramos et al. 2016). Asimismo, se ha observado que hay mayor abundancia de invertebrados en áreas con mayor disponibilidad de luz y por tanto mayor densidad vegetal en el sotobosque (Benítez-Malvido et al 2014). Estas condiciones brindan recursos importantes para la especie, especialmente porque se cree que puede alimentarse de granos, brotes de vegetación, raíces, tubérculos, insectos e invertebrados (Del Hoyo et al 1994). Además, estas condiciones podrían brindarle otros recursos como refugio y temperaturas más estables.

Sin embargo, también habría que considerar un umbral o un valor más idóneo de cuatro árboles /parcela (según los datos de campo), ya que un menor número de árboles o la ausencia completa podría no ser conveniente para la especie, ya que significaría aún mayor intensidad en la entrada de luz y, por tanto, temperaturas menos estables, así como mayor exposición. Esto se pudo observar en el análisis de correlación entre variables, en donde se encontró que la cobertura de dosel tuvo correlación negativa con la temperatura ambiental y de sustrato, por lo que, a menor cobertura, mayor temperatura.

Las altas temperaturas han sido identificadas como un factor importante en el hábitat de la gallina de montaña a escala regional o biogeográfica según los resultados de la primera parte de este estudio, y parece ser importante a escala local o ecológica también, así como en otras especies de codornices (Heffelfinger et al. 1999, Guthery et al. 2005, Hauptfeld et al. 2014, Mota-Vargas y Rojas Soto 2016). Por otro lado, un alto número de árboles, quizás disminuya la probabilidad de selección de sitio de la especie, ya que, por el contrario, permitiría menor ingreso de luz al suelo, por lo que habría menor cantidad de cobertura en el sotobosque (Spurr y Barnes 1980), lo cual implicaría menos recursos para la gallina de montaña (alimento, refugio, etc.).

Los datos obtenidos sugieren que esta especie se registró principalmente en zonas de ecotono y/o los bordes del bosque, ya que éstas pueden presentar características de bajo número de árboles, menor cobertura arbórea, mayor cobertura en el sotobosque (Patton 2011) y las condiciones relacionadas a dichas variables. La gallina de montaña, al igual que otras especies cinegéticas (Patton 2011), tolera y hasta podría beneficiarse de cierto grado de la perturbación en el bosque. En este estudio, hubo reportes y observaciones de la especie en áreas abiertas, cultivos de maíz y frijol: personal de la finca El Tular y en Muxbal mencionaron haber observado a la especie en los cultivos. Una persona mencionó tener problemas con la especie por daños a sus cultivos de frijol, lo cual coincide también con lo reportado para *Dendrortyx barbatus* en Oaxaca, México (Aguilar-Rodríguez 2000).

La mayor presencia de la especie en los bordes también es apoyada por el reporte de un nido encontrado en uno de los sitios de muestreo que fue ubicado por trabajadores del lugar cuando chapeaban un “guamil”, “charral” o área en regeneración con dominancia de gramíneas (finca El Tular, 15 de julio de 2016, Anexo C). Además, se había reportado con anterioridad hallazgos de nidos de esta especie en otros sitios de borde de bosque o zonas de transición, como orillas del camino en El Salvador (Komar et al. 2005), y en el interior de “pastos densos”, al borde de calles internas de plantaciones de café con sombra y dentro de pastizales altos en el borde de parches de bosques riparios en Costa Rica (Sandoval et al. 2013).

Para la mayoría de los puntos de conteo en donde fue detectada la presencia de la especie, los nuevos registros en los puntos se realizaron durante el primer día de muestreo, lo cual podría indicar la efectividad de la técnica del *playback* en la detección de la gallina de montaña, esto ya había sido probado para las otras especies del género *Dendrortyx* en México (Aguilar-Rodríguez 2000, Eitnier y Baccus 2002, Chávez-León 2004). Por otro lado, el hecho de que las nuevas detecciones hayan ido disminuyendo hacia el segundo y tercer día y solamente se haya realizado una nueva detección en el cuarto, podría ser un indicador de que se registraron verdaderas ausencias.

Aunque los resultados indican que la gallina de montaña selecciona positivamente los sitios con un bajo número de árboles, habría que considerar la temporalidad en el estudio, ya que en algunos sitios muestreados, las personas del lugar mencionaron haber observado individuos de la especie en puntos en donde fue reportada ausencia, durante otros períodos de tiempo. Por dicha razón es probable también que los individuos no seleccionen siempre los mismos sitios, sino que puedan presentar movimientos estacionales dentro del bosque, dependiendo de la temporalidad y la disponibilidad de recursos asociada a ésta. Se sabe que, en la selección de hábitat en aves, durante ciertos períodos, algunas características particulares pueden predominar, y en otros períodos, esas mismas características pueden ser anuladas por otras (Cody 1985).

Finalmente, aunque esta especie parece ser bastante “adaptable” a condiciones de alteración del bosque y a matrices heterogéneas, no pareciera ser una especie abundante, además, es una especie que se organiza en grupos, que parecieran ser territoriales (lo cual es apoyado por la respuesta a la reproducción de las vocalizaciones). La mayoría de observaciones realizadas en este estudio correspondieron a grupos de entre 2 a 5 individuos, únicamente 1 vez se detectó a un individuo solitario. Por dicha razón, puede ser que esta especie no pueda soportar presiones como la cacería o la destrucción de su hábitat, sin embargo, la experimentación con reproducción en cautiverio podría ser una alternativa para darle un uso directo a esta especie, principalmente por sus características de adaptabilidad.

CONCLUSIONES

La estimación del área de distribución para la gallina de montaña en este estudio, fue más restringida y discontinua de lo que estaba reportado, siendo de 10,845 km², del cual 42.68 % se encuentra dentro de áreas protegidas, lo cual implica que más de la mitad del área de distribución de la especie se encuentra fuera de las categorías formales de conservación.

Entre las variables ambientales consideradas, la altitud y la temperatura fueron las más importantes en la determinación de la distribución de la gallina de montaña.

La selección de unidades de recurso por la gallina de montaña mostró estar relacionada negativamente con el número de árboles y con la cobertura del dosel, y relacionada positivamente con la cobertura de hierbas en los bosques de Guatemala estudiados.

La gallina de montaña fue registrada mayormente en zonas de ecotono o bordes de bosque, según las características de hábitat seleccionadas por la especie.

RECOMENDACIONES

1) Basado en la limitada área de distribución estimada, y en las características ecológicas de la especie observadas en los bosques de Guatemala, se recomienda evaluar si existe cacería furtiva de la gallina de montaña en poblaciones silvestres y el impacto que puede tener en esta especie.

2) Dado los resultados de este estudio sobre la limitada distribución de la gallina de montaña, y, que se carece de datos poblacionales, se recomienda a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) re-categorizar el estado de conservación de esta especie del estado de menor importancia al de deficiente de datos, en la lista roja de especies amenazadas.

3) Debido a que es una especie elusiva y poco estudiada aún faltan muchos aspectos de la biología de la gallina de montaña por conocer por lo que se recomienda generar información específicamente sobre aspectos demográficos (tasa de sobrevivencia, reproducción y densidad poblacional), presión por cacería, además de verificar presencia de la especie en los sitios en los que los modelos indican presencia de hábitat disponible, pero no se ha reportado la especie a la fecha, como por ejemplo el área fronteriza entre Costa Rica y Panamá.

4) Dado que la gallina de montaña presentó una distribución con poblaciones discontinuas o discretas se recomienda realizar investigaciones sobre filogeografía de la especie para evaluar si pueden diferenciarse las poblaciones lo cual tendría implicaciones en las estrategias de conservación. Complementario a esto, se recomienda generar información sobre la función ecológica que pudiera tener la especie en los distintos hábitats disponibles aislados geográficamente.

LITERATURA CITADA

Aguilar-Rodríguez, S. H. 2000. Registro de la perdiz veracruzana o Chivizcoyo (*Dendrortyx barbatus* Gould) en la sierra norte de Oaxaca, México. Huitzil 11: 3–11.

Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica. 2008. Plan de Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Centroamérica y el Ave Migratoria *Dendroica chrysoparia*. Fundación Defensores de la Naturaleza y The Nature Conservancy. Guatemala, Guatemala, Guatemala.

Allouche, O., A. Tsoar, y R. Kadmon. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of applied ecology* 43: 1223–1232.

Anderson, S. H., y K. J. Gutzwiller. 2005. Wildlife habitat evaluation. Páginas 489–502 en C. E. Braun, editor. *Techniques for Wildlife Investigations and Management*, 6th Edition. The Wildlife Society, Bethesda, Maryland, USA.

Barve, N., V. Barve, A. Jiménez-Valverde, A. Lira-Noriega, S. P. Maher, A. T. Peterson, J. Soberón, y F. Villalobos. 2011. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling* 222: 1810–1819.

Benítez-Malvido, J., A. P. Martínez-Falcón, W. Dáttilo, y E. Del Val. 2014. Diversity and network structure of invertebrate communities associated to *Heliconia* species in natural and human disturbed tropical rain forests. *Global Ecology and Conservation* 2: 107–117.

BirdLife International 2017. Species factsheet: *Dendrortyx leucophrys*. <http://www.birdlife.org>. Consultado el 05 de mayo de 2017.

BirdLife International and Handbook of the Birds of the World (2016) Bird species distribution maps of the world. Version 6.0. <http://datazone.birdlife.org/species/requestdis>. Consultado el 10 de mayo de 2017.

Blau, G. 2012. Analysis of a Random Forests Model. *Journal of Machine Learning Research* 13: 1063–1095.

Block, W. M., K. A. With, y M. L. Morrison. 1987. On measuring bird habitat: influence of observer variability and sample size. *The Condor* 89: 241–251.

Brazil, K. A., A. B. Leonard, F. Hernández, B. M. Ballard, y F. C. Bryant. 2012. Order and chaos: Northern bobwhite productivity and nest-habitat relationships in South Texas. *Bulletín of the Texas ornithological society* 45: 6–11.

Breiman, L. 2001. Random Forests. *Machine learnings* 45:5–32.

Burnham, K. P., y D. R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: A practical information-Theoretic Approach. 2nd edition. Springer-Verlag, New York, New York, USA.

Castañeda, C. 2008. Diversidad de ecosistemas en Guatemala. Páginas 181–229 en Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) editor. Guatemala y su biodiversidad: un enfoque histórico, cultural, biológico y económico. Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala, Guatemala, Guatemala.

Centro de Datos para la Conservación de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CDC) y Consejo Nacional de ciencia y tecnología de Guatemala (CONCYT). 2007. Diversidad biológica en el departamento de Guatemala. Informe final proyecto FODECYT-29-2006. Guatemala, Guatemala, Guatemala.

Centro de estudios ambientales y biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala–The Nature Conservancy (CEAB-TNC) 2009. Diagnóstico Ecológico y Socioeconómico de la Ecorregión Bosques de Pino-Encino de Centroamérica. The Nature Conservancy/Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala,Guatemala,Guatemala.

CECON-PROBIOMA. 2005. Avances del tema de cacería en Guatemala: Diagnóstico.CECON-PROBIOMA-ONCA-CCTP, Guatemala,Guatemala,Guatemala.

Chávez-León, G., y A. Velázquez. 2004. Abundance and distribution of the Long-tailed Wood-Partridge (*Dendrortyx macroura*) in a temperate coniferous forest. Journal of Field Ornithology. 75:345–352.

Chávez-León, G. 2014. Las Codornices de bosques y selvas. Retos de manejo y conservación de la fauna silvestre. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 5:6–21.

Cody, M. 1985. An introduction to hábitat selection in birds. Páginas 4-46 en Cody, M. editor. Habitat Selection in Birds. Academic Press Inc. Orlando, Florida, USA.

Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). 2006. Resolución 01-2006. Calendario Cinegético 2006. Diario de Centro América. Número 64: 7-9, Guatemala, Guatemala, Guatemala.

Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). 2011. Resolución 03-15-2010. Calendario Cinegético 2011. Diario de Centro América. Número 17: 11-14. Guatemala, Guatemala, Guatemala.

Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). 2012. Estrategia Nacional de diversidad Biológica y Plan de Acción 2012-2022. Documento técnico No. 105(01-2012). Guatemala, Guatemala, Guatemala.

Del Hoyo, J., A. Elliot, y J. Sargatal. 1994. Handbook of the birds of the world. Volume 2. New World vultures to guineafowl. Lynx Edicions. Barcelona, Barcelona, España.

Eisermann, E., y C. Avendaño. 2006. Diversidad de Aves en Guatemala, con una lista bibliográfica. Páginas 525–623 en E. Cano, editor. Biodiversidad de Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala, Guatemala, Guatemala.

Eitnienar, J. C., y J. T. Baccus. 2002. Management implications of estimating abundance of quail species inhabiting forest environs in México. Páginas 201–205, en S. J. DeMaso, W. P. Kulesky, Jr., F. Hernández, y M. E. Berger, editors. Quail V: Proceedings of the Fifth National Quail Symposium. Texas Parks and Wildlife Department, Austin, Texas, USA.

ESRI 2013. ArcGIS Desktop: Release 10.2. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Ficetola, G. F., F. Mazel, y W. Thuiller. 2017. Global determinants of zoogeographical boundaries. *Nature ecology and evolution* 1: 0089. DOI: 10.1038/s41559-017-0089

Fielding, A. H., y J. F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of predictions errors in conservation presence/absence models. *Environmental conservation* 24:38–49.

Fretwell, S.D. and Lucas, H.L. (1970) On territorial behavior and other factors influencing habitat distribution in birds. I. Theoretical development. *Acta Biotheoretica*, 19, 16-36

Fuller, R. A., J. P. Carroll, y P. J. K. McGowan. Editors. 2000. Partridges, Quails, Francolins, Snowcocks, Guineafowl, and Turkeys. Status Survey and conservation Action Plan 2000-2004. WPA/BirdLife/SSC Partridge, Quail, and Francolin Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, and the World Pheasant Association, Reading, Newbury, UK.

González-Irusta, J. M., B. Almón, R. Sarralde, M. González-Porto, B. Arrese, y P. Martín-Sosa. 2014. Comparing species distribution models: a case study of four deep sea urchin species. *Hydrobiologia* DOI 10.1007/s10750-014-2090-3.

Guariguata, M. R., y R. Ostertag. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 148: 185—206

Guthery, F. S., J. J. Lusk, D. R. Synatzske, J. Gallagher, S. J. DeMaso, R. R. George, y M. J. Peterson 2002. Weather and age ratios of northern bobwhites in south Texas. Páginas 99–105 en S. J. DeMaso, W. P. Kuvlesky, Jr. F. Hernández, y M. E. Berger, editores Quail V: proceedings of the Fifth national quail symposium. Texas Parks and Wildlife department, Austin, TX, USA.

Guthery, F. S., A. R. Rybak, S. D. Fuhlendorf, T. L. Hiller, S. G. Smith, W. H. Puckett, y R. A. Baker. 2005. Aspects of the Thermal ecology of Bobwhites in North Texas. *Wildlife Monographs* 159:1–36.

Gutiérrez, R. J. 1980. Comparative ecology of the mountain and California quails in the Carmel Valley, California. *Living Bird* 18:71–93.

Hauptfeld, R. S., J. M. Kershner, y K. M. Feifel. 2014. Sierra Nevada individual species vulnerability assessment technical synthesis: Mountain Quail en J. M. Kershner, editor. A climate change vulnerability assessment for Focal Resources of the Sierra Nevada. Version 1.0. EcoAdapt, Bainbridge Island, WA. Disponible en línea en: <http://ecoadapt.org/programs/adaptationconsultations/calcc>. Consultado el 06 de febrero de 2017.

Heffelfinger, J. R., F. S. Guthery, R. J. Olding, C. L. Cochran, y C. M. McMullen. 1999. Influence of precipitation timing and summer temperatures on reproduction of Gambel's Quail. *The Journal of Wildlife Management* 63:154–161.

Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones, y A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25:1965–1978.

Howell, S. N., y S. Webb. 1995. A guide to the birds of Mexico and northern Central America. Oxford University Press, New York, New York, USA.

Hutchinson, G. E. 1978. *An Introduction to Population Ecology*. Yale University Press, New Haven, Connecticut. USA.

IUCN 2016. Red list of Threatened species. Categories y Criteria (version 3.1). www.iucnredlist.org/static/categories_criteria_3_1#categories. Consultado el 10 de marzo de 2017.

IUCN y UNEP-WCMC (2016). The World database on protected areas (WDPA). UK: UNEP-WCMC. www.protectedplanet.net. Consultado el 6 de diciembre de 2016.

Johnsgard, P. A. 1988. *The Quails, Partridges, and Francolins of the World*. Oxford University Press. New York, New York, USA.

Komar, O., S. López de Aquino, L. E. Girón, y C. M. Zaldaña-Fonseca. 2005. El Nido y Huevos de la Gallina de monte Centroamericana (*Dendrortyx leucophrys*). *Ornitología Neotropical* 16:557–561.

Krebs, C. J. 2009. *Ecology the Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 6th edition. Pearson Education Inc, publishing as Pearson Benjamín Cummings. San Francisco, California, United States.

Lamoureux, J. F., J. C. Morrison, T. H. Ricketts, D. M. Olson, E. Denerstein, y M. W. McKnight. 2006. Global test of biodiversity concordance and the importance of endemism. *Nature* 440:214–221.

Land, H., y W. Trimm. 1970. Birds of Guatemala. Livingston publishing company. Wynnewood, Pennsylvania. USA.

LEA-CONAP (Lista de especies amenazadas de Guatemala). 2009. Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Documento técnico 67 (02-2009). Guatemala, Guatemala, Guatemala.

Liu, C., P. M. Berry, T. P. Dawson, y R. G. Pearson. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography* 28:385–393.

Martínez-Ramos, M., I. A. Ortiz-Rodríguez, D. Piñero, R. Dirzo, y J. Sarukhán. 2016. Anthropogenic disturbances jeopardize biodiversity conservation within tropical rainforest reserves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 19: 5323–5328.

Mi, C., F. Huettmann, Y. Guo, X. Han, y L. Wen. 2016. Why choose Random Forest to predict rare species distribution with few samples in large undersampled áreas? Three Asian crane species models provide supporting evidence. *PeerJ* 5:e2849; DOI 10.7717/peerj.2849

Miller, W., y Griscom, L. 1925. Notes on Central American birds, with descriptions of new forms. *American Museum Novitates*, 183: 1–2.

Morris D. W. 2003. Toward an ecological synthesis: a case for hábitat selection. *Oecologia* 136:1–13.

Morris D. W., R. G. Clark, y M. S. Boyce. 2008. Habitat and habitat selection: theory, tests, and implications. *Israel Journal of Ecology & Evolution* 54:297–294.

Morrison, M. L., B. G. Marcot, y R. W. Mannan. 2006. *Wildlife-Habitat Relationships*. 3rd Edition. Island Press. Washington, Washington, USA.

Morrone, J. J. 2004. Homología biogeográfica. Las coordenadas espaciales de la vida. Cuadernos 37. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, México, México.

Mota-Vargas, C., y O. R. Rojas. 2012. The importance of defining the geographic distribution of species for conservation: The case of the Bearded Wood-Partridge. *Journal for Nature Conservation* 20:10–17.

Mota-Vargas, C., y O. R. Rojas-Soto 2016. Taxonomy and ecological niche modeling: Implications for the conservation of Wood partridges (genus *Dendrortyx*). *Journal for Nature Conservation* 29:1–13.

Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. da Fonseca, y J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–858.

Naimi, B., y M. B. Araújo. 2016. Sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography* 39:368–375.

Osorio-Olvera, L., V. Barve, N. Barve, y J. Soberón. 2016. Nichetoolbox: From getting biodiversity data to evaluating species distribution models in a friendly GUI environment. R package version 0.1.6.0. <https://github.com/luismurao/nichetoolbox>. Consultado el 20 de abril de 2017.

Patton, D. R. 2011. *Forest wildlife ecology and habitat management*. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.

Peterson, A. T., J. Soberón, y V. Sánchez-Cordero. 1999. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science* 285:1265–1267.

Programa Estado de la Nación. 2008. Estado de la región en desarrollo humano sostenible. Capítulo 10 El desafío regional de proteger el patrimonio natural. San José, San José, Costa Rica. <http://www.vanderbilt.edu/lapop/multicountry/2006-desarrollohumano.pdf>. Consultado el 18 de marzo de 2017.

R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>. Consultado el 02 de mayo de 2017.

Revelle, W. 2016. *Psych: Procedures for Personality and Psychological Research*. Northwestern University, Evanston, Illinois, USA. <https://CRAN.R-project.org/package=psych> Version = 1.6.9. Consultado el 02 de mayo de 2017.

Sandoval, L., J. E. Sánchez, y E. Carman. 2013. Biología reproductiva de la Chirrascuá (*Dendrotyx leucophrys*) en Costa Rica. *Ornitología Neotropical* 24:113–120.

Secretaría del medio ambiente y recursos naturales de México (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestre, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, lista de especies en riesgo. Diario oficial de la federación, segunda edición, 6 de marzo de 2002. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010 Pp. 95-190. Consultado en mayo de 2016.

SICA (Sistema de la integración centroamericana), MINAE (Ministerio de ambiente y energía de Costa Rica), CCDA (Comisión centroamericana de ambiente y desarrollo) y SINAC (Sistema nacional de áreas de conservación Costa Rica). 2014. IV Congreso mesoamericano de áreas protegidas. Memorias del congreso 18 al 21 de marzo 2014. <https://congresomesoamericanodeareasprotegidas.wordpress.com/k-conclusiones/>. Consultado el 20 de abril de 2017.

Soberon, J., y A. T. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2:1–10.

Soberón, J. 2007. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology letters* 10:1115–1123.

Solórzano, S., A. J. Baker, y K. Oyama. 2004. Conservation priorities for resplendent Quetzals based on analysis of mitochondrial DNA control-region sequences. *The Condor* 106: 449–456.

Spurr, S. H., y B. V. Barnes. 1980. *Forest Ecology*. Third edition. John Wiley & Sons, Inc. New York, New York, USA.

Stiles, F. G., y A. Skutch. 1998. *Guía de Aves de Costa Rica*. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio). Santo Domingo, Heredia, Costa Rica.

Thomas, D. L., y E. J. Taylor. 2006. Study designs and test for comparing resource use and availability II. *Journal of wildlife management* 70:324–336

Van Perlo, B. 2006. *Birds of Mexico and Central America*. Princeton University Press. Princeton and Oxford. China.

ANEXOS

Sección 1.10 Anexo A. La gallina de montaña (*Dendrortyx leucophrys*) especie endémica a Mesoamérica, distribuida discontinuamente desde Chiapas (México) hasta Costa Rica. Crédito fotográfico: Claire de Masaya. Facilitada por: Parque ecológico Cayalá



Sección 1.11 Anexo B. Especies de plantas de las parcelas en donde se midieron variables de hábitat en puntos de conteo con presencia y ausencia de detección de la gallina de montaña en la finca El Tular, San José Pinula, Guatemala (información proporcionada por el ecólogo del lugar Challen Willemsen).

Familia	Especie	presencia	ausencia
Actinidiaceae	Saurauia sp.		x
Alstroemeriaceae	Bomarea edulis	x	
Anemiaceae	Anemia sp.	x	
Annonaceae	Annona probablemente diversifolia		x
Anthericaceae	Echeandia skinneri	x	x
Apiaceae	Spananthe paniculata	x	
Apocynaceae	Asclepias curassavica	x	
Araceae	Monstera adansonii	x	x
Araliaceae	Oreopanax peltatus		x
	Oreopanax xalapensis	x	x
Arecaceae	Chamaedorea sp.		x
Asparagaceae	Maianthemum flexuosum	x	x
Asteraceae	Cirsium sp.		x
	Dahlia imperialis	x	x
	Desconocida	x	
	Desconocida		x
	Lepidaploa tortuosa (Vernonia tortuosa)	x	x
	Melampodium perfoliatum	x	
	Perymenium grande	x	
	Polymnia maculata	x	
	Roldana jurgensenii	x	x
Roldana sp.		x	
	Vernonanthura (Vernonia) deppeana	x	
Betulaceae	Carpinus tropicalis		x
Bromeliaceae	Catopsis hahnii		x
	Catopsis sp.		x

Familia	Especie	presencia	ausencia
	<i>Tillandsia guatemalensis</i>	x	x
	<i>Tillandsia rodrigueziana</i>	x	
	<i>Tillandsia</i> sp.		x
Burmanniaceae	<i>Gymnosiphon suaveolens</i>		x
Clusiaceae (Guttiferae)	<i>Clusia probablemente salvinii</i>		x
Commelinaceae	Desconocida	x	
	<i>Tinantia erecta</i>	x	
Convolvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i>	x	x
	<i>Ipomoea</i> sp.		x
Crassulaceae	<i>Kalanchoe</i> sp.	x	
Cucurbitaceae	Desconocida	x	
Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i>	x	x
Cyperaceae	Desconocida		x
Euphorbiaceae	<i>Acalypha guatemalensis</i>	x	
	<i>Cnidoscolus tubulosus</i>	x	x
	<i>Ricinus communis</i>	x	
Fabaceae	<i>Crotalaria</i> sp.		x
Fabaceae (Caesalpinioideae)	<i>Senna pallida</i>	x	x
Fabaceae (Faboideae)	Desconocida	x	x
Fabaceae (Faboideae)	<i>Erythrina berteroana</i>	x	
Fabaceae (Mimosoideae)	Desconocida		x
Fagaceae	<i>Quercus sapotifolia</i>	x	x
	<i>Quercus</i> sp.		x
Hymenophyllaceae	Desconocida		x
Iridaceae	<i>Cobana guatemalensis</i>		x
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	x	
Malvaceae	<i>Anoda cristata</i>	x	
	<i>Malvaviscus arboreus</i>	x	x
	<i>Sida</i> sp.	x	
	<i>Triumfetta dumetorum</i>	x	
Melastomataceae	Desconocida 1	x	x

Familia	Especie	presencia	ausencia
	Heterocentron subtriplinervium	x	x
Meliaceae	Cedrela probablemente tonduzii	x	
Musaceae	Musa x paradisiaca	x	
	Musa sp.	x	x
Myrsinaceae	Myrsine coriacea	x	x
Myrtaceae	Eugenia posiblemente pachychlamys		x
	Psidium guajava	x	
Onagraceae	Fuchsia microphylla	x	x
Orchidaceae	Comparettia falcata	x	
	Cranichis apiculata		x
	Cyclopogon elatus		x
	Cyclopogon sp.		x
	Dichaea neglecta		x
	Epidendrum laucheanum		x
	Epidendrum mixtum		x
	Epidendrum santaclareense		x
	Govenia sp.	x	
	Oncidium leucochilum	x	
	Prescottia stachyodes		x
	Rhynchostele bictoniensis		x
	Sarcoglottis cerina	x	
	Scaphyglottis confusa		x
	Trichocentrum cavendishianum	x	
Oxalidaceae	Oxalis sp.	x	
Papaveraceae	Bocconia arborea	x	
Passifloraceae	Passiflora eglandulosa	x	x
	Passiflora sp.	x	
Pinaceae	Pinus sp.	x	x
Piperaceae	Peperomia lanceolatopeltata	x	
	Piper sp.		x
	Piper umbellatum	x	x
Poaceae	Chusquea sp.	x	x

Familia	Especie	presencia	ausencia
	Desconocida	x	x
Polypodiaceae	Phlebodium sp.	x	x
Primulaceae	Ardisia compressa	x	x
Proteaceae	Grevillea robusta	x	
Pteridaceae	Adiantum sp.	x	x
Rosaceae	Rubus rosifolius	x	x
	Rubus sp.	x	x
Rubiaceae	Desconocida		x
	Hamelia o Palicourea sp.	x	x
	Hoffmannia sp.		x
	Rogiera cordata	x	x
	Spermacoce ocymoides	x	
Salicaceae	Olmediella betschleriana	x	x
Sapindaceae	Acer negundo	x	
	Serjania sp.	x	x
Smilacaceae	Desconocida	x	x
Solanaceae	Brachistus stramoniifolius	x	x
	Cestrum aurantiacum	x	
	Cestrum sp.	x	
	Desconocida	x	x
	Lycianthes sp.		x
	Solanum sp.	x	
Symplocaceae	Desconocida		x
Ulmaceae	Trema micrantha	x	
Urticaceae	Urera caracasana	x	
Verbenaceae	Desconocida	x	
	Lantana camara	x	
Vitaceae	Cissus sp.	x	x

**Sección 1.12 Anexo C. Nido de la gallina de montaña encontrado en la finca El Tular,
San José Pinula, Guatemala el 15 de julio de 2016.**

