



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Ecología e Historia Natural del *Pavón Oreophasis derbianus*: Un
Crácido de Montaña

Fernando González García



Tesis **Doctorales**

www.eltallerdigital.com

UNIVERSIDAD de ALICANTE

TESIS DOCTORAL

JULIO 2017

FERNANDO GONZÁLEZ GARCÍA



**Ecología e Historia Natural del Pavón *Oreophasis derbianus*: Un
Crácido de Montaña**

Facultad de Ciencias

Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales

Universidad de Alicante



Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales

Facultad de Ciencias

Ecología e Historia Natural del Pavón *Oreophasis derbianus*: Un

Crácido de Montaña.

D. FERNANDO GONZÁLEZ-GARCÍA

Tesis presentada para aspirar al grado de

Universitat d'Alacant
DOCTOR POR LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE
Universidad de Alicante

Programa de Doctorado: "Ciencias Experimentales y Biosanitarias"

Dirigida por:

Dr. VICENTE URIOS MOLINER

Profesor Titular de la Universidad de Alicante

En Alicante, a 15 de julio de 2017

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación no habría sido posible sin la ayuda de muchas, pero muchas personas. En primer lugar, quiero agradecer sinceramente al Dr. Vicente Urios Moliner, director y tutor de esta tesis, todo el apoyo y esfuerzos invertidos para superar esta etapa académica, su continua ayuda, preocupación, comentarios, sugerencias que fueron fundamentales para su conclusión.

Agradezco muy cumplidamente al Dr. Víctor Rico-Gray, al Dr. Pedro Jordano y al Dr. Eduardo Santana todas las consideraciones, facilidades, apoyo, aportes, comentarios y sugerencias en el proceso de revisión y publicación de los artículos.

Al Dr. José Roberto Sosa y a los integrantes del Laboratorio de Bioacústica y Ecología del Comportamiento del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, por todo su apoyo y por hacer de la estancia sabática un hecho productivo y culturalmente muy aleccionadora.

Al Instituto de Ecología, A. C., y especialmente a toda la Red Biología y Conservación de Vertebrados por A.C., por su comprensión, ánimos y facilidades para la culminación del doctorado.

Al Centro Iberoamericano de la Biodiversidad (CIBIO) de la Universidad de Alicante.

Al Dr. Gerardo Sánchez Rojas y Dra. Claudia E. Moreno por todo su amable apoyo y facilidades de estancia y convivencia al llegar por primera vez a la ciudad de Alicante.

A la Dra. Olga Lucía Hernández Manrique, una colombiana, quien fue mi primer contacto al llegar a la Universidad de Alicante, y con quien compartimos “piso”, anécdotas, sonrisas y viajes muy divertidos. Siempre había tiempo para unas “cañitas” y unas “tapitas”.

A todos los amigos (as), compañeros (as) y colegas (colegos) del programa de doctorado en el CIBIO de la Universidad de Alicante por su amistad y compañerismo.

A todos los amigos, compañeros y colegas de la Facultad de Ciencias del Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales de la Universidad de Alicante.

Al Dr. Román Díaz Valenzuela, al Dr. Roberto Ruiz Vidal, al Dr. Miguel Ángel Martínez, al Dr. José Luis Rangel y a la cuasi doctora Nubia Zoé Lara Rodríguez por sus acertados comentarios, aventuras en el campo y por su amistad.

Al Zoológico Africam Safari, Puebla, al Zoológico Miguel Álvarez del Toro, Chiapas, y a El Nido, en el Estado de México por las facilidades para recolectar datos y grabar a los pavones en sus instalaciones. Muy especialmente agradecido con Frank Camacho, Carolina Hartmann, Miguel de la Cruz, Jesús Estudillo, y por supuesto a Michael Macek y Ellen Dierenfeld por toda la ayuda y apoyo para esta investigación. Agradezco el apoyo de F. R. Ramírez e I. Calzada en la caracterización de la vegetación e identificación de planta y al Dr. Francisco Lorea por su ayuda en la identificación de Lauráceas. Al herbario XAL del Instituto de Ecología, A. C., en Xalapa, Veracruz, México, especialmente a F. L. Hernández, C. A. Durán y a C. Gallardo Hernández, por la identificación de material botánico.

A la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), especialmente a Juan Carlos Castro, Jannette González García y Rossana Mengchu Guerrero, funcionarios de la reserva de la biósfera El Triunfo.

Agradezco a los buenos amigos y colegas, Alberto Thompson, Cesar Tejeda, Fanny R. Gallardo, Héctor Gómez de Silva Garza, Mara Neri Fajardo, Philipp Bubb, Sanda Gallo Corona, Pedro Mota, y Claudio Mota por todo su valioso apoyo en campo.

Un agradecimiento muy especial a los incansables compañeros de campo de toda la vida en El Triunfo y a sus familiares: Ismael Gálvez (Chima), Rafael Solís (Rafa), Ramiro Gálvez, Anelfo Gálvez (manzanita Washington) y más recientemente Edilberto Gálvez. Gracias por compartir experiencias, apoyo, comida y por supuesto su gran conocimiento de su lugar de nacimiento, crecimiento y desarrollo. Los guardianes de El Triunfo. Las comidas y salsas de Rubí, Rosaura y la Chepis, grandiosas las chef de El Triunfo. Y cómo olvidar al equipo 4 x 4, es decir al equipo “mular” del campamento El Triunfo, sin su ayuda y apoyo, difícilmente se podría cumplir con el agotador trabajo de campo: gracias a Golondrina, Fortuna, Muñeco, Rocío, Recuerdo, Tejana y Perla.

A los innumerables estudiantes, profesionales, monitores y voluntarios por su ayuda en las diversas actividades en campo en la reserva de la biósfera El Triunfo a lo largo de todos estos años.

Agradecemos la colaboración y el financiamiento otorgado por las siguientes instituciones: Embajadores de las Nubes, Saint Louis Zoo WildCare Institute, el Comité Internacional para la Conservación de *Oreophasis derbianus* y su Hábitat, Instituto de Ecología, A.C., a través de la Red de Biología y Conservación de Vertebrados, y a Medio Ambiente, Productividad y Sociedad, A. C (MAPS).

Idea Wild y el Laboratorio de Bioacústica de la Universidad de Cornell, proveyeron el equipo y software necesarios para el trabajo de campo y análisis de sonidos. Muchas gracias.

Con la mejor dedicación a toda mi familia, anexos y similares, por el apoyo brindado en mis estudios y la paciencia durante las prolongadas estancias de campo. Por la prolongada espera, serenidad y paciencia Solín.

A los unicornios del bosque de niebla, a todos los otros seres de los bosques nubosos de la Sierra Madre de Chiapas, a las libélulas, y a Genoveva, fiel compañera de toda la vida.

La fotografía que ilustra la portada de esta tesis doctoral, es de la autoría de Apolinar Basora, a quien agradezco su cortesía, y reconozco su talento y un poquitín de suerte, para captar el momento de la cópula de un par de pavones en la reserva de la biósfera El Triunfo y, por si fuera poco, en algún punto del sendero Palo Gordo. A Jorge Silva, por la foto del pavón, que aparece en el anexo.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

ÍNDICE

1. Sección I	
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	14
1.3 Resultados Generales	16
1.4 Discusión	24
1.5 Conclusiones	33
2. Sección II: Trabajos publicados	
2.1 Capítulo 1: Individual variation in the booming calls of captive Horned Guans (<i>Oreophasis derbianus</i>): an endangered Neotropical mountain bird.	36
2.2 Capítulo 2. Protocolo estandarizado para el seguimiento poblacional del pavón <i>Oreophasis derbianus</i> : una propuesta de métodos de campo y analíticos	51
3. Sección III. Trabajos no publicados	
3.1 Capítulo 3: Dieta y conducta de alimentación del pavón (<i>Oreophasis derbianus</i>) in Mexico.	71
3.2. Capítulo 4. Densidad poblacional e historia natural del Pavón <i>Oreophasis derbianus</i> en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México.	108
3.3 Capítulo 5: El pavón <i>Oreophasis derbianus</i> : estado del conocimiento y perspectivas de investigación y conservación en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México.	143
4. Sección IV. Conclusiones	
4.1 Conclusiones generales	163

INTRODUCCIÓN

SECCIÓN I

1.1 INTRODUCCIÓN

El pavón, pavón cornudo o pavo de cacho *Oreophasis derbianus*, es un ave de la familia Cracidae, globalmente amenazado (Brooks y Strahl 2000, Cancino y Brooks 2006, IUCN 2016), con distribución geográfica restringida (del Hoyo y Motis 2004, Delacour y Amadon 2004, del Hoyo y Kirwan 2015) y fuertemente dependiente del bosque mesófilo de montaña en buen estado de conservación. En México se distribuye en el bosque mesófilo de montaña desde probabelmente Los Chimalapas en Oaxaca, en la Sierra Madre de Chiapas en el estado de Chiapas, entre los 1600 y 3500 metros sobre el nivel del mar (msnm) y hacia Guatemala desde las montañas centrales hasta Sierra de Las Minas, entre los 2000 y 3600 msnm (del Hoyo 1994, del Hoyo y Motis 2004, Delacour y Amadon 2004, González-García et al. 2006). Globalmente, la IUCN (2016) lo clasifica como “endangered” y el Grupo de Crácidos del Grupo de Especialistas en Galliformes de la IUCN lo considera como una especie con prioridad de conservación inmediata (Cancino y Brooks 2006). En México está considerado en peligro de extinción (SEMARNAT 2010). Su estado actual de conservación es consecuencia de la continua declinación en su distribución y tamaño poblacional, debido principalmente a la destrucción y fragmentación de su hábitat. Los factores implicados en la declinación se relacionan con el establecimiento de plantaciones de café, la agricultura, la ganadería, los asentamientos humanos, las actividades mineras, la cacería de subsistencia y el tráfico ilegal (González-García 1993, 1997, Vannini y Rockstroh, 1997, del Hoyo y Motis 2004). Entre los principales factores naturales de afectación a esta especie y su hábitat están la ocurrencia de incendios forestales, huracanes y la actividad volcánica (Andrle 1967, González-García 2001, del Hoyo y Motis 2004). Asimismo, se ha estimado que la distribución geográfica de *O. derbianus* enfrentará una notable reducción debido a la pérdida de la cobertura boscosa (Rojas-Soto et al. 2012, Martínez-Morales et al. 2013) y a los efectos del cambio climático (Peterson et al. 2001, Peterson y Navarro-Sigüenza 2016), factores que operan en combinación con las características de historia de vida del pavón, como

por ejemplo, la edad tardía de la primera reproducción y las bajas tasas de supervivencia y reproducción, entre otras (p. ej., Møller y Liang 2013).

El pavón habita en ambas vertientes de la Sierra Madre de Chiapas y aparentemente es más frecuente en la Vertiente Atlántica, en altitudes comprendidas entre 1,650 y 3,350 msnm. En la Sierra Madre de Chiapas se estima que el bosque mesófilo cubre aproximadamente 100,000 ha en forma de franja a lo largo de la Sierra Madre de Chiapas, México (Challenger 1998). Dentro de la Reserva de la Biosfera El Triunfo (RBET), se conserva la superficie más extensa de bosque mesófilo del país, es decir alrededor de 55,000 ha. Es muy probable que la RBET conserve la población reproductiva más numerosa del pavón (Brooks y Strahl 2000, González-García 2001).

La biología de *O. derbianus* es una de las mejor conocidas, tanto en condiciones naturales como en cautiverio (González-García, 1994, 1995, Gómez de Silva et al. 1999; González-García, et al. 2001 a, b, González-García 2005, González-García et al. 2006a, González-García et al. 2006b, González-García 2012). El pavón presenta características peculiares, como perteneciente a un género monoespecífico y la presencia de un "cuerno", una estructura ósea desnuda de brillante rojo coral que crece en la parte superior de la cabeza. Los sexos son similares en plumaje; la diferenciación sexual solo se detecta a través de las vocalizaciones. El macho tiene cuatro diferentes tipos de vocalizaciones y la hembra hasta ocho (González-García 1995). El pavón emite sus llamados de cortejo desde octubre hasta mayo (González-García 1995, Gómez de Silva et al. 1999, González-García 2012). Durante el cortejo el macho realiza vuelos cortos entre los árboles, llamando constantemente a la hembra mediante mugidos de siete notas, cada mugido con duración de aproximadamente 7 segundos (González-García 1995). Durante el cortejo, proporciona a la hembra frutos y fragmentos de hojas verdes, a través de regurgitaciones o en forma directa (González-García 1994). El sistema social es poligínico de tipo serial y un macho puede tener acceso de tres a cinco hembras (González-García 1994, 1995, 2012). La hembra anida en la parte alta de árboles relativamente aislados del resto de la vegetación. El nido es construido sobre material vegetal, como raíces de bromelias, orquídeas, bejucos y hojarasca, y con dimensiones de 31 x 34 cm. Los árboles utilizados como sitios de anidación incluyen especies como *Matudaea trinervia*, *Ternoostroemia lineata*,

Quercus sp. y *Clethra* sp. La altura promedio de ocho sitios de anidación es de 20.5 metros y la altura de los árboles de 30 m. La hembra pone dos huevos de color blanco y textura áspera, con un tamaño promedio de 84 x 59 mm (n = 6) (González-García 1995, 1997c). La incubación implica una duración de 35-36 días y es realizada sólo por la hembra, al igual que el cuidado de los pollos. La hembra sale del nido de una a cuatro veces diariamente, para alimentarse o tomar baños de tierra (González-García 2012). Cada receso tiene una duración promedio de 36 minutos (González-García 1993a, 1995, 1997c). El área de actividad estimada para una hembra anidando fue de 9 ha y para un macho un territorio de 8 ha (González-García y Bubb 1989, González-García 1991). Al término de la incubación, los huevos eclosionan casi simultáneamente, con una o dos horas de diferencia. Los pollos permanecen en el nido de tres a seis días y lo abandonan arrojándose al suelo, al llamado de la hembra. En el suelo, hembra y pollos se reúnen por medio de vocalizaciones cortas (González-García 1993a).

El pavón es una de las pocas especies de aves en el mundo estrictamente herbívora (frutos y hojas verdes), ya que no incluye prácticamente ningún elemento animal en su dieta de adulto o de juvenil, en contraste a otras especies de crácidos (Erard y Sabatier 1988, Erard et al. 1991, Galleti et al. 1997, Jiménez et al. 1998, Jiménez et al. 2001, Muñoz 2003, Muñoz y Kattan 2007). Es principalmente de hábitos arbóreos, y a pesar de la gran diversidad de plantas en su dieta, parece concentrarse en solo siete especies (González-García 2005). Se reproduce de octubre a mayo y probablemente realiza movimientos altitudinales posterior a la época reproductiva o en función de la fructificación de las plantas (Gómez de Silva et al. 1999, González-García 2005, Rivas et al. 2005, Rivas y Cobar 2005, 2007). La mayoría de la información sobre su historia natural generada hasta la fecha, se restringe a la época reproductiva, y poco o nada se conoce del comportamiento del pavón fuera del período reproductivo (junio-septiembre) (González-García 1995, 2005). El pavón, en la RBET, no utiliza el paisaje y el bosque mesófilo de manera homogénea, siendo selectivo según la especie de árbol y su localización (González-García 2005). El pavón depende mayormente del hábitat de cañadas para su alimentación y en base a su comportamiento cuantitativo de forrajeo, largas permanencias en los árboles con frutos, parece no realizar una efectiva dispersión de semillas (González-García, 2005). Las aves que permanecen en una planta después de alimentarse podrían ser dispersores menos efectivos que las especies

que ocupan períodos más cortos de estancia en las plantas en fructificación (Pratt y Stiles 1983, Wheelwright 1983, 1991, Gosper et al. 2005). El pavón es el frugívoro más grande en el bosque mesófilo de montaña de la reserva y es un frugívoro-folívoro especializado y como tal debe estar moviendo grandes cantidades de semillas, tanto pequeñas como grandes. Entre más grande el dispersor, más grandes son los frutos o semillas que puede manejar, tragar y dispersar vía su tracto digestivo (Dennis et al. 2007). Sin embargo, se desconoce el papel que podría jugar el pavón en los procesos de dispersión de semillas, fenología de las plantas y por ende en su impacto sobre la dinámica del bosque mesófilo de montaña.

Para la conservación del pavón a largo plazo, es importante considerar, adicional a la conservación del hábitat, los siguientes aspectos de ecología e historia natural: patrones de movimiento, ámbito hogareño, uso de hábitat, fenología de las plantas, dispersión de semillas, dieta y conducta de forrajeo, tiempo de tránsito o retención de semillas, patrones de deposición de semillas, efectos sobre la germinación de semillas, desplazamientos altitudinales, densidad y abundancia a largo plazo (monitoreo poblacional), impacto del cambio climático y la variación inter e intra-individual a través de los llamados de machos adultos (como método no invasivo para determinar la identidad individualidad vocal, la fidelidad a los territorios, el monitoreo bioacústico poblacional e incluso su abundancia) (White y Garrot 1990, Gilbert y McGregor 1994, McGregor y Peake 1998, Peake et al. 1998, Yumoto 1999, Pizo y Simao 2001, Gilbert et al. 2002, Westcott y Graham 2002, Terry y McGregor 2002, Mathevon et al. 2003, Terry et al. 2005, Grava et al. 2008, Baldo y Mennill 2011, Sebastián-González et al. 2015). Tal información de manera combinada ayudará a entender la historia natural y la ecología del pavón y su posible incidencia, por ejemplo, en el éxito reproductivo de las plantas, en la estructura de las poblaciones y comunidades vegetales del bosque mesófilo, en la identidad individual para generar información sobre parámetros de historias de vida, en la tendencia poblacional a través de su densidad y abundancia y por ende, en la implementación de estrategias para la conservación efectiva a largo plazo para esta especie en alta prioridad de conservación (Terry et al. 2005, Brooks 2006, González-García 2012, IUNC 2016).

En esta tesis, se abordan estudios sobre algunos aspectos sobre la ecología e historia natural del pavón: estudio sobre la variación individual en los llamados de

pavones machos adultos cautivos con el potencial de aplicarlo al monitoreo acústico de poblaciones silvestres; estudio sobre la dieta y conducta de forrajeo; estudio sobre densidad, abundancia e historia natural. Asimismo, se ha desarrollado un protocolo estandarizado con métodos de campo y analíticos para el seguimiento poblacional del pavón a largo plazo y, finalmente un manuscrito sobre el estado del conocimiento y perspectivas de investigación y conservación del pavón *O. derbianus* en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México.

Variación individual

Las vocalizaciones en las aves, funcional y estructuralmente pueden dividirse en cantos y llamados, al menos en las aves paserinas (Catchpole 1983). Los cantos son estructuralmente más complejos, de mayor duración y amplitud, mientras que los llamados son más simples. Los cantos se usan comúnmente durante el cortejo y los llamados en otros contextos conductuales (Catchpole y Slater, 1995). Durante la época de reproducción, los machos emiten cantos para atraer a las hembras y defender los territorios de otros machos (Catchpole y Slater, 1995). Especies, poblaciones e individuos varían en la estructura de sus vocalizaciones y esta variación permite a las especies, la generación de dialectos, microdialectos y el reconocimiento individual (Catchpole y Slater 1995, Peake et al. 1998, Terry et al. 2005).

La individualidad vocal está ampliamente documentada en aves (Falls 1982, Catchpole y Slater, 1995), y proporciona un método de monitoreo potencial para aves sigilosas y/o amenazadas, donde el marcaje individual con anillos resulta impráctico por razones logísticas (captura y manejo), de visibilidad y detección, éticas y de salud (McGregor y Byle 1992, Gilbert et al., 1994, Peake et al., 1998).

Dos prerequisites deben cumplirse para la discriminación e identificación individualidad vocal: baja variación intraindividual y alta variación interindividual, así como que las características de las señales acústicas permanezcan estables o constantes en el tiempo (Peake et al. 1998, McGregor y Peake 1998, Terry et al. 2005). Se han llevado cabo análisis cuantitativo de espectrogramas en base a muestras de pequeño tamaño para demostrar diferencias vocales individuales en una amplia gama de especies, como *Calidris alpina* (Baker 1982), *Strix aluco* (Galeotti y Pavan 1991), *Cisticola juncidis* (McGregor et al., 1994), *Merops apiaster* (Lessels et al., 1995), *Caprimulgus europaeus* (Rebbeck et al., 2001, *Empidonax*

trilli extimus (Fernández-Juricic et al., 2009), *Scolopax minor* y *Scolopax rusticola* (Beightol y Samuel 1973, Ferrand 1987, Hoodless et al., 2008). En Cracidae, la variación interindividual en la estructura de los llamados del hocofaisán *Crax rubra* se ha sugerido, lo cual puede ser útil para el seguimiento bioacústico de individuos (Baldo y Mennill 2011).

Se utilizan varios métodos para identificar individualmente a los animales silvestres, por lo general mediante la adición de marcadores (generalmente anillos plásticos de colores) o mediante la utilización de marcas naturales. Para las especies altamente vocales, como la mayoría de las aves, el monitoreo acústico es una técnica prometedora (Gilbert et al., 1994, Hartwig 2005, Grava et al., 2008). La gran ventaja del monitoreo bioacústico, como una técnica no invasiva, es que puede ser utilizado en ambientes complejos (como en los bosques de niebla) donde las marcas son difíciles de detectar y donde por el contrario, las grabaciones pueden ser realizadas a distancia sin perturbar a la fauna. El requisito más importante para la fiabilidad del monitoreo acústico es que los individuos emitan vocalizaciones características y permanezcan estables en el tiempo. Individualidad en las señales acústica se han encontrado en la mayoría de las especies de aves que han sido estudiadas (Peake et al. 1998, McGregor y Peake 1998, Aubin y Jouventin 2002, Gilbert et al. 2002, Mathevon et al. 2003, Vignal et al. 2004, Grava et al., 2008, Fox 2008, Fernández-Juricic et al., 2009). La individualidad vocal se ha utilizado para censo en varias especies: *Botaurus stellaris* (Gilbert et al 1994, Puglisi y Adamo 2004), *Crex crex* (Peake et al., 1998), *Strix woodfordii* (Delpont et al 2002), *Otus scops* (Galeotii y Sacchi, 2001), *Aegolius acadicus brooksi* (Holschuh & Otter 2005), *Bubo bubo* (Lengagne 2001, Grava et al. 2008), *Megascops kennicottii* (Tripp & Otter 2006) y *Crax rubra* (Baldo y Mennill 2011). La necesidad de una identificación individual es importante para fines de conservación, especialmente en el estudio de las especies raras, para las que un pequeño cambio en los números puede reflejar un cambio relativamente grande en el tamaño de la población (McGregor y Peake 1998, González-García 2005). Desde una perspectiva técnica, el enfoque bioacústico ofrece muchas ventajas a los estudios dirigidos a la conservación de crácidos y otras especies de aves. En contraste con radio-seguimiento, las aves no tienen que ser manejadas y el método no implica invertir demasiado tiempo de grabación, debido a que, por ejemplo, 15 llamados/ave podría ser suficiente para

caracterizar una señal acústica individual, y evaluar con exactitud si un individuo ya ha sido discriminado y/o identificado, mediante su mayor variación inter-individual (Grava et al., 2008, Fernández-Juricic et al., 2009). Para tal fin, se evaluó la identidad individual vocal en machos cautivos adultos de pavón, además si las características de las señales acústicas permanecen constantes en el tiempo en el tiempo.

Dieta y conducta de forrajeo

El pavón es una de las pocas especies de aves que muestran hábitos alimentarios altamente especializadas a base de frutos, hojas verdes y flores (Klasing 2000, González-García 2005, Muñoz y Kattan 2007). Además, debido a su gran tamaño y al hecho de que muchas especies de semillas pasan a través de su tracto digestivo sin daño aparente, y son defecadas en condiciones viables, las semillas muestran diferentes tasas de germinación según la especie (González-García 2009; Ramos y González-García 2009). El pavón es considerado entre el grupo de las aves que pueden desempeñar un papel importante como dispersor de semillas y afectar la composición y estructura de los bosques de niebla (Silva y Strahl 1991; Sedaghatkish 1996; Muñoz y Kattan 2007). Para su conservación eficaz a largo plazo es necesario el desarrollo de estrategias de manejo basado en un sólido conocimiento de su ecología e historia natural. Además, debido a su dieta especializada, generar información sobre las interacciones planta-animal y sus efectos en la dinámica del bosque donde habita, pueden ser relevantes para la comprensión de la estructura y función de los bosques mesófilos de montaña, también en peligro de extinción (Howe y Schupp 1985, Strahl y Grajal 1991, Jordano 2006). En consecuencia, se ha sugerido la necesidad de una evaluación actualizada de la dieta y la ecología del pavón, y su relación con la disponibilidad estacional de frutos (Muñoz y Kattan 2007). Con este fin hemos sintetizado la información publicada sobre la dieta del pavón y conducta de forrajeo en México y Guatemala (Dierenfeld et al., 2009, González-García 1984, 1991, 1994, 2005a, 2007, 2009, Méndez 2000, 2010, Ramos y González-García 2009), y se analizan datos de observaciones no publicadas de forrajeo en la RBET en el periodo 1982-2006 y 2011-2014 con el fin de proporcionar una nueva evaluación de la dieta y el comportamiento de alimentación del pavón en ambos países.

Densidad poblacional

Los crácidos, exclusivos del Neotrópico, son escasamente conocidos en relación a sus densidades poblacionales y patrones de distribución espacial y temporal (Ríos et al. 2005). Son pocos los estudios que evalúan densidades poblacionales de crácidos (Brooks 1997, Bennett & Defler 1997, Torres 1997, Martínez-Morales 1999, Pérez & Pinedo 2002, Denis et al. 2016, Kattan et al. 2016) y la mayoría son propios de bosques y selvas de bajas altitudes, y sólo unos cuantos a mayores altitudes (del Hoyo et al. 1994, Ríos et al. 2005). La densidad poblacional se ha estimado para algunas especies de crácidos de tierras bajas (Brooks 1997, Bennett & Defler 1997, Torres 1997, Martínez-Morales 1999, Pérez & Pinedo 2002, Denis et al. 2016, Kattan et al. 2016) y en menor grado para las especies de montaña (Ríos et al. 2005, Abundis 2006, Gómez de Silva et al. 1999, Londoño et al. 2007, Kattan et al. 2016). La información sobre densidad poblacional para las especies de crácidos mexicanos es escasa (Delacour & Amadon 2004, del Hoyo et al. 1994, del Hoyo y Motis 2004). Para *O. derbianus*, González-García (1992, 1995) reportó una densidad de 2.6-5.23 individuos/km² en la RBET. Estudios posteriores en el mismo polígono I de la misma reserva, estimaron una densidad de 4.5-6.75 individuos/km² (Gómez de Silva et al. 1999) y de 4.4 individuos/km² (Abundis 2006). En el Volcán Tacaná se ha estimado una densidad de 2.20 ± 0.98 a 7.14 ± 3.48 individuos/km² (González-García et al. 2017). En Guatemala se ha estimado una densidad de 31.40 ± 10.22 individuos/km² en el parque municipal Chuwanimajuyu, Volcán San Pedro (Rivas y Cobar 2008, González-García et al. 2017), y en Sierra de Las Minas, una densidad de 3.04 ± 0.88 individuos/km² (Quiñónez-Guzmán 2011, González-García et al. 2017). Dichas estimaciones implicaron periodos de muestreos cortos, y para la mayoría de los crácidos, las estimaciones de densidad han implicado alrededor de un ciclo anual (Ríos et al. 2005, Londoño et al. 2007, Kattan et al. 2016). Estas estimaciones, aunque valiosas, difícilmente permiten delinear inferencias sobre el cambio en las tendencias poblacionales (Villaseñor y Santana 2003, Lambert et al. 2009). Una alternativa a mediano y largo plazo es el monitoreo poblacional, entendido como el seguimiento de la población en una misma localidad durante un período mayor, el cual es un proceso que permite conocer las tendencias de cambio en la dinámica poblacional en tiempo y espacio como consecuencia de alguna actividad humana

o de otros eventos naturales (Villaseñor y Santana 2003, Lambert et al. 2009). Profundizar en el conocimiento de la densidad poblacional por periodos más prolongados y en la historia natural del pavón, permitirá evaluar su estado de conservación y planear acciones para su conservación (Ríos et al. 2005). En este sentido, se propuso estimar la densidad y la tendencia poblacional del pavón a lo largo de un periodo de 5.25 años, usando la teoría de muestreo de distancias y adicionalmente generar información sobre su biología básica como patrones espaciales y temporales de distribución, dieta, cuidado parental de depredadores y uso de bañaderos.

Protocolo de monitoreo poblacional

Para entender los patrones espaciales y temporales en la dinámica poblacional de las especies animales, es necesario que las estimaciones de la presencia y abundancia de las especies sean robustas, espacial y temporalmente representativas, y comparables en espacio y tiempo (e. g., Williams *et al.* 2012). Sin embargo, rara vez tales condiciones son alcanzadas en estudios o programas de monitoreo (Sutherland 2006, Fuller 2012, Fedy *et al.* 2014), especialmente en algunas especies de fauna tropical amenazada. Probablemente, esto es consecuencia de los reducidos tamaños poblacionales y, en ocasiones, también debido a su naturaleza elusiva de la especie, lo que implica invertir grandes esfuerzos de muestreo para generar tamaños de muestra suficientes. Aunado a lo anterior, también pueden existir restricciones presupuestales y logísticas para realizar estudios, sobre todo a mediano y largo plazo, y a una carencia de capital humano adecuadamente capacitado (Thompson 2004, Suwanrat *et al.* 2015, Kattan *et al.* 2016).

Actualmente se han logrado avances conceptuales, metodológicos y técnicos para hacer factible el cumplimiento de estas condiciones básicas y entender patrones poblacionales de especies. En este sentido, se han propuesto métodos de muestreo y analíticos más robustos para estimar la presencia (Peterson y Bayley 2004, MacKenzie *et al.* 2004, 2006) y la abundancia (Buckland *et al.* 1993, 2004) poblacional de especies a partir de sus probabilidades de detección en campo, así como también herramientas para generar modelos poblacionales predictivos a partir de datos empíricos (Lacy *et al.* 2013). Por otra parte, los equipos de campo se han vuelto más accesibles con respecto al costo y disponibilidad, lo

que hace más eficiente el trabajo durante el muestreo (Silveira *et al.* 2003, Thompson 2004, Rivas-Romero y Soto-Shoender 2015). En los últimos lustros, se han llevado a cabo algunos estudios formales e iniciativas incipientes de monitoreo para determinar el estado poblacional del pavón en México y Guatemala (González-García 1992, 2012, Gómez de Silva *et al.* 1999, Rivas y Cobar 2008, Quiñónez-Guzmán 2011). Sin embargo, los resultados de estos esfuerzos no necesariamente son comparables espacial y temporalmente, porque los métodos de obtención de datos en campo y los analíticos han sido diversos. Esto ha ocasionado que la información generada sea difícilmente generalizable y que su aplicación sea limitada. Para tal fin, con la experiencia de más de 10 años de estudio del pavón, se proponen lineamientos de muestreo y analíticos estandarizados para entender los patrones espaciales y temporales de la abundancia de *O. derbianus* en toda su área de distribución geográfica, especialmente en la RBET. Estos lineamientos buscan generar información científica de calidad y comparable, con la cual se puedan guiar acciones eficaces de manejo para la conservación de esta especie en su actual área de distribución geográfica. Finalmente, presentamos un análisis del estado actual del conocimiento biológico del pavón y aportamos algunas ideas sobre las perspectivas de investigación y conservación de la especie a futuro en la RBET, así como la posible adopción de estas ideas en otras áreas a lo largo de su distribución geográfica (González-García 2001).

El presente trabajo se realizó en tres sitios. El primer sitio fue la RBET, en el estado de Chiapas, México, y el segundo y tercer sitios en aviarios del Estado de México y en el estado de Puebla, México, respectivamente. La RBET, se encuentra ubicada en la porción central de la Sierra Madre de Chiapas, entre las coordenadas 15° 09'10" y 15° 57'02" de latitud Norte y 92° 34'04" y 93° 12'42" de longitud Oeste. Altitudinalmente, la reserva se ubica entre de 450 a 3000 metros sobre el nivel del mar (msnm) y se encuentra bajo la jurisdicción de los municipios de Jaltenango La Paz (Ángel Albino Corzo), La Concordia, Mapastepec, Siltepec, Villacorzo, Acocayagua y Pijijiapan. La RBET tiene una superficie de 119 117 ha y está dividida en cinco zonas núcleo (El Triunfo, Ovando, Quetzal, El Venado y La Angostura) que suman en conjunto 25,763 ha y en una gran zona de "amortiguamiento" de 93,458 ha. Las mayores altitudes en la reserva se localizan en los siguientes cerros: La Angostura, El Cebú, El Triunfo y la Cumbre (2,450 m.s.n.m.), El Venado (2,250

m.s.n.m.) y Cordón Pico El Loro-Paxtal (2,750 m.s.n.m.). Es una de las zonas más húmedas del país, sobre todo en la Vertiente Pacífica, registrándose precipitaciones anuales entre los 1,000 y 4,500 mm con una temperatura promedio anual de 14-26° C. Para el núcleo I, datos de 17 meses indican que la temperatura media anual oscila por debajo de los 18° C y la precipitación media anual oscila entre los 3,000 y 4,000 mm, sin considerar el aporte de precipitación horizontal de la neblina. Se observa una sequía relativa entre noviembre y abril, una estación lluviosa de mayo a octubre, y frecuencia de neblinas durante junio a febrero como condición ecológica más característica (Ramírez y Williams-Linera 1990, INE 1999). La reserva cuenta con diez tipos de vegetación, los dominantes son el bosque mesófilo de montaña o bosque de niebla, bosque húmedo tropical y bosque de pino-encino. En altitudes más bajas se encuentra bosque tropical caducifolio (INE 1999).

La mayor parte de la información biológica del pavón ha sido generada principalmente en el núcleo I de la reserva, área que recibe el nombre de El Triunfo, y tiene una superficie de 11,594 ha (INE 1999). Aquí, el bosque mesófilo está formado por la comunidad *Quercus-Matudaea-Hedyosmun-Dendropanax*. Las especies más abundantes y dominantes de árboles grandes y medianos son: *Conostegia volcanalis*, *Citharexylum mocinnii*, *Dendropanax populifolius*, *Hedyosmun mexicanum*, *Heliocarpus donell-smithii*, *Matudaea trinervia*, *Morus insignis*, *Ocotea chiapensis*, *Quercus* (*Quercus* aff. *acatenanguensis*, *Q. oocarpa*, *Q. sapotifolia*), *Perrottetia longystylis*, *Symplocos hartwegii*, *Symplococarpon flavifolium*, *Trophis cuspidata*. Los arbustos están representados por la familia Compositae, Piperaceae, Rubiaceae y Solanaceae (*Hoffmania* sp., *Miconia glaberrima*, *Psychotria* sp., *Rodeletia pyramidalis*, *Solanum* sp.) y el sotobosque por la abundancia de helechos arborescentes (*Alsophila salvinii*, *Cyathea fulva* y *C. valdecrenata*). El estrato herbáceo está bien representado por *Selaginella martensii*, *Smilacina paniculata*, especies de *Begonia*, *Cuphea* y otras muchas especies de helechos. Las epífitas (ej: Araceae, Araliaceae, Ericaceae, Orchidaceae, Piperaceae) son abundantes y diversas. Son notables las trepadoras y lianas de los géneros *Dioscorea*, *Passiflora*, *Rubus*, *Smilax* y *Solanum* (Ramírez y Williams-Linera 1990, Long y Heath 1991, INE 1999, Pérez Farrera et al. 2004, González-García 2001, 2005). Una descripción detallada de la composición de especies y la estructura del hábitat preferido por el pavón en la RBET, fue generado

por González-García (2005, datos no publ.) y un estudio similar es conocido para el Volcán San Pedro, Sololá, Guatemala (Pardo 2007).

El segundo sitio de estudio fue en el zoológico Africam Safari, ubicado a 16.5 km de la ciudad de Puebla de Zaragoza, México. El tercer sitio fue el aviario conocido como El Nido, ubicado en Ixtapaluca, Estado de México, México. En ambos sitios se encuentran pavones cautivos cuyas vocalizaciones fueron grabadas principalmente durante la época reproductiva de 2010 y 2011.

En conclusión, esta investigación pone de manifiesto la importancia de profundizar en la ecología y la historia natural de las especies de aves en alguna categoría de riesgo (IUCN 2016), y donde la historia natural es relevante, la cual puede considerarse como la observación y descripción del mundo natural (Ojeda2014). En este caso, el pavón *O. derbianus*, un crácido de montaña con características elusivas, de distribución y hábitat restringidos y en peligro de extinción. La información generada sobre aspectos de su biología básica, son fundamentales en el conocimiento sobre su historia de vida, y sus interacciones bióticas y abióticas a distintas escalas espaciales (Ojeda 2014).

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

OBJETIVOS

1.2 OBJETIVOS

Objetivos y esquema de la Tesis Doctoral

El objetivo fundamental de esta tesis es conocer algunos aspectos ecológicos y de historia natural del pavón *Oreophasis derbianus*, tanto en condiciones naturales como bajo condiciones de cautiverio.

Nuestro objetivo fundamental se compone de una serie de objetivos específicos:

- I. Evaluar la factibilidad del reconocimiento individual a través de los llamados de machos adultos cautivos del pavón.
- II. Desarrollar un protocolo para un programa de monitoreo de pavones a largo plazo en la Reseva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas.
- III. Recopilar y actualizar la información sobre la dieta y conducta de forrajeo del pavón en México y Guatemala.
- IV. Estimar la densidad y abundancia del pavón en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, Mexico.
- V. Realizar una evaluación del estado del conocimiento y perspectivas de investigación y conservación del pavón en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México.

La tesis doctoral cuenta con cuatro artículos científicos (dos publicados, uno aceptado y otro no publicado) y un capítulo de libro. El capítulo 1 está escrito en ingles y el resto de los artículos en castellano.

RESULTADOS GENERALES

1.3 RESULTADOS GENERALES

Se aporta información valiosa sobre la ecología e historia natural del pavón *O. derbianus* (Aves: Cracidae) bajo condiciones silvestres y cautivas. Se describe y caracteriza la variación individual en las señales acústicas (llamados) de pavones machos adultos bajo condiciones de cautiverio, con el fin de documentar la identidad individual en los machos y su posible aplicación en el monitoreo acústico pasivo de poblaciones silvestres. Los hábitos alimentarios y la conducta de forrajeo del pavón, así como la estimación de la densidad y abundancia fueron documentados en un bosque mesófilo de montaña en la Sierra Madre de Chiapas, México. Un protocolo estandarizado con métodos de campo y analíticos busca estandarizar una metodología para el seguimiento poblacional del pavón a largo plazo en su actual área de distribución, con el fin de generar datos de calidad y datos censales comparables, y finalmente se aportan algunas consideraciones sobre las perspectivas de investigación y conservación del pavón *O. derbianus* en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México.

- i) El llamado de un pavón es una vocalización estereotipada, parecida a un “mugido” de frecuencia baja, y es emitida solo por machos adultos, con duración aproximada de 8 segundos y estructuralmente formado por siete notas divididas en dos secciones. La primera sección está integrada por las tres primeras notas y la segunda sección, por las últimas cuatro notas. Las notas, en conjunto variaron en duración tanto en la primera sección como en la segunda, así como de manera individual, y también en el intervalo entre notas y en el ancho de banda (bandwidth frequency). La primera nota del llamado es la más corta en duración y la última nota es la más larga en duración. El ancho de banda (bandwidth frequency) también fue menor en la sección introductoria que en la última sección. Para el reconocimiento y la identificación individual en 10 pavones machos adultos, se midieron un total de 22 variables temporales y

espectrales. Primero se calculó el coeficiente de variación entre los llamados, lo cual indicó que los valores intra-individuales fueron menores (2.8 to 21.2 %) que los valores inter-individuales (6.0 to 23.9 %), es decir, se encontró mayor variación inter-individual. Un segundo paso, fue el cálculo de los valores PIC (Potential individual coding), donde las variables mayores a un valor de 1, son susceptibles de uso para la identidad individual. El análisis PIC reveló valores de 1 a 2.4, sugiriendo que la mayoría de las variables podrían usarse para el reconocimiento individual. Las 22 variables acústicas fueron reducidas a 12 variables significativamente diferentes mediante un análisis de Kruskal-Wallis, controlando para múltiples comparaciones. Las 12 variables se relacionaron con la variable duración de notas e intervalo entre notas, es decir variables del dominio temporal. El análisis de función discriminante asignó el 89.3% de 84 llamados al individuo correcto, lo cual excede a lo esperado por azar ($\chi^2 = 5.85$, $df = 1$, $P < 0.0001$). Los llamados fueron significativamente diferentes en siete de las nueve funciones canónicas (MANOVA: Wilks' $\lambda < 0.01$, $F_{81,435.49} = 16.46$, $P < 0.0001$). Una prueba de Tukey HSD post hoc reveló diferencias significativas en los llamados de nueve de diez individuos analizados, diferencias que fueron alcanzadas usando solo las dos primeras funciones canónicas. La primera función canónica se asoció fuertemente con la duración de la segunda sección del llamado y la duración de la quinta nota, en tanto que la segunda función canónica se asoció fuertemente con la duración de la tercera nota. El análisis de variación y constancia de los llamados entre años, mediante una prueba estadística de Friedman, reveló que no existen diferencias estadísticas significativas entre años para las 12 variables temporales examinadas, sugiriendo que los llamados permanecen constantes a través de un período de dos años.

- ii) El protocolo estandarizado para el monitoreo poblacional del pavón, mediante una serie de lineamientos de muestreo y analíticos estandarizados, busca entender los patrones espaciales y temporales de la abundancia de *O. derbianus* en toda su área de distribución geográfica, y generar información científica de calidad y comparable con la cual se puedan guiar acciones eficaces de manejo para la

conservación de esta especie. El desarrollo y la evaluación del protocolo de muestreo se realizó en cuatro áreas naturales protegidas de México y Guatemala. El muestreo en campo para la estimación de la abundancia de la especie lo basamos en la teoría y métodos del muestreo de distancias (*distance sampling*; Buckland *et al.* 1993, 2004), en el cual se miden distancias perpendiculares desde el sendero hacia el individuo detectado. El desarrollo y evaluación incluyó muestreos mensuales durante casi diez años, así como la impartición de talleres de capacitación teórico-prácticos a personal de campo para su adecuada implementación. Como resultado, se definieron una serie de lineamientos básicos y factibles que se propone sea un estándar como métodos de muestreo y analíticos de las poblaciones de *O. derbianus* para asegurar la calidad y comparabilidad de los datos generados en campo. Finalmente, estimaciones de la densidad poblacional de *O. derbianus* fueron generadas en cada una de las cuatro localidades estudiadas y se discute el significado de su variación espacial y temporal en el contexto de esta propuesta metodológica. Se sugiere que el muestreo de las poblaciones debe ser mensual durante todo el año, y también se hacen sugerencias sobre la forma de establecer los senderos, así como la colecta, almacenamiento y flujo de los datos en campo, y el correspondiente análisis de la abundancia. Las gráficas de la función de detección en relación con la distancia perpendicular de detección muestran que, en general, no existe evidencia de sesgos sistemáticos, datos agrupados (*heaping*) y valores extremos. Las estimaciones de la densidad poblacional de *O. derbianus* muestran variación tanto espacial como temporal. Sin embargo, a partir de nuestras estimaciones, aún no es posible correlacionar la variación natural en la abundancia del pavón con algún factor explicativo en particular. Los estudios puramente observacionales tienen un débil poder de inferencia. Éste es un punto importante que se debe considerar en el diseño de muestreo para el estudio o monitoreo de *O. derbianus*.

- iii) En El Triunfo, el pavón se alimenta de 64 especies de plantas de 32 familias. Los hábitos alimentarios están basados principalmente en una

dieta frugívora y folívora. De 520 eventos de forrajeo, en el 83% de las observaciones consumieron solamente frutos, 17% solamente hojas y una menor proporción (1%) de hojas y frutos de la misma especie de planta. Aunque el pavón se alimenta de muchas especies de plantas, parece concentrarse principalmente en siete especies ($X^2 = 114.03$, $p < 0.5$, $df = 14$): *Citharexylum mocinnii*, *Symplococarpum purpusii*, *Morus insignis*, *Dendropanax* sp., *Conostegia volcanalis*, *Hedyosmum mexicanum* y *Solanum appendiculatum*. Análisis de 20 muestras fecales indican también el consumo de semillas de *Ocotea chiapensis*, *Oreopanax* sp., *Urera caracasana*, *Smilax* sp., y hojas de *Prunus brachybothrya*. Todas las semillas encontradas en las muestras fecales estuvieron intactas, sin daño aparente, sugiriendo que el pavón digiere solamente la pulpa y no las semillas y puede ser un buen dispersor de semillas. El pavón consumió las hojas verdes de 11 especies de plantas: *Hansteinia glabra* (Acanthaceae), *Spathacanthus parviflorus* (Acanthaceae), *Anthurium* sp. (Araceae), *Eupatorium chiapense* (Asteraceae), *Schistocarpha bicolor* (Asteraceae), *Amphitecna montana* (Bignoniaceae), *Wigandia urens* var. *caracasana* (Boraginaceae), Melastomataceae, *Cobaea scandens* (Polemoniaceae), *Prunus brachybotrya*, *Prunus* sp. (Rosaceae), *Physalis* sp., *S. appendiculatum* (Solanaceae), and *Pilea* sp. (Urticaceae). El pavón consumió los frutos y las hojas verdes de cuatro especies *Dendropanax* sp., (Araliaceae), *P. brachybothrya*, *Prunus* sp., *S. appendiculatum*. Las hojas verdes de *S. appendiculatum* son las más consumidas ($n = 75$, 91.4 %). El pavón revisita los mismos árboles con abundantes frutos diariamente o aún durante varias semanas, sugiriendo que el pavón “conoce” específicamente en espacio y tiempo la ubicación de sus fuentes alimentarias (Galleti et al. 1997). Adicionalmente, el pavón consumió flores de orquídeas *Arpophylum medium* (Abundis 2006; González-García 2005) e ingirió néctar de las flores de *Chiranthodendron pentadactylum* (Cobar 2006; Méndez 2000, 2010; F. González-García, pers. obs.). Plantas adicionales en la dieta del pavón son: *Celastrus vulcanicolus* (Celastraceae), *Ipomoea silvicola*, *I. trifida* (Convolvulaceae), *Iresine celosia* (Amaranthaceae), *Lycianthes*

arrazolensis, *Solanum nigrescens* (Solanaceae), *Monnina xalapensis* (Polygalaceae), *Oreopanax xalapensis* (Araliaceae), *Parathesis columnaris*, *P. leptopa* (Myrsinaceae), *Styrax argenteus* (Styracaceae), *Viburnum hartwegii* (Adoxaceae) (Montes 2005), *Synardisia venosa*, *Parathesis* sp. (Myrsinaceae), *Lycianthes* sp. (Solanaceae), *Symplocos vatteri* (Symplocaceae), *Saurauia oreophila* (Actinidiaceae), *Litsea glaucescens* (Lauraceae), *Miconia* sp. (Melastomataceae), *Passiflora membranacea* (Passifloraceae), *Cleyera theaeoides* (Theaceae), *Hoffmannia riparia* (Rubiaceae), *Turpinia occidentalis* (Staphyleaceae), *Eupatorium* sp. (Asteraceae) (Cobar 2006), *Meliosma dives* (Sabiaceae), *Ocotea* sp. (Lauraceae), *Oreopanax echinops* (Araliaceae), *Prunus salasii* (Rosaceae) (Pardo 2007), and *Vaccinium confertum* (Ericaceae) (Gómez Domínguez, pers. com.). El macho y la hembra difieren significativamente en la composición de la dieta ($X^2 = 108.04$, $df = 6$, $P < 0.05$), el macho consumió mayor proporción de frutos (91.3% vs. 79.5%) y menor proporción de hojas (7.7% vs. 19.8%) que la hembra ($X^2 = 25.98$, $P < 0.05$, $df = 4$). El pavón es de hábitos principalmente arbóreos y tiende a forrajear en el estrado medio del bosque, a una altura promedio 14.8 ± 4.7 m (rango = 3 - 35 m, $n = 1375$). El estrato de forrajeo difirió entre sexos. El macho forrajó en promedio significativamente más alto (16.7 ± 4.3 m, range = 8 - 35 m, $n = 510$) que la hembra (13.6 ± 4.7 m, range = 7 - 25 m, $N = 768$).

- iv) Durante el monitoreo poblacional sistemático, que abarco un período de casi cinco años, los pavones fueron mayormente registrados de forma visual (71.7 %), que de forma auditiva (28.2 %). El mayor número de detecciones se registraron entre las 7 y 11 am. La detección más temprana ocurrió a las 06:28 h y la más tardía a las 10:30 h. En el remuestreo (monitoreo no sistemático), las detecciones ocurrieron entre las 10:42 y las 12:15 horas. La densidad global estimada para el pavón en el núcleo I de la Reserva de la Biosfera El Trunfo, fue de 5.40 ± 0.64 individuos/km² ($N = 144$ observaciones; IC 95% = 4.29-6.81). La densidad estimada para las temporadas reproductivas varió entre 2.21 y 8.94 individuos/km² y para las temporadas no reproductivas varió entre

1.65 a 4.97 individuos/km². Hubo fluctuaciones en la abundancia del pavón a lo largo de ambas temporadas. En general, los valores de densidad fueron superiores en las temporadas reproductivas, probablemente como consecuencia de la mayor probabilidad de detección. Espacial y temporalmente el mayor número de registros se obtuvo en cinco de seis trayectos. El mayor número de registros se concentró en los meses de invierno y primavera de cada año de muestreo, que corresponden a la época reproductiva (octubre-mayo), con un pico entre enero y abril, sugiriendo un patrón similar de distribución anual, excepto para el año 2011. En general los pavones son principalmente detectados en la época reproductiva, siempre ubicados dentro del bosque mesófilo de montaña y en un rango altitudinal entre 1971 y 2452 m. Espacialmente, los pavones ocurrieron en todos los trayectos, pero en puntos específicos. Los registros de los pavones fueron más frecuentes en determinados puntos e intervalos a lo largo de los trayectos, en algunos de los cuales los registros fueron reiterativos y predecibles. Es decir, los pavones frecuentemente se detectan en o cercanos a los mismos puntos, pero no en todos los puntos a lo largo de un mismo trayecto, sugiriendo una posible distribución agregada. Los pavones, como parte de cortej, hacen uso frecuente de bañaderos (sitios para tomar baños de tierra) de enero a marzo, con algunas esporádicas visitas de abril a agosto. Los pavones visitan el bañadero tan temprano como a las 06:48 am, y tan tarde como a las 18:30 pm. Sin embargo, las sesiones de baños de tierra ocurrieron principalmente por la tarde, entre las 13:00 y 18:00h, lo cual indica que los pavones tienden a bañarse principalmente por las tardes. Se pueden bañar en forma individual o en pareja con duración promedio de $08:45 \pm 6.7$ min ($n = 20$, rango = 01:15-25:32 min).

- v) El pavón es uno de los crácidos más estudiados desde el punto de vista biológico, tanto en condiciones naturales como en cautiverio. Se realizó un análisis del estado actual del conocimiento biológico del pavón y se aportan ideas sobre las perspectivas de investigación y conservación a futuro en la Reserva de la Biósfera El Triunfo (González-García 2001) y de su posible replicación en otras adyacentes de su distribución. Se

requiere abundar por ejemplo en las siguientes acciones: a) implementar estudios y acciones que deriven en un mejor entendimiento de los factores biológicos, ecológicos y sociales que permitan y orienten la implementación de estrategias de manejo y conservación a largo plazo para el pavón y su hábitat; b) monitoreo de los patrones ecológicos y fenológicos de las especies vegetales más importantes como recursos alimentarios del pavón para relacionar dichos patrones con su abundancia y patrones reproductivos, y evaluar también sus respuestas fisiológicas y etológicas a los cambios ambientales; c) continuar y fortalecer el programa de monitoreo poblacional de largo plazo en las reservas de la biosfera El Triunfo y Volcán Tacaná; d) conocer los patrones de movimiento estacional e identificar los mecanismos que determinan la ocupación, abundancia y su variación espaciotemporal a diferentes escalas con el uso de telemetría convencional y satelital; e) describir el patrón vocal diurno y estacional, así como la variación individual de los llamados de machos adultos silvestres mediante el monitoreo acústico, como un método no invasivo, usando sistemas autónomos de grabación. Dos acontecimientos de vital importancia para el estudio y conservación del pavón tanto en México como en Guatemala, fueron la constitución del “Comité Internacional para la Conservación de *Oreophasis derbianus* y su Hábitat” y la creación del fondo “Embajadores de las Nubes”. El fondo es un esfuerzo combinado de varias instituciones zoológicas (Africam Safari-México, Saint Louis Zoo-EUA, Vogelpark Walsrode-Alemania y Crax International-Bélgica) que genera recursos económicos que apoyen la realización de proyectos de conservación *in situ* del pavón y su hábitat. Por tanto, la creación e integración de ambas estrategias es un buen ejemplo y un gran esfuerzo para la conservación de una especie en riesgo, al menos en la región mesoamericana, que bien pudiera replicarse en otras especies y ecosistemas en alguna categoría de amenaza.

DISCUSIÓN

1.4 DISCUSIÓN

La generación de conocimiento sobre la historia natural de los organismos es de importancia para disciplinas tan diversas como salud y alimentación humanas, conservación y recreación (Tewksbury et al., 2014). Sin este entendimiento fundamental de historia natural difícilmente se pueden abordar o responder propuestas, hipótesis y preguntas que estructuran el marco teórico de las investigaciones científicas (Ojeda 2014). En este sentido, la historia natural puede considerarse como la observación y descripción del mundo natural, de las propiedades de los organismos y sus interacciones bióticas y abióticas a distintas escalas espaciales (Ojeda 2014). La presente memoria de tesis contribuye de manera sustancial al conocimiento de la historia natural del pavón *O. derbianus*, abordando temas relacionados con la individualidad vocal, dieta y conducta de forrajeo, abundancia y densidad poblacional. Adicionalmente, se propone un protocolo para la implementación de programas de monitoreo poblacional y finalmente, se aportan directrices sobre futuras investigaciones en las áreas naturales protegidas en su actual área de distribución geográfica.

La individualidad vocal es un fenómeno bien conocido en diversas familias de aves. Baldo y Mennill (2011) estudiaron la variación interindividual en la estructura de llamados de *Crax rubra*, sugiriendo que las vocalizaciones de esta especie pueden ser útiles para el monitoreo de individuos. El uso de vocalizaciones como un método censal no invasivo para las aves sigilosas y amenazadas es de gran relevancia, dado que marcar físicamente a los individuos es poco práctico por razones éticas, logísticas o de salud (Mcgregor & Byle, 1992, Peake et al., 1997). En este sentido, el monitoreo acústico, usando por ejemplo, sistemas autónomos de grabación, también ofrece ventajas en entornos complejos, como el bosque mesófilo de montaña, donde las marcas visuales son difíciles de detectar, y las grabaciones de los llamados pueden ser obtenidas sin tener que perturbar a los animales (Graham et al., 1994). 2008). Además, si los llamados proporcionan

información sobre individuos, es posible estimar parámetros poblacionales importantes como la abundancia (Terry et al., 2005).

Los pavones grabados en cautiverio emitieron llamados estereotipados de siete notas y de frecuencia baja que variaron en duración y ancho de banda en la frecuencia. Estructuralmente, los llamados se pueden dividir en dos secciones: una sección introductoria con tres primeras notas y una segunda sección hecha de cuatro notas. Las notas en la parte introductoria son más cortas y de menor amplitud que las notas de la segunda sección. Los análisis de las vocalizaciones del pavón sugieren que las características individuales están presentes en las características estructurales finas de los llamados de los individuos, lo que sugiere que los llamados tienen una firma individual, la cual puede ser de utilidad práctica en el monitoreo de señales acústicas de poblaciones silvestres (Charrier et al. 2004; Puglisi & Adamo 2004; Fox 2008; Xia et al. 2010). Nuestros resultados son consistentes con otros estudios que sugieren que la variación intraindividual en pavones es menor que la variación interindividual (Lengagne 2001, Grava et al., 2008, Xia et al., 2010, Cornec et al., 2014) y que un determinado pavón puede ser además estadísticamente identificado comparando sus llamados para un período de dos años, consistencia que también ha sido demostrada para otras aves no paserinas (Wholler 1978, Peake et al. 1998, Lengagne 2001, Charrier et al. 2004, Puglisi y Adamo 2004, Fox 2008, Grava et al. 2008, Xia et al. 2010). El análisis de función discriminante y el análisis de varianza, muestran también diferencias significativas en los llamados entre individuos, asignando 89 % de los 84 llamados al individuo correcto. Este resultado está en consonancia con otros estudios en crácidos, como en *Crax rubra* (Baldo y Mennill, 2011) y en otras familias de aves no paseriformes (Eakle et al., 1989, Robisson 1992, Galeotti et al., 1993, Appleby y Redpath, 1997, Hill y Lill, 1998, Galeotti y Sacchi, 2001, Lengagne 2001, Delpont et al. 2002, Holschuh y Otter, 2005, Tripp & Otter, 2006, Grava et al. 2008, Peake et al., 1997, Rebbeck et al., 2001, Policht et al., 2009), Klenova et al., 2011 y Cornec et al., 2014, 2015). Los llamados del pavón se utilizan entre machos adultos durante la temporada reproductiva y se piensa que funcionan tanto en la atracción de parejas potenciales como en las interacciones entre machos (González-García 1995, 2005). Klenova et al. (2011) sugirieron que una sola señal acústica en *Aethia cristatella*, podría contener información utilizada en diferentes funciones como

atracción de pareja, reconocimiento individual y estatus social. Así también, el llamado del pavón podría tener diferentes funciones.

Ambas secciones del llamado del pavón son de frecuencias bajas y por lo tanto pueden ser efectivas para la comunicación a larga distancia (Morton, 1975; Cornec et al., 2014). Sin embargo, nuestras observaciones sugieren que ambas secciones difieren en el contenido de energía o amplitud, y en las expediciones de campo, notamos que la sección introductoria es de menor amplitud y difícil de detectar a larga distancia, mientras que la segunda sección es más fuerte (mayor amplitud) y audible a mayores distancias. Se sabe que las señales producidas a mayores amplitudes podrían facilitar la propagación de la señal viajando aún más a través de entornos complejos como en el boque de niebla (Bradbury & Vehrencamp 2011, Cornec et al., 2014, 2015). Por lo tanto, aunque la sección introductoria podría usarse para un rango de comunicación corto, la segunda sección podría ser utilizada en comunicación de largo alcance. Los llamados del pavón son estereotipados y emitidos en secuencias largas, repetitivas y redundantes (tren de llamados), lo cual puede ser útil en la distinción individual y elección de parejas (Jouventin et al. 1999, Lengagne et al. 1999, Klenova et al. 2011). Al repetir la misma señal, los emisores podrían mantener la integridad del contenido de la información a pesar de la degradación de algunas características acústicas durante la propagación (Lengagne et al., 1999, Cornec et al. 2014). Se requiere de un análisis adicional y experimental sobre las características de la propagación de los llamados del pavón que podrían ayudar a entender mejor la función de este tipo de vocalización redundante.

Los crácidos, y en particular *O. derbianus*, son aves poco abundantes y con una baja probabilidad de detección dentro de su hábitat, lo cual implica un reto metodológico para su estudio. Generalmente se hace necesario un considerable esfuerzo de muestreo para obtener datos suficientes y representativos para hacer estimaciones robustas de sus parámetros poblacionales (e.g., Martínez-Morales 1999, Martínez-Morales et al. 2009), lo cual es un requisito fundamental en estudios ecológicos y en el diseño e implementación de estrategias de conservación. Nuestra propuesta de protocolo de muestreo en campo y métodos analíticos estandarizados para el estudio poblacional del pavón, está basada en nuestra experiencia en el estudio de la especie por casi una década y en la aplicación de la

teoría del muestreo de distancias. El propósito de este protocolo estandarizado es generar datos de campo de calidad para obtener estimaciones robustas de la abundancia poblacional de *O. derbianus*. Este protocolo lo desarrollamos y evaluamos principalmente en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, en Chiapas, México, pero también fue replicado en otras tres localidades en México y Guatemala. Su desarrollo y evaluación incluyó muestreos mensuales en campo durante casi diez años y la impartición de talleres de capacitación teórico-prácticos a personal de campo para la adecuada implementación del mismo. En la elección del método de muestreo para estimar los parámetros poblacionales es fundamental tener en cuenta cómo el sistema de estudio cumple con los supuestos del método seleccionado. En este trabajo encontramos que los tres principales supuestos de la teoría del muestreo de distancias (Buckland et al. 1993, 2004) pueden ser cumplidos en el estudio de *O. derbianus* debido a sus patrones conductuales (González-García 2012). Se puede asumir que: (1) todos los individuos sobre el sendero son detectados, es decir, $g(0) \approx 1$; (2) los individuos son detectados en su posición original, y (3) las distancias perpendiculares de detección pueden ser medidas con precisión (Buckland et al. 1993, 2004). Así, el método de muestreo de distancias es el más apropiado para estimar la abundancia y densidad del pavón. A la fecha, las estimaciones de la densidad poblacional del pavón durante el período 2011-2016 muestran una variación tanto espacial como temporal, y hemos estimado una densidad entre 3.99 ± 1.36 ind/km² (IC 95% = 2.05-7.79) y 7.44 ± 1.47 ind/km² (IC 95% = 5.04-10.98) (González-García et al. 2017). Un aspecto fundamental en la implementación de este protocolo fue la capacitación, mediante talleres prácticos y teóricos a los diversos monitores. La capacitación para la toma de datos en campo demostró ser un instrumento útil para incidir en la adopción de este protocolo estandarizado, pero no es suficiente. Es indispensable realizar un acompañamiento al personal capacitado para asegurarse de que el método sea adoptado y aplicado adecuadamente. Asimismo, este proceso de capacitación y seguimiento debe ser continuo para reafirmar conocimientos, evitar la generación de vicios en la toma de datos en campo, así como para solventar el recambio que pueda haber en el personal que realiza los muestreos. Aún existen algunos vacíos de información que deben subsanarse para refinar este protocolo de muestreo. El principal vacío detectado es la necesidad de conocer con mayor detalle el patrón de actividad vocal diaria de *O. derbianus* durante la temporada reproductiva y, en

general, a lo largo del año para definir con mayor precisión el horario óptimo de muestreo con base en su pico de actividad vocal, tal como ha sido definido para el hocofaisán *Crax rubra*, en Costa Rica (Baldo y Mennill 2011). Este protocolo es una propuesta que ha resultado adecuada para el monitoreo de las poblaciones del pavón en su actual área de distribución. Probablemente, con las adecuaciones correspondientes pueda ser aplicado y replicado en otras especies de crácidos.

La dieta del pavón se basa casi exclusivamente en el consumo de frutos, hojas, flores y nectar. A nivel global el pavón se alimenta de 101 especies, y en El Triunfo de 63 especies (Montes 2005, Cobar 2006, Pardo 2007, Méndez 2000, 2010, González-García 2005). Sin embargo, durante la época reproductiva el pavón concentra su dieta en solo siete especies, las cuales son relativamente comunes en El Triunfo (Long and Heath 1991, Williams-Linera 1991, Gómez et al. 2004). Este patron de concentración de la dieta en pocas especies de frutos también se ha reportado en chachalacas, pavas, pajuiles y hocofaisanes (Théry et al. 1994, Merler et al. 2001, Mikich 2002, Zaca et al. 2006, Muñoz et al. 2007, Londoño et al. 2007, Bertsch and Barreto 2008, Porter y Riehl 2017). Los pavones son también folívoros y frecuentemente se alimentan de hojas verdes, al igual que otras especies crácidos (Torres 1989, Caziani and Protomastro 1994, Muñoz 2004, Muñoz et al. 2007). Los pavones prefieren consumir las hojas más jóvenes, que son más tiernas y contienen niveles más altos de nitrógeno que las hojas maduras, lo cual puede ser un recurso limitante (Coley 1983). No obstante, las hojas jóvenes también contienen niveles más altos de taninos y otros sustancias química que disminuyen la palatabilidad de las hojas y pueden ser tóxicas para los folívoros (Giner-Chavez 1996). Lo anterior sugiere la realización de investigaciones para identificar los efectos de los taninos y otros compuestos secundarios en crácidos folívoros y los potenciales mecanismos conductuales o fisiológicos que permiten la digestión de este tipo de hojas (Porter y Riehl 2017). Los niveles de consumo de hojas en crácidos oscila entre 27 y 68% (Torres 1989, Caziani and Protomastro 1994, Muñoz 2004, Muñoz et al. 2007), con 20% en el pavón. Estudios recientes han encontrado niveles similares de consumo foliar en *Penelope purpurascens* (61.7%), lo que sugiere que la folivoría puede estar más extendida en la familia Cracidae de lo que se había observado anteriormente (Porter y Riehl 2017). Tanto los frutos como las hojas consumidos por los pavones contienen aproximadamente 70% de agua y el

contenido de fibra bruta en frutos fue de 17 % y en hojas de 13% (base materia seca) (Dierenfeld et al., 2009). Sin embargo, la proteína bruta en las frutas (9% de MS) fue considerablemente menor que en las hojas (23% de MS), lo que sugiere que las hojas pueden ser una fuente suplementaria de proteínas o nutrientes para esta especie de crácido de montaña (Sun et al., 1997, Muñoz et al. 2007), y puede compensar la falta de proteína animal en la dieta. El pavón parece consumir más hojas de *Prunus brachybothrya* durante la época reproductiva. Sin embargo, adicional a una necesidad fisiológica para el consumo de hojas de esta especie, parecería también que dicho consumo puede estar respondiendo a una escasez de frutos, principalmente durante la época seca, fenómeno que tendrá que evaluarse para determinar el patrón de consumo de esta y otras especies a lo largo de un ciclo anual (Porter y Riehl 2017). Aún se carece de la información básica sobre la historia natural para la mayoría de las aves de los bosques tropicales, especialmente de los crácidos (Muñoz and Kattan 2007). Por lo tanto, promover estudios sobre las dietas y los comportamientos de forrajeo será crucial no sólo para las estrategias de manejo de estas especies poco conocidas, sino también para la comprensión de la efectividad como dispersores de semillas y el reclutamiento de plantas (Riehl y Adelson 2008, Porter y Riehl 2017).

Las densidades reportadas para los crácidos varían entre 0.9 y 25.3 ind/km² (Ríos et al. 2005). A nivel de subfamilia, la densidad promedio para miembros de los Cracinae (*Crax*) se ha estimado en 8.9 ± 7.4 ind/km² y para Penelopinae (*Ortalis*, *Penelope*, *Penelopina*, *Oreophasis*) en 17.7 ± 9.4 ind/km² (Kattan et al. 2016). Sin embargo, algunos miembros de la subfamilia Penelopinae tienen densidades menores a 10 ind/km² (Kattan et al. 2016). La densidad total estimada para el pavón en el núcleo I de la Reserva de la Biósfera El Triunfo (5.40 ± 0.64 ind/km²) se encuentra dentro de los rangos de densidad previamente reportados para la reserva de la biósfera El Triunfo, usando métodos similares y en cortos periodos de muestreo, pero es relativamente baja, si la comparamos con las densidades señaladas para otros crácidos de tierras bajas, y particularmente para los crácidos de montaña (Ríos et al. 2005, Kattan et al. 2016). No obstante, dichas comparaciones son difíciles de establecer debido a las diferentes metodologías, estacionalidades y escalas de muestreo utilizadas. Las densidades estimadas para los crácidos de montaña son relativamente escasas. Ríos et al. (2005) estimaron una densidad de 0.87 a 2.6 ind/km² para la Pava negra *Aburria aburri*, mientras que

Jacobs y Walker (1999) y Kattan et al. (2014) reportan densidades entre 2 y 17 ind/km² para *Penelope barbata*, y de 10 a 42 ind/km² para *P. perspicax*, respectivamente. El pavón es considerado como una especie rara a lo largo de toda su distribución (del Hoyo y Motis 2004). Sin embargo, en algunas localidades de Guatemala, como por ejemplo en el Volcán San Pedro, se ha estimado una densidad de 31.4 ind/km² (Rivas y Cobar 2008), lo cual puede ser el resultado de una sobreestimación o que la especie es más abundante hacia el centro de su distribución geográfica y menos común hacia los extremos de la misma. Por ejemplo, en la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas, que corresponde a la distribución más oriental del pavón, la densidad es menor (2.74 ± 1.93 a 3.19 ± 1.40 ind/km²: Quiñónez-Guzmán 2011, González-García et al. 2017). Sin embargo, las diferencias en los valores de abundancia, pueden deberse también al uso y aplicación de distintas metodologías, duración y temporalidad de los muestreos, así como a los propios requerimientos ecológicos de las especies, así como también a posibles variaciones geográficas en la densidad total o ecológica (Ríos et al. 2005).

Además de la Reserva de la Biósfera El Triunfo, otras áreas importantes para la conservación del pavón en la Sierra Madre de Chiapas, México, son el Área de Protección de Recursos Naturales “La Frailescana”, la Zona Sujeta a Conservación Ecológica “Cordón Pico El Loro-Paxtal” y la “Reserva de la Biósfera Volcán Tacaná” (González-García 1991, Heath y Long 1991, Collar *et al.* 1992). Sin embargo, a pesar de las mencionadas áreas naturales protegidas el bosque mesófilo de montaña experimenta efectos de alteración. El bosque mesófilo de montaña está siendo destruido como resultado de asentamientos humanos, agricultura, ganadería, pastoreo, minería y cultivo de café, de tal modo que su continuidad en la Sierra, incluso dentro de la reserva El Triunfo, se encuentra amenazado y ya fragmentado. Un “cinturón” de vegetación secundaria parece interrumpir la continuidad del bosque hacia la parte norte de la reserva El Triunfo, así como también en su parte media y sureste, lo cual representa una amenaza potencial para el bosque en las cinco zonas núcleo, que son las áreas mejor conservadas dentro de la reserva (IDESMAC 1997). Dado que la reserva El Triunfo es una de las principales zonas que proporcionan protección al pavón, deben considerarse los impactos actuales y potenciales que amenazan con la formación de un archipiélago de bosque al interior de la reserva y en general, a lo largo de la Sierra

Madre de Chiapas. El pavón, al ser el ave frugívora más grande del bosque mamsófilo, se asume que tiene una incidencia importante en el mantenimiento y quizá en la regeneración del bosque a través del movimiento y dispersión de grandes cantidades de semillas (González-García 2005).



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

CONCLUSIONES

1. 5 CONCLUSIÓN

La memoria de esta tesis, pone de manifiesto la importancia de generar información sobre la historia natural de especies en preocupante declinación. Esta información contribuye a un mejor entendimiento de la historia de vida de los organismos y por ende a mejores recomendaciones de manejo y conservación. Aunque hemos tenido avances sustanciales en el conocimiento sobre la historia de vida de *O. derbianus*, tanto en México como en Guatemala, aún se requiere de la implementación de estudios y acciones que deriven en un mejor entendimiento de los factores biológicos, ecológicos y sociales que permitan y orienten la implementación de estrategias para su conservación a largo plazo. Este estudio presenta por primera vez un panorama detallado sobre algunos aspectos biológicos de pavones cautivos, y de pavones silvestres en un bosque mesófilo de montaña. La información generada y documentada en este estudio contribuye de manera importante al entendimiento de la forma de vida de una especie de crácido en peligro de extinción, de distribución restringida y limitado al bosque mesófilo de montaña, y puede ser de mucha utilidad para fundamentar estrategias de manejo y conservación a lo largo y ancho de su actual área de distribución geográfica y en programas de reproducción *ex situ*. La protección de los bosques mesófilos en su actual área de distribución debe ser una prioridad, toda vez que se predice que su distribución geográfica experimentará una notable reducción a consecuencia de la pérdida de la cobertura del bosque mesófilo de montaña y a los efectos del cambio climático.

SECCIÓN II

TRABAJOS PUBLICADOS



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Individual variation in the booming calls of captive Horned Guans (*Oreophasis derbianus*): an endangered Neotropical mountain bird

Fernando González-García^{a,b,c} , J. Roberto Sosa-López^c , Juan Francisco Ornelas^d, Pedro Jordano^e, Victor Rico-Gray^f and Vicente Urios Moliner^g

^aRed Biología y Conservación de Vertebrados, Instituto de Ecología, Xalapa, Mexico; ^bCentro Iberoamericano de la Biodiversidad (CIBIO), Campus San Vicente del Raspeig Universidad de Alicante, Alicante, España; ^cCONACYT-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR), Instituto Politécnico Nacional, Santa Cruz Xoxocotlán, Mexico; ^dRed Biología Evolutiva, Instituto de Ecología, Xalapa, México; ^eEstación Biológica de Doñana, CSIC, Sevilla, España; ^fInstituto de Neuroetología, Universidad Veracruzana, Xalapa, México; ^gCampus San Vicente del Raspeig, Edificio Ciencias III, Universidad de Alicante, Alicante, España

ABSTRACT

The Horned Guan (*Oreophasis derbianus*) is a cracid restricted to cloud forests in the Sierra Madre of Chiapas in Mexico and the western-central Mountains in Guatemala. It is an endangered species and urgent conservation measures are required, such as non-invasive monitoring techniques. Here, we study individual features in the boom calls of Horned Guans. Boom calls are acoustic signals used by males during courtship and territorial displays. This call is made of seven notes, divided into two parts: an introductory section characterized by low-amplitude notes and a body section characterized by high-amplitude notes. We recorded 10 males during the breeding seasons of 2010 and 2011 in two captive populations and measured 22 acoustic variables of the calls. We used a combination of statistical analyses to test individuality in Horned Guan vocalizations. Our results showed that time-related variables – but not frequency-related traits – varied between individuals, and that individual calls showed no variation between years. Our results suggest that Horned Guan individuals can be distinguished using fine structural characteristics of their calls and that calls remain stable across years. We argue that such vocal signature could be used to track wild populations as a non-invasive technique in order to improve census data in the short and long term.

ARTICLE HISTORY

Received 29 February 2016
Accepted 31 August 2016

KEYWORDS

Boom call; Cracidae;
vocal signature; acoustic
communication; cloud forest;
guans

Introduction

The individual acoustic signature is a widespread phenomenon in birds. For instance, this behaviour has been reported in several non-passerine species such as Wild Turkeys *Meleagris gallopavo* (Dahlquist et al. 1990), King Penguins *Aptenodytes patagonicus* (Robisson 1992), domestic pigeons *Columba livia domestica* (Abs & Jeismann 1988), Bobwhite Quail *Colinus*

CONTACT Fernando González-García  fernando.gonzalez@inecol.mx; J. Roberto Sosa-López  jrobertososa@gmail.com

© 2016 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

virginianus (Bailey 1978), Corncrake *Crex crex* (Peake et al. 1997), Great Bittern *Botaurus stellaris* (Mcgregor & Byle 1992; Gilbert et al. 1994; Puglisi & Adamo 2004), Hawk Owls *Ninox natalis* (Hill & Lill 1998), Pygmy Owls *Glaucidium passerinum* (Galeotti et al. 1993), Tawny Owls *Strix aluco* (Appleby & Redpath 1997), African Wood Owls (*Strix woodfordii*; Delport et al. 2002), Scops Owls (*Otus scops*; Galeotti & Sacchi 2001), Saw-whet Owls (*Aegolius acadicus brooksi*, Holschuh & Otter 2005), Eagle Owl (*Bubo bubo*, Lengagne 2001; Grava et al. 2008) and Western Screech-owls (*Megascops kennicottii*, Tripp & Otter 2006).

Understanding individual vocal differences is important for conservation purposes. Acoustic tools are especially useful when focal species are rare, threatened, cryptic and elusive, or when species are sensitive to disturbance caused by capturing and handling (Terry et al. 2005; Policht et al. 2009). Special caution should be exercised when declining population species are involved, where a small change in numbers may reflect a relatively large change in the overall population size (McGregor & Peake 1998; González-García 2005; Policht et al. 2009; Budka et al. 2015).

In the Cracidae family, inter-individual variation in Great Curassows's boom calls structure has been studied by Baldo and Mennill (2011), suggesting that this species' vocalizations may be useful to track individuals. The use of vocalizations as a non-invasive census method for secretive or threatened birds is of great relevance when physically marking individuals is impractical for logistical or welfare reasons (Mcgregor & Byle 1992; Gilbert et al. 1994; Peake et al. 1997). Acoustic monitoring also offers advantages in complex environments — like cloud forest — where visual markers are difficult to detect, and call recordings may be obtained from far away without having to disturb the animals (Gilbert et al. 1994; Hartwig 2005; Grava et al. 2008). Furthermore, if calls provide information about individuals, it is possible to estimate important population parameters such as abundance (Terry et al. 2005).

The Horned Guan (*Oreophasis derbianus*) is an endemic cracid restricted to the Sierra Madre of Chiapas in Mexico and the western-central mountains in Guatemala. With a small and severely fragmented population, this species is one of the most threatened birds in the Neotropics. The wild population has been estimated to be fewer than 1,000 individuals (BirdLife International 2016). As a consequence, the Red Lists and the Mexican Government classified the Horned Guan as an endangered species (SEMARNAT 2010; BirdLife International 2016). Deforestation, habitat alteration, global climate change, hunting and trade are some of the several threats that have been thought to contribute to its decline (Peterson et al. 2001; del Hoyo et al. 2014; BirdLife International 2016). However, there is insufficient information to understand the impacts of such threats on Horned Guan wild populations (Gómez de Silva et al. 1999; Abundis 2006). A continuous monitoring programme based on non-invasive methods is needed to ensure the implementation of short- and long-term management strategies in Horned Guan's conservation.

The aim of this study was to assess vocal individuality in captive Horned Guan males and test whether such individuality remains stable between years. We analysed the calls of 10 Horned Guans and calculated the coefficient of variation within and among individuals. We then tested whether variation among individuals was greater than within individuals. To test whether calls remain stable across years, we analysed the calls of five Horned Guans recorded in 2010 and 2011 and tested differences between years using Discriminant Function Analysis. Our study sheds light into the use of acoustic signals as natural markers for monitoring wild animals with conservation problems. Specifically, we provide a foundation for exploring the use of individual acoustic signals for monitoring Horned Guans

wild populations. To our knowledge, this study is the first to attempt the study of vocal individuality in captive Horned Guans and assess its application in monitoring programmes.

Methods

General field techniques

We recorded 10 Horned Guan adult males during the breeding seasons of 2010 and 2011 in two different captive populations held in Mexican zoos: African Safari Zoo, Puebla (5 males) and El Nido facilities, Ixtapaluca, Estado of Mexico (5 males). All birds were housed either in pairs or individually in contiguous enclosures and sometimes along with other bird species (i.e. parrots, parakeet, pigeons, quails). Recordings were made in the mornings and afternoons when males were vocally more active and from January to June, during the peak of the breeding season (González-García 2005). To record, we used either a directional microphone (Sennheiser MKH 60 or Sennheiser MKH 70) or a wireless microphone system (Sony WCS-990), in combination with a preamplifier (Sound Devices MP-1 or Sennheiser MZA14) and a digital recorder (Sony PCM D50). Every male was recorded in sessions of 5–10 min during 1–3 days. Calls were stored as 16 or 24 bits audio stereo and mono WAV files at a sampling frequency of 44.1 kHz. Most recordings were made from outside of the aviaries. We made some recordings using the wireless microphone system at El Nido facilities, placing the wireless microphone system near the male perch site. Distances between vocalizing birds and microphones fluctuated between 2 and 7 m.

Sound analysis

We selected between 5 and 12 high-quality recordings per male. Since we recorded captive Horned Guans in a zoo, often recordings were overlaid by motor vehicles noise, sounds from other captive bird species or by simultaneous calling of other contiguous Horned Guans males. Thus, we defined high-quality recording based on a high relation signal–noise and with no other sounds overlapping focal male calls. To reduce the non-overlapping background noise, recordings were filtered using 0.3 kHz high-pass filter in Raven Pro 1.5 (www.birds.cornell.edu/raven). We normalized the selected recordings to –3 dB in Adobe Audition 1.5 software (Adobe Systems, San Jose, CA).

The variables were measured directly from the screen using the computer mouse in Raven Pro 1.5. Spectral variables were measured from spectrograms, except bandwidth 90% which is a measure computed directly by Raven Pro 1.5 (see below for the definition), while temporal variables were measured from waveforms. We measured a total of 22 variables that describe call variations in the time and frequency domains. Temporal and spectral variables measured were: (1) length of the introductory portion of the call (defined as the duration from the start of the first note to the end of the third note in the call); (2) length of the body portion of the call (defined as the duration from the start of the fourth note to the end of the seventh note in the call); the length of the (3) first, (4) second, (5) third, (6) fourth, (7) fifth, (8) sixth and (9) seventh note (defined as the duration from the start to the end of each note); the intervals between (10) the first and second note, (11) the second and the third note, (12) the third and fourth note, (13) the fourth and fifth note, (14) the fifth and the sixth note and (15) the sixth and the seventh note (defined as the silence gap between the end of one note to the start of the following note); and the bandwidth 90%

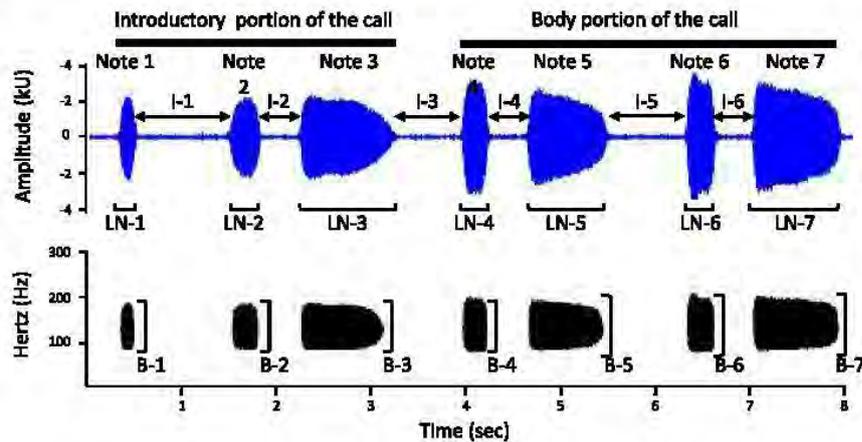


Figure 1. Oscillogram and spectrogram of a typical Horned Guan male boom call. A boom call is composed by an introductory and body section with three and four notes, respectively. The figure depicts the 22 parameter measured to describe the booming call structure. Letters indicate: I, interval between notes; LN, length of note; and B, bandwidth frequency. The numbers after the letters indicate the position of the note within the call.

of the (16) first, (17) second, (18) third, (19) fourth, (20) fifth, (21) sixth and (22) seventh note (bandwidth 90% is a measure computed directly by Raven Pro 1.5 and is defined as the relative frequency at which 90% of the energy in the selection occurs, see Charif et al. 2010 for further details) (Figure 1). We generated all spectrograms using the following settings: Blackman window, windows size = 1024, overlap 90%.

Statistical analysis

We tested whether boom calls varied among individuals using two different approaches. First, we calculated the coefficients of variation within (CV_w) and among (CV_a) all of the males recorded to describe the intra- and inter-individual variation of each variable. We used the coefficient of variation formula for small samples $CV = 100 \times (SD/mean) \times (1 + 1/4n)$, where SD is standard deviation and *mean* is the average value of a given variable, and *n* is the population sample (Robisson et al. 1993; Sokal & Rohlf 1995). We calculated the coefficient of variation within individuals (CV_w) as the coefficient of variation on a given variable in the boom calls of each individual. We calculated the coefficient of variation among individuals (CV_a) as the coefficient of variation in a given variable in the boom calls of all individuals. We then calculated the potential of individual coding (PIC) as $CV_a/mean\ CV_w$ for each variable to estimate the effect of individuality in the Horned Guan boom calls (Grava et al. 2008; Charrier & Harcourt 2006). A PIC value greater than 1 suggests that this parameter may be useful for individual discrimination, as the intra-individual variability is smaller than the inter-individual variability (Robisson et al. 1993). We calculated *mean* CV_w as the average of all coefficient of variation within individuals (CV_w) for a given variable. We performed a nonparametric analysis of variance, Kruskal–Wallis, to test whether variation among males was significant greater than within males in each of the 22 variables and used Bonferroni-adjusted correction for multiple comparisons (Quinn & Keough 2002).

For the second approach, we performed a combination of Discriminant Function Analysis and MANOVA to test both whether boom calls differ among individuals and whether calls are classified as predicted and to determine the acoustic variables that better explain those differences among individuals. We performed the Discriminant Function Analysis using 12 of the 22 acoustic variables; these 12 variables were those that showed significant differences between individuals in our potential of individual coding analysis (see results; Table 1). The variables were (1) length of the body and (2) introductory portion of the call, length of the (3) first, (4) second, (5) third, (6) fifth, (7) sixth and (8) seventh note, and interval of the (9) first, (10) second, (11) fifth and (12) sixth note. These 12 acoustic variables were input as the dependent variable and individual identity as independent variable. We conducted the analysis using the within-groups covariance matrix and not adjusting the classification coefficients for a priori knowledge of group membership. We reported the classification estimate based on the Jackknife procedure, which calculate group membership of a given sample by omitting it from the analysis and using the remaining observations to calculate the coefficients (Quinn & Keough 2002).

We tested whether individuality in the booming calls remained consistent across years by analysing calls recorded in both years 2010 and 2011. In this analysis, we included the boom calls of five Horned Guans from African Safari Zoo because we were certain of each bird's identity between years for these individuals. We used an average of 11.3 ± 2.9 calls per individual per year (for a total of 113 calls for both years). We calculated the individual average values for each of the 12 acoustic variables that showed significant differences between individuals in our potential of individual coding analysis (see results; Table 1). Then, adapting a procedure proposed by Wilson and Mennill (2010), we estimated the average values per individual for calls performed in 2010 and 2011, and both years pooled together, resulting in three categories (i.e.

Table 1. Coefficients of variation among (CV_a) and within ($mean\ CV_w$) males Horned Guan calls and the potential of individual coding (PIC).

Variable	CV_a	$mean\ CV_w$	PIC	Chi-Square
Length of the introductory portion of the call	6.6	3.5	1.9	55.7*
Length of the body portion of the call	6.0	2.8	2.1	54.3*
Length of the first note	17.5	13.4	1.3	30.6*
Length of the second note	14.4	10.4	1.4	30.6*
Length of the third note	13.7	7.0	1.9	53.9*
Length of the fourth note	9.1	7.6	1.2	22.7
Length of the fifth note	17.3	7.2	2.4	56.9*
Length of the sixth note	9.1	6.5	1.4	35.0*
Length of the seventh note	10.9	7.0	1.6	43.6*
Interval of the first note	11.6	7.3	1.6	44.9*
Interval of the second note	12.0	8.0	1.5	39.2*
Interval of the third note	9.5	7.3	1.3	29.2
Interval of the fourth note	8.1	6.4	1.3	23.3
Interval of the fifth note	7.5	6.1	1.2	34.0*
Interval of the sixth note	8.1	5.6	1.5	34.6*
Bandwidth of the first note	17.6	13.2	1.3	6.8
Bandwidth of the second note	22.5	21.2	1.1	8.9
Bandwidth of the third note	23.9	19.7	1.2	11.4
Bandwidth of the fourth note	18.8	13.9	1.4	9.2
Bandwidth of the fifth note	16.6	11.4	1.5	12.6
Bandwidth of the sixth note	16.8	13.5	1.2	6.1
Bandwidth of the seventh note	12.4	7.9	1.6	11.1

Notes: Chi-Square values for Kruskal–Wallis tests are showed. Asterisk indicates acoustic variables that were significant different between individual after Bonferroni correction; alpha levels were adjusted at 0.002 per test ($p = 0.05/22$).

2010, 2011 and 2010–2011 pooled together). We included the last category (both years pooled together) in the analysis to compare how variation between years compares to that present within year. The individual average values did not meet normal distribution; thus, we used a nonparametric Friedman test for repeated measurements to determine whether there were statistically significant differences between the distributions of the average values between years (Quinn & Keough 2002). Descriptive statistics are presented as means \pm SD. We performed all statistical analyses in IBM SPSS Statistics (Version 20.0; Chicago, IL, United States).

Results

The *boom* call is a stereotyped, low-frequency vocalization produced only by adult males in long bouts (Figure 1). Boom calls averaged 7.79 ± 0.25 s in duration ($N = 84$ calls). Structurally, the boom call consists of seven notes divided into two parts: an introductory and a body section. The introductory section is composed of three relatively quiet notes, while four, louder notes comprise the body section. Notes varied in length in the introductory and body portion (Figure 2(a)), in the length of each note (Figure 2(b)), in the interval between notes (Figure 2(c)) and in the bandwidth frequency (Figure 2(d)). The introductory note is the shortest (average = 0.202 ± 0.035 s). The second (average = 0.299 ± 0.043 s), fourth (average = 0.300 ± 0.027 s) and sixth (average = 0.330 ± 0.031 s) notes have similar duration but are shorter than the third (average = 0.931 ± 0.126 s), fifth (average = 0.967 ± 0.162 s) and seventh (average = 1.095 ± 0.122 s) notes. The seventh note is the longest of all notes (Figure 2(b)). Similarly, the bandwidth frequency is lower

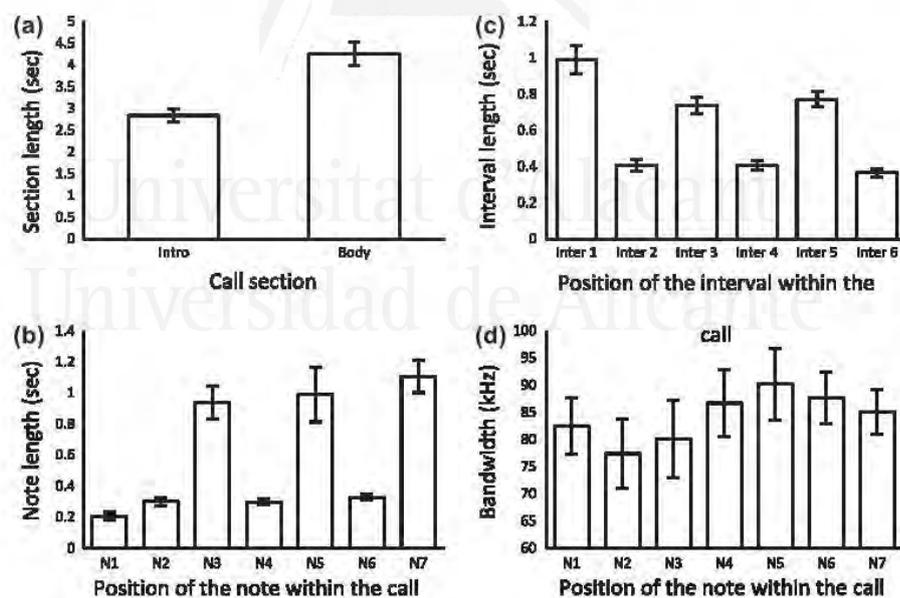


Figure 2. Graphs depicting the average values of the (a) section length of the introductory and body portion, (b) length of the notes, (c) interval length between notes and (d) bandwidth frequency of the boom calls produced by Horned Guan males. The mean \pm SE for each acoustic variable is shown.

in the introductory section than the body section (Figure 2(d)). Note that although most Horned Guan boom calls had seven notes, on rare occasions some males emitted boom calls containing eight or nine notes and occasionally with two short introductory notes.

Individual variation of booming calls

Coefficient of variation

We analysed the individual variation in the boom calls of Horned Guan living in captivity. Our coefficient of variation analysis suggests that the values of coefficients of variation within males (CV_w) ranged from 2.8 to 21.2 %, whereas the coefficients of variation among (CV_a) males ranged from 6.0 to 23.9 %. PIC values ranged from 1.2 to 2.4, suggesting that most variables can be used for individual identification. The Kruskal–Wallis test showed significant differences between individuals for 12 of the 22 variables after controlling for multiple comparisons. The variables with significant differences between individuals were all related to the length of the notes and intervals among notes (Table 1).

Discriminant Function Analysis

The Discriminant Function Analysis based on 84 calls produced by 10 male Horned Guans resulted in nine canonical discriminant functions (Table 2). The analysis assigned 89.3% of the 84 songs to the correct individual, which exceeds the assignment expected by chance ($\chi^2 = 5.85$, $df = 1$, $p < 0.0001$). Overall, the calls differed significantly between individuals in seven of the nine canonical discriminant functions (MANOVA: Wilks' $\lambda < 0.01$, $F_{81,435,49} = 16.46$, $p < 0.0001$; Table 3). The Tukey HSD *post hoc* test revealed significant differences in the calls for nine of the 10 individuals analysed. Such differences were achieved using the first two canonical functions (Figure 3). The first canonical function was heavily associated with the length of the body portion of the call and the length of the fifth note, while the second canonical function was heavily associated with the length of the third note (Table 2).

Table 2. Discriminant Function Analysis of 10 males Horned Guan.

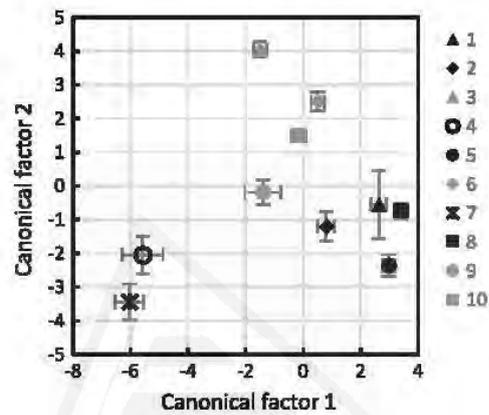
Variable ^a	Canonical Discriminant Functions								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Length of the introductory portion of the call	1.58	0.26	-1.70	0.77	0.65	1.92	-1.43	1.17	-0.47
Length of the body portion of the call	-2.44*	-1.75	-1.95	-3.92	-1.57	-2.10	-1.58	-0.86	-0.90
Length of the first note	-0.04	-0.57	0.76	-0.94	0.17	0.34*	0.27	0.02	-0.02
Length of the second note	-0.62	0.82	-0.62	0.31	-0.35	-0.86	0.34*	-0.06	0.53
Length of the third note	-0.18	-0.95*	1.48	-0.30	-0.77	-1.44	0.75	-1.03	0.28
Length of the fifth note	0.29*	0.65	1.24	2.54	1.20	1.24	1.13	0.31	0.90
Length of the sixth note	0.68	0.88	1.43	1.08	0.79	0.87*	-0.06	0.41	0.52
Length of the seventh note	1.27	1.51	1.46	2.52	0.10*	1.64	0.86	0.58	0.58
Interval of the first note	-1.14	-0.18	1.45	-0.99	-0.88	-1.55	0.94	-0.76	1.40*
Interval of the fifth note	0.35	0.34	0.85	1.60	0.33	0.10	0.62	1.00*	0.24
Interval of the sixth note	1.03	0.65	1.69	0.56	0.65	0.66	-0.15*	0.13	0.12
Eigenvalue	8.94	5.49	4.42	1.94	1.37	0.71	0.7	0.16	0.02
% Variance explained	37.60	23.09	18.57	8.16	5.78	3.01	2.98	0.70	0.11

Notes: The variables and their respective standardized canonical discriminant function coefficients, the eigenvalues and the percentage of variation explained by each function are shown. Asterisks indicate largest absolute correlation between variables and canonical discriminant functions.

^aThe variable interval of the second note did not meet the minimum tolerance level and was removed from the DFA.

Table 3. MANOVA results based on the coefficients of the nine canonical discriminant functions of 10 males Horned Guan calls.

Canonical discriminant function	R^2	df	F	P
Function 1	0.88	9	73.58	0.00
Function 2	0.82	9	45.19	0.00
Function 3	0.79	9	36.35	0.00
Function 4	0.61	9	15.98	0.00
Function 5	0.52	9	11.31	0.00
Function 6	0.34	9	5.88	0.00
Function 7	0.34	9	5.83	0.00
Function 8	0.03	9	1.36	0.22
Function 9	0.09	9	0.22	0.99

**Figure 3.** Variation in the booming calls of 10 Horned Guan males described by the first two canonical discriminant factors. The graph shows the mean \pm SE for the calls of each individual.**Table 4.** Friedman test results comparing variation in calls across years (i.e. 2010, 2011 and 2010–2011 pooled together) for the calls of five Horned Guan males.

Variable	Chi-Square	df	P
Length of the introductory portion of the call	3.6	2	0.16
Length of the body portion of the call	0.4	2	0.81
Length of the first note	0.4	2	0.81
Length of the second note	0.4	2	0.81
Length of the third note	0.4	2	0.81
Length of the fifth note	0.4	2	0.81
Length of the sixth note	0.4	2	0.81
Length of the seventh note	10.0	2	0.007
Interval of the first note	10.0	2	0.007
Interval of the second note	10.0	2	0.007
Interval of the fifth note	10.0	2	0.007
Interval of the sixth note	0.4	2	0.81

Notes: None of the acoustic variables were significant different between years after Bonferroni correction; alpha levels were adjusted at 0.004 per test ($p = 0.05/12$).

Individual variation of boom calls across year

We analysed individual variation across years in the boom calls of Horned Guan living in captivity. The Friedman test showed that Horned Guans' calls had non-significant variation

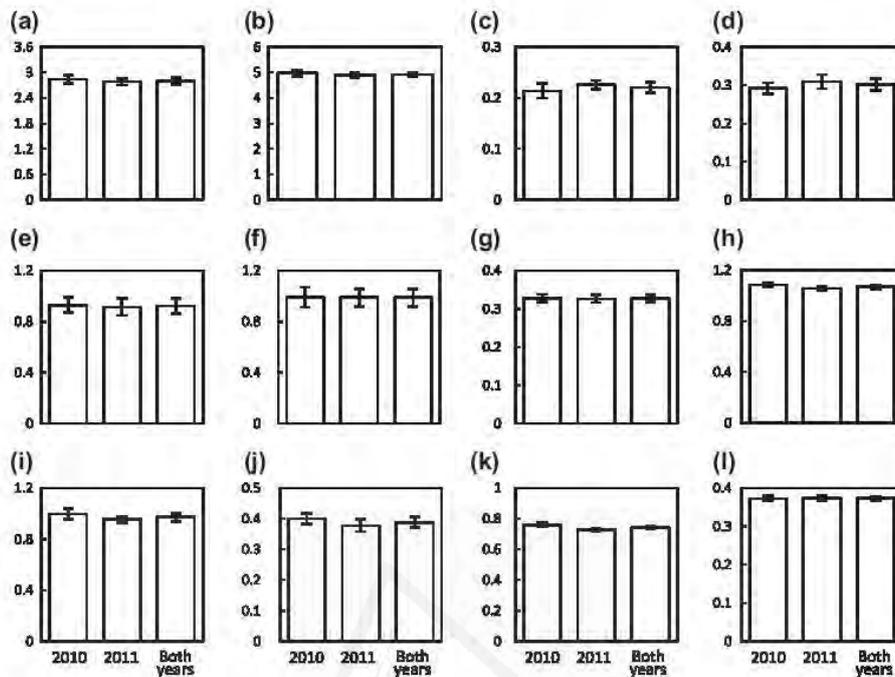


Figure 4. Variation across years in the booming calls of five Horned Guan males. For each individual, we calculated the average values of 12 acoustic variables describing their calls and calculated an overall mean per year, and both years pooled together. The 12 acoustic variables were: (a) length of the body and (b) introductory portion of the call, length of the (c) first, (d) second, (e) third, (f) fifth, (g) sixth and (h) seventh note, and interval of the (i) first, (j) second, (k) fifth and (l) sixth note. The graphs show the mean \pm SE for each acoustic variable.

among years for all the 12 acoustic variables tested (Table 4; Figure 4). Thus, our results suggest that individual calls are constant across years.

Discussion

Horned Guans living in captivity emitted low-frequency notes that varied in duration and bandwidth frequency. Structurally, seven notes divided into two sections compose the calls: an introductory section made of three first notes and a body section made of four notes. The notes within the introductory portion of the call are shorter and quieter than the notes within the body portion. Our results suggest that individual features are present in the fine structural characteristics of Horned Guan booming calls, and that such differences are constant across years, suggesting that Horned Guan booming calls have an individual signature.

Two requirements must be satisfied for identifying individuals using vocalizations: acoustic variation within an individual must be lower than variation among individuals, and the acoustic traits unique to an individual should be stable over time (Charrier et al. 2004; Puglisi & Adamo 2004; Fox 2008; Xia et al. 2010). Variables in Horned Guans calls meet these two requirements. All temporal variables with significant differences between

individuals had PIC values that ranged from 1.2 to 2.3. PIC values with >2 (length of the body portion, length of the fifth notes) are considered high because had a superior degree of individuality (Mathevon 1997; Charrier & Harcourt 2006; Cornec et al. 2014). Evidence of individual differences in vocalizations in non-passerines with PIC values >2 have been provided in multiple bird species ranging from colonial species to raptors (Galeotti & Pavan 1991; Robisson et al. 1993; Lengagne et al. 1999, 2001; Grava et al. 2008; Klenova et al. 2011; Cornec et al. 2014) and in some marine mammals (Charrier et al. 2003; Charrier & Harcourt 2006). Thus, our results are consistent with other studies suggesting that variation within individuals is smaller than variation among individuals (Lengagne 2001; Grava et al. 2008; Xia et al. 2010; Cornec et al. 2014).

The Discriminant Function Analysis and the analysis of variance supports our coefficient of variance analysis results, showing significant differences in the calls between Horned Guan individuals and assigning 89.3% of the 84 songs to the correct individual. This outcome is in line with other studies in cracids such as in Great Curassow (*Crax rubra*) (Baldo & Mennill 2011) and in other non-passerine families suggesting individual variation in calls, such as in Accipitridae (Eakle et al. 1989), Spheniscidae (Robisson 1992), Strigidae (Galeotti et al. 1993; Appleby & Redpath 1997; Hill & Lill 1998; Galeotti & Sacchi 2001; Lengagne 2001; Delpont et al. 2002; Holschuh & Otter 2005; Tripp & Otter 2006; Grava et al. 2008), Rallidae (Peake et al. 1997), Caprimulgidae (Rebbeck et al. 2001), Ardeidae (Mcgregor & Byle 1992; Gilbert et al. 1994; Puglisi & Adamo 2004), Bucerotidae (Policht et al. 2009), Alcidae (Klenova et al. 2011) and Otididae (Cornec et al. 2014, 2015).

The analysis across years suggests that a particular Horned Guan can be statistically identified using its calls for a period of two years. Call consistency across years have been reported in some non-passerines bird species. Wooller (1978) established consistency of calls over years by visual comparison of spectrograms in Black-legged Kittiwake (*Rissa tridactyla*). Peake et al. (1998) demonstrated that vocalizations of corncrake *Crex crex* were constant over a two-year period. Lengagne (2001) and Grava et al. (2008) demonstrated that calls of eagle owls were consistent over the years as well. Thus, our findings meet the second requirement for identifying individuals using vocalizations suggesting that features unique to an individual should be stable over time (Charrier et al. 2004; Puglisi & Adamo 2004; Fox 2008; Xia et al. 2010). We recognize that the sample size in our study is small due to a combination of low vocal activity and the shortage of recordings with a high signal quality. However, wild Horned Guans males in the Mexican Reserve El Triunfo vocalize often and continuously during the breeding season (González-García 1995) and getting recordings from wild individuals should be relatively easy (FGG personal observations). Furthermore, many studies have proved bird acoustic individuality based on comparable sample sizes (e.g. Lengagne 2001; Delpont et al. 2002; Grava et al. 2008; Policht et al. 2009; Baldo & Mennill 2011).

Horned Guans have low frequency and stereotyped calls that are used among male adults during the breeding season and are thought to serve in both attractions of potential mates and male–male interactions (González-García 1995, 2005). A study conducted in Crested Auklet (*Aethia cristatella*) suggested that a single acoustic signal could contain information used in different functions such mate attraction, individual recognition and social status (Klenova et al. 2011). Similarly, the call of the Horned Guan could be used in different functions. Both call sections in the Horned Guan call have similar low frequencies, and thus they can be effective for long-distance communication (Morton 1975; Baldo & Mennill 2011; Cornec et al. 2014); however, our observations suggest that both sections differ in the energy

that they contained. We noticed during field expeditions that the introductory section is quiet and difficult to detect at long distances, while the body section is louder and audible at large distances (Figure 1). It is known that signals produced at high amplitudes could facilitate the propagation of the signal travelling further through complex environments (Bradbury & Vehrencamp 2011; Cornec et al. 2014, 2015). Thus, while the introductory section could be used for short communication range, the body section could be used in long-range communication. Further analyses studying the propagation of Horned Guan calls could help better understand the function of this signal.

Another interesting observation during our study suggests that booming calls are produced in bout sequences. Bout sessions last extended periods of up to one hour (González-García 1995). This behaviour, where a signal is repeated several times, is also found in other non-passerine birds and could be useful in individual distinction and mate choice (Jouventin et al. 1999; Lengagne et al. 1999; Klenova et al. 2011). By repeating the same signal, signallers could maintain the integrity of the information content despite the degradation of some acoustics features during propagation (Lengagne et al. 1999; Price 2013; Cornec et al. 2014). Thus, the redundancy and low frequency calls should allow the Horned Guan to maximize the propagation of the information content on its calls (Cornec et al. 2014, 2015; Price 2013). Future experimentation using a playback approach is needed to test whether the repetition of a signal helps to convey information such as individuality.

We have documented the individual variation in the calls of the Horned Guan under captive conditions. Our results suggest that Horned Guan's booms can be used as an individual marker with little or no variation across years, fulfilling the requirements for identifying individuals using vocalizations (Terry et al. 2005). Given that the Horned Guan lives in dense cloud forest where capture, handling and tagging are difficult for ethical, logistic and welfare reason (Lengagne 2001), identifying individuals by vocalizations may be an alternative tool for monitoring wild populations. Moreover, Horned Guans conservation measures in Mexico and Guatemala are urgent (Peterson et al. 2001; del Hoyo & Kirwan 2015; BirdLife International 2016) and the implementation of acoustic monitoring programmes based on individual identification could generate information on life history and improve conservation models, improving management decisions.

Acknowledgements

We thank the staff and owners of the Africam Safari Zoo, Puebla, Miguel Álvarez del Toro Zoo, Chiapas, and the El Nido, Estado de México for kindly allowing us to collect data and recording of the Horned Guans in their facilities. We are particularly grateful to Carolina Hartmann, Miguel de la Cruz and Michael Macek for all your helps and support for this research. This work constitutes partial fulfilment of the F. Gonzalez-García's doctorate in Biodiversity and Management of Species and their Habitats, Universidad de Alicante, Spain. This manuscript was written during F.G.G. sabbatical at CIIDIR Unidad Oxaca.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Funding

Funding was provided by the Wildcare Institute of Saint Louis Zoo and Fondo Embajadores de Las Nubes to E.G.G; the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología of Mexico (CONACYT) [grant number 251526] and a chair fellowship at CIIDIR [researcher number 1640], [project number 1781] to J.R.S.L.

ORCID

Fernando González-García  <http://orcid.org/0000-0002-2753-3152>
 J. Roberto Sosa-López  <http://orcid.org/0000-0002-0120-0704>

References

- Abs M, Jeismann R. 1988. Do courtship songs differ individually in the Domestic Pigeon *Columba livia livia*? *Bioacoustics*. 1:151–157.
- Abundis SA. 2006. Propuesta de protocolo para el monitoreo de la población del pavón *Oreophasis derbianus* en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas [A protocol for monitoring Horned Guan populations in El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas] [Tesis de Maestría]. Xalapa, Veracruz, México: Instituto de Ecología, AC.
- Appleby BM, Redpath SM. 1997. Variation in the male territorial hoot of the Tawny Owl *Strix aluco* in three English populations. *Ibis*. 139:152–158.
- Baldo S, Mennill DJ. 2011. Vocal behavior of Great Curassows, a vulnerable Neotropical bird. *J Field Ornithol*. 82:249–258.
- Bailey K. 1978. The structure and variation of the separation call of the Bobwhite Quail (*Colinus virginianus*, Odontophorinae). *Anim Behav*. 26:296–303.
- BirdLife International. 2016. Species factsheet: *Oreophasis derbianus* [cited 2016 Jan 19]. Available from: <http://www.birdlife.org>. Recommended citation for factsheets for more than one species: BirdLife International (2016) IUCN Red List for birds. [cited 2016 Jan 19]. Available from: <http://www.birdlife.org>
- Bradbury JW, Vehrencamp SL. 2011. Principles of Animal Communication. 2nd ed. Sunderland (MA): Sinauer Associates; p. 697.
- Budka M, Wojas L, Osiejuk TS. 2015. Is it possible to acoustically identify individuals within a population? *J Ornithol*. 156:481–488.
- Charif RA, Waack AM, Strickman LM. 2010. Raven Pro 1.4 user's manual. Ithaca (NY): Cornell Laboratory of Ornithology.
- Charrier I, Boomfield LL, Sturdy CB. 2004. Note types and coding in parid vocalizations. I: the chick-a-dee call of the Black-capped Chickadee (*Poecile atricapillus*). *Can J Zool*. 82:769–779.
- Charrier I, Mathevon N, Jouventin P. 2003. Individuality in the voice of Fur Seal females: an analysis study of the pup attraction call in *Arctocephalus tropicalis*. *Mar Mamm Sci*. 19:161–172.
- Charrier I, Harcourt RG. 2006. Individual vocal identity in mother and pup Australian Sea Lions (*Neophoca cinerea*). *J Mamm*. 87:929–938.
- Cornec C, Hingrat Y, Rybak F. 2014. Individual signature in a lekking species: visual and acoustic courtship parameters may help discriminating conspecific in the Houbara Bustard. *Ethology*. 120:1–12.
- Cornec C, Hingrat Y, Robert A, Rybak F. 2015. The meaning of boom calls in a lekking bird: identity or quality information? *Anim Behav*. 109:249–264.
- Dahlquist FC, Schemnitz SD, Flachs BK. 1990. Distinguishing individual male wild turkeys by analyzing vocalisations using a personal computer. *Bioacoustics*. 2:303–316.
- del Hoyo J, Collar NJ, Christie DA, Elliott A, Fishpool LDC. 2014. HBW and BirdLife International illustrated checklist of the birds of the world. Volume I: Non-passerines. Barcelona: Lynx Edicions.
- del Hoyo J, Kirwan GM. 2015. Horned Guan (*Oreophasis derbianus*). In: del Hoyo J, Elliott A, Sargatal J, Christie DA, de Juana E, editors. Handbook of the Birds of the World Alive. Barcelona: Lynx Edicions. [cited 2015 Oct 26]. Available from: <http://www.hbw.com/node/53303>

- Delport W, Kemp AC, Ferguson JWH. 2002. Vocal identification of individual African Wood Owls *Strix woodfordii*: a technique to monitor long-term adult turnover and residency. *Ibis*. 144:30–39.
- Eakle WL, Mannan RW, Grubb TG. 1989. Identification of individual breeding Bald Eagle by voice analysis. *J Wildl Manage*. 53:450–455.
- Fox EJS. 2008. A new perspective on acoustic individual recognition in animals with limited call sharing or changing repertoires. *Anim Behav*. 75:1187–1194.
- Galeotti P, Paladin M, Pavan G. 1993. Individually distinct hooting in male Pygmy Owls *Glaucidium passerinum*: a multivariate approach. *Ornis Scand*. 24:15–20.
- Galeotti P, Pavan G. 1991. Individual recognition of male Tawny Owls (*Strix aluco*) using spectrograms of their territorial calls. *Ethol Ecol Evol*. 3:113–126.
- Galeotti P, Sacchi R. 2001. Turnover of territorial Scops Owls *Otus scops* as estimated by spectrographic analyses of male hoots. *J Avian Biol*. 32:256–262.
- Gilbert G, McGregor PK, Tyler G. 1994. Vocal individuality as a census tool: practical considerations illustrated by a study of two rare species. *J Field Ornithol*. 65:335–348.
- Gómez de Silva GH, González-García y F, Casillas-Trejo MP. 1999. Birds of the upper cloud forest of El Triunfo, Chiapas, Mexico. *Ornitol Neotrop*. 10:1–26.
- González-García F. 1995. Reproductive Biology and Vocalizations of the Horned Guan *Oreophasis derbianus* in Mexico. *Condor*. 97:415–426.
- González-García F. 2005. Dieta y Comportamiento de Forrajeo del Pavón *Oreophasis derbianus* en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas [Tesis de Maestría]. México, D.F.: Facultad de Ciencias. UNAM.
- Grava T, Mathevon N, Place E, Balluet P. 2008. Individual acoustic monitoring of the European Eagle Owl *Bubo bubo*. *Ibis*. 150:279–287.
- Hartwig S. 2005. Individual acoustic identification as a non-invasive conservation tool: an approach to the conservation of the African wild dog *Lycaon pictus* (Temminck, 1820). *Bioacoustics*. 15:35–50.
- Hill FAR, Lill A. 1998. Vocalisations of the Christmas Island Hawk-Owl *Ninox natalis*: individual variation in advertisement calls. *Emu*. 98:221–226.
- Holschuh CI, Otter KA. 2005. Using vocal individuality to monitor Queen Charlotte Saw-Whet Owls (*Aegolius acadicus broksi*). *J Raptor Res*. 39:134–141.
- Jouventin P, Aubin T, Lengagne T. 1999. Finding a parent in a King Penguin colony: the acoustic system of individual recognition. *Anim Behav*. 57:1175–1183.
- Klenova AV, Zubakin VA, Zubakina E. 2011. Individuality in Trumpet calls of the Crested Auklet (*Aethia cristatella*), a highly social species. *Moscow Univ Biol Sci Bull*. 66:114–120.
- Lengagne T. 2001. Temporal stability in the individual features in the calls of Eagle Owls (*Bubo bubo*). *Behavior*. 138:1407–1419.
- Lengagne T, Aubin T, Lauga J, Jouventin P. 1999. How do King Penguins (*Aptenodytes patagonicus*) apply the mathematical theory of information to communicate in windy condition? *Proc R Soc Lond B*. 266:1623–1628.
- Mathevon N. 1997. Individuality of contact calls in the Greater Flamingo *Phoenicopterus ruber* and the problem of background noise in a colony. *Ibis*. 139:513–517.
- Mcgregor PK, Byle P. 1992. Individually distinctive *Bittern* booms: potential as a census tool. *Bioacoustics*. 4:93–109.
- McGregor PK, Peake TM. 1998. The role of individual identification in conservation Biology. In: Caro T, editor. *Behavioural ecology and conservation biology*. Oxford: Oxford University Press; p. 31–55.
- Morton ES. 1975. Ecological sources of selection on avian sounds. *Am Nat*. 109:17–34.
- Peake TM, McGregor PK, Smith KW, Tyler G, Gilbert G, Green RE. 1998. Individuality in Corncrake *Crex crex* vocalizations. *Ibis*. 140:120–127.
- Peterson AT, Sánchez-Cordero V, Soberón J, Bartley J, Buddemeier RW, Navarro-Sigüenza AG. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecol Modell*. 144:21–30.
- Policht R, Petru M, Lastimoza L, Suarez L. 2009. Potential for the use of vocal individuality as a conservation research tool in two threatened *Philippine hornbill* species, the *Visayan hornbill* and the *Rufous-headed Hornbill*. *Bird Conserv Int*. 19:83–97.

- Price JJ. 2013. Why is birdsong so repetitive? Signal detection and the evolution of avian singing modes. *Behaviour*. 150:995–1013.
- Puglisi L, Adamo C. 2004. Discrimination of individual voices in male Great Bitterns (*Botaurus stellaris*) in Italy. *Auk*. 121:541–547.
- Quinn GP, Keough MJ. 2002. *Experimental design and data analysis for biologists*. New York, NY: Cambridge University Press; p. 527.
- Rebbeck M, Corrick R, Eaglestone B, Stainton C. 2001. Recognition of individual European Nightjars *Caprimulgus europaeus* from their song. *Ibis*. 143:468–475.
- Robisson P. 1992. Vocalizations in *Aptenodytes* penguins: application of the two-voice theory. *Auk*. 109:654–458.
- Robisson P, Aubin T, Brémond JC. 1993. Individuality in the voice of emperor penguin *Aptenodytes forsteri*: adaptation a noisy environment. *Ethology*. 94:279–290.
- [SEMARNAT] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010, protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. México, D.F: Diario Oficial dela Federación – Segunda Sección – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Sokal RR, Rohlf FJ. 1995. *Biometry*. 3rd ed. New York (NY): Freeman and Company.
- Terry AMR, Peake T, McGregor PK. 2005. The role of vocal individuality in conservation. *Front Zool*. 2:10.
- Tripp TM, Otter KA. 2006. Vocal individuality as a potential long-term monitoring tool for Western Screech-owls, *Megascops kennicottii*. *Can J Zool*. 84:744–753.
- Wilson DR, Mennill DJ. 2010. Black-capped chickadees (*Poecile atricapillus*) use individually distinctive songs to discriminate between conspecifics. *Anim Behav*. 79:1267–1275.
- Wooler RD. 1978. Individual vocal recognition in the Kittiwake Gull, *Rissa tridactyla*. *Z Tierpsychol*. 48:68–86.
- Xia C, Xiao H, Zhang Y. 2010. Individual variation in Brownish-flanked Bush Warbler songs. *Condor*. 112:591–595.



ARTÍCULO ORIGINAL

Protocolo estandarizado para el seguimiento poblacional del pavón, *Oreophasis derbianus*: propuesta de métodos de campo y analíticos

Fernando González-García,^{1,2,3} Miguel Angel Martínez-Morales,^{4*} Alejandro Abundis Santamaría,⁵ Javier A. Rivas-Romero,⁶ Juan M. Quiñónez-Guzmán,⁶ James Rodríguez Acosta,⁷ José Luis Rangel-Salazar⁴
y Carlos Alberto Guichard Romero^{8,9}

Resumen

La estimación robusta del tamaño poblacional de especies de fauna silvestre es un requisito fundamental en estudios ecológicos y en el diseño e implementación de estrategias de conservación. Sin embargo, en varios casos, estas estimaciones carecen de exactitud, precisión, representatividad y comparabilidad. Esto ha ocasionado que la información generada para las poblaciones de una determinada especie sea difícilmente generalizable y que su aplicación sea limitada. Éste es el caso del pavón, *Oreophasis derbianus*, un ave endémica de Mesoamérica y en peligro de extinción. En este trabajo presentamos una propuesta de protocolo de muestreo en campo y métodos analíticos estandarizados para el estudio poblacional de esta especie. La propuesta está basada en nuestra experiencia en el estudio de la especie y en la aplicación de la teoría del muestreo de distancias. El propósito de este protocolo estandarizado es generar datos de campo de calidad para obtener estimaciones robustas de la abundancia poblacional de *O. derbianus*. Este protocolo lo desarrollamos y evaluamos principalmente en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, en Chiapas, México, pero también fue replicado en otras tres localidades en México y Guatemala. Su desarrollo y evaluación incluyó muestreos mensuales en campo durante casi diez años y la impartición de talleres de capacitación teórico-prácticos a personal de campo para la adecuada implementación de este protocolo. Como resultado de esta experiencia, definimos una serie de lineamientos básicos y factibles que proponemos sea un estándar como métodos de muestreo y analíticos de las poblaciones de *O. derbianus* para asegurar la calidad y comparabilidad de los datos generados en campo. Finalmente, presentamos estimaciones de la densidad poblacional de *O. derbianus* en las cuatro localidades estudiadas y discutimos el significado de su variación espacial y temporal en el contexto de esta propuesta.

Palabras clave: Cracidae, densidad, muestreo de distancias, monitoreo, capacitación, bosque mesófilo de montaña, Chiapas, Guatemala.

Standardized protocol for monitoring the Horned Guan population, *Oreophasis derbianus*: a proposal for field and analytical methods

Abstract

Robust estimates of population size of wildlife are a fundamental requirement in ecological studies and to design and implement strategies for conservation. However, in some cases these estimates lack exactitude, precision, and are neither representative nor comparable. This has brought difficulty to make generalizations and has limited the applicability of the information produced from species populations. This is the case of the Horned Guan, *Oreophasis derbianus*, a Mesoamerican endemic and endangered

¹ Red de Biología y Conservación de Vertebrados. Instituto de Ecología, A.C. Carretera antigua a Coatepec No. 351, El Haya, Xalapa, Veracruz, C.P. 91070, México.

² Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. Carretera San Vicente del Raspeig s/n, San Vicente del Raspeig, Alicante, C.P. 03690, España.

³ Laboratorio de Bioacústica y Ecología del Comportamiento. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional. Hornos No. 1003, Colonia Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, C.P. 71236, México.

⁴ Departamento de Conservación de la Biodiversidad. El Colegio de la Frontera Sur. Unidad San Cristóbal. Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Barrio María Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, C.P. 29290, México. Correo electrónico: *mmartinez@ecosur.mx

⁵ División de Posgrado. Instituto de Ecología, A.C. Carretera antigua a Coatepec No. 351, El Haya, Xalapa, Veracruz, C.P. 91070, México.

⁶ Escuela de Biología. Universidad de San Carlos de Guatemala. Edificio T-10, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Guatemala.

⁷ Reserva de la Biosfera Volcán Tacaná. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 6ª Oriente Norte No. 26, entre 7ª y 9ª Sur, Cacahoatán, Chiapas, C.P. 30701, México.

⁸ Reserva de la Biosfera El Triunfo. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2ª Oriente Norte, Palacio Federal 2º y 3º pisos 227, Colonia Centro, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, C.P. 29000, México.

⁹ Adscripción actual: Zoológico Regional Miguel Álvarez del Toro. Calzada de Cerro Hueco s/n, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, C.P. 29094, México.

bird species. Here, we propose a standardized protocol of field and analytical methods for the study of this species populations. This proposal is based on our experience in the species monitoring and in the use of the distance sampling theory. The aim of this standardized protocol is to produce high quality field data to have robust estimates of the population abundance of the Horned Guan. We developed and assessed this protocol mainly in El Triunfo Biosphere Reserve, but it was also replicated in three other localities in Mexico and Guatemala. Its development and assessment included monthly gathering of field data for about 10 years and training workshops to field personnel for the appropriate implementation of this protocol. Based on this experience, we defined some basic and feasible guidelines that we propose to be regarded as standard sampling and analytical methods for the study of the Horned Guan populations to assure quality and comparability of the field data gathered. Finally, we give estimates of the population density of the Horned Guan in the four localities we studied and discuss the meaning of their spatial and temporal variation within the context of this proposal.

Keywords: Cracidae, density, distance sampling, monitoring, training, tropical montane cloud forest, Chiapas, Guatemala.

Recibido: 22 de abril de 2016. **Aceptado:** 13 de diciembre de 2016

Editor asociado: Swen C. Renner

Introducción

La comprensión de los patrones espaciales y temporales en la dinámica poblacional de especies animales es una condición básica en estudios ecológicos y en el desarrollo de estrategias de manejo adecuadas para su conservación. Para entender estas dinámicas se deben cumplir algunos puntos fundamentales: (1) las estimaciones de la presencia y abundancia de las especies deben ser robustas; (2) estas estimaciones deben ser espacial y temporalmente representativas, y (3) deben ser comparables en espacio y tiempo (*e.g.*, Williams *et al.* 2012). Sin embargo, tales condiciones básicas rara vez son alcanzadas en estudios o programas de monitoreo (Sutherland 2006, Fuller 2012, Fedy *et al.* 2014), lo que es particularmente cierto en el caso de algunas especies de fauna tropical amenazada. Esto es debido a que sus tamaños poblacionales son generalmente reducidos y, en ocasiones, también por su naturaleza elusiva, lo que implica tener que invertir grandes esfuerzos de muestreo para obtener tamaños de muestra suficientes. Asimismo, también pueden existir restricciones presupuestales y logísticas para realizar estudios, sobre todo de mediano y largo plazos, así como una falta de capital humano adecuadamente capacitado (Thompson 2004, Suwanrat *et al.* 2015, Kattan *et al.* 2016).

Actualmente se han logrado avances conceptuales, metodológicos y técnicos para hacer más factible el cumplimiento de estas condiciones básicas para entender los patrones poblacionales de especies. Por ejemplo, se han propuesto métodos de muestreo y analíticos más robustos para estimar la presencia (Peterson y Bayley 2004, MacKenzie *et al.* 2004, 2006) y la abundancia (Buckland *et al.* 1993, 2004) poblacional de especies a partir de sus probabilidades de detección en campo, así como también herramientas para generar modelos poblacionales predictivos a partir de datos empíricos (Lacy *et al.* 2013). Por otra parte, los equipos de campo se han vuelto más accesibles

con respecto al costo y disponibilidad, lo que hace más eficiente el trabajo durante el muestreo (Silveira *et al.* 2003, Thompson 2004, Rivas-Romero y Soto-Shoender 2015).

El pavón, *Oreophaps derbianus*, es una especie de crácido globalmente amenazada (Brooks y Strahl 2000, Cancino y Brooks 2006, IUCN 2015), de distribución geográfica restringida (del Hoyo y Motis 2004, Delacour y Amadon 2004, del Hoyo y Kirwan 2015) y fuertemente dependiente del bosque mesófilo de montaña en buen estado de conservación (González-García 2012). En los últimos lustros se han llevado a cabo algunos estudios formales e iniciativas incipientes de monitoreo para evaluar su estado poblacional en México y Guatemala (González-García 1992, 2012, Gómez de Silva *et al.* 1999, Rivas y Cobar 2008, Quiñónez-Guzmán 2011); sin embargo, los resultados de estos estudios no necesariamente son comparables ni espacial ni temporalmente porque tanto los métodos de obtención de datos en campo como los analíticos han sido diversos. Esto ha ocasionado que la información generada sea difícilmente generalizable y que su aplicación sea limitada. En este trabajo, con nuestra experiencia de más de 10 años de estudio de la especie, proponemos una serie de lineamientos de muestreo y analíticos estandarizados para entender los patrones espaciales y temporales de la abundancia de *O. derbianus* en toda su área de distribución geográfica. Esta propuesta busca generar información científica de calidad y comparable con la cual se puedan guiar acciones eficaces de manejo para la conservación de esta especie.

Métodos

Áreas de estudio

El desarrollo y la evaluación del protocolo de muestreo aquí propuesto para entender los patrones espaciotemporales de la

abundancia de *O. derbianus* los realizamos en cuatro áreas naturales protegidas (Figura 1), dos en México: la Zona Núcleo I de la Reserva de la Biosfera El Triunfo (RBET) y en la Reserva de la Biosfera Volcán Tacaná (RBVT), y dos en Guatemala: Volcán San Pedro (VSP) y en la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas (RBSM).

En la RBET trabajamos en seis senderos en un rango altitudinal de entre 1800 y 2440 msnm. En este rango altitudinal, la asociación *Quercus-Matudaea-Hedyosmun-Dendropanax* es una característica importante del bosque mesófilo de montaña (Long y Heat 1991, González-Espinosa et al. 2011). La reserva está ubicada en la porción central de la Sierra Madre de Chiapas y tiene una extensión de 119,117 ha con cinco zonas núcleo (21% de su superficie). La precipitación media anual varía entre 3000 y 4000 mm, con una temporada relativamente seca de noviembre a abril y una lluviosa de mayo a octubre (Arreola et al. 2004).

En la RBVT recorrimos siete senderos en las localidades de Chiquihuite, Benito Juárez el Plan y Agua Caliente, en un rango altitudinal de entre 2070 y 3630 msnm. La vegetación a lo largo de los senderos es principalmente bosque mesófilo de montaña

caracterizado por *Quercus benthamii*, *Q. laurina*, *Clethra mexicana*, *Amphitecna montana*, *Dendropanax arboreus*, *Wimmeria montana* y *Beilschmiedia steyermarkii*. Es común también encontrar agrupaciones de *Chiiranthodendron pentadactylon* que alcanza su mejor desarrollo en las laderas del volcán (Viñals 1993, CONANP 2013). La RBVT tiene una superficie de 6,378 ha y está ubicada al sureste de Chiapas, en la frontera con Guatemala (DOF 2003).

En el VSP trabajamos en dos senderos dentro del Parque Regional Municipal Chuwanimajuyu, departamento de Sololá. El parque tiene una superficie de 354 ha con un rango altitudinal de 1800 a 3020 msnm, pero el volcán está cubierto por bosque a partir de los 2400 m hasta su cima. Su vegetación es un bosque latifoliado heterogéneo, caracterizado principalmente por las asociaciones vegetales de *Quercus pilicaudalis-Arbutus xalapensis-Ceanothus azureus-Galium mexicanum-Salvia lasiantha* y de *Saurauia subalpina-Meliosma dives-Synardisia venosa-Solanum appendiculatum-Maianthemum flexuosum* (Pardo 2007, Pardo et al. 2009).

En la RBSM realizamos las observaciones en tres senderos, en un rango altitudinal de 2160 a 2780 msnm en el sitio

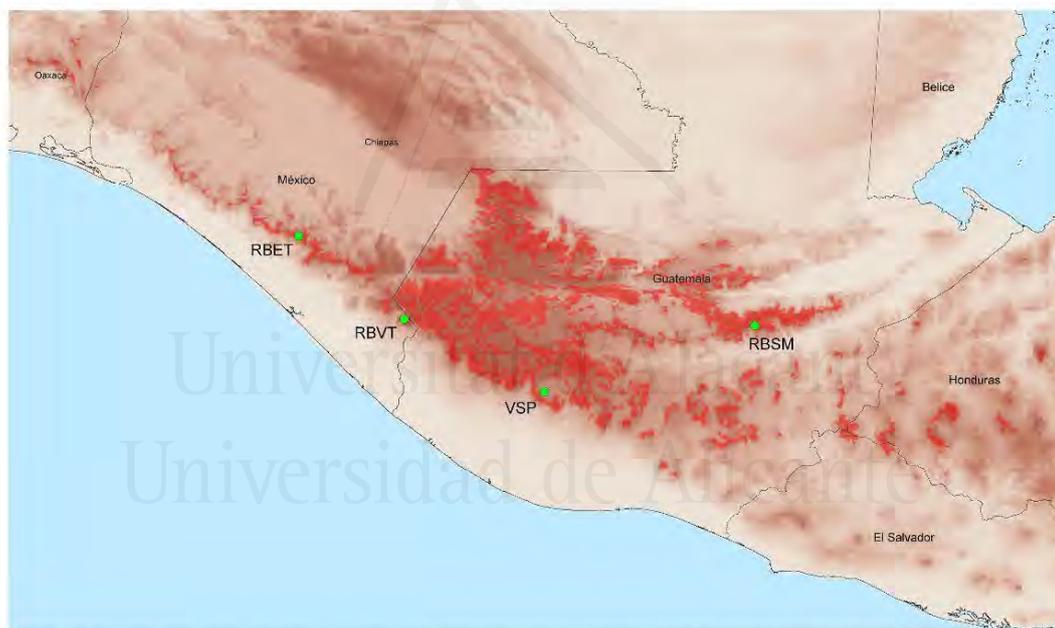


Figura 1. Ubicación de los sitios de estudio en México y Guatemala (puntos verdes: Reserva de la Biosfera El Triunfo, RBET; Reserva de la Biosfera Volcán Tacaná, RBVT; Volcán San Pedro, VSP; Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas, RBSM). El polígono rojo representa el modelo de distribución potencial de *Oreophasis derbianus* (Martínez-Morales et al. 2013) y en ocre se ilustra el modelo digital de elevación.

conocido como “Las Cabañas”, dentro de la zona núcleo de la reserva. En este sitio la vegetación está constituida principalmente por bosque nuboso (Land 1962, Suchini *et al.* 2002) dominado por lauráceas (*Persea* y *Ocotea*) y encinos (*Quercus sapotaefolia* y *Quercus* sp.). La RBSM tiene una extensión de 242,642 ha y se localiza al este de Guatemala (FDN 2003).

Oreophasis derbianus

El pavón, pavón cornudo o pavo de cacho es un crácido que habita fundamentalmente en bosques mesófilos de montaña en buen estado de conservación. Es endémico de las tierras altas de Mesoamérica. En México se distribuye desde la región de Los Chimalapas en Oaxaca hasta la Sierra Madre de Chiapas, entre los 1600 y 3500 msnm, y en Guatemala su distribución continúa hacia el este hasta la Sierra de las Minas, entre los 2000 y 3600 msnm. Con base en referencias bibliográficas y su modelo de nicho ecológico, probablemente se distribuya hasta el oeste de Honduras, pero a la fecha no hay ningún registro que confirme su presencia (del Hoyo 1994, del Hoyo y Motis 2004, Delacour y Amadon 2004, González-García *et al.* 2006, Martínez-Morales *et al.* 2013; Figura 1). Globalmente, la IUCN (2015) lo considera como “endangered”, criterio C2a(i), y el Grupo de Crácidos del Grupo de Especialistas en Galliformes de la IUCN lo clasifica como una especie con una prioridad de conservación inmediata (Cancino y Brooks 2006). En México está considerado en peligro de extinción (SEMARNAT 2010a). Su estado de conservación responde a que se asume una declinación continua en su distribución y tamaño poblacional debido al efecto sinérgico de la destrucción y fragmentación de su hábitat por el establecimiento de plantaciones de café, la agricultura, la ganadería, los asentamientos humanos y las actividades mineras, y por la cacería de subsistencia y el tráfico ilegal al que ha estado sujeto (González-García 1993, 1997, Vannini y Rockstroh, 1997, del Hoyo y Motis 2004). Entre los principales factores naturales de afectación a esta especie y su hábitat están los incendios, huracanes y la actividad volcánica (Andrle 1967, González-García 2001, del Hoyo y Motis 2004). Asimismo, se ha estimado que la distribución geográfica de *O. derbianus* sufrirá una notable contracción debido a la pérdida de cobertura boscosa (Rojas-Soto *et al.* 2012, Martínez-Morales *et al.* 2013) y a los efectos del cambio climático (Peterson *et al.* 2001, Peterson y Navarro-Sigüenza 2016). Todos estos factores adversos operan de manera sinérgica entre sí y en conjunto con las características de la historia de vida de la especie como la edad tardía de la primera reproducción, la baja tasa de reproducción, entre otras (e.g., Moller y Liang 2013).

Toma de datos en campo

En la RBET iniciamos el trabajo en campo para desarrollar y evaluar de manera empírica esta propuesta de protocolo estandarizado durante el periodo de diciembre de 2004 a junio de 2005, y de diciembre de 2009 a septiembre de 2016. A partir de marzo de 2011, y después de la implementación de talleres de capacitación de toma de datos en campo para el personal de la RBET, evaluamos el proceso de toma de datos mediante un acompañamiento mensual hasta diciembre de 2016.

El muestreo en campo para la estimación de la abundancia de la especie lo basamos en la teoría y métodos del muestreo de distancias (*distance sampling*; Buckland *et al.* 1993, 2004), dado que la conducta y hábitos de *O. derbianus* hacen muy factible la aplicación de este método a diferencia de otras especies de crácidos como *Penelopina nigra*, con quien co-ocurre en su área de distribución, pero que al ser una especie más evasiva dificulta la toma de datos. Hasta septiembre de 2016 acumulamos casi 1,320 km de recorridos mensuales en senderos para detectar la presencia de *O. derbianus* en la RBET. Estos recorridos mensuales los realizamos en seis senderos (rango 1.4 - 3.0 km; longitud total = 15.8 km), que a su vez geo-referenciamos, medimos y marcamos cada 50 m. Estos senderos fueron mantenidos transitables (fuera del periodo de muestreo) para tener un desplazamiento eficiente durante la toma de datos. Los muestreos fueron realizados fundamentalmente por FGG, MAMM, JLRS, CAGR y cinco guardaparques de la RBET, pero en diversas ocasiones también se incorporaron otros guardaparques, monitores comunitarios, investigadores, estudiantes y voluntarios como parte del proceso de capacitación. Generalmente, recorrimos los senderos en grupos aleatorios de 1 a 3 (rango 1 a 7) observadores para evaluar el efecto del tamaño del grupo en la probabilidad de detección de la especie. Asignamos aleatoriamente quiénes recorrerían los diferentes senderos y mantuvimos un registro de quiénes realizaban los recorridos. Cada uno de los grupos fue encabezado por al menos un observador experimentado en la detección de pavones. Recorrimos los senderos a una velocidad aproximada de 1 km/h y en relativamente buenas condiciones climáticas (sin lluvia, viento fuerte, ni neblina) para maximizar la probabilidad de detección visual y auditiva del pavón. Los muestreos los realizamos por la mañana desde aproximadamente la salida del sol.

En 2004-2005, AAS también realizó muestreos vespertinos desde aproximadamente 3 h antes de la puesta del sol. En cada evento de detección de la especie registramos la distancia perpendicular del individuo detectado o del punto cen-

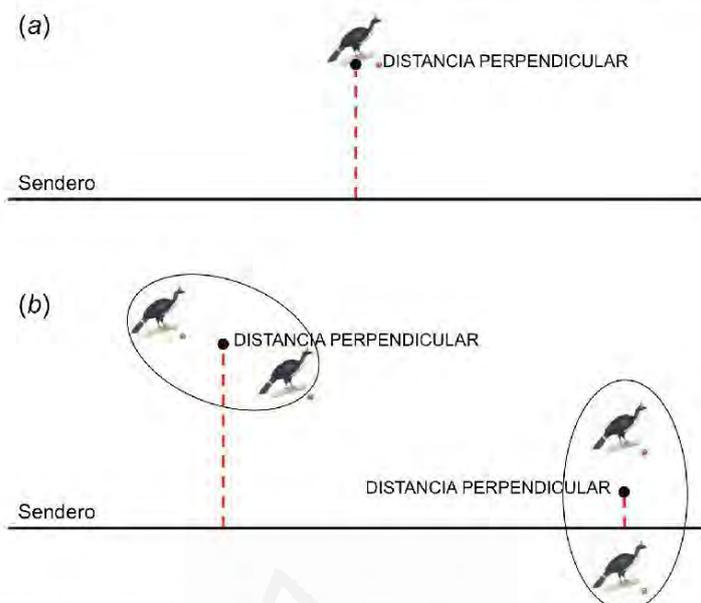


Figura 2. Esquemización de la medición de la distancia perpendicular desde el centro del sendero al registro de individuos solitarios (a) o grupos de individuos (b) de *Oreophasis derbianus* durante el muestreo en campo (ilustración de *O. derbianus* de Marco Pineda, CONABIO).

tral del grupo de individuos al sendero (Figura 2), así como el número de individuos, sexo (cuando fue posible la distinción), edad (adulto, juvenil, pollo) y eventos conductuales (e.g., forrajeo, cortejo, baños en tierra). Medimos la distancia perpendicular del registro al sendero con un telémetro láser u óptico, o con cinta métrica, dependiendo de las condiciones específicas del registro (distancia al registro, pendiente, visibilidad, accesibilidad). Las mediciones de las distancias perpendiculares las hicimos directamente al individuo o grupo de individuos detectado en un plano horizontal y si esto no era posible, a una referencia de su posición, pero siempre en un plano horizontal (Figura 3). Las detecciones auditivas consistieron fundamentalmente en vocalizaciones de cortejo del macho (González-García 1995) y, puesto que los pavones permanecen en sus perchas durante la vocalización (González-García 2005), generalmente fue posible obtener su registro visual para posteriormente medir la distancia perpendicular de detección. Cuando hubo hembras próximas o asociadas a estos machos durante la temporada reproductiva, también fueron detectadas ya sea antes o después de la detección del macho.

En la RBVT, JRA y colaboradores recorrieron, de febrero de

2010 a marzo de 2013, siete senderos (rango 1.0 - 2.0 km; longitud total = 12.0 km). En el VSP, JARR y colaboradores recorrieron mensualmente dos senderos de 1.0 y 1.5 km, de octubre de 2007 a septiembre de 2008. En ambas localidades, los senderos fueron recorridos a una velocidad promedio de 0.5 km/h debido a lo pronunciado de la pendiente. En la RBSM, JMQG recorrió quincenalmente tres senderos (rango 2.0 - 3.0 km; longitud total = 8.0 km) de abril a diciembre de 2009. En esta localidad, los senderos fueron recorridos a una velocidad promedio de 1 km/h por la mañana y por la tarde.

Estimación de la abundancia

Estimamos la abundancia de *O. derbianus* en las cuatro localidades y en diferentes tiempos para evaluar el desempeño de nuestra propuesta de métodos de muestreo y analíticos estandarizados. En la evaluación de este protocolo analizamos visualmente los histogramas de las distancias perpendiculares de detección, analizamos las gráficas de la probabilidad de detección en función de las distancias perpendiculares y evaluamos el ajuste del modelo que describe la función de detección a los

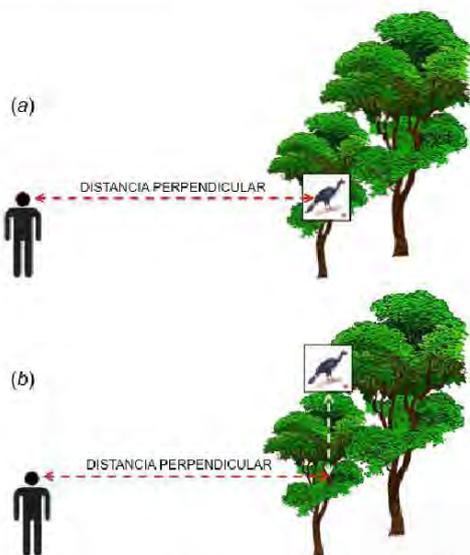


Figura 3. Esquemización de la forma correcta de medir la distancia perpendicular de individuos detectados ya sea de manera directa (a) o mediante una referencia (b). Nótese que la medición siempre deberá ser en un plano horizontal (sin inclinación) para evitar imprecisiones en la medición de la distancia (ilustración de *Oreophasis derbianus* de Marco Pineda, CONABIO).

datos empíricos, así como la variación en la precisión de las estimaciones de abundancia (EE e IC).

Estimamos la densidad de *O. derbianus* con el programa Distance 6.0 (Thomas *et al.* 2010). La estimación fue con base en su ciclo anual (en la RBET) que consiste en una temporada reproductiva de octubre a mayo y la subsecuente temporada no reproductiva de junio a septiembre. En los análisis organizamos los datos en estratos considerando como primer estrato el año, como subestrato-1 la temporada, como subestrato-2 el mes y como unidad de muestra cada uno de los senderos recorridos en el mes. En los análisis incluimos las detecciones de *O. derbianus* realizadas tanto en el recorrido de ida como en el de regreso sobre los senderos (remuestreo), siempre y cuando tuviésemos la certeza de que fueran individuos distintos a los detectados previamente ya sea por la presencia de rasgos individuales distintivos o por su ubicación a lo largo del sendero; no obstante, el esfuerzo de muestreo por sendero siempre fue la longitud del sendero (l) y no la longitud total del recorrido (2l). Por ejemplo, en un sendero de 3 km de longitud, el esfuerzo de muestreo sería de 3 km y no de 6 km. Analizamos los registros como grupos de individuos debido a que, en ocasiones, no

hubo independencia en el registro de individuos (e.g., parejas, hembra con pollos). En la estimación de la densidad, el tamaño del grupo lo calculamos como un promedio de los tamaños de grupo observados. Para los datos de la RBET, no consideramos como covariable a los diferentes grupos de observadores, ya que éstos fueron conformados y asignados a los diferentes senderos de manera aleatoria. Previo al análisis, eliminamos los datos de distancia más lejanos (5-10% de los registros o cuando la probabilidad de detección era ≤ 0.10) para facilitar el ajuste de la función de detección, como lo sugieren Buckland *et al.* (1993, 2004). Evaluamos el ajuste relativo de los cuatro modelos alternativos y sus series de expansión, disponibles en el programa Distance, para estimar la probabilidad de detección; seleccionamos el mejor modelo con base en el menor valor de AICC (Buckland *et al.* 1993, 2004).

Capacitación para el muestreo en campo

De 2009 a 2011 y después en 2015 y 2016 realizamos (FGG, MAMM, JLRS) nueve talleres teórico-prácticos de capacitación sobre aspectos de la historia natural de *O. derbianus*, del método del muestreo de distancias para su estudio y del uso de equipo de campo. En estos talleres capacitamos a personal de las reservas (guardaparques y responsables de monitoreo) y a monitores comunitarios y voluntarios, tanto de México como de Guatemala. La capacitación incluyó el entrenamiento para la detección visual y auditiva de la especie; la identificación de otras evidencias de presencia (e.g., plumas, excretas, aleteos, lluvia de semillas), así como la implementación del método del muestreo de distancias y la toma sistemática de datos en campo. Estos talleres se realizaron en la RBET, en la RBVT y en la finca cafetalera Arroyo Negro que colinda con la Zona Núcleo V de la RBET.

Resultados

Con base en el desarrollo y la evaluación del método de muestreo implementado para la toma de datos en campo y su análisis, definimos una serie de lineamientos básicos que proponemos sean adoptados como un estándar para el estudio de las poblaciones de *O. derbianus* en toda su área de distribución y asegurar así que se obtengan datos de calidad y comparables para su análisis.

Preferentemente, el muestreo de las poblaciones debe ser mensual durante todo el año, incluyendo sus temporadas reproductiva y no reproductiva, pero si existieran restricciones logísticas o presupuestales, se deberá priorizar su periodo re-

productivo que es cuando existe mayor probabilidad de detección de individuos (Figura 4).

Propuesta de protocolo de muestreo estandarizado

Establecimiento de senderos. Debido a la topografía compleja del hábitat de *O. derbianus*, la disponibilidad y el espaciamiento de senderos son factores limitantes, por lo que es importante considerar los siguientes puntos:

- a) Idealmente, se debe muestrear más de un sendero por localidad; debe buscarse que su disposición considere la heterogeneidad ambiental y sean espacialmente independientes; es decir, procurar que haya una distancia >500 m entre senderos. Esta distancia la definimos con base en la ubicación de territorios de individuos machos a lo largo de los senderos muestreados en la RBET. En caso de que la distancia entre los senderos sea <500 m, se deberá evaluar su independencia, por ejemplo, a través de la identificación individual de los pavones detectados.
- b) Procurar que los senderos tengan una longitud de ≈3 km para optimizar el esfuerzo de muestreo y a la vez evitar el sesgo por fatiga del observador.
- c) En áreas poco extensas o con pendientes muy pronunciadas, se deberá considerar establecer al menos dos senderos con una longitud mínima de 1 km.

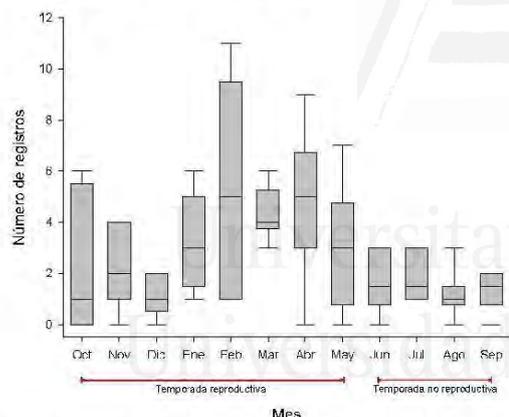


Figura 4. Patrón mensual de obtención de registros (grupos de individuos) en el ciclo anual de *Oreophasis derbianus* en la Zona Núcleo I de la Reserva de la Biosfera El Triunfo. En cada mes, la línea horizontal dentro de la caja gris muestra la mediana, la caja representa el rango entre los percentiles 25 a 75 (rango intercuartil), y los límites de las líneas verticales (o las cajas mismas) especifican el número mínimo y máximo de registros obtenidos.

- d) Los senderos deben ser transitables durante todo el periodo de muestreo y se deben geo-referenciar, medir y marcar cada 50 m para facilitar la ubicación de los registros y permitir estimar la velocidad de recorrido durante el muestreo (véase abajo).
- e) Las marcas en los senderos deben ser visibles, legibles y perdurables para ser funcionales durante todo el periodo de muestreo. Si se planea realizar un muestreo de largo plazo (monitoreo), las marcas deberán ser permanentes (e.g., de aluminio, acrílico, gravoplay).

Colecta de datos en campo. Con el fin de generar datos de calidad que permitan hacer estimaciones robustas de los parámetros poblacionales del pavón es importante considerar lo siguiente:

- a) Se debe iniciar el recorrido del sendero a la hora de salida del sol para incluir el periodo de mayor actividad de *O. derbianus*. Por ejemplo, en la RBET, el mayor número de registros visuales y auditivos se generaron en las primeras horas de la mañana (Figura 5).
- b) Con base en el análisis de la variación en el tamaño del grupo de observadores, encontramos que el número adecuado de observadores para optimizar la detección de pavones durante el recorrido de un sendero es de dos, ya que se incrementa la probabilidad de detección de *O. derbianus*; asimismo, se debe evitar la presencia de más de tres observadores. Se recomienda un grupo de tres observadores cuando imperen razones de seguridad durante el muestreo.

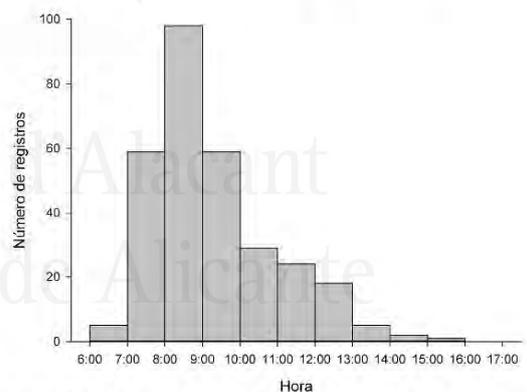


Figura 5. Distribución horaria de la frecuencia de detecciones visuales y auditivas diurnas de individuos de *Oreophasis derbianus* durante los muestreos sistemáticos y mediante observaciones incidentales en los seis senderos de la Zona Núcleo I de la Reserva de la Biosfera El Triunfo.

- c) Si el número de observadores es suficiente, el muestreo de varios senderos en un mismo sitio se puede realizar de manera simultánea.
- d) La integración de los equipos de observadores debe ser aleatoria entre recorridos para evitar que la composición del grupo se constituya en una covariable de la probabilidad de detección del pavón.
- e) Durante el muestreo, los observadores deben estar atentos para detectar la presencia del pavón, evitar conversar y usar ropa de colores discretos.
- f) Los observadores deben desplazarse uno detrás de otro ("fila india") sobre el sendero, a una distancia de ≈ 10 m uno del otro. El sendero se debe recorrer a una velocidad de ≈ 1 km/h para optimizar la detección de individuos; sin embargo, en sitios con una pendiente muy pronunciada, una velocidad de 0.5 km/h puede ser adecuada.
- g) Los observadores deben concentrarse en la detección de cualquier indicio que evidencie la presencia del pavón, observando al frente, a los lados y hacia arriba durante el muestreo, y realizando paradas de 15 a 30 s cada 100 m aproximadamente.
- h) La distancia perpendicular del registro al centro del sendero debe ser medida con precisión mediante el empleo de un telémetro o una cinta métrica.
- i) En sitios con pendiente, la distancia perpendicular del pavón o pavones al sendero siempre debe ser medida en un plano horizontal (Figura 3).
- j) Si se detectan individuos solitarios, la distancia perpendicular se tomará al individuo, pero si se detectan grupos de individuos, la distancia deberá tomarse al punto central del grupo de individuos (Figura 2). Como dato adicional, es conveniente hacer referencia al lado del sendero en que se hizo el registro (e.g., izquierda o derecha, este u oeste). Esta información puede ser útil al remuestrear un mismo sendero para disminuir la probabilidad de duplicar registros.
- k) La ubicación exacta de cada registro se debe definir con la lectura de sus coordenadas (geográficas o proyectadas) con el empleo de un GPS y hacer siempre referencia al *datum* utilizado (e.g., WGS84). Alternativamente, la ubicación del registro puede ser definida también con respecto a las marcas ubicadas cada 50 m a lo largo del sendero (previamente geo-referenciadas).
- l) Se debe especificar el número y, de ser posible, el sexo y la edad de los individuos registrados, la altura de ubicación del pavón en la vegetación y, si es el caso, la altura e identificación del árbol en que se encuentre posado.
- m) Es recomendable el uso de formatos de campo para cada recorrido (Apéndice 1) con el fin de asegurarse de incluir todos los datos mínimos necesarios para su posterior análisis.
- n) Para maximizar la obtención de registros de pavón, el sendero puede ser recorrido en ambos sentidos en cada sesión de muestreo o bien, por la mañana y por la tarde (remuestreo), pero en la toma de datos se deberá hacer referencia al sentido o al período en que se obtuvo el registro.
- o) Si durante el remuestreo se tiene la certeza o se sospecha que un registro duplica uno ya considerado, éste no será considerado. La ubicación del registro sobre el sendero, las características de los individuos detectados (sexo, edad, características del cuerno) y en su caso, la conformación del grupo pueden proporcionar indicios para inferir si se trata o no de una duplicación de registros.
- p) Si el sendero fue recorrido dos veces en una misma sesión, el esfuerzo de muestreo en ese sendero será la longitud del sendero (l) y no la longitud del recorrido total ($2l$), puesto que el muestreo de los senderos deberá ser temporalmente independiente.
- q) Proponemos que cada sendero sea muestreado una vez al mes por la mañana. Si el sendero fuera remuestreado durante el mes para maximizar la obtención de datos, de manera análoga a los ejemplos anteriores, el esfuerzo de muestreo deberá ser la longitud del sendero (l) y no la multiplicación de su longitud por las veces que fue recorrido el sendero (nl) en ese mes. Como se explica arriba, se deberá evitar la duplicación de registros.
- r) Al término de cada sesión de muestreo se debe llenar y revisar el formato de campo para asegurarse que la información contenida esté completa, sea correcta y legible.

Almacenamiento y flujo de datos. Los formatos y libretas de campo deben ser archivados en un sitio seguro y se deben hacer respaldos de los mismos. Por ejemplo, los formatos de campo deberán digitalizarse y enviarse al responsable de la compilación de la información. Conforme sean recabados los datos de campo se deberán transferir a una base de datos digital diseñada de tal forma que facilite su posterior análisis. Sugerimos que desde un inicio sean definidos mecanismos claros, eficientes, democráticos y transparentes de almacenamiento, flujo y uso de los datos e información entre quienes integren el equipo de trabajo.

Análisis de la abundancia. *Oreophasis derbianus* es relativamente sedentario y suele permanecer alimentándose o descansando en un mismo árbol por periodos prolongados de tiempo durante el día (mediana = 68.5 min; rango = 2-529 min; $n = 164$ observaciones, en la RBET). Asimismo, parece mostrar una fuerte fidelidad intra e interanual a un mismo sitio y, dependiendo de

la región, puede no tener una conducta evasiva al observador; por ejemplo, en la Zona Núcleo I de la RBET, en donde la cacería ha sido erradicada desde hace ya varios lustros, los pavones pueden tolerar la presencia del observador (González-García 2005). Este patrón de conducta hace posible detectar individuos en su posición original y hacer mediciones precisas de la distancia perpendicular de detección del individuo o grupo de individuos al centro del sendero, dos prerequisites fundamentales para estimar su densidad con base en la teoría del muestreo de distancias. Las gráficas de la función de detección en relación con la distancia perpendicular de detección (Figura 6) muestran que, en general, no existe evidencia de sesgos sistemáticos, datos agrupados (*heaping*) y valores extremos. Esto es más evidente en los datos obtenidos después del primer taller de capacitación al personal de campo (Figura 6b), lo que respalda el uso de la teoría del muestreo de distancias como método adecuado para estimar la densidad de *O. derbianus*. Estimamos la densidad de esta especie en los cuatro sitios de estudio, pero sólo las estimaciones de los últimos periodos de muestreo en la RBET (2011 a 2016) y las estimaciones en la RBVT son el resultado de la aplicación de este método después de un proceso de capacitación (Cuadro 1).

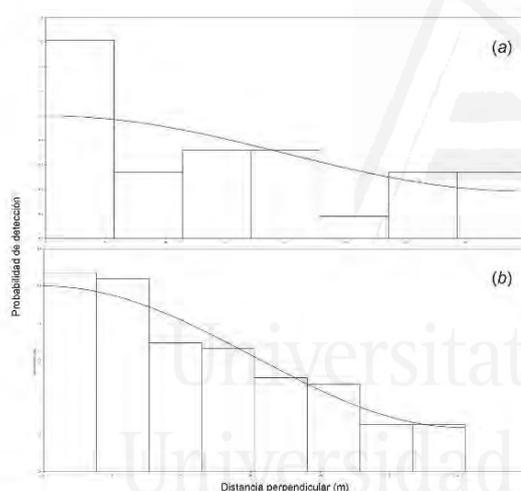


Figura 6. Probabilidad de detección de *Oreophasis derbianus* en la Zona Núcleo I de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, en función de sus distancias perpendiculares de detección. La figura a deriva de los datos tomados antes del taller de capacitación al personal de la RBET (dic/2009 – oct/2010) y la figura b de datos generados posterior al taller (mar/2011 – sep/2016). La función de detección (uniforme con ajuste coseno de primer orden) tiene un mejor ajuste a los datos empíricos después de la capacitación del personal encargado de la toma de datos en campo.

Talleres de capacitación

Los talleres fueron un mecanismo apropiado para la socialización y evaluación de esta propuesta de protocolo estandarizado de muestreo para el estudio de *O. derbianus*. De los nueve talleres, cuatro los realizamos en la RBET (zonas núcleo I y V), en los que capacitamos a personal de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y específicamente a los monitores de la RBET, a personal de la finca Arroyo Negro y a monitores comunitarios mexicanos y guatemaltecos del volcán Tacaná. Los otros cinco talleres los realizamos en el área de influencia de la RBVT, en donde capacitamos tanto a personal de la CONANP como a monitores de varias localidades de Chiapas y Guatemala. En total capacitamos a 135 personas en estos talleres. La efectividad de los talleres sólo la evaluamos en la Zona Núcleo I de la RBET, ya que ahí hicimos un seguimiento continuo del proceso de capacitación.

El nivel de estudios formales del personal capacitado en la RBET fue heterogéneo: desde el nivel básico (4 de 8 personas), al medio (1 de 8) y hasta el superior (3 de 8). En general, observamos que el método de muestreo fue inicialmente accesible para todos los participantes, independientemente de su nivel de estudios y del nivel de experiencia inicial en el muestreo en campo. Sin embargo, el grado de retención de lo aprendido sí estuvo influenciado por el nivel de estudios: a mayor nivel de estudios, mayor nivel de retención. Por otra parte, observamos también que el nivel inicial de experiencia en campo incidió en la rapidez con que se adquirieron estos nuevos conocimientos. Finalmente, detectamos de manera consistente que era necesario dar un seguimiento continuo al personal capacitado tanto para modificar inercias de métodos de muestreo empleados con anterioridad como para lograr la correcta adopción de este método propuesto. En la RBET, este proceso llevó cerca de un año haciendo un seguimiento mensual al personal capacitado. Asimismo, la existencia de recambio en el personal, implica un proceso de capacitación continua.

Discusión

Factibilidad de la aplicación del protocolo

Los crácidos, y en particular *O. derbianus*, son aves poco abundantes y con una baja probabilidad de detección dentro de su hábitat. Esto implica un reto metodológico para su estudio y generalmente hace necesario un considerable esfuerzo de muestreo para obtener datos suficientes y representativos para hacer estimaciones robustas de sus parámetros poblacionales

(e.g., Martínez-Morales 1999, Martínez-Morales *et al.* 2009). En la elección del método de muestreo para estimar estos parámetros es fundamental tener en cuenta cómo el sistema de estudio cumple con los supuestos del método seleccionado. En este trabajo encontramos que los tres principales supuestos de la teoría del muestreo de distancias (Buckland *et al.* 1993, 2004) pueden ser cumplidos en el estudio de *O. derbianus* debido a sus patrones de conducta (González-García 2012). Se puede asumir que: (1) todos los individuos sobre el sendero son detectados, es decir, $g(0) \approx 1$ (Figura 6b); (2) los individuos son detectados en su posición original, y (3) las distancias perpendiculares de detección pueden ser medidas con precisión. Aunque éste es un método que requiere una gran cantidad de datos para hacer estimaciones robustas, consideramos que con el esfuerzo de muestreo invertido en este estudio ha sido posible obtener un número suficiente de registros en periodos anuales, con los cuales hemos estimado su densidad (Cuadro 1).

Además de que metodológicamente es factible la aplicación de este protocolo de muestreo para el estudio de *O.*

derbianus, lo puede ser también en el contexto logístico y presupuestal. Por ejemplo, para el muestreo, se pueden habilitar los senderos ya existentes dentro del área de distribución de la especie, siempre y cuando sean espacialmente independientes y representativos de la heterogeneidad ambiental; asimismo, el costo del equipo para el muestreo en campo no es necesariamente oneroso, ya que se requiere básicamente de binoculares, GPS y telémetro (o cinta métrica).

Necesidades de información para el ajuste del protocolo

Aún existen algunos vacíos de información que deben subsanarse para refinar este protocolo de muestreo. El principal vacío detectado es la necesidad de conocer con mayor detalle la actividad vocal diaria de *O. derbianus* durante la temporada reproductiva y, en general, a lo largo del año para definir con mayor precisión el horario óptimo de muestreo con base en su pico de actividad vocal, tal como ha sido definido para el hocofaisán,

Cuadro 1. Densidad estimada de *Oreophaps derbianus* en localidades de México y Guatemala con base en la teoría del muestreo de distancias (Buckland *et al.* 1993, 2004). En general, los periodos corresponden al ciclo anual de la especie a partir de su temporada reproductiva (octubre-mayo) a la no reproductiva (junio-septiembre) observado en la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Localidades: Reserva de la Biosfera El Triunfo, RBET; Reserva de la Biosfera Volcán Tacaná, RBVT; Volcán San Pedro, VSP; Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas, RBSM. El número de registros hace referencia a grupos de individuos.

Localidad / Período	Esfuerzo de muestreo (km)	Número de registros	Número de individuos	Densidad \pm EE (ind/km ²)	Intervalo de confianza (95%) de la densidad estimada
<i>RBET, México</i>					
dic/2004 – jun/2005	90.30	33	44	10.15 \pm 2.56	6.19 – 16.63
dic/2009 – oct/2010*	173.80	28	35	3.53 \pm 0.92	2.12 – 5.88
mar/2011 – sep/2011	110.60	12	16	3.99 \pm 1.36	2.05 – 7.79
oct/2011 – sep/2012	189.60	29	45	5.63 \pm 1.31	3.56 – 8.90
oct/2012 – sep/2013	188.00	38	54	7.44 \pm 1.47	5.04 – 10.98
oct/2013 – sep/2014	188.30	34	47	6.64 \pm 1.32	4.49 – 9.83
oct/2014 – sep/2015	189.60	24	38	4.66 \pm 1.09	2.95 – 7.36
oct/2015 – sep/2016	189.60	26	47	5.05 \pm 1.14	3.24 – 7.85
<i>RBVT, México</i>					
feb/2010 – ago/2010	20.00	6	8	7.14 \pm 3.48	2.63 – 19.38
nov/2010 – sep/2011	84.00	13	20	3.12 \pm 1.20	1.48 – 6.55
dic/2011 – sep/2012	54.00	5	11	2.20 \pm 0.98	0.93 – 5.21
nov/2012 – mar/2013	28.00	6	7	5.10 \pm 2.21	2.14 – 12.15
<i>VSP, Guatemala</i>					
oct/2007 – sep/2008	30.00	39	44	31.40 \pm 10.22	16.50 – 59.75
<i>RBSM, Guatemala</i>					
abr/2009 – sep/2009	48.00	7	10	3.19 \pm 1.40	1.34 – 7.63
oct/2009 – dic/2009	24.00	3	4	2.74 \pm 1.93	0.65 – 11.57

* Estimación realizada a partir de mediciones no precisas de las distancias perpendiculares de detección.

Crax rubra, en Costa Rica (Baldo y Mennill 2011). Una alternativa para entender la actividad vocal de *O. derbianus* es el uso de sistemas autónomos de grabación; actualmente, JIRS, FGG y MAMM están llevando a cabo este estudio en la Zona Núcleo I de la RBET. Asimismo, es necesario el desarrollo de métodos robustos de identificación individual de pavones silvestres a través de sus vocalizaciones (González-García *et al.* 2016) y de algunas características morfológicas, por ejemplo, la forma del cuerno.

Estimación de la abundancia

Nuestras estimaciones de la densidad poblacional de *O. derbianus* muestran variación tanto espacial como temporal (Cuadro 1). Además de la variabilidad natural que se esperaría, esta variación también se debe a factores ligados al muestreo. Un factor fundamental de variación fue el nivel de capacitación del personal involucrado en la toma de datos en campo. Previo a la capacitación del personal en la RBET, la toma de datos en el periodo 2009-2010 presentó varios problemas como el sesgo en las detecciones hacia las proximidades del sendero (Figura 6a) y mediciones poco precisas de las distancias de detección. Esto incidió, en alguna medida, en las estimaciones de la densidad de la especie (Cuadro 1). Posterior a la capacitación, pudimos generar estimaciones relativamente robustas durante el periodo de 2011 a 2016 (Cuadro 1) con base en un mejor ajuste de la función de detección a los datos obtenidos en campo (Figura 6b). Este factor de variación también debe estar inmerso en las estimaciones de densidad de las otras localidades de México y Guatemala, aunque no nos fue posible evaluarlo. Un segundo factor de variación derivado del método de muestreo fue la consistente sobreestimación de la densidad de *O. derbianus* debido a la duplicación de registros en los senderos que fueron remuestreados. Esto fue evidente en el periodo 2004-2005 en la RBET (Cuadro 1), ya que los senderos fueron recorridos de la mañana y en la tarde. Otro factor de variación en la estimación de la densidad de la especie fue el esfuerzo de muestreo; conforme éste se incrementa, la estimación tiende a ser más precisa (Cuadro 1), como lo muestra la correlación negativa entre el esfuerzo de muestreo y el error estándar de la estimación de la densidad en la RBET ($r = -0.739$, $gl = 6$, $P = 0.036$).

Es fundamental eliminar la variación en las estimaciones de la abundancia de *O. derbianus* asociada al método de muestreo, ya que oculta la variación que se esperaría por factores ecológicos y ambientales. El poder evaluar sólo la variación natural en el tamaño poblacional de *O. derbianus* y que ésta pueda ser asociada a factores ambientales o de manejo, permitirá proponer estrategias de manejo adecuadas para la

conservación de la especie. De aquí deriva la importancia de adoptar un estándar metodológico y analítico para estimar la abundancia de esta especie de manera robusta y comparable en toda su distribución geográfica.

A partir de nuestras estimaciones, aún no es posible correlacionar la variación natural en la abundancia de *O. derbianus* con algún factor explicativo en particular. Los estudios puramente observacionales tienen un débil poder de inferencia. Éste es un punto importante que se debe considerar en el diseño de muestreo para el estudio o monitoreo de *O. derbianus*. Puede ser delicado y quizá poco recomendable llevar a cabo estudios manipulativos en una especie poco abundante y en un estado delicado de conservación para conocer los factores que inciden en su dinámica poblacional; no obstante, se pueden plantear estudios cuyo diseño incluya hipótesis *a priori* de los factores espaciales y temporales que podrían incidir en su dinámica poblacional, lo que permitiría un mayor poder de inferencia (Yoccoz *et al.* 2001). Estimaciones robustas de la abundancia de *O. derbianus*, así como nuestro mejor conocimiento del sistema, nos permitirán plantear estas hipótesis *a priori*. Por ejemplo, hemos observado que la disponibilidad de frutos de los cuales depende *O. derbianus* varían anualmente y, en consecuencia, esta disponibilidad parece incidir en su abundancia, en sus hábitos alimentarios, en el comienzo de la temporada reproductiva y probablemente en sus movimientos y su éxito reproductivo (González-García 2012). Esta información, derivada de observaciones empíricas, podría dar lugar a la construcción de hipótesis *a priori* a partir de las cuales se elabore un diseño de muestreo adecuado para entender los factores que puedan estar incidiendo en la dinámica poblacional de *O. derbianus*. Asimismo, futuros estudios deberán considerar la variación en las relaciones especie-hábitat, por ejemplo, a lo largo del ciclo anual de la especie o durante la maduración de los individuos.

Análisis de la distribución a diferentes escalas espaciales

A nivel local, la ubicación de individuos de *O. derbianus* durante los recorridos de senderos puede sugerir la ubicación y distribución de territorios reproductivos o de forrajeo, sobre todo cuando es posible hacer distinciones entre individuos; por ejemplo, por el tamaño y forma del cuerno o por diferencias individuales en las vocalizaciones (González-García *et al.* 2016). A nivel regional, la generación de registros de buena calidad, a partir del recorrido de senderos durante los muestreos para estimar su abundancia en diversas localidades, puede permitir hacer estimaciones más precisas de la distribución de la especie mediante la construcción de modelos de nicho ecológico, así

como hacer predicciones a futuro sobre los cambios en dicha distribución debido a cambios en la cobertura del bosque y a escenarios y modelos de cambio climático (Peterson *et al.* 2001, 2011, Martínez-Morales *et al.* 2013).

Otros métodos de muestreo

En los últimos años se han utilizado trampas-cámara para el estudio de mamíferos en la RBET (Mendoza y Carbajal 2011, Godínez 2014) y éstas también han demostrado ser útiles en la obtención de registros adicionales de *O. derbianus*. A pesar de que algunos modelos de trampas-cámara se ven afectados por los altos niveles de humedad, lo que le ha restado eficiencia como método de muestreo, las trampas-cámara pueden representar un método complementario para la obtención de registros de *O. derbianus*, así como para obtener información biológica sobre reproducción, conformación de grupos, horarios de actividad y movimientos, y patrones de actividad en el uso de bañaderos (O'Brien y Kinnaird 2008, Srbek-Araujo *et al.* 2012, Rivas-Romero y Soto-Shoender 2015, Suwanrat *et al.* 2015). Los sistemas autónomos de grabación son otro método que puede proveer una forma de seguimiento de los patrones de abundancia y de la actividad vocal del pavón (Baldo y Mennill 2011), sobre todo durante la temporada reproductiva. Evidentemente, el uso de herramientas autónomas de fotografía y grabación de audio también requerirían de la elaboración de los correspondientes protocolos de muestreo para hacer más eficiente su uso y asegurar la comparabilidad de los estudios (Li *et al.* 2010, Blumstein *et al.* 2011, Marques *et al.* 2013).

Capacitación y acompañamiento

La capacitación para la toma de datos en campo demostró ser un instrumento útil para incidir en la adopción de este protocolo estandarizado, pero no es suficiente. Es indispensable realizar un acompañamiento al personal capacitado para asegurarse de que el método sea adoptado y aplicado adecuadamente. Asimismo, este proceso de capacitación y seguimiento debe ser continuo para reafirmar conocimientos, evitar la generación de vicios en la toma de datos en campo, así como para solventar el recambio que pueda haber en el personal que realiza los muestreos.

Red interinstitucional de colaboración

Gran parte de lo que actualmente se sabe de *O. derbianus* se ha generado en la RBET y particularmente en la Zona Núcleo I.

Esto se ha debido a que históricamente ha habido un interés en la conservación de la diversidad biológica de esta región, y particularmente del pavón, desde antes de que fuera considerada área natural protegida (INE 1999). Actualmente, ya como RBET, se han generado estructuras y mecanismos que han facilitado la realización de estudios en el sitio, algunos de largo plazo. Por un lado, existe el interés de la dirección de la RBET por la generación de información y, por otro, se han conformado vínculos con universidades, centros de investigación y las ONG involucradas en el desarrollo de estudios y la conservación. De igual forma, en la RBVT se ha constituido la red de monitores comunitarios "Pavón-Pavo de cacho, México y Guatemala" que genera conocimientos y estrategias para el manejo, la protección y conservación de *O. derbianus* y su hábitat.

La conformación, en 2002, del Comité Internacional para la Conservación de *Oreophasis derbianus* y su Hábitat ha sido fundamental en la elaboración, implementación y seguimiento del Plan de Conservación del Pavón y su Hábitat en México y Guatemala durante más de una década; el Comité evalúa este plan mediante simposios y talleres bianuales en ambos países. Adicionalmente, la creación del fondo Embajadores de las Nubes, constituido específicamente para financiar investigaciones vinculadas con esta especie, ha incidido de manera positiva en el avance del conocimiento y conservación de *O. derbianus* en ambos países a través de la ejecución de proyectos de investigación y de educación ambiental. El fondo genera recursos económicos a partir del resguardo temporal en diferentes zoológicos de pavones nacidos en cautiverio, lo cual es un esfuerzo combinado de varias instituciones: Africam Safari-México, Saint Louis Zoo-EUA, Vogelpark Walsrode-Alemania y Crax International-Bélgica. Asimismo, la CONANP, a través del programa de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER), implementó un Programa de Acción para la Conservación de Especies (PACE) específico para *O. derbianus* (SEMARNAT 2010b). Probablemente, la integración de todos estos elementos sea un caso poco común para una especie en riesgo, al menos en la región mesoamericana; en consecuencia, es importante valorar esta experiencia para explorar la factibilidad de que pueda ser replicada en otras especies y sistemas biológicos en riesgo.

La conformación y consolidación de una red de colaboración para el estudio y monitoreo de *O. derbianus* en toda su área de distribución es fundamental para diseñar e implementar estrategias globales para su conservación. Esta red de colaboración debe ser suficientemente incluyente y definir roles particulares y los mecanismos de articulación de cada uno de los colaboradores desde la generación de datos en campo, su análisis, el almacenamiento de datos e información, hasta el flujo de dicha información entre todos los colaboradores y usuarios

de la misma. Esta estructura de colaboración podría constituirse en la base para crear una red más amplia que evalúe la diversidad biológica y el funcionamiento ecosistémico regional, más allá de la conservación *per se* de *O. derbianus*.

Agradecimientos

Agradecemos el financiamiento otorgado por Embajadores de las Nubes, Saint Louis Zoo WildCare Institute, el Comité Internacional para la Conservación de *Oreophasis derbianus* y su Hábitat, el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología de Guatemala (Proyecto FODECYT 033-2007) y Defensores de la Naturaleza. Al Instituto de Ecología, A.C., y a El Colegio de la Frontera Sur por los apoyos complementarios para la realización de este estudio. Agradecemos al CONACYT y al INECOL por la beca otorgada a AAS. A Birders' Exchange por la donación de binoculares. Al Centro de Datos para la Conservación (CDC-CECON) de la Universidad de San Carlos de Guatemala por la búsqueda y aportación de literatura. A la CONANP por todas las facilidades y apoyos otorgados para la coordinación e implementación del trabajo en la Zona Núcleo I de la RBET. A la corporación municipal de San Pedro La Laguna por facilitar la realización del estudio en el VSP. Al personal de la RBET: A. García, A. Gálvez Gálvez, E. López Gálvez, I. Gálvez Gálvez, R. Gálvez Roblero y R. Mengchu Guerrero. A los estudiantes y voluntarios por su ayuda en las diversas actividades en campo en la RBET: A. Alvarado, A. Anzures, A. Arzona, A. Campos, A. Cantú, A. Cornejo, A. García, A. Jiménez, A.K. Chanona, A. Leyva, A. Lobato, A. López, A. Martínez, A. Monroy, A. Pérez, A. Romero, A. Vásquez, B. Chiu López, B. Kraig, B. Pérez Santiz, C. Alvarado, C. Frías, C. Hartmann, C. Mota, C. Núñez, C. Ventura, D. Alvarado, D. Arreola, D. Garza, E. Carmelo, E. Homá, E. Labastida, E. López, E.M. Gómez, E. Naranjo, E. Velázquez, F. Bibriesca, F. Berzaghi, F. Bustamente, F. Campusano, F. Gómez, F. Marani, F. Miranda, G. Argueta, G. Cristiani, G. Pinilla, G. Rodríguez, G. Sánchez, H.A. Bartolomé, H. Montaña, I. Medina, I. Santiz, I. Villafuerte, I.X. Villafuerte, J.F. Gómez, J. González, J. López, J.M. Ruiz, J. Paulo Carbajal, J.A. Robledo Escalante, J. Bech, J. González, J.C. Ocampo, J.F. Rodríguez Femat, J.L. Martínez, J.L. Hernández, J.P. Hernández, J.R. Ramírez, J.R. Sosa, J. Rendón, J.R. Vázquez Pérez, J. Victoria, K. Bugman, K. Kühne, L. Gutiérrez, L. de J. Sánchez, L. Jiménez, L. Orozco, L.F. Rivera, L. Tlapaya, L. Victoria, L. Yunes, M. Carrillo, M. de C. Ramírez, M. del C. Soto, M. Carrillo, M. González, M.J. López, M.J. Gómez, M.E. Pérez, M.G. Vargas, M. Ruiz, M. Vugdelic, N. Balan, N. Gómez, N.B. Guillen, N. Jiménez, N. Sánchez, O. del Ángel, O. Bravo, O. de la Cruz Limones, O. Díaz, O. Godínez, O. Suárez, P. Conde, P.

Gutiérrez, P. Hernández, P. Mota, P. Petit, P. Ramírez, P.E. Rocha, P.P. Vásquez Sánchez, R. Bartolán, R. Berlio, R. Ortega, R. Partida Lara, R. Velázquez, S. Puerta, S.E. Ramos, S. Velázquez, T. Miranda, V. Bravo, V. González, V. Morales, V. Rodríguez, X. Macía y Y. Ramírez. Al personal de la RBVT: B. Zacañas Bravo, E. Velázquez Hernández, J.A. Roblero Escalante, J.A. Velázquez León, L. Morales Zacañas, N. Pérez Miguel, R. Velázquez Hernández, R. Verdugo, S. Velázquez Pérez y V. Pérez. A A.J. Cobar, J. Letona, P. Cruz, E. Girón, B. Chávez, I. Alvizuris, F. Capulramos, E. Hernández, P. de León, P. Ramos, L. Vargas, C. Morales, M. Ramos, G. Ramos, P. Rodríguez, T. Rodríguez y O. Rodríguez por su apoyo en el trabajo de campo en el VSP y en la RBSM. Agradecemos también los comentarios y sugerencias aportados por los revisores anónimos. Este trabajo constituye el cumplimiento parcial del doctorado de FGG en Ciencias Experimentales y Biosanitarias en el Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Alicante, España.

Literatura citada

- Andrle, R.F. 1967. The Horned Guan in Mexico and Guatemala. *The Condor* 69: 93-109.
- Arreola, A.V., G. Cuevas, R.A. Becerril, L. Noble y M.A. Altamirano. 2004. El medio físico y geográfico de la Reserva de la Biosfera el Triunfo, Chiapas. Pp. 29-52. *In*: M.A. Pérez-Farrera, N. Martínez-Meléndez, A. Hernández Yáñez y A.V. Arreola-Muñoz (eds.). *La Reserva de la Biosfera el Triunfo, tras una década de conservación*, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Baldo, S. y D.J. Mennill. 2011. Vocal behavior of Great Curassows, a vulnerable Neotropical bird. *Journal of Field Ornithology* 82:249-258.
- Blumstein, D.T., D.J. Mennill, P. Clemins, L. Girord, K. Yao, G. Patricelli, J.L. Deppe, A.H. Krauer, C. Clark, K.A. Cortopassi, S.F. Hanser, B. McCowan, A.M. Ali y A.N.G. Kirschel. 2011. Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: applications, technological considerations and prospectus. *Journal of Applied Ecology* 48:758-767.
- Brooks, D.M. y S.D. Strahl (comp.). 2000. Curassows, guans and chachalacas. Status survey and Conservation Action Plan for Cracids 2000-2004. IUCN/SSC Cracid Specialist Group, IUCN. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.
- Buckland, S.T., D.R. Anderson, K.P. Burnham y J.L. Laake. 1993. Distance Sampling. Estimating abundance of biological populations. Chapman y Hall. London.

- Buckland, S.T., D.R. Anderson, K.P. Burnham, J.L. Laake, D.L. Borchers y L. Thomas. 2004. *Advanced Distance Sampling. Estimating abundance of biological populations.* Oxford University Press. New York.
- Cancino, L. y D.M. Brooks. 2006. Conservando crácidos: la familia de aves más amenazadas de las Américas. *Miscellaneous Publications of the Houston Museum of Natural Science, Number 6.* Houston, Texas.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2013. Programa de Manejo de la Reserva de Biosfera Volcán Tacaná. CONANP, Chiapas.
- del Hoyo, J. 1994. Family Cracidae (Chachalacas, Guans and Curassows). Pp. 310-363. *In:* J. del Hoyo, A. Elliott y J. Sargatal (eds.). *Handbook of the birds of the World. Vol. 2. New World Vultures to Guineafowl.* Lynx Edicions. Barcelona.
- del Hoyo, J. y A. Motis. 2004. Update chapter. *In* Curassows and related birds, J. Delacour y D. Amadon. Segunda edición. Lynx Editions y The National Museum of Natural History. Barcelona y New York.
- del Hoyo, J. y G.M. Kirwan (en línea). 2015. Horned Guan (*Oreophasis derbianus*). *In:* J. del Hoyo, A. Elliott, J. Sargatal, D.A. Christie y E. de Juana (eds.). *Handbook of the Birds of the World Alive.* Lynx Edicions. Barcelona. Disponible en: <www.hbw.com/node/53303> (consultado el 16 de diciembre de 2015).
- Delacour, J. y D. Amadon. 2004. Curassows and related birds. Segunda edición. Lynx Editions y The National Museum of Natural History. Barcelona y New York.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2003. Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región del volcán Tacaná, ubicada en los municipios de Tapachula, Cacahoatán y Unión Juárez, en el estado de Chiapas, con una superficie de 6,378 ha. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.
- FDN (Fundación Defensores de la Naturaleza). 2003. Reserva de Biosfera Sierra de las Minas. III Plan Maestro 2003-2008. Fundación Defensores de la Naturaleza. Guatemala.
- Fedy, B.C., K.E. Doherty, C.L. Aldridge, M. O'donnell, J.L. Beck, B. Bedrosian, D. Gummer, M.J. Holloran, G.D. Johnson, N.W. Kaczor, C.P. Kiroi, C.A. Mandich, D. Marshall, G. McKee, C. Olson, A.C. Pratt, C.C. Swanson y B.L. Walker. 2014. Habitat prioritization across large landscapes, multiple seasons, and novel areas: An example using greater sage-grouse in Wyoming. *Wildlife Monographs* 190:1-39.
- Fuller, R.J. (ed.). 2012. *Birds and habitat: relationships in changing landscapes.* Cambridge University Press. Cambridge.
- Godínez, G.O. 2014. Patrones de actividad espacio-temporal de los ungulados de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.
- Gómez de Silva G., H., F. González-García y M.P. Casillas-Trejo. 1999. Birds of the upper cloud forest of El Triunfo, Chiapas, Mexico. *Ornitología Neotropical* 10:1-26.
- González-Espinosa, M., J.A. Meave, F.G. Lorea-Hernández, G. Ibarra-Manríquez y A.C. Newton (eds.). 2011. *The Red List of Mexican Cloud Forest Trees.* F&F y BGCI. Cambridge.
- González-García, F. 1992. Estudio y conservación del pavón en la Sierra Madre de Chiapas. Informe. CONACYT-INECOL. Xalapa, Veracruz.
- González-García, F. 1993. Illegal trade of Horned Guans. *The Cracid Newsletter* 2:7.
- González-García, F. 1995. Reproductive biology and vocalizations of the Horned Guan *Oreophasis derbianus* in Chiapas, Mexico. *The Condor* 97:415-426.
- González-García, F. 1997. Distribución del pavón *Oreophasis derbianus* en México: pasado, presente y futuro. Pp. 211-216. *In:* S.D. Strahl, S. Beaujon, D.M. Brooks, A.J. Begazo, G. Sedaghatkish y F. Olmos (eds.). *The Cracidae: Their Biology and Conservation.* Hancock House Publishers. Surrey, Canadá y Blaine, EUA.
- González-García, F. 2001. Estado de conservación del pavón *Oreophasis derbianus* en el campo y en cautiverio en México. Pp. 147-166. *In:* D.M. Brooks y F. González-García (eds.). *Biology and Conservation of Cracids in the New Millenium.* Miscellaneous Publications of the Houston Museum of Natural Science, Number 2. Houston, Texas.
- González-García, F. 2005. Dieta y comportamiento de forrajeo del pavón *Oreophasis derbianus* en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- González-García, F. 2012. El pavón (*Oreophasis derbianus*), una especie cuasiendémica a México. *El Canto del Centzontle* 3:1-25.
- González-García, F., J.A. Rivas-Romero y A.J. Cobar Carranza. 2006. Pavón de Cacho (*Oreophasis derbianus*). Pp. 40-45. *In* D.M. Brooks (ed.). *Conserving Cracids: the most threatened family of birds in the Americas,* Miscellaneous Publications of the Houston Museum of Natural Science, Number 6. Houston, Texas.
- González-García, F., J.R. Sosa-López, J.F. Ornelas, P. Jordano, V. Rico-Gray y V. Urios Moliner. 2016. Individual variation in the booming call of captive Horned Guans (*Oreophasis*

- sis derbianus*): an endangered Neotropical mountain bird. Bioacoustics DOI:10.1080/09524622.2016.1233513
- INE (Instituto Nacional de Ecología). 1999. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera El Triunfo. INE, SEMARNAP. México, D.F.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources; en línea). 2015. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015.4. Disponible en: <www.iucnredlist.org> (consultado el 13 de enero de 2016).
- Kattan, G.H, M.C. Muñoz y D.W. Kiuchi. 2016. Population densities of curassows, guans, and chachalacas (Cracidae): Effects of body size, habitat, season, and hunting. *The Condor* 118:24-32.
- Lacy, R.C., M. Borbat y J.P. Pollak. 2013. Vortex: a stochastic simulation of the extinction process. Version 10.0. Chicago Zoological Society. Brookfield, Illinois.
- Land, H.C. 1962. A collection of birds from the Sierra de las Minas, Guatemala. *The Wilson Bulletin* 74: 267-283.
- Li, S., D. Wang, X. Gu y W.J. McShea. 2010. Beyond pandas, the need for a standardized monitoring protocol for large mammals in Chinese nature reserves. *Biodiversity and Conservation* 19:3195-3206.
- Long, A. y M. Heath. 1991. Flora of the El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico: a preliminary floristic inventory and the plant communities of polygon I. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 62:133-172.
- MacKenzie, D.I., J.A. Royle, J.A. Brown y J.D. Nichols. 2004. Occupancy estimation and modeling for rare and elusive species. Pp. 149-172. In: W.L. Thompson (ed.). *Sampling rare or elusive species. Concepts designs, and techniques for estimating population parameters*. Island Press. Washington, D.C.
- MacKenzie, D.I., J.D. Nichols, J.A. Royle, K.H. Pollock, L.L. Bailey y J.E. Hines. 2006. *Occupancy estimation and modeling. Inferring patterns and dynamics of species occurrence*. Academic Press. San Diego, California.
- Marques, T.A., L. Thomas, S.W. Martin, D.K. Mellinger, J.A. Ward, D.J. Moretti, D. Harris y P.L. Tyack. 2013. Estimating animal population density using passive acoustics. *Biological Reviews* 88:287-309.
- Martínez-Morales, M.A. 1999. Conservation status and habitat preferences of the Cozumel Curassow. *The Condor* 101:14-20.
- Martínez-Morales, M.A., P. Caballero-Cruz y A.D. Cuarón. 2009. Predicted population trends for Cozumel curassows (*Crax rubra giscomi*): empirical evidence and predictive models in the face of climate change. *Journal of Field Ornithology* 80:317-327.
- Martínez-Morales, M.A., F. González García, P. L. Enríquez, J.L. Rangel Salazar, D.A. Navarrete Gutiérrez, C.A. Guichard Romero, A. Tobón Sampedro y G.E. Pinilla Buitrago. 2013. Modelos de distribución actual y futura de los crácidos presentes en México. El Colegio de la Frontera Sur, unidad Campeche. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. JM024. México, DF.
- Mendoza, E. y J.P. Carbajal. 2011. Avances y perspectivas para la conservación del tapir centroamericano en México. *CONABIO. Biodiversitas* 99: 12-16.
- Moller, A.P. y W. Liang. 2013. Tropical birds take small risks. *Behavioral Ecology* 24:267-272.
- O'Brien, T.G. y M.F. Kinnaird. 2008. A picture is worth a thousand words: the application of camera trapping to the study of birds. *Bird Conservation International* 18: S144-S162.
- Pardo, P., M. Véliz y C. Méndez. 2009. Estudio de la vegetación del Volcán San Pedro, Reserva de usos múltiples de la cuenca del lago de Atitlán, Sololá. *Revista Científica* 5:65-90.
- Pardo, V.P.D. 2007. Estudio de la vegetación del volcán San Pedro. Tesis de licenciatura, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Peterson, A.T. y A.G. Navarro-Sigüenza. 2016. Bird conservation and biodiversity research in Mexico: status and priorities. *Journal of Field Ornithology* 87(2): 121-132.
- Peterson, A.T., J. Soberón, R.G. Pearson, R. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura y M. Araujo. 2011. *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton University Press. Princeton.
- Peterson, A.T., V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, J. Bartley, R.W. Buddemeier y A.G. Navarro-Sigüenza. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling* 144:21-30.
- Peterson, J.T. y P.B. Bayley. 2004. A Bayesian approach to estimating presence when a species is undetected. Pp. 173-188. In: W.L. Thompson (ed.). *Sampling rare or elusive species. Concepts designs, and techniques for estimating population parameters*. Island Press. Washington, D.C.
- Quiñónez-Guzmán, J.M. 2011. Densidad poblacional e historia natural del Pavo de Cacho (*Oreophasis derbianus*) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Las Minas, El Progreso, Guatemala. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Rivas-Romero, J.A. y A.J. Cobar. 2008. Densidad poblacional y fenología de las plantas alimenticias del pavo de cacho (*Oreophasis derbianus* G. R. Gray 1844) en el parque re-

- gional municipal Chuwanimajuyu, Sololá. Informe Final. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad San Carlos de Guatemala, y Embajadores de las Nubes. Guatemala y México.
- Rivas-Romero, J.A. y J.R. Soto-Shoender. 2015. Filling in the gaps: evaluating the use of camera traps in the canopy to examine frugivore visits to *Oreopanax echinop* in the highlands of Guatemala. *The Southwestern Naturalist* 60(4): 366-370.
- Rojas-Soto, O.R., V. Sosa y J.F. Ornelas. 2012. Forecasting cloud forest in Eastern and southern Mexico: conservation insights under future climate change scenarios. *Biodiversity and Conservation* 21: 2671-2690.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010a. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - especies nativas de México y de flora y fauna silvestres - categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. México, D.F.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010b. Programa de Acción para la Conservación de la Especie: Pavón (*Oreopanax derbianus*). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Comité Internacional para la Conservación de *Oreopanax derbianus*. Embajadores de Las Nubes. México, DF.
- Silveira, L., A.T. A. Jácomo y J.A.F. Diniz-Filho. 2003. Camera trap, line transect census and track surveys: a comparative evaluation. *Biological Conservation* 114(3):351-355.
- Srbek-Araujo, A.C., L. Fabio Silveira y A.G. Chiarello. 2012. The Red-billed Curassow (*Crax blumenbachii*): social organization, and daily activity patterns. *The Wilson Journal of Ornithology* 124:321-327.
- Sutherland, W.J. 2006. Ecological census techniques. A handbook. 2a edición. Cambridge University Press. Cambridge.
- Suchini, A.E., A.C. Rosales, G.M. Cazali, E. de Poll, N.A. Castillo, M.E. Flores y A.L. Higueros. 2002. Endemismo florístico en el norte de Biosfera Sierra de las Minas. Centro de Estudios Conservacionistas, Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Suwanrat, S., D. Ngoprasert, C. Sutherland, P. Suwanwaree y T. Savini. 2015. Estimating density of secretive terrestrial birds (Siamese Fireback) in pristine and degraded forest using camera traps and distance sampling. *Global Ecology and Conservation* 3:596-606.
- Thomas, L., S.T. Buckland, E.A. Rexstad, J.L. Laake, S. Strindberg, S.L. Hedley, J.R.B. Bishop, T.A. Marques y K.P. Burnham. 2010. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology* 47: 5-14.
- Thompson, W.L. 2004. Future directions in estimating abundance of rare or elusive species. Pp. 389-399. *In*: W.L. Thompson (ed.). *Sampling rare or elusive species*. Island Press. Washington.
- Vannini, J.P. y P.M. Rockstroh. 1997. The status of cracids in Guatemala. Pp. 326-334. *In*: S.D. Strahl, S. Beaujon, D.M. Brooks, A.J. Begazo, G. Sedaghatkish y F. Olmos (eds.). *The Cracidae: Their Biology and Conservation*. Hancock House Publishers. Surrey, Canadá y Blaine, EUA.
- Viñals, J.F. 1993. Estudio de la composición florística de las cimas de los volcanes Acatenango, Agua, Atitlán, Fuego, Santa María, Santo Tomás (Pecul), Tacaná, Tajumulco y Zunil en la República de Guatemala. Tesis de licenciatura, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Williams, D.R., R.G. Pople, D.A. Showler, L.V. Dicks, M.F. Child, E.K.H.J. zu Ermgassen y W.J. Sutherland. 2012. Bird conservation. Global evidence for the effects of interventions. Pelagic Publishing. Exeter.
- Yoccoz, N.G., J.D. Nichols y T. Boulinier. 2001. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology and Evolution* 16:446-453.

Apéndice 1. Propuesta de formato de campo para el registro de *Oreophasis derbianus*. Este formato incluye los datos mínimos necesarios que deben ser recabados durante el muestreo en campo para posteriormente realizar el análisis de la abundancia de la especie con base en la teoría del muestreo de distancias (Buckland *et al.* 1993, 2004). En la casilla de condiciones climáticas, aunque se asume que los muestreos se hacen en condiciones óptimas de detección, es conveniente describir los parámetros que se presenten durante el muestreo. En el caso de temperatura y precipitación se recomienda su medición directa o, en su defecto, definir rangos categóricos apropiados. Nubosidad: 0 = Despejado (<10% de cobertura nubosa), 1 = Poco nuboso (>10 al 40%

de cobertura nubosa), 2 = Nuboso (>40% al 70% de cobertura nubosa), 3 = Muy nuboso (>70% de cobertura nubosa). Viento: 0 = Sin viento (<5 km/h), 1 = Viento ligero (5 a 10 km/h), 2 = Viento moderado (>10 a 20 km/h), 3 = Viento fuerte (>20 km/h). Neblina: 0 = Sin neblina, 1 = Neblina ligera (visibilidad >100 m), 2 = Neblina densa (visibilidad de >50 a 100 m), 3 = Neblina extrema (visibilidad <50 m). En sexo M: macho, H: hembra y ND: no determinado. En edad Ad: adulto, Jv: juvenil y Po: pollo. En tipo de registro V: visual, A: auditivo o ambos (V/A). La casilla de sentido/periodo del recorrido se debe utilizar cuando un sendero es recorrido más de una vez en una misma sesión de muestreo (e.g., ida y vuelta, mañana y tarde).

FORMATO DE CAMPO PARA EL REGISTRO DE *Oreophasis derbianus* POR EL MÉTODO DEL MUESTREO DE DISTANCIAS

Localidad:		Hoja _____ de _____										
Nombre del sendero:		Fecha (aaaa/mm/dd):										
Longitud del sendero:		Hora de inicio:				Hora de salida del sol:						
Distancia recorrida:		Hora de término:				Hora de puesta del sol:						
Observador(es):												
Condiciones climáticas: temperatura (°C), precipitación (mm), nubosidad (0-3), viento (0-3), neblina (0-3)												
Observaciones generales:												
Reg	Hora	Punto en sendero (m)	Coordenadas	Datum	Altitud (m)	No. de Ind.	Sexo (M/H/ND)	Edad (Ad/Jv/Po)	Tipo de registro (V/A)	Dist. perpend. (m)	Sentido/Periodo del recorrido	Observaciones (actividad/vegetación/otras)
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												



Sociedad para el Estudio y Conservación de las Aves en México, A.C.



TRABAJOS NO PUBLICADOS

Universitat d'Alicant
Universidad de Alicante

CAPITULO 3

DIETA Y CONDUCTA DE ALIMENTACIÓN DEL PAVÓN (*OREOPHISIS DERBIANUS*) EN MEXICO

FERNANDO GONZÁLEZ-GARCÍA,^{1,2,3,8} EDUARDO SANTANA-C.,⁴ PEDRO D. JORDANO BARBUDO,⁵ VICTOR RICO-GRAY,⁶ VICENTE URIOS MOLINER⁷

¹Red Biología y Conservación de Vertebrados. Instituto de Ecología, A.C. Carretera Antigua a Coatepec No. 351, El Haya, Xalapa, Veracruz, México.

²Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante. Carretera San Vicente del Raspeig s/n, San Vicente del Raspeig, Alicante, 03690, España.

³Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR), Instituto Politécnico Nacional, Calle Hornos 1003, Col. Santa Cruz Xoxocotlán, C.P. 71236. Oaxaca, Mexico.

⁴Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Av. Independencia Nacional 151, Autlán de Navarro, Jalisco, México. 48900. email: esantanacas@gmail.com

⁵Estación Biológica de Doñana, CSIC, Isla de la Cartuja, Avda. Americo Vesputio S/N E-41092, Sevilla, Spain. email: jordano@ebd.csic.es

⁶Instituto de Neuroetología, Universidad Veracruzana. Av. Luis Castelazo Ayala s/n. Col. Industrial Animas. Xalapa, Veracruz, 91190 México. email: vricogray@yahoo.com

⁷Universidad de Alicante. Campus San Vicente del Raspeig, Edificio Ciencias III, Alicante, 03080 Spain. email: vicenteurios@yahoo.es.

⁸Corresponding autor: email: fernando.gonzalez@inecol.mx

Please send page proof to the corresponding author at the above e-mail address

ABSTRACT. ---The Horned Guan (*Oreophasis derbianus*) is endemic to humid montane forests of southern Mexico and Guatemala. This species is considered an endangered species due to their small populations, the loss and fragmentation of its habitat, illegal trade and overexploitation by subsistence hunters. We update information about the species' diet and foraging behavior by integrating the results generated during two and a half decades of research on the Horned Guan's ecology at the El Triunfo Biosphere Reserve, in Chiapas, Mexico, with additional published information compiled from other areas. Based on close to 450 hr of direct observations of free-ranging guans and 530 tallied discrete feeding events, we found that during the breeding season the Horned Guans feeds primarily on fruits from six species of plants and leaves from one species. Our study increases the known plant taxa in the Horned Guan's diet in El Triunfo from 40 to 63 (Appendix I), and globally to 101 species (Appendix II). Horned Guans were not observed eating animal matter corroborating its specialized frugivore-folivore habits. For 48 taxa in El Triunfo, only fruits are consumed, while for eleven taxa consumption is restricted to leaves, and flowers for one species; for four taxa both fruits and leaves are consumed. We found significant differences between males and females in the location of foraging on trees and diet composition. Young birds are fed by their mothers' fruits of *Citharexylum mocinnii* and leaves of *Solanum appendiculatum*, both of which are rare in the diet of adult males. The conservation of the Horned Guan must require the long-term protection of suitable habitat that maintains the plant species important in their diet.

Key words: Horned Guan, *Oreophasis derbianus*, Mexican cloud forest, frugivory, foraging behavior, Conservation of Neotropical montane forest birds, El Triunfo Biosphere Reserve

INTRODUCCIÓN

El pavón (*Oreophasis derbianus*) es endémico al bosque montano húmedo del sur de México y Guatemala (Andrle 1967, Howell y Webb 1995, del Hoyo y Motis 2004). A nivel global, la especie se considera actualmente en peligro de extinción (Brooks 2006, Birdlife International 2015), debido a sus pequeñas poblaciones y amenazas por la caza, la deforestación y el comercio ilegal (CONAP 2001,

Eisermann y Avendaño 2006, SEMARNAT 2010, BirdLife International 2015, Del Hoyo y Kirwan 2015). Aunque hay muchas descripciones publicadas de su biología y ecología en su hábitat natural y en cautiverio (Álvarez del Toro 1976, González-García 1984, 1986, 1988, 1991, 1994, 1995, 1997a, 1997b, 1997c, 2001, 2005a, b, 2007, González-García y Bubb 1989, Gómez de Silva et al., 1999, Secaira y Cornejo 2003, González-García et al., 2001, Pozo et al., 2005, Secaira 2005, González-García y otros 2006a, 2006b, Rivas-Romero y otros, Rivas-Romero y Cobar, Rivas-Romero y otros, 2005, Ramos y González-García 2009, Rivas-Romero y otros, 2006, Eisermann et al 2007, Méndez 2000, 2010, Montes 2005, Tovar et al. Secaira y Cornejo 2007, Cornejo 2009, Dierenfeld et al., 2009), aún se desconocen aspectos importantes de su ecología (por ejemplo, ámbito hogareño, estacionalidad y patrones de movimientos).

Esta especie se coloca taxonómicamente en un género monotípico, y tiene un "cuerno" (la estructura huesuda coral-roja desnuda que crece encima de su cabeza). Es una de las pocas especies de aves que se alimentan predominantemente de frutas y hojas, así como de néctar y flores (Klasing 2000, Muñoz y Kattan 2007, Rivas-Romero 2008, Méndez 2010). Una característica ecológicamente relevante es que muchas de las semillas que consume pasan por su tracto digestivo sin daño aparente, defecadas en condiciones viables con diferentes tasas de germinación específicas de las especies (González-García 2009, Ramos y González-García 2009). Los pavones se consideran entre los grupos de aves que desempeñan un papel importante como dispersores de semillas, afectando la composición y estructura de los bosques nubosos (Silva y Strahl 1991, Sedaghatkish 1996, Muñoz y Kattan 2007). Debido a su gran tamaño, movimientos y dieta especializada, la información sobre interacciones planta-animal como la dispersión de semillas y sus efectos sobre la dinámica forestal son relevantes para comprender la estructura y función de los ecosistemas de bosques montanos en peligro en que habita (Howe y Schupp 1985, Strahl and Grajal 1991, Jordano 2006). Muñoz y Kattan (2007) concluyeron que "pocos estudios cuantitativos rigurosos sobre las dietas de cración están disponibles" y que pocos estudios "han evaluado las variaciones estacionales y de hábitat en la disponibilidad de recursos y las respuestas de lo crácidos a dicha variación". Esta información que falta es esencial para entender la ecología, el comportamiento, la dinámica de la

población y los requerimientos de hábitat necesarios para desarrollar recomendaciones de manejo y conservación. Por estas razones, se necesita una evaluación actualizada de la dieta y la ecología del pavón y su relación con la disponibilidad estacional de frutos (Muñoz y Kattan 2007). Sintetizamos la información publicada sobre la dieta del pavón y la ecología de forrajeo, la producción estacional de fruto y la fenología reproductiva de México y Guatemala (Solórzano 1995, Solórzano et al., 2000, Dierenfeld et al 2009, González García 1984, 1991, 1994, 2005a, 2007, Ramos y González-García 2009, Méndez 2000, 2010, Quiñónez-Guzmán 2011, Rivas-Romero y Soto-Shoender 2015) y analizamos observaciones de forrajeo no publicadas de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, recolectadas entre 1982-2006 y 2011-2014, con el fin de proveer una reevaluación de la dieta y el comportamiento de alimentación del pavón en México y Guatemala.

MÉTODOS

La Reserva de la Biósfera El Triunfo está ubicada en la parte central de la Sierra Madre de Chiapas ($15^{\circ} 09'10''$ y $15^{\circ} 57'02''$ N, $92^{\circ} 34'04''$ y $93^{\circ} 12'42''$ W). La Reserva de la Biósfera El Triunfo (450 a 2.750 m) tiene una superficie total de 119.117 hectáreas, incluyendo una de las áreas contiguas más extensas (cerca de 50.000 ha) de bosque mesófilo en México (Challenger 1998, INE 1999). La precipitación anual oscila entre 2000 y 4500 mm y la temperatura media anual entre $14-30^{\circ}$ C, con una estación seca relativa entre noviembre y abril y una estación lluviosa de mayo a octubre (INE 1999).

La reserva de El Triunfo alberga 10 tipos de vegetación; Los dominantes son el bosque mesófilo ("bosque de niebla"), el bosque húmedo tropical ("lluvia") y el bosque de pino y roble. Los bosques caducifolios tropicales se encuentran a lo largo del fondo de los barrancos y de las laderas abrigadas a altitudes más bajas (INE 1999). La reserva se divide en cinco zonas principales. Nuestra investigación se realizó en la zona I de 11.594 ha, El Triunfo (INE 1999). En El Triunfo, el pavón está restringido al bosque mesófilo de la montaña. En la zona núcleo I El bosque nuboso (rango de altitud entre 1700 y 2400 m) se caracteriza por la comunidad de *Quercus-Matudaea-Hedyosmun-Dendropanax* (Ramírez y Williams-Linera 1990, Long y Heath 1991, Pérez-Farrera y otros 2004, González-García 2005), aunque el pavón

puede utilizar otros tipos de bosques a bajas altitudes estacionalmente. González-García (2005, datos no publicados) realizó una descripción detallada de la composición y estructura de las especies vegetales del hábitat preferido del pavón en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, y se conoce un estudio similar en Volcán San Pedro, Sololá, Guatemala (Pardo 2007).

Observamos el comportamiento de alimentación y la dieta del pavón principalmente durante la temporada reproductiva de febrero a mayo de 1982-1984, 1987-1992, enero-junio y agosto-diciembre de 1993. No se realizó trabajo de campo durante julio y agosto de 1993. Nuestras búsquedas cubrieron 861,8 km en senderos dentro de un radio de $2,6 \pm 0,65$ km (media \pm DE, N = 6 senderos) del campamento principal de visitantes. Los pavones fueron generalmente detectados por los sonidos que hicieron durante el cortejo o el forrajeo (aleteo de alas, defecar) y al visitar árboles que se sabe que se utilizan regularmente para la alimentación. La búsqueda sistemática en el área de estudio asegura que pudimos detectar cambios en la dieta cuando los pavones comenzaron a alimentarse de nuevas especies de árboles y la cuantificación sistemática de nuestras observaciones nos permite comparar objetivamente la dieta de machos y hembras, así como de adultos y jóvenes. Sin embargo, nuestros datos estarán ligeramente sesgados hacia las especies más comúnmente usadas y, por lo tanto, deben interpretarse como una primera aproximación a la cuantificación de la frecuencia relativa de las especies de plantas en la dieta del pavón. Los pavones fueron más fácilmente detectados desde principios de octubre hasta mayo, cuando los machos en cortejo realizan llamadas de cortejo que son profundas, lentas y suaves, de 7 notas "parecidas a un mugido", para atraer a las hembras y además realizan vuelos cortos llamativos de árbol en árbol (González-García 1995; Gómez de Silva et al. Al., 1999). También se escucha durante este período el castañeteo del pico (beak-clacking), el único de 13 llamadas descritas para ambos sexos que es similar entre machos y hembras. Observamos el comportamiento de alimentación, alimentación y cortejo con binoculares 10 x 40 o un telescopio de 18-36 x 50 mm desde distancias de 10 a 50 m. La duración de los eventos fueron medidos con relojes digitales o cronómetros a partir de observaciones directas en el campo.

Los datos sobre el comportamiento de los forrajeo provienen de 449,5 horas de observación (885,5 horas de tiempo de búsqueda realizadas entre febrero y

mayo de 1987-1992 y entre enero y junio y agosto y diciembre de 1993: media $8,79 \pm 2,47$ horas / día) con una media de $3,15 \pm 2,92$ h (1 - 590 min) de observación diaria continua durante 101 días. La observación media por individuo fue $2,96 \pm 2,65$ h. Se observaron 520 eventos de comportamiento de alimentación de los cuales se registraron 263 eventos por hembras, 208 eventos por machos y 49 eventos por individuos de sexo desconocido. Durante la observación realizada entre marzo de 2011 y enero de 2012, febrero de 2012-enero de 2013, febrero de 2013 y abril de 2014, se obtuvieron datos adicionales sobre la dieta y el comportamiento alimentario como parte de los programas de seguimiento o monitoreo poblacional a largo plazo del pavón. En general, el método de observación utilizado se basó principalmente en el método ad libitum y en todos los muestreos de ocurrencias durante encuentros oportunistas. Con los métodos de muestreo, se registraron todas las acciones de un pavón, parejas (1 par = 1 macho y 1 hembra) o hembras con pollitos o juveniles durante diferentes periodos de muestreo recolectando datos sobre frecuencias y duraciones de comportamientos (Altman 1974, Martin Y Bateson 1986, Lehner 1996).

Aunque las aves no fueron marcadas individualmente, basadas en las diferencias individuales en las características del plumaje, el tamaño corporal y la forma del cuerno, así como las ubicaciones y el tiempo de la observación, nuestros datos se basan en 15-18 machos diferentes, 12-14 hembras diferentes y 10-13 pollitos diferentes o juveniles. Se determinó la dieta mediante la identificación de los ejemplares recogidos en el campo de flores, frutos y hojas de las plantas en las que los pavones se alimentaban, e identificando las semillas recogidas de las muestras fecales.

Se registraron: 1. El tiempo total que los pavones permanecieron en una especie arbórea dada; 2. El tiempo total de alimentación de una especie arbórea determinada; y 3. Frecuencia de ocasiones en que se observaron pavones alimentándose en una especie de fruta dada. Estos tres parámetros estuvieron altamente correlacionados: tiempo total invertido en una especie de árbol vs. duración del tiempo de alimentación observado en esa especie de árbol ($r^2 = 0,90$, $P < 0,001$, $gl = 19$) y vs. frecuencia de ocasiones observadas alimentándose en esa especie de árbol ($r^2 = 0,88$, $P < 0,001$, $gl = 19$); el tiempo de alimentación observado y el número de ocasiones observadas en la misma especie arbórea ($r^2 = 0,85$, P

<0,001, gl = 19). Sin embargo, no hay relación entre el tiempo total dedicado a una especie arbórea y el porcentaje de tiempo dedicado a la alimentación en esa especie arbórea ($r^2 = 0.0523$, $P = 0.3186$, gl = 19). Dada la alta correlación entre los tres parámetros se usó la frecuencia más fácilmente analizada de los eventos de alimentación observados para evaluar la dieta del pavón.

Comparamos la fenología estacional de la producción de frutos (Solórzano 1995, Solórzano et al., 2000) con la dieta y ciclo reproductivo de los pavones. Para evaluar el nivel de significación de las comparaciones se utilizaron pruebas t de Student y pruebas no paramétricas (X^2 , U de Mann-Whitney). La mayoría de los datos se presentan como media \pm DE y mediana para el tiempo total dedicado a los árboles y la duración de las visitas de alimentación. Todas las pruebas se realizaron utilizando Statistica (StatSoft 2003).

RESULTADOS

Se observaron 520 eventos de forrajeo en 21 taxones vegetales, el 83% de las observaciones consistió en sólo frutos, 17% de hojas solamente, 1% de hojas y frutos de la misma especie y flores. Los frutos se consumían en su mayor parte maduros, pero ocasionalmente durante la temporada de cría se comían frutos inmaduros. Las hojas sólo se consumían solo tiernas. Hemos anotado más de 500 min de observaciones de alimentación en los árboles (véase más adelante), el promedio de tiempo de forrajeo del tiempo total dedicado a un árbol fue de $28,3 \pm 7,3$ min.

Los pavones se alimentan con más frecuencia de siete taxones (Tabla 1), con el 50% de las observaciones de alimentación en dos especies: *Symplocarpum purpusii* y *Citharexylum mocinnii*. *Morus insignis*, *Dendropanax* sp., *Conostegia volcanalis* y *Hedyosmun mexicanum* aportaron el 5,1% al 11,2% de las observaciones. Los pavones consumieron sólo hojas de *Solanum appendiculatum* durante el 13,8% de las observaciones. El uso de las siete especies de plantas varía significativamente dependiendo de la edad y el cortejo (adultos: $X^2 = 125.37$, gl = 6, $P < 0.001$, pollitos y volantones: $X^2 = 121.8$, gl = 6, $P < 0.001$; cortejo: $X^2 = 87.5$, gl = 6, $P < 0,001$) (Tabla 1). Las semillas de *Ocotea chiapensis*, *Dendropanax* sp., *Oreopanax* sp., *Eugenia capulli*, *C. mocinnii*, *Urera*

caracasana, *Smilax* sp., *S. purpusii*, así como hojas de *S. appendiculatum* y *P. brachybothrya* y de otros materiales vegetales no identificados fueron encontrados en 12 diferentes muestras fecales (el número promedio de semillas por excremento fue de 101.5 ± 85.17 , rango = 1-342, n = 12). Todas las semillas encontradas en las muestras fecales estaban intactas, lo que sugiere que los pavones digieren sólo la pulpa. No se encontraron rastros de artrópodos o vertebrados (una muestra contenía tres pequeñas larvas blancas no digeridas (2-3 mm) que parecían haber colonizado la muestra fecal). Las heces de los pavones que incluyen hojas generalmente también incluyeron pequeñas piedras. No se detectaron guijarros en heces sin hojas. Las heces a menudo contenían semillas de *Dendropanax* sp. y *Smilax* sp., y algunos frutos enteros no digeridos, lo que sugiere un tratamiento suave durante la digestión o que se consumen cuando están inmaduros (Tabla 2-3).

Table 1. Observaciones de alimentación del pavón (*Oreophasis derbianus*) por edad y durante la conducta alimentaria de cortejo en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, Mexico.

Especies de plantas	Frecuencia de observaciones			
	Pavones adultos	Pollos y Volantones	Cortejo	Total
	N (%)	N (%)	N (%)	N (%)
<i>Symplocarpum purpusii</i>	108 (25.4)		21 (67.7)	129 (25.4)
<i>Citharexylum moccinii</i>	90 (21.2)	33 (62.2)		123 (24.2)
<i>Solanum appendiculatum</i>	63 (14.8)	7 (13.2)		70 (13.8)
<i>Morus insignis</i>	53 (12.5)		4 (12.9)	57 (11.2)
<i>Hedyosmum mexicanum</i>	26 (6.1)			26 (5.1)
<i>Conostegia volcanalis</i>	25 (5.8)		1 (3.2)	26 (5.1)
<i>Dendropanax</i> sp.	22 (5.1)	11 (20.7)	2 (6.4)	35 (6.9)
Other species*	37 (8.7)	2 (3.7)	3 (9.6)	42 (8.3)
Total	424 (100)	53 (100)	31(100)	508 (100)

*Otras especies con < 9 observaciones: *Trochis cuspidata*, *Prunus* sp., *Amphitecna montana*, Lauraceae, *Ocotea chiapensis*, *Urera caracasana*, *Cestrum aff. guatemalae*, *Ugni myricoides*, *Spathacanthus parviflorus*, *Nectandra rudis*, *Quercus* sp., *Prunus brachybotrya*, *Licaria excelsa/L. glaberrima*).

Table 2. Frecuencia y porcentaje de eventos de alimentación de machos y hembras de pavón (*Oreophasis derbianus*) sobre los más importantes árboles de alimentación durante la época reproductiva en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México.

Frutos	Hembras	%	Machos	%
<i>Citharexylum moccinii</i>	72	45.6	13	7.5
<i>Symplococarpum purpusii</i>	24	15.2	83	48
<i>Morus insignis</i>	21	13.3	25	14.5
<i>Dendropanax</i> sp.	15	9.5	7	4
<i>Conostegia volcanalis</i>	12	7.6	10	5.8
<i>Hedyosmum mexicanum</i>	2	7.6	23	13.3
Others	12	7.6	12	6.9
Total	158	100	173	100

Universitat d'Alacant
 Universidad de Alicante

Table 3. Fenología reproductiva del pavón (*Oreophasis derbianus*) en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, Mexico, basada en todos nuestros períodos de estudio.

Actividad reproductiva	Meses												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
Llamados de cortejo	•	•	•	•	•	•					•	•	•
Courtship feeding/following	•	•	•	•	•					•	•		
Copulación	•	•	•	•									
Selection de sitios de anidación	•	•	•	•									
Puesta de huevos	•	•	•	•									
Incubación	•	•	•	•	•								
Eclosión/pollos/volantones	•	•	•	•	•	•	•	•					
Cuido volant/juveniles			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Los pavons consumieron hojas de once taxones (Apéndice I), siendo las más frecuentes las de *S. appendiculatum* y de *P. brachybotrya*, de las que se alimentan durante la temporada de reproducción y más allá. Las hojas de esta última especie pueden ser consumidas enteras o en fragmentos por machos, hembras, pollitos y juveniles. Durante 39 min de observación en un árbol de *P. brachybothrya*, un macho comió 179 veces (4.6 hojas / min). Una hembra y sus dos polluelos fueron observados alimentándose de hojas verdes de la misma especie arbórea. En total, en El Triunfo, la dieta de los pavones se basa en 63 especies vegetales de 32 familias (Apéndice I).

Los pavones vuelven a visitar las mismas plantas o grupo de las mismas plantas que tienen abundantes frutos. Las visitas de alimentación pueden ser en días consecutivos e incluso en diferentes meses. Por ejemplo, una hembra con un juvenil (4-5 meses para el tamaño del cuerno) revisitó el mismo árbol de *P. matudae* con abundantes frutos en octubre, noviembre y diciembre de 2012. Durante 5,48 h de observaciones observamos a esta hembra alimentándose con su juvenil en un árbolde *P. matudae*. La hembra se alimentó 13 veces, y el juvenil 18 veces, y ambos produjeron 36 heces. La hembra defecaba cada $15,3 \pm 11,20$ min (rango = 1-44, n = 17) y juvenil defecaba cada $17,7 \pm 9,50$ min (rango 5-34, n = 17). Los intervalos de alimentación (definidos como el tiempo de alimentación ininterrumpida) para la hembra duraron $10,3 \pm 10,6$ min (rango = 2-35, n = 11) y para los juveniles duró 5,5

$\pm 2,6$ (rango = 1-10, n = 14). Una sesión de alimentación comenzó cada 23.4 ± 22.0 min (rango = 1-67, n = 10) para esta hembra, y para el juvenil comenzó cada 17.8 ± 13.9 min (rango = 1-36, n = 13). Estas observaciones y otras observaciones sobre *C. moccinni*, *C. volcanalis*, árboles con frutos de *M. insignis* (datos no publicados) sugieren que esta especie de cracido recuerda la ubicación y el tiempo de maduración de los árboles frutales individuales (Galleti et al., 1997).

Los machos y hembras tuvieron composiciones dietéticas significativamente diferentes ($X^2 = 94.05$, $df = 5$, $P < 0.001$), con los machos consumiendo mayor proporción de frutos (91.3% vs. 79.5%) y menor proporción de hojas (7.7% vs. 19,8%) que las hembras (Tabla 2). Los machos se alimentaron más de los frutos de *S. purpusii* y *H. mexicanum* y de las hembras en *C. mocinnii*, *Dendropanax* sp., y hojas de *S. appendiculatum*. Las tres especies de plantas preferidas por las hembras (*C. mocinnii*, *Dendropanax* sp., hojas de *S. appendiculatum*) fueron las principales especies alimentarias para los pollitos, por lo que podrían reflejar las necesidades o preferencias alimentarias de los pollitos en lugar de las hembras adultas. Cuatro de las siete especies de plantas más importantes en la dieta (*C. mocinnii*, *S. purpusii*, *M. insignis*, *C. volcanalis*) fueron ofrecidas por los machos a las hembras durante la alimentación de cortejo (Tabla 1-2).

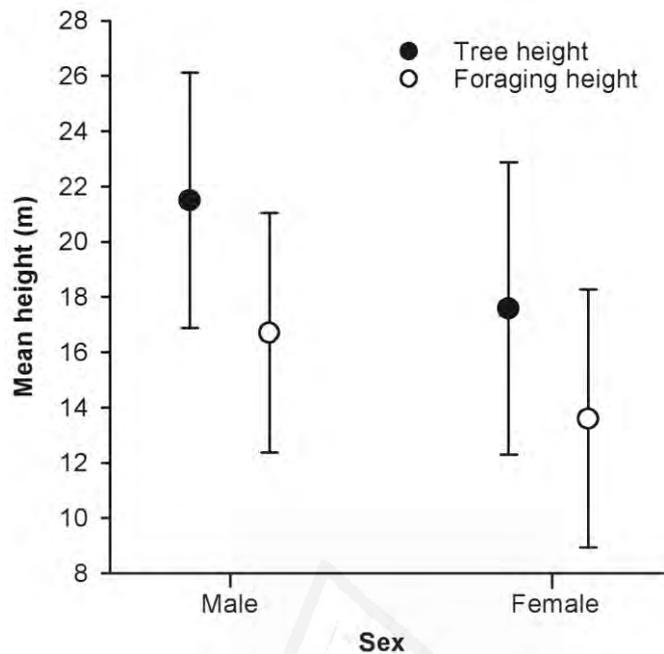


Figure 1. Tree and foraging height of male and female of Horned Guans (*Oreophasis derbianus*) in the El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico (Mean ± SD).

El pavón es principalmente arbóreo y tiende a forrajear en los estratos medios del bosque, a veces en la tierra, y menos frecuentemente en el dosel. Se observaron pavones en árboles con una altura promedio de $19,03 \pm 5,3$ m (rango 7 - 40 m, $n = 1375$), con los individuos situados a una altura media de $14,8 \pm 4,7$ m (rango = 3 - 35 m, $n = 1375$). Las ubicaciones de forrajeo difirieron entre los sexos (Fig. 1). Los machos utilizaron árboles significativamente más altos (promedio = $21,5 \pm 4,6$ m, rango = 12 - 40 m, $n = 510$) que los utilizados por las hembras (media = $17,6 \pm 5,3$ m, rango = 10 - 35 m, $n = 768$) (t -test = 11,90, $df = 1276$, $P < 0,001$). Los machos también se alimentaron significativamente más alto (media = $16,7 \pm 4,3$ m, rango = 8 - 35 m, $n = 510$) que las hembras (media = $13,6 \pm 4,7$ m, rango = 7 - 25 m, $n = 768$) (t -test = 13,58, $df = 1276$, $P < 0,001$). Se observaron pavones de sexo desconocido utilizando árboles con una altura media de $17,4 \pm 3,4$ m (rango 7 - 20 m, $n = 97$) y forrajeo a una altura media de $13,8 \pm 2,5$ m (rango = 6 - 18 m, $n = 97$).

La fenología reproductiva del pavón se puede dividir en ocho categorías de comportamiento cada uno de tres a nueve meses (Tabla 3) y está claramente

correlacionada con dos procesos ecológicos: precipitación y producción de frutas. La incubación y la cría ocurren de enero a mayo, que incluye los meses más secos del año (enero a marzo) y el comienzo de la estación lluviosa (abril y mayo). Aunque se ha observado que los pavones se alimentan de diferentes especies de frutos y hojas en El Triunfo durante los 12 meses del año (Tabla 4, Apéndice I), y por lo menos 6 especies de frutas están disponibles para que el pavón coma durante todo el año (Solórzano et al., 2000), las especies más abundantes de frutas en su dieta se producen durante un período restringido de 3-7 meses de enero a agosto que coincide con la estación reproductora (por ejemplo, *C. mocinii*: enero-junio, *S. purpusii*: noviembre - abril, *M. insignis*: febrero-marzo, y *C. volcanalis*: marzo-agosto, Solórzano 1995, Solórzano et al., 2000).

Table 4. Observaciones mensuales de alimentación del pavón (*Oreophasis derbianus*) en diferentes especies de plantas en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, Mexico.

Plantas	Meses												Total
	Ene.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.*	Ago.*	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
<i>Symplocarpum purpusii</i>		50	27	35	18								130
<i>Citharexylum moccinii</i>				2	119	3							124
<i>Solanum appendiculatum</i>			22	4	38	9		1			1		75
<i>Morus insignis</i>		10	46		2								58
<i>Dendropanax</i> sp.		4	1	6	27	1							39
<i>Conostegia volcanalis</i>		1	15		12								28

Table 4. Continúa

Plantas	Meses												Total
	Ene.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.*	Ago.*	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
<i>Hedyosmum mexicanum</i>				15	6	5							26
<i>Trophis cuspidata</i>											4	5	9
<i>Prunus</i> sp.			3		2								5
<i>Amphitecna montana</i>								1		3			4
<i>Ocotea chiapensis</i>	4												4
Lauraceae			3										3
<i>Nectandra rudis</i>			2										2
<i>Cestrum aff. Guatemalense</i>			2										2

Table 4. Continúa

Plantas	Meses												Total
	Ene.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.*	Ago.*	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
<i>Spathacanthus parviflorus</i>			2										2
<i>Ugni myricoides</i>				2									2
<i>Quercus</i> sp.			1			1							2
<i>Licaria excels/L. glaberrima</i>												1	1
<i>Prunus brachybotrya</i>					1								1
Undetermined			1		2								3
Total observations		69	125	64	227	18			2		8	7	520

*Sin trabajo de campo durante julio y agosto. Solamente en 1993 trabajo de campo fue realizado de sept to dic.

Durante el período reproductivo, los pavones se alimentaron de 5 a 12 especies de frutos (Cuadro 4). *M. insignis* fue importante a principios de la temporada (febrero y marzo) y *C. moccini*, *Dendropanax* sp., y *S. appendiculatum* al final de la temporada cuando estas especies fueron consumidas por hembras y

polluelos (Tabla 1). Los datos sobre la abundancia mensual promedio de 10 especies de frutas consumidas por los pavones, incluyendo las cuatro especies de fruta más importantes consumidas durante la temporada de cría, muestran la disponibilidad máxima de fruta de febrero a abril (Solórzano 1995, Solórzano et al., 2000).

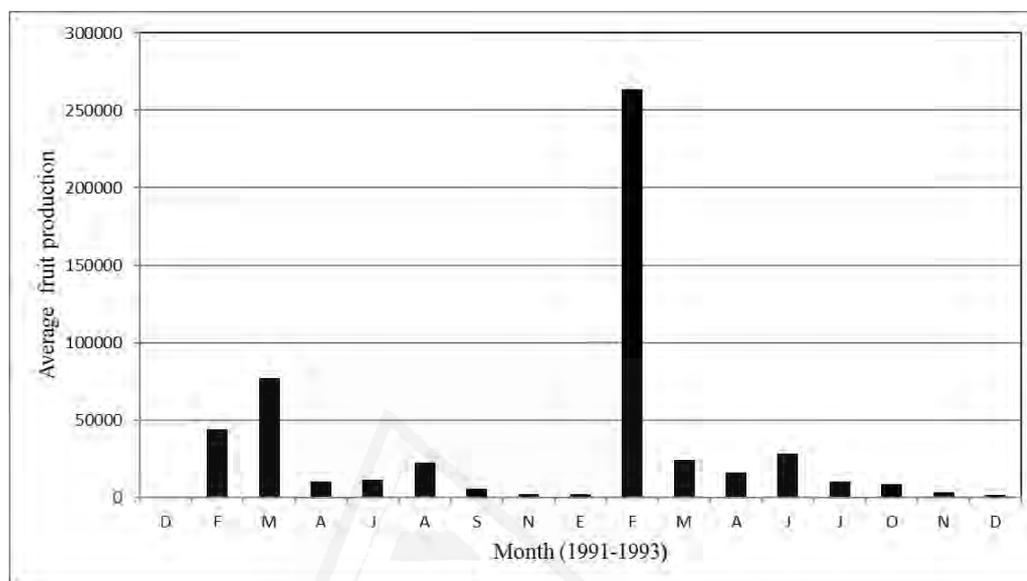


Figure 2. Average monthly abundance of fruits of species common in the diet of the Horned Guan in El Triunfo Biosphere Reserve (pooled data from the following species: *Citharexylum mocinnii*, *Conostegia volcanalis*, *Morus insignis*, *Ocotea chiapensis*, *Trophis cuspidata*, *Licaria excelsa/Licaria glaberrima*, *Nectandra rudis*, *Cinnamomun zapatae*, *Symplocarpon purpusii*). Data adapted from Solórzano (1995).

DISCUSIÓN

Nuestras observaciones de forrajeo de pavones silvestres documentan 24 nuevas especies de plantas/taxones no observados previamente en su dieta en El Triunfo. Además, se ha informado que los pavones comen flores de *Arpophylum medium* (Orchidaecae), *Chiranthodendron pentadactylon* (Malvaceae) y *Clematis* sp. (Ranunculaceae) (Abundis, 2006, González-García, 2005, Rivas-Romero 2008), bebiendo néctar de las flores de *C. pentadactylon* (Cobar 2006, Méndez 2000, 2010, Rivas-Romero 2008, González García), y se alimentan de frutos de

Oreopanax echinops, *Dendropanax arboreus* (Araliaceae) y *Phoebe salvini* (Lauraceae) (Méndez 2000, 2010, Rivas-Romero 2008). Las plantas adicionales registradas en su dieta se muestran en el Apéndice II, lo que excluye el informe no confirmado al primer autor de pavones comiendo hojas de berro (*Nasturtium officinale*: Brassicaceae) en Chiquihuite (Volcán Tacaná) en Unión Juárez, Chiapas). Los taxones de plantas conocidos consumidos por el pavón son 101 a nivel global (Montes 2005, Cobar 2006, Pardo 2007, Méndez 2000, 2010: Apéndice II) y 63 en El Triunfo (del Hoyo y Motis 2004, González-García 2005). Corroboramos que la dieta del pavón se basa casi exclusivamente en frutas, hojas, flores y néctar, y que consumen diferentes partes de las plantas de acuerdo con la especie (Apéndice I).

Durante la temporada de cría, los pavones concentran su dieta en sólo siete especies que son relativamente comunes en El Triunfo (Long y Heath 1991, Williams-Linera 1991, Gómez et al., 2004). Sin embargo, las frecuencias de las especies preferidas en la dieta del pavón no están relacionadas con su abundancia en el bosque nuboso de El Triunfo, ya que otras frutas eran más abundantes en el bosque que los de *S. purpusii*, *C. mocinnii* y *M. Insignis* que fueron preferidos por los pavones (González-García 2005a). Sorprendentemente, las luaráceas (aguacates) no fueron tan importante en la dieta de los pavones como esperábamos, porque los frutos de lauráceas, ricas en lípidos y nutrientes, se ha demostrado que constituyen un componente importante de la dieta de muchas especies frugívoras grandes en bosques húmedos montanos de los Neotrópicos, incluyendo el bosque de El Triunfo (Moermond y Denslow 1985, Wheelwright 1991, González-García 1994, Solórzano 1995, Solórzano y otros 2000, Muñoz y Kattan 2007, Bertsch y Barreto 2008).

En otras especies de pavas, como *Penelope superciliaris* (Mikich 2002, Zaca et al., 2006), *Penelope obscura* (Merler et al., 2001), *Penelope marail* (Théry et al., 2001), *Chamaepetes goudotii* (Londoño et al., 2007) y *Crax daubentoni* (Bertsch y Barreto 2008), se ha descrito el patrón de concentración de su dieta en pocas especies de frutas (1994, Muñoz et al., 2007). También se ha descrito que otros crácidos dependen de algunas especies vegetales como *Mitu mitu* en Perú (4 especies de Moraceae: *Brosimum* sp., *Clarisia racemosa*, *Ficus* sp., y *Pseudolmenia* sp.) (Torres 1989), *M. salvini* in Colombia (*Guarea guidonia*) (Santamaría y Franco

2000), *Ortalis canicollis* en Argentina (*Schinus poygamus* y *Rivina humilis*) (Caziani y Protomastro 1994). Los pavones frecuentemente (20%) se alimentan de las hojas, mostrando hábitos similares a *Mitu mitu* que se alimenta de hojas con una frecuencia de 68% (Torres 1989), *Ortalis canicollis* y *Penelope perspicax*, que se alimentan de hojas con una frecuencia de 39% 27%, respectivamente (Caziani y Protomastro 1994, Muñoz 2004, Muñoz et al., 2007).

La mayoría de las semillas y algunas frutas observadas en las heces estaban intactas, lo que sugiere que el pavón podría tener una molleja débil, permitiendo que las semillas pasaran intactas a través de su tracto digestivo, y así podrían desempeñar un papel importante como dispersores en este ecosistema tropical de montaña (del Hoyo y Motis 2004). Sin embargo, algunas grandes semillas de *P. brachybothrya*, que se encuentran en las heces, a veces se encuentran completamente destruidas. Se han observado pavones que comen pequeños guijarros y son más frecuentes en muestras fecales cuyo contenido incluye restos foliares, lo que sugiere la necesidad de moler material vegetal en la molleja como en otras especies de aves (Del Hoyo y Motis 2004, Bertsch y Barreto 2008). Sin embargo, la eficacia del pavón (Shupp 1993) como dispersor de semillas aún debe evaluarse porque esta especie permanece durante muchas horas durante días consecutivos en los mismos árboles frutales y la mayoría de las semillas son defecadas debajo del árbol padre (González-García 2005a, González-García, 2012). Un comportamiento alimentario similar se informa para *Pipile jacutinga* en Brasil (Galleti et al., 1997).

Los pavones son principalmente arbóreos y tienden a forrajear en los estratos medios del bosque. En parejas y durante la época de cría, los machos forrajearon más alto que las hembras, ya sea en árboles frutales o en otros árboles. En Colombia, *P. perspicax* y *Chamaepete goudotii* se alimentaron en los estratos superiores a una altura promedio de 9,89 m y 8,6 m, respectivamente, y su altura de forrajeo varió en el curso del año (Ríos et al., 2007). La variación estacional en la altura de alimentación en el pavón aún no se ha evaluado.

La selección estacional de los pavones por diferentes especies de frutas y diferentes partes de las plantas fue probablemente dependiente tanto de la variación de las necesidades nutricionales estacionales como de la disponibilidad

estacional de las frutas o partes de las plantas. Tanto los frutos como las hojas consumidos por los pavones contenían aproximadamente 70% de agua y su contenido de fibra bruta era similar (17 vs 13% de materia seca) en frutos y hojas, respectivamente (Dierenfeld et al., 2009). Sin embargo, la proteína bruta en las frutas (9% de MS) fue considerablemente menor que en las hojas (23% de MS), lo que sugiere que las hojas pueden ser una fuente suplementaria de proteínas o nutrientes (Sun et al., 1997, Muñoz et al. 2007), y puede compensar la falta de proteína animal en la dieta. En cautiverio, los pavones rara vez aceptarán invertebrados, y los pollitos criados en cautiverio muestran poco interés en los gusanos de harina o grillos (Cornejo 2009). Las dietas saludables para adultos cautivos tienen entre 5 y 10% de proteína cruda (Tovar et al., 2009), que está dentro del rango de 9% y 23% de proteína en frutos y hojas, respectivamente (Dierenfeld et al., 2009). La grasa cruda en los frutos de lauráceas (*Ocotea* y *Nectandra* spp.) consumida pre-y temprano en la temporada de cría, podría ser estacionalmente importante ya que era considerablemente mayor (~ 36-38%) que en otros alimentos comidos durante esos mismos períodos. Las proporciones de Ca: P fueron adecuadas tanto en frutos como en hojas, aunque las hojas probablemente proporcionaron una fuente esencial de ambos nutrientes durante la cría (y particularmente) los períodos de postura cuando las necesidades de calcio son elevadas (Dierenfeld et al. 2009)

Este estudio y los anteriores establecen que los pavones tienen una dieta altamente frugívora-folivora (Merler et al., 2001, Mikich 2002, Zaca et al., 2006), que es más especializada que la de otros pavas y hocofaisans (Torres 1989, Érard Et al., 1991, Santa María y Franco 2000, Jiménez et al., 2001, del Hoyo y Motis 2004, Londoño et al., 2007, Bertsch y Barreto, 2008). Las hojas verdes son un alimento de baja calidad en comparación con las frutas nutritivas (Muñoz y Kattan 2007) y son difíciles de digerir debido al alto contenido de carbohidratos estructuralmente complejos y una variedad de compuestos tóxicos y secundarios (Howe y Westley 1988, Bertsch y Barreto 2008). Esto probablemente explica que las hojas sean un producto de bajo consumo para las aves. Sin embargo, las hojas podrían ser importantes como fuente de nutrientes esenciales (por ejemplo, nitrógeno) (Morton 1978, Jiménez et al., 2001).

La disimilitud documentada en las dietas de los pavones machos y hembras, involucró no sólo el tipo y proporción de especies de frutales y hojas seleccionadas, sino también el tamaño de los árboles y las alturas totales donde se forrajearon. Durante las diferentes estaciones del año los sexos utilizan diferentes regiones del paisaje que albergan diferentes especies de plantas; Las hembras usan barrancos con sus polluelos con más frecuencia que los machos, quienes a su vez seleccionan las crestas y los árboles más frecuentemente que las hembras presumiblemente para emitir sus llamadas de cortejo a distancias mayores (González-García 2005a). Además, a diferencia de los machos, las hembras tienen mayores necesidades de calcio durante la puesta de huevos y también deben buscar y consumir especies de plantas específicas para alimentar a sus polluelos. Los contrastes de comportamiento y fisiológicos entre los dos sexos pueden ser una causa de las diferencias dietéticas sexuales, que en última instancia podrían tener importantes implicaciones en el manejo del hábitat para asegurar la supervivencia adecuada de cada sexo.

El futuro no es de buen presagio para el pavón que vive en bajas densidades, tiene un rango geográfico restringido, preferencias de hábitat especializadas y una dieta basada en un pequeño conjunto de especies de plantas de bosque nuboso. Esta especie se verá muy afectada por el cambio climático, que se espera que reduzca los hábitats de los bosques nubosos de México y que aumente la variación y la incertidumbre en la producción de frutos (Peterson et al., Peterson y Navarro-Sigüenza, 2016). Se necesitarán investigaciones orientadas a la conservación para el manejo efectivo de la especie (Santana y Jardel 1994) si el pavón y sus especies de plantas asociadas van a sobrevivir en los bosques nubosos montañosos de México y Guatemala.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a F. R. Ramírez e I. Calzada por su apoyo en la caracterización de vegetación e identificación de especies vegetales, y al Herbario Xal del Instituto de Ecología, A.C. en Xalapa, Veracruz, especialmente F. L. Hernández y C. G. Hernández, por identificar especímenes botánicos. El Instituto de Historia Natural y Ecología de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; La Dirección de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, especialmente su director y todo el personal de

la estación de campo El Triunfo y la oficina de El Triunfo en Ángel Albino Corzo (Jaltenango La Paz) que brindaron un importante apoyo a FGG durante su trabajo de campo. A. Thompson, C. Tejeda, F. Gallardo, H. Gómez de Silva Garza, M. Neri Fajardo, P. Bubb, S. Gallo Corona, P. Mota, C. Mota proporcionaron un valioso e ininterrumpido apoyo en el campo. Un reconocimiento muy especial a Chima (I. Gálvez), Rafa (R. Solís), R. Gálvez, A. Gálvez, E. Gálvez y sus respectivas familias por compartir su gran conocimiento de la flora y fauna del Triunfo y con sus grandes esfuerzos, permitieron agradables y fructíferos largos meses y años a FGG en El Triunfo.. Agradecemos a J. Cornejo y J. Thompson por mejorar el manuscrito con comentarios. También reconocemos la colaboración y el apoyo económico de nuestros colegas de las siguientes instituciones: CONACYT, Wildlife Conservation International, Fondo Brehm, Instituto WildCare del Zoológico de San Luis, Fondo Embajadores de Las Nubes e Instituto de Ecología, AC a través de Red de Biología y Conservación de Vertebrados. Este trabajo constituye el cumplimiento parcial del doctorado de F. González-García en Ciencias Experimentales y Biosanitarias, Universidad de Alicante, España. Este manuscrito fue escrito durante F.G.G. Sabático en CIIDIR, Unidad Oaxaca, México. Agradecemos a I. MacGregor-Fors y R. Rueda Hernández su colaboración en el análisis estadístico. Dan Brooks, el editor y dos árbitros anónimos proporcionaron comentarios muy útiles para mejorar el manuscrito.

LITERATURA CITADA

Altman, J. 1974. Observational study of behavior: sampling methods. *Behaviour* 49:227–267.

Abundis, S. A. 2006. Propuesta de protocolo para el monitoreo de la población del pavón *Oreophasis derbianus* en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas. Master Science Thesis. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México.

Álvarez del Toro, M. 1976. Datos biológicos del pavón *Oreophasis derbianus* G.R. Gray. *Universidad Autónoma de Chiapas* 1:43–54.

Andrle, R. F. 1967. The Horned Guan in Mexico and Guatemala. *Condor* 69:93–109

- Bertsch, C. and G. R. Barreto. 2008. Diet of the Yellow-Knobbed Curassow in the Central Venezuelan Llanos. *Wilson Journal of Ornithology* 12:767–777.
- BirdLife International. 2015. Species factsheet: *Oreophasis derbianus*. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 14/05/2015.
- Brooks, D. M. (Editor). 2006. Conserving Cracids: The most Threatened Family of Birds in the Americas. Miscellaneous Publications of the Houston Museum of Natural Science, Number 6. Houston, Texas, USA.
- Caziani, S. and J. Protomastro. 1994. Diet of the Chaco Chachalaca. *Wilson Bulletin* 106:640–648.
- Challenger, A. 1998. Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado, Presente y Futuro. CONABIO. Instituto de Biología, UNAM, Agrupación Sierra Madre, S.C.
- Cobar, C. A. J. 2006. Distribución actual y selección de sitios para el estudio y conservación del Pavo de Cacho (*Oreophasis derbianus* G. R. Gray, 1844) en los Departamentos de San Marcos y Huehuetenango, Guatemala. Bachelor Thesis. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- CONAP. 2001. Listado de Especies de Fauna Silvestre Amenazadas de Extinción (Lista Roja de Fauna) y Listado de Especies de Flora Silvestre Amenazadas de Extinción (Lista Roja de Flora). Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Guatemala, Guatemala.
- Cornejo, J. 2009. The captive breeding program and husbandry of the Horned Guan (*Oreophasis derbianus*) at Africam Safari. *International Zoo Yearbook* 43:136–148.
- del Hoyo, J. and A. Motis. 2004. Update chapter. Pages 322–476 in J. Delacour and D. Amadon 2004. *Curassows and Related Birds*. Second edition. Lynx Edicions and The National Museum of Natural History, Barcelona and New York.
- del Hoyo, J. and G. M. Kirwan. 2015. Horned Guan (*Oreophasis derbianus*). *Handbook of the Birds of the World Alive* (J. del Hoyo, A. Elliott, J. Sargatal,

- D. A. Christie and E. de Juana, Editors). Lynx Edicions, Barcelona (retrieved from <http://www.hbw.com/node/53303> on 26 October 2015).
- Dierenfeld, E. S., F. González-García, J. Cornejo and M. Macek. 2009. Composición nutricional de los alimentos naturales del Pavón *Oreophasis derbianus* en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, México. IV Simposio Internacional de *Oreophasis derbianus*. Marzo 30–31, 2009. Comité Internacional para la Conservación de *Oreophasis derbianus* y su hábitat. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Eisermann, K., and C. Avendaño. 2006. Diversidad de Aves en Guatemala, con una lista bibliográfica. Pages 525–623 in *Biodiversidad de Guatemala*, Vol. 1. (E. B. Cano, Editor). Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala.
- Eisermann, K., A. Burge and G. López. 2007. Nesting records of Horned Guan (*Oreophasis derbianus*) on Atitlan Volcano, Guatemala. *Bulletin Cracid Specialist Group* 23:19–24.
- Érard, C., M. Théry, and D. Sabatier. 1991. Régime alimentaire de *Tinamus major* (Tinamidae), *Crax alector* (Cracidae) et *Psophia crepitans* (Psophiidae), en forêt guyanaise. *Gibier Faune Sauvage* 8:183–210.
- Galleti, M., P. Martuscelli, F. Olmos, and A. Aleixo. 1997. Ecology and conservation of the Jacutinga *Pipile jacutinga* in the Atlantic Forest of Brazil. *Biological Conservation* 82:31–39.
- Gómez, V. G., R. G. Pérez Díaz, M. A. García Villafuerte, J. E. Gómez Rodríguez, J. F. Rodríguez García, and J. S. López Bueno. 2004. Estructura y composición florística del bosque mesófilo de montaña del polígono I, Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, México. Pages 55–76 in *La Reserva de la Biosfera El Triunfo, tras una década de conservación* (M. A. Pérez-Farrera, N. Martínez-Meléndez, A. Hernández-Yañez and A. V. Arreola Muñoz, Editores). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México,
- Gómez de Silva, G. H., F. González-García, and M. P. Casillas-Trejo. 1999. Birds of the Upper Cloud Forest of El Triunfo, Chiapas, Mexico. *Ornitología Neotropical* 10:1–26.

- González-García, F. 1984. Aspectos biológicos del pavón *Oreophasis derbianus* en la reserva natural El Triunfo, municipio de Ángel Albino Corzo, Chiapas. Bachelor Thesis. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- González-García, F. 1986. Description and development of the Horned Guan's chicks *Oreophasis derbianus* under captive conditions. XIX Congressus Internationalis Ornithologicus. Ottawa, Canada. 22–29 June, 1986.
- González-García, F. 1988. The Horned Guan. *Animal Kingdom* 91:20–23
- González-García, F. 1991. Observaciones sobre la ecología y biología reproductiva del Pavón *Oreophasis derbianus* en la Reserva de la Biosfera "El Triunfo". Chiapas, México. IV Congreso de Ornitología Neotropical, Quito, Ecuador. Noviembre, 1991.
- González-García, F. 1994. Behavior of Horned Guans in Chiapas, Mexico. *Willson Bulletin* 106:357–365.
- González-García, F. 1995. Reproductive Biology and Vocalizations of the Horned Guan *Oreophasis derbianus* in Mexico. *Condor* 97:415–426.
- González-García, F. 1997a. Distribución del pavón (*Oreophasis derbianus*) en México: Pasado, Presente y Futuro. Pages 211–215 in *The Cracidae. Their Biology and Conservation* (S. D. Strahl, S. Beaujon, D. M. Brooks, A. J. Begazo, G. Sedaghatkish and F. Olmos, Editors). Hancock House Publishers, Washington, USA.
- González-García, F. 1997b. Conducta de anidación del pavón (*Oreophasis derbianus*: Aves, Cracidae) en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, México. Pages 418–422 in *The Cracidae. Their Biology and Conservation* (S. D. Strahl, S. Beaujon, D. M. Brooks, A. J. Begazo, G. Sedaghatkish and F. Olmos, Editors). Hancock House Publishers, Washington, USA.
- González-García, F. 1997c. Crecimiento y desarrollo de *Oreophasis derbianus* bajo condiciones de cautiverio. Pages 140–145 in *The Cracidae. Their Biology and Conservation* (S. D. Strahl, S. Beaujon, D. M. Brooks, A. J. Begazo, G. Sedaghatkish and F. Olmos, Editors). Hancock House Publishers, Washington, USA.

- González-García, F. 2001. Estado de Conservación del pavón *Oreophasis derbianus* en el campo y en cautiverio en México. Pages 147–166 in *Cracid Ecology and Conservation in the New Millenium* (D. M. Brooks and F. González-García, Editors). Miscellaneous Publications of the Houston Museum of Natural Science, Number 2, Houston, Texas, USA.
- González-García, F. 2005a. Dieta y Comportamiento de Forrajeo del Pavón *Oreophasis derbianus* en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas. Master Science Thesis. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- González-García F. 2005b. Distribución, Densidad y Estado Poblacional del Pavón (*Oreophasis derbianus*) en México. Pages 14–17 in *Memorias del II Simposio Internacional para la Conservación de Oreophasis derbianus* (J. A. Rivas-Romero, E. Secaira and J. Cornejo, Editors). Reserva Los Tarrales, Patutul, Suchitepéquez, Guatemala, Guatemala.
- González-García, F. 2007. Dieta y conducta de forrajeo del Pavón *Oreophasis derbianus* en la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Pages 15–27 in *Memorias del III Simposium Internacional sobre Oreophasis derbianus* (J. Cornejo and E. Secaira, Editors). Comité Internacional para la Conservación de *Oreophasis derbianus* y su Hábitat. Veracruz, Veracruz, México.
- González-García, F. 2009. Biología reproductiva del pavón (*Oreophasis derbianus*) y efecto del tracto digestivo sobre la germinación de semillas de *Nectandra rudis* (Lauraceae). IV Simposio Internacional de *Oreophasis derbianus*. Marzo 30–31, 2009. Comité Internacional para la Conservación de *Oreophasis derbianus* y su Hábitat. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- González-García, F. 2012. El Pavón (*Oreophasis derbianus*), una especie cuasiendémica a México. *El canto del Centzontle* 3:1–25.
- González-García, F. and P. Bubb. 1989. Estudio y Conservación del Pavón *Oreophasis derbianus* en la Sierra Madre de Chiapas, México. Informe de Actividades. Instituto de Ecología, Wildlife Conservation Internacional. Xalapa, Veracruz, México.
- González-García, F., D. M. Brooks, and S. D Strahl. 2001. Estado de conservación de los crácidos en México y Centro América. Pages 1–50 in *Cracid Ecology*

and Conservation in the New Millenium (D. M. Brooks and F. González-García, Editors). Miscellaneous Publications of the Houston Museum of Natural Science, Number 2, Houston, Texas, USA.

González-García, F., J. A. Rivas-Romero, and A. J. Cobar Carranza. 2006a. Horned Guan. Pages 35-40 *in* Conserving Cracids: The most Threatened Family of Birds in the Americas (D. M. Brooks, Editor). Miscellaneous Publications of the Houston Museum of Natural Science, Number 6, Houston, Texas, USA.

González-García, F., C. Porras, and J. Vargas. 2006b. Artificial incubation of the Horned Guans *Oreophasis derbianus* (Aves: Cracidae) Eggs. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s) 22:81–94.

Howe, H. F. and E. W. Schupp. 1985. Early consequences of seed dispersal for a neotropical tree (*Virola surinamensis*). *Ecology* 66:781–791.

Howe, H. and L. Westley. 1988. Ecological relationships of plants and animals. Oxford University Press Inc, New York, USA.

Howell, S. N. G. and S. Webb. 1995. A guide to birds of Mexico and Northern Central America. Oxford University Press Inc, New York, USA.

INE (Instituto Nacional de Ecología). 1999. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP, México, D.F.

Jiménez, I., J. L. Parra, M. Agudelo, G. Londoño, and Y. Molina. 2001. Temporal variation in the diet of Black Curassows (*Crax alector*, Cracidae). Pages 195–211 *in* Cracid Ecology and Conservation in the New Millenium (D. M. Brooks and F. Gonzalez-Garcia, Editors). Miscellaneous Publication Number 2. Houston Museum of Natural Sciences, Houston, Texas, USA.

Jordano, P. 2006. Frugivores, seeds and genes: analysing the key elements of seed shadows. Pages 1–48 *in* Frugivory and seed dispersal: theory and applications in a changing world (A. Dennis, R. Green, E. W. Schupp and D. Wescott, Editors). Commonwealth Agricultural Bureau International, Wallingford, United Kingdom. England.

- Klasing, K. C. 2000. Comparative avian nutrition. CAB International. University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Lehner, P. N. 1996. Handbook of ethological methods. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Londoño, A. G., M. C. Muñoz, and M. M. Ríos. 2007. Density and natural history of the Sickie-winged (*Chamaepetes goudotii*) in the Central Andes, Colombia. *Wilson Journal of Ornithology* 119:228–238.
- Long, A. and M. Heath. 1991. Flora of the El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico: A Preliminary Floristic Inventory and the Plant Communities of Polygon I. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 62:133–172.
- Martin, P. and P. Bateson. 1986. *Measuring Behaviour: An Introductory Guide*. Cambridge University Press, Cambridge., United Kingdom.
- Méndez, O. 2000. Conducta de anidación del Pavo de Cacho *Oreophasis derbianus* en el volcán Tolimán, Guatemala. Pages 67–68 *in* Memorias del IV Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación. 4-8 de septiembre de 2000. Panamá, Panamá.
- Méndez, O. 2010. Datos biológicos del Pavo de Cacho (*Oreophasis derbianus*) en el Volcán Tolimán, Sololá, Guatemala. Bachelor Thesis. Facultad de Ciencias y Humanidades. Universidad del Valle de Guatemala. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Merler, J. A., M. A. Diuk-Wasser, and R. D. Quintana. 2001. Winter diet of Dusky-legged Guan (*Penelope obscura*) at the Paraná River Delta region. *Studies of Neotropical Fauna and Environment* 36:33–38.
- Mikich, S. B. 2002. A dieta frugívora de *Penelope superciliaris* (Cracidae) em remanescentes de floresta estacional semidecidual no centro-oeste do Paraná, Brasil, e sua relação com *Euterpe edulis* (Arecaceae). *Ararajuba* 10:207–217.
- Moermond, T. C. and J. S. Denslow. 1985. Neotropical avian frugivores: patterns of behavior, morphology and nutrition, with consequences for fruit selection.

Pages 865–897 *in* Neotropical Ornithology (P. A. Buckley, M. S. Foster, E. S. Morton, R. S. Ridgely, and F. G. Buckley, Editors). Ornithological Monograph, Number 36. American Ornithologist's Union. Washington, D. C., USA.

Montes, L. 2005. Vegetación asociada a las aves (Pavo de Cacho, *Oreophasis derbianus*) en la reserva Los Tarrales, Patulul, Suchitepequez, Guatemala. Informe. Instituto Técnico de Capacitación y Productividad. INTECAP, Guatemala.

Morton, E. S. 1978. Avian arboreal folivores: why not? Pages 123–130 *in* The Ecology of Arboreal Folivores (G. G. Montgomery, Editor). Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., USA.

Muñoz, M. 2004. Características morfológicas, nutricionales y de disponibilidad de los frutos en la dieta de *Penelope perspicax* (Aves, Cracidae) en el Santuario de Flora y Fauna Otún-Quimbaya, Colombia. Boletín del Grupo de Especialistas en Crácidos 19:32–33.

Muñoz, M. C. and G. H. Kattan. 2007. Diets of cracids: how much do we know?. *Ornitología Neotropical* 18:21–36.

Muñoz, M. C., G. A. Londoño, M. M. Ríos, and G. H. Kattan. 2007. Diet of the Cauca Guan: exploitation of a novel food source in times of scarcity. *Condor* 109:841–851.

Pardo, V. P. D. 2007. Estudio de la Vegetación del Volcán San Pedro, Sololá, Guatemala. Bachelor Thesis. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Pérez-Farrera, M. A., N. Martínez-Meléndez, A. Hernández-Yañez and A. V. Arreola Muñoz. 2004. La Reserva de la Biosfera El Triunfo, tras una década de conservación. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Peterson, A.T., V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, J. Bartley, R.W. Buddemeier, and A.G. Navarro-Sigüenza. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling* 144:21–30.

- Peterson, A.T. y A.G. Navarro-Sigüenza. 2016. Bird conservation and biodiversity research in Mexico: status and priorities. *Journal of Field Ornithology* 87:121–132.
- Pozo, A., P. Sánchez, and M. I. González. 2005. Primer registro del nacimiento de pavón (*Oreophasis derbianus*) en el Zoológico Regional “Miguel Álvarez del Toro”, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Pages 47–50 in *Memorias del II Simposium Internacional Oreophasis derbianus* (J. A. Rivas-Romero, E. Secaira and J. Cornejo, Editors). Reserva Los Tarrales, Patulul, Suchitepéquez, Guatemala. 7–9 Abril 2005. Nature Conservancy. Africam Safari.
- Quiñónez-Guzmán, J. M. 2011. Densidad poblacional e historia natural del Pavo de Cacho (*Oreophasis derbianus*) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Las Minas, El Progreso, Guatemala. Bachelor Thesis. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala
- Ramírez, R. F. and G. Williams-Linera. 1990. Estructura, Composición Florística y Fitogeografía del Bosque Mesófilo de Montaña de El Triunfo, Chiapas. XI Congreso Mexicano de Botánica. 30 de septiembre al 5 de octubre de 1990. Oaxtepec, Morelos.
- Ramos, S. E. and F. González-García. 2009. Tiempo de tránsito y efecto sobre la germinación en semillas de cuatro especies arbóreas consumidas por el pavón *Oreophasis derbianus* (Aves: Cracidae). XII Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación. 26–30 de octubre, 2009. Belize.
- Ríos, M. M., M. C. Muñoz, and G. A. Londoño. 2006. Historia natural de la Pava Caucana (*Penelope perspicax*). *Ornitología Colombiana* 4:16–27.
- Rivas-Romero, J. A. 2008. Densidad poblacional y fenología de plantas alimenticias del Pavo de Cacho (*Oreophasis derbianus* G. R. Gray 1844) en el Parque Regional Municipal Chuwanimajuyu, Sololá, Guatemala. Informe Técnico. Secretaría y Fondo Nacional de Tecnología. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos. Embajadores de Las Nubes. Guatemala, Guatemala.

- Rivas-Romero, J. A., E. Secaira, and J. Cornejo (Editors). 2005. Memorias del II Simposium Internacional *Oreophasis derbianus*. Reserva Los Tarrales, Patulul, Suchitepéquez, Guatemala. 7–9 de abril, 2005. Nature Conservancy. Africam Safari.
- Rivas-Romero, J. A. and A. J. Cobar Carranza. 2005. Distribución actual del pavo de cacho (*Oreophasis derbianus*) en la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas. Pages 3–6 in Memorias del II Simposium Internacional *Oreophasis derbianus*. (J. Rivas-Romero, E. Secaira and J. Cornejo, Editors). Reserva Los Tarrales, Patulul, Suchitepéquez, Guatemala. 7–9 de abril, 2005. Nature Conservancy. Africam Safari.
- Rivas-Romero, J. A. and A. J. Cobar Carranza. 2007. Distribución y Conservación del Pavo de Cacho (*Oreophasis derbianus*) en Guatemala. Pages 10–14 in Memorias del III Simposium Internacional sobre *Oreophasis derbianus* (J. Cornejo and E. Secaira, Editors). Comité Internacional para la Conservación de *Oreophasis derbianus* y su Hábitat. Veracruz, Veracruz, México.
- Rivas-Romero, J.A. and J.R. Soto-Shoender. 2015. Filling in the gaps: evaluating the use of camera traps in the canopy to examine frugivore visits to *Oreopanax echinop* in the highlands of Guatemala. The Southwestern Naturalist 60:366–370.
- Rojas-Soto, O. R., V. Sosa, and J. F. Ornelas. 2012. Forecasting cloud forest in Eastern and southern Mexico: conservation insights under future climate change scenarios. Biodiversity and Conservation 21:2671–2690.
- Santamaría, M. and A. M. Franco. 2000. Frugivory of Salvin's Curassow in a rainforest of the Colombian Amazon. Wilson Bulletin 112:473–481.
- Santana C., E. and E. Jardel P. 1994. Research for conservation or conservation for research. Conservation Biology 8: 6-7.
- Secaira, E. and J. Cornejo (Editors). 2003. Memorias del I Simposium Internacional *Oreophasis derbianus*. VII Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Secaira, E. 2005. Avances en la conservación del hábitat del pavo de cacho en la cadena volcánica de Atitlán, Guatemala. Pages 18–25 in Memorias del II

- Simposium Internacional *Oreophasis derbianus* (J. Rivas-Romero, E. Secaira and J. Cornejo, Editors). Reserva Los Tarrales, Patulul, Suchitepéquez, Guatemala. 7–9 de Abril, 2005. Nature Conservancy. Africam Safari.
- Secaira, E. and J. Cornejo (Editors). 2007. Memorias III Simposium sobre la Biología, Distribución y Conservación del Pavo de Cacho o Pavón *Oreophasis derbianus* y su Hábitat. IV Congreso Norteamericano de Ornitología, Veracruz, México. 3 de Octubre, 2006. Nature Conservancy y Africam Safari.
- Sedaghatkish, G. 1996. The Importance of Seed Dispersers in the Conservation of Useful Wild Plant Species: A Case Study of the Avian Family Cracidae. Unpublished Master Science Thesis, University of Maryland, College Park. Maryland, USA.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Segunda Sección. 30 de diciembre de 2010.
- Silva, J. L. and S. D. Strahl. 1991. Human impact of populations of chachalacas, guans, and curassows (Galliformes: Cracidae) in Venezuela. Pages 37–52 in *Neotropical Wildlife Use and Conservation* (J. G. Robinson and K. H. Redford, Editors). University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Solórzano, S. 1995. Fenología de 22 especies arbóreas y su relación con la migración altitudinal del Quetzal (*Pharomachrus mocinno mocinno* De la Llave 1832) en la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Bachelor thesis. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Solórzano, S., S. Castillo, T. Valverde and L. Ávila. 2000. Quetzal abundance in relation to fruit availability in a cloud forest in southeastern Mexico. *Biotropica* 32:523–532.

- StatSoft Inc. 2003. Statistica for Windows. Version 6. StatSoft Inc. Tulsa, Oklahoma, USA.
- Strahl, D. and A. Grajal. 1991. Conservation of large avian frugivores and the management of Neotropical protected areas. *Oryx* 25:50–55.
- Sun, C. and T. Moermond. 1997. Foraging ecology of three sympatric turacos in a montane forest in Rwanda. *Auk* 114:396–404.
- Sun, C., T. Moermond, and T. Givnish. 1997. Nutritional determinants of diet in three turacos in a tropical montane forest. *Auk* 114:200–211.
- Théry, M., C. Emid, and D. Bati. 1994. Diets of the Marail (*Penelope marail*) and the Black Curassow (*Crax alector*). *Cracid Newsletters* 3.
- Torres, B. 1989. La dieta del paujil (*Mitu mitu*): o las vicisitudes de ser frugívoro. *Boletín de Lima* 66:87–90.
- Tovar, G., J. Cornejo, and Ellen Dierenfeld. 2007. Dieta y nutrición del pavón (*Oreophasis derbianus*) en tres zoológicos mexicanos. Pages 43–53 in *Memorias del III Simposium sobre la Biología, Distribución y Conservación del Pavo de Cacho o Pavón Oreophasis derbianus y su Hábitat* (J. Cornejo and E. Secaira, Editors). IV Congreso Norteamericano de Ornitología, Veracruz, México. 3 de octubre, 2006. Nature Conservancy y Africam Safari.
- Tovar, G., J. Cornejo, M. Macek, and E. Dierenfeld. 2009. Intake and digestion of Horned Guan *Oreophasis derbianus* diets measured in three Mexican zoos. *Zoo Biology* 28:319–330.
- Wheelwright, N. T. 1991. How long do fruit-eating birds stay in the plants where they feed?. *Biotropica* 23:29–40.
- Williams-Linera, G. 1991. Nota sobre la estructura del estrato arbóreo del bosque mesófilo de montaña en los alrededores del campamento El Triunfo, Chiapas. *Acta Botánica Mexicana* 13:1–7.
- Zaca, W., W. Rodrigues Silva, and F. Pedroni. 2006. Diet of Rusty-margined Guan (*Penelope superciliaris*) in an altitudinal forest fragment of Southeastern Brazil. *Ornitología Neotropical* 17:373–382.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Apéndice I. Especies de plantas y meses para su consumo en la dieta del pavón (*Oreophasis derbianus*) en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México.

Familia	Especies	Porción comida	Meses observados de alimentación												
			Ene.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
Acanthaceae	<i>Hansteinia glabra</i> **	Hoja	•	•	•	•									•
Acanthaceae	<i>Spathacanthus parviflorus</i>	Hoja			•		•	•							
Actinidiaceae	<i>Saurauia madrensis</i> **	Fruto		•	•										
Aquifoliaceae	<i>Ilex tolucana</i>	Fruto			•	•	•								
Araceae	<i>Anthurium</i> sp.	Hojas	•	•											
Araliaceae	<i>Dendropanax</i> sp.1	Fruto		•	•	•									
Araliaceae	<i>Dendropanax</i> sp.2	Fruto/Hoja			•	•	•	•	•						•
Araliaceae	<i>Oreopanax</i> sp.	Fruto			•	•	•								
Asteraceae	<i>Eupatorium chiapense</i>	Fruto	•	•	•	•	•								
Asteraceae	<i>Schistocarpha bicolor</i>	Hoja	•	•	•	•	•								
Bignoniaceae	<i>Amphitecna montana</i>	Hoja			•						•	•	•	•	
Boraginaceae	<i>Wigandia urens</i> var. <i>caracasana</i> **	Hoja	•												

Apéndice I. Continúa

Familia	Especies	Porción comida	Meses observados de alimentación												
			Ene.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
Cactaceae	<i>Epiphyllum crenatum</i> var. <i>crenatum</i>	Fruto			•	•	•	•							
Celastraceae	-----	Fruto		•	•										
Chloranthaceae	<i>Hedyosmum mexicanum</i>	Fruto			•	•	•	•							
Ericaceae	<i>Vaccinium confertum</i> **+	Fruto													•
Fagaceae	<i>Quercus</i> sp.	Fruto	•	•											•
Lauraceae	<i>Cinnamomum zapatae</i> *	Fruto			•	•									
Lauraceae	<i>Licaria excelsa</i>	Fruto		•	•	•	•	•		•	•	•			
Lauraceae	<i>L. glaberrima</i> **	Fruto						•	•	•	•				
Lauraceae	<i>Nectandra rudis</i> **	Fruto	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	
Lauraceae	<i>N. aff. Salicina</i> **	Fruto			•	•		•	•						
Lauraceae	<i>Ocotea acuminatissima</i> **	Fruto			•	•	•								
Lauraceae	<i>O. bourgeauviana</i>	Fruto						•	•	•	•				

Apéndice I. Continúa

Familia	Especies	Porción comida	Meses observados de alimentación											
			Ene.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Lauraceae	<i>O. chiapensis</i>	Fruto	•	•	•	•	•	•						•
Lauraceae	<i>O. matudai</i>	Fruto		•	•	•								
Lauraceae	<i>O. sinuata**</i>	Fruto	•									•	•	•
Lauraceae	<i>O. uxpanapana</i>	Fruto		•	•	•	•							
Lauraceae	<i>Persea liebmannii</i>	Fruto							•	•	•			
Liliaceae	<i>Smilax jalapensis</i>	Fruto	•	•								•	•	•
Liliaceae	<i>S. lanceolata</i>	Fruto	•	•										
Liliaceae	<i>S. mollis</i>	Fruto	•	•	•	•							•	•
Liliaceae	<i>S. purpusii</i>	Fruto	•	•	•								•	•
Liliaceae	<i>S. subpubescens</i>	Fruto	•	•							•	•	•	•
Melastomataceae	<i>Conostegia volcanalis</i>	Fruto			•	•	•	•						
Melastomataceae	<i>Miconia globulifera</i>	Fruto			•									
Melastomataceae	<i>M. glaberrima**</i>	Fruto	•	•	•									

Apéndice I. Continúa

Familia	Especies	Porción comida	Meses observados de alimentación											
			Ene.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Melastomataceae***	-----	Hoja			•									
Moraceae	<i>Morus insignis</i>	Fruto		•	•									
Moraceae	<i>Trema micrantha</i>	Fruto	•	•	•									
Moraceae	<i>Trophis cuspidata**</i>	Fruto	•									•	•	•
Myrsinaceae	<i>Zunila cucullata</i>	Fruto	•	•	•	•			•	•	•	•		•
Myrsinaceae	<i>Synardisia venosa**</i>	Fruto									•	•		
Myrtaceae	<i>Eugenia capulli**</i>	Fruto	•	•	•									•
Myrtaceae	<i>Ugni myricoides**</i>	Fruto						•						
Olaceae	<i>Osmanthus sp.**</i>	Fruto			•									
Orchidaceae	<i>Arpophyllum medium**</i>	Flowers	•	•	•									
Podocarpaceae	<i>Podocarpus matudae**</i>	Fruto										•	•	•

Apéndice I. Continúa

Familia	Especies	Porción comida	Meses observados de alimentación											
			Ene.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Polemoniaceae	<i>Cobaea scandens</i>	Hoja	•	•	•	•	•							
Rhamnaceae	<i>Rhamnus capraefolia</i> var. <i>grandifolia</i>	Fruto					•	•	•	•				
Rosaceae	<i>Prunus brachybothrya</i> **	Fruto/Hoja	•		•		•			•				
Rosaceae	<i>Prunus tetradenia</i> **	Fruto		•	•	•	•	•			•		•	
Rosaceae	<i>Prunus</i> sp.	Fruto/Hoja	•	•	•	•	•							
Simarubaceae	<i>Picramnia</i> sp.	Fruto	•	•	•									
Solanaceae	<i>Cestrum</i> aff. <i>Guatemalense</i>	Fruto		•	•	•								
Solanaceae	<i>Solanum appendiculatum</i>	Hoja/Fruto		•	•	•	•		•	•	•	•		
Solanaceae	<i>Physalis</i> sp.	Hoja									•			

Apéndice I. Continúa

Familia	Especies	Porción comida	Meses observados de alimentación											
			Ene.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Symplocaceae	<i>Symplocos</i> aff. <i>hartwegii</i>	Frutos	•	•							•		•	•
Theaceae	<i>Symplococarpon purpusii</i> **	Frutos	•	•	•	•	•	•						
Urticaceae	<i>Urtica alceifolia</i>	Fruto				•	•	•						
Urticaceae	<i>U. caracasana</i>	Fruto				•	•	•	•	•				
Urticaceae	<i>Pilea</i> sp.**	Hoja												•
Verbenaceae	<i>Citharexylum moccinii</i>	Fruto		•	•		•	•	•	•				
Winteraceae	<i>Drymis granadensis</i> **	Fruto												•

*Reportado por Solórzano (1995). + Gómez Domínguez, com. pers.** Nuevos registros. ***Género por identificar, pero diferente de aquellos reportados en la dieta.

Apéndice II. Especies de plantas adicionales registradas en la dieta global del pavón
(*Oreophasis derbianus*)

Familia	Especie	Autor
Actinidiaceae	<i>Saurauia oreophila</i>	(Cobar 2006)
Adoxaceae	<i>Vioburnum hartwegii</i>	Montes (2005)
Amaranthaceae	<i>Iresine celosía</i>	Méndez (2005)
Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i>	Méndez (2000, 2010)
Araliaceae	<i>Oreopanax echinops</i>	Pardo (2005), Rivas-Romero and Soto-Shoender (2015)
Araliaceae	<i>Oreopanax hederaceum</i>	Quiñones-Guzmán (2011)
Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i>	Montes (2005)
Asteraceae	<i>Eupatorium sp.</i>	Cobar (2006)
Celastraceae	<i>Celastrus vulcanicolus</i>	Montes (2005)
Convolvulaceae	<i>Ipomoea silvícola</i>	Montes (2005)
Convolvulaceae	<i>I. trifida</i>	Montes (2005)
Lauraceae	<i>Litsea glaucescens</i>	Cobar (2006)
Lauraceae	<i>Ocotea sp.</i>	Pardo (2007)
Lauraceae	<i>Phoebe salvini</i>	Méndez (2000, 2010)
Malvaceae	<i>Chiranthodendron pentadactylum</i>	Cobar (2006), Méndez (2000, 2010)
Melastomataceae	<i>Miconia sp.</i>	Cobar (2006)
Myrsinaceae	<i>Parathesis columnaris</i>	Montes (2005)
Myrsinaceae	<i>Parathesis sp.</i>	Cobar (2006)
Passifloraceae	<i>Passiflora membranacea</i>	Cobar (2006)
Polygalaceae	<i>Monnina xalapensis</i>	Montes (2005)
Rosaceae	<i>Prunus barbata</i>	Quiñonez-Guzmán (2011)
Rosaceae	<i>Prunus salasii</i>	Pardo (2007)
Rubiaceae	<i>Hoffmannia riparia</i>	Cobar (2006)
Sabiaceae	<i>Meliosma dives</i>	Pardo (2007)
Solanaceae	<i>Lycianthes arrazolensis</i>	Montes (2005)
Solanaceae	<i>Lycianthes sp.</i>	Cobar (2006)
Solanaceae	<i>Solanum nigrescens</i>	Montes (2005)
Staphyleaceae	<i>Turpinia occidentalis</i>	Cobar (2006)
Styracaceae	<i>Styrax argenteus</i>	Montes (2005)
Symplocaceae	<i>Symplocos vatteri</i>	Cobar (2006)
Theaceae	<i>Cleyera theaeoides</i>	Cobar (2006)

CAPÍTULO 4

DENSIDAD POBLACIONAL E HISTORIA NATURAL DEL PAVON *OREOPHISIS DERBIANUS* EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA EL TRUNFO, CHIAPAS, MEXICO.

Fernando González-García^{1,2,3*} Miguel Ángel Martínez-Morales⁴, José Luis Rangel-Salazar⁴, Alberto González-Romero¹, Vicente Urios Moliner⁵

¹ Red de Biología y Conservación de Vertebrados, Instituto de Ecología, AC. Carretera antigua a Coatepec No. 351, El Haya, Xalapa, Veracruz, 91070, México.

² Departamento de Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante. Carretera San Vicente del Raspeig s/n, San Vicente del Raspeig, Alicante, 03690, España.

³ Laboratorio de Bioacústica y Ecología del Comportamiento. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional. Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, 71236, México.

⁴ Departamento Conservación de la Biodiversidad, El Colegio de la Frontera Sur, unidad San Cristóbal, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Barrio María Auxiliadora, 29290, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

⁵Universidad de Alicante. Campus San Vicente del Raspeig, Edificio Ciencias III, Alicante, 03080 España.

INTRODUCCION

El pavón *Oreophasis derbianus* es un crácido endémico a las montañas de Mesoamérica, habita y se restringe a los bosques mesófilos de montaña en buen estado de conservación (del Hoyo 1994, Delacour y Amadon 2004). Su distribución geográfica se restringe en México, a Chiapas y probablemente también al este de Oaxaca, específicamente en los Chimalapas, en la Sierra Madre de Chiapas, y Guatemala, entre los 1200 y 3500 msnm (del Hoyo 1994, del Hoyo y Motis 2004,

Delacour y Amadon 2004, González-García *et al.* 2006, BirdLife International 2013, IUCN 2015). En la Sierra Madre de Chiapas, el pavón habita en ambas vertientes y es aparentemente más abundante en la Vertiente Atlántica (González-García 2012). En la Sierra Madre de Chiapas se estima que el bosque mesófilo de montaña cubre al menos 100,000 ha (Challenger 1998, Ponce Reyes *et al.* 2012) y en la Reserva de la Biosfera El Triunfo se conservan alrededor de 55,000 ha (Challenger 1998, INE 1999, González-García 2012).

Globalmente, la IUCN (2015) considera al pavón como en peligro de extinción. El Grupo de Crácidos del Grupo de Especialistas en Galliformes de la IUCN lo clasifica como una especie con una prioridad de conservación inmediata (Brooks 2006, Cancino y Brooks 2006), y en México, está considerado en peligro de extinción (SEMARNAT 2010). La destrucción y fragmentación del hábitat, la cacería de subsistencia, la cafecultura, la agricultura, la ganadería, los asentamientos humanos, las actividades mineras, y el tráfico ilegal han sido identificados como las principales amenazas para su estado de conservación (del Hoyo y Motis 2004, BirdLife International 2012). Entre los principales factores naturales de afectación están la ocurrencia de incendios, huracanes y la actividad volcánica (Andrle 1967, González-García 2001, del Hoyo y Motis 2004, González-García *et al.* 2017). Se ha estimado que su distribución geográfica experimentará una notable reducción a consecuencia de la pérdida de la cobertura del bosque mesófilo de montaña (Martínez-Morales *et al.* 2013) y a los efectos del cambio climático (Peterson *et al.* 2001). Dichos factores operan en combinación con las características de su historia de vida como la edad de la primera reproducción, las tasas de supervivencia y reproducción, sistema social, entre otras (p. ej., Møller y Liang 2013).

En las últimas décadas su historia natural se ha documentado ampliamente tanto en México como en Guatemala y es resumida en González-García (2001, 2005), del Hoyo y Motis (2004) y Rivas y Cobar (2005, 2008a). La mayoría de la información para México se ha generado dentro del bosque mesófilo en el polígono I de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, en un rango altitudinal entre 1 900 y 2 440 m (González-García 1984, 1986, 1988, 1991, 1994, 1995, 1997a, 1997b, 1997c, 2001, 2005, González y Bubb 1989, Gómez de Silva *et al.* 1999; González-García 2001, 2005, 2012). El pavón basa su sistema social en la poliginia, es de hábitos

principalmente arbóreos y se alimenta básicamente de frutos, hojas verdes y flores (González-García 2005, González-García et al. en prensa). Generalmente forrajea en el estrato medio y alto del bosque, de forma solitaria, en pareja y ocasionalmente en grupos pequeños. Durante la época reproductiva, como parte del cortejo, toman baños de tierra (González-García 2005, 2012). Aunque el pavón es de hábitos sedentarios y territoriales, se cree que pueden efectuar movimientos altitudinales (Gómez de Silva et al, 1999; Rivas y Cobar 2005, 2008a, 2008b). Su detección es difícil por su comportamiento silencioso y críptico, pero durante la época reproductiva los machos adultos son más evidentes debido a sus constantes llamados de cortejo (González-García 1995, González-García 2012).

Los crácidos, exclusivos del Neotrópico, son poco conocidos en relación a sus densidades poblacionales y patrones de distribución espacial y temporal, lo cual está directamente relacionado con sus requerimientos alimenticios, de hábitat, sitios de anidación y las interacciones con otras especies (Ríos et al. 2005). Son pocos los estudios que evalúan densidades poblacionales de crácidos (Brooks 1997, Bennett & Defler 1997, Torres 1997, Martínez- Morales 1999, Perez & Pinedo 2002, Kattan et al. 2016) y la mayoría son propios de bosques y selvas de bajas altitudes, y sólo unos cuantos a mayores altitudes (del Hoyo *et al.* 1994, Ríos et al. 2005). La densidad poblacional se ha estimado para algunas especies de crácidos de tierras bajas (Brooks 1997, Bennett & Defler 1997, Torres 1997, Martínez- Morales 1999, Pérez & Pinedo 2002, Kathan et al. 2016) y en menor grado para las especies de montaña (Ríos et al. 2005, Abundis 2006, Gómez de Silva et al. 1999, Londoño et al. 2007, Kattan et al. 2016).

La información sobre densidad poblacional para las especies de crácidos mexicanos es escasa (Delacour & Amadon 2004, del Hoyo et al. 1994, del Hoyo y Motis 2004). Para el pavón, González-García (1992, 1995) reporta una densidad de 2.6-5.23 individuos/km² en la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Estudios posteriores en el mismo polígono I de la misma reserva, estimaron una densidad de 4.5-6.75 individuos/km² (Gómez de Silva et al. 1999) y de 4.4 individuos/km² (Abundis 2006). En Volcán Tacaná se ha estimado una densidad de 2.20 ± 0.98 a 7.14 ± 3.48 individuos/km² (González-García et al. 2017). En Guatemala se ha estimado una densidad de 31.40 ± 10.22 individuos/km² en el parque municipal Chuwanimajuyu, Volcán San Pedro (Rivas y Cobar 2008, González-García et al.

2016), y en Sierra de Las Minas, se ha estimado una densidad de $3,04 \pm 1.16$ individuos/km² (Quiñónez-Guzmán 2011, González-García et al. 2017). Dichas estimaciones implicaron periodos de muestreos cortos, y para la mayoría de los crácidos, las estimaciones de densidad han implicado alrededor de un ciclo anual (Ríos et al. 2005, Londoño et al. 2007, Kattan et al. 2016). Estas estimaciones, aunque valiosas, difícilmente permiten delinear inferencias sobre el cambio en las tendencias poblacionales (Villaseñor y Santana 2003, Lambert et al. 2009). Una alternativa a mediano y largo plazo es el monitoreo poblacional, entendido como el seguimiento de la población en una misma localidad durante un período mayor, el cual es un proceso que permite conocer las tendencias de cambio en la dinámica poblacional en tiempo y espacio como consecuencia de alguna actividad humana o de otros eventos naturales (Villaseñor y Santana 2003, Lambert et al. 2009). Profundizar en el conocimiento de la densidad poblacional por periodos más prolongados y en la historia natural del pavón, permitirá evaluar adecuadamente su estado de conservación y planear acciones para su conservación (Ríos et al. 2005)

El propósito de este trabajo fue estimar la densidad poblacional anual y global del pavón a lo largo de un periodo de 5.25 años, usando la teoría de muestreo de distancias, y conocer aspectos adicionales de su biología básica como patrones espaciales y temporales de distribución, dieta, cuidado parental de predadores y uso de bañaderos.

Métodos

Áreas de estudio

La reserva de la biósfera el Triunfo se encuentra ubicada en la porción central de la Sierra Madre de Chiapas, México ($15^{\circ} 09'10''$ y $15^{\circ} 57'02''$ de latitud Norte y $92^{\circ} 34'04''$ y $93^{\circ} 12'42''$ de longitud Oeste), y la integran cinco áreas núcleo y una zona de amortiguamiento. El estudio se llevó a cabo en la zona núcleo I, en un rango altitudinal entre 1650 y 2400 m (Fig. 1). En este rango altitudinal se encuentra el bosque mesófilo de montaña, formado por la comunidad *Quercus-Matudaea-Hedyosmun-Dendropanax*, siendo uno de los remanentes más extensos de este tipo de vegetación en la sierra y en el país (Long y Heath 1991, Challenger 1998, INE 1999, IDESMAC 1997). Las especies más abundantes y dominantes de árboles grandes y medianos son: *Conostegia volcanalis*, *Citharexylum mocinnii*,

Dendropanax populifolius, *Hedyosmun mexicanum*, *Heliocarpus donell-smithii*, *Matudaea trinervia*, *Morus insignis.*, *Ocotea chiapensis*, *Quercus* (*Quercus* aff. *acatenanguensis*, *Q. oocarpa*, *Q. sapotifolia*), *Perrottetia longystylis*, *Symplocos hartwegii*, *Symplococarpon flavifolium*, *Trophis cuspidata*. Los arbustos y especies de árboles pequeños están representados por la familia Compositae, Piperaceae, Rubiaceae y Solanaceae (*Hoffmania* sp., *Miconia glaberrima*, *Psychotria* sp., *Rondeletia pyramidalis*, *Solanum* sp.). El sotobosque es caracterizado por la abundancia de helechos arborescentes, tales como *Alsophila salvinii*, *Cyathea fulva* y *C. valdecrenata* (Ramírez y Williams-Linera 1990, Long y Heath 1991, INE 1999). La precipitación anual oscila entre 2000 y 4500 mm. La temperatura promedio anual es de 18° C. Se observa una sequía relativa entre noviembre y abril, la época de lluvias entre mayo y octubre, y frecuencia de neblinas durante junio a febrero (Ramírez y Williams-Linera 1990, INE 1999, González-García 2005, González-García, datos no publicados).

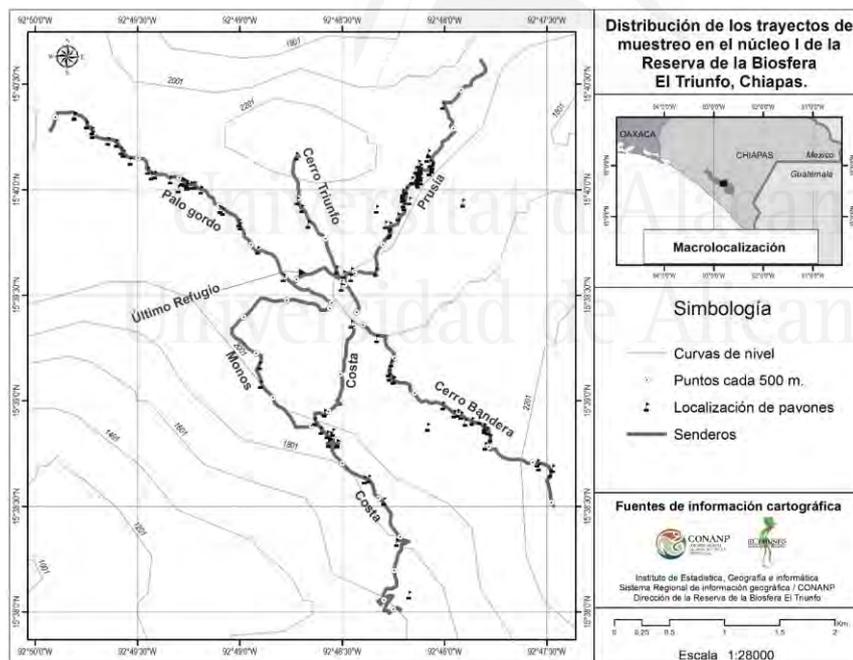


Figura 1. Trayectos y distribución espacial de registros del pavón (*Oreophasis derbianus*) durante el periodo de estudio en la zona núcleo I de la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas.

Estimación de la densidad

El estudio abarcó un periodo de casi 5 años de muestreo mensuales, de marzo de 2011 a mayo de 2016 (63 meses) con un esfuerzo de muestreo de 929.3 km y 144 observaciones. Los censos se realizaron en seis trayectos con una longitud promedio de 2.6 ± 0.65 km, en un rango altitudinal entre 1800 y 2440 m. Cada trayecto fue marcado cada 50 metros con una placa con el nombre del sendero, número de punto y la numeración consecutiva de la distancia sobre el trayecto. Esto permitió ubicar a los pavones espacialmente y controlar la velocidad de recorrido. Los seis trayectos partieron desde el campamento El Triunfo hacia el bosque mesófilo de montaña, cubriendo una longitud total de 15.8 km. Los trayectos son conocidos como: Prusia (3.0 km), Bandera (3.0 km), Costa (3.0 km), Palo Gordo (3.0 km), Monos (2.4 km) y El Triunfo (1.4 km) (Fig. 1). Cada trayecto fue recorrido una vez al mes, a una velocidad de 1 km/h, iniciando entre 10 y 30 minutos posterior a la salida del sol. Cada censo inició entre 06:00 y 7:37 h y finalizó entre 08:04 y 10:37 h. Cada trayecto fue recorrido por un equipo de 2 a 3 monitores, y todos los trayectos en un periodo de 2 a 3 días. La asignación de trayectos y monitores se realizó aleatoriamente, y los censos se hicieron de forma simultánea, siempre en la misma dirección. Los pavones fueron detectados de manera visual y/o auditiva. Para cada pavón detectado y observado se tomaron los siguientes datos: distancia perpendicular al trayecto (metros), número de individuos, sexo (cuando fue posible), edad (polluelo, juvenil, adulto), altura de forrajeo (metros), especie de árbol o planta de forrajeo. La distancia perpendicular al trayecto se midió usando una cinta métrica (50 m) o un medidor de distancia láser (Bushnell ProYard), siempre haciendo la medición en sentido horizontal. Las detecciones auditivas consistieron fundamentalmente en vocalizaciones de cortejo emitidas por machos adultos (González-García 1995) y, dado que los pavones permanecen en su posadero durante la vocalización (González-García 2005), fue posible obtener su registro visual y medir la distancia perpendicular con precisión.

Análisis estadístico

Estimamos la densidad de *O. derbianus* usando la teoría del muestreo de distancias en trayectos en línea (Burnham et al. 1980, Buckland et al. 1993, Thomas et al. 2010). Este método ha demostrado ser eficaz en la estimación de abundancia

de varias especies de galliformes (Ridwai et al. 2011; Ramesh et al. 2011) y de algunas especies de crácidos (Martínez-Morales 1999, Londoño et al. 2007, Martínez-Morales et al. 2009, Kattan et al. 2016). Los datos de distancia fueron analizados usando el programa Distance 6.0 (Thomas et al. 2010). La estimación fue con base en su ciclo anual, el cual incluye seis temporadas reproductivas (octubre-mayo; Gómez de Silva *et al.* 1999) y cinco temporadas no reproductivas (junio-septiembre). En los análisis incluimos las detecciones de *O. derbianus* realizadas tanto de ida, como de regreso sobre el trayecto (remuestreo), siempre y cuando fueran individuos distintos y en distintos puntos del trayecto. El esfuerzo de muestreo (929.3 km) siempre fue la longitud del sendero (l) y no la longitud del recorrido ($2l$). Los registros fueron analizados como grupos de individuos, debido a que no siempre hay independencia en el registro de los individuos (e. g., parejas, hembra con pollos). En la estimación de la densidad, el tamaño del grupo lo calculamos como un promedio de los tamaños de grupo observados. Previo al análisis, eliminamos los datos de distancia más lejanos (10% de los registros) para facilitar el ajuste de la función de detección, como lo sugieren Buckland *et al.* (1993, 2004). Cuatro funciones clave (uniforme, seminormal, tasa de riesgo y exponencial negativo) se consideraron para el análisis para estimar la probabilidad de detección. La selección de la función fue evaluada usando el correspondiente valor AICc para muestras pequeñas, basado en el Criterio de Información de Akaike y estadísticos de chi-cuadrado se utilizaron para evaluar la “bondad de ajuste” de cada función (Buckland *et al.* 1993, 2004). El modelo también considera la probabilidad de detección, tasa de encuentro y tamaño de grupo. La probabilidad de detección fue más alta..... pero la tasa de encuentro y tamaño de grupo fue más alta en la temporada reproductiva. De manera consistente, el mejor modelo fue el Uniforme con ajuste coseno de primer y segundo orden.

Distribución espacial y temporal:

La ubicación espacial y temporal de los pavones en cada sendero se hizo principalmente en relación al punto más cercano sobre el trayecto, y se tomó la correspondiente coordenada geográfica, usando GPS Garmin. Para el análisis de la distribución espacial, cada detección fue asignada a su vez a intervalos de 500 m en cada trayecto. Esta distancia la definimos con base a una estimación de la

ubicación de territorios de individuos machos a lo largo de los senderos muestreados.

Historia natural

Durante los muestreos mensuales también hicimos observaciones *ad libitum* y otras observaciones esporádicas con el fin de generar información adicional sobre dieta, cuidado parental, y uso de bañaderos. Eventos de depredación fueron documentados fuera del periodo de muestreo. El uso y el comportamiento de los pavones en bañaderos fue documentado usando cámaras trampa (Ltl Acorn, Stealth Cam y Moultrie) instaladas en cuatro bañaderos a una altura entre 40-80 cm del nivel del suelo y a una distancia del bañadero de entre 1 a 3 metros. El muestreo con cámaras trampa se realizó de enero a junio de 2011, en febrero y marzo de 2012, de enero a julio de 2013, y de febrero a septiembre de 2014. Las cámaras fueron configuradas para permanecer activas las 24 horas, en el modo de captura Still, intervalo de 1 minuto y tres imágenes por disparo y video. Las cámaras fueron revisadas una vez al mes y en cada fotografía o video se imprimió la hora y la fecha. Documentamos secuencias de conducta de cortejo, horario de visitas, frecuencia de visitas, duración de sesiones, conducta alimentaria, y baños de sol.

RESULTADOS

Estimación de la densidad y tamaño de grupos

Los pavones fueron mayormente registrados de forma visual (71.7 %), que de forma auditiva (28.2 %). El mayor número de detecciones se registraron entre las 7 y 11 h. La detección más temprana ocurrió a las 06:28 h y la más tardía a las 10:30 h. En el remuestreo, las detecciones ocurrieron entre las 10:42 y las 12:15 horas. Registramos grupos de 1-3 individuos, formados por machos solitarios adultos (N = 62 registros), hembras solitarias adultas (N = 20 registros), parejas de machos y hembras adultos (N = 29 registros), hembras con uno o dos polluelos o juveniles (N = 14 registros), tríos entre un macho y par de hembras adultas (N = 1 registro), e individuos solitarios cuyo sexo no fue determinado (N = 31 registros).

La densidad global estimada para el pavón en la zona de estudio fue de 5.40 ± 0.64 individuos/km² (N = 144 observaciones; IC 95% = 4.29-6.81). La densidad estimada para las temporadas reproductivas varió de 2.21 a 8.94 individuos/km² y

para las temporadas no reproductivas varió de 1.65 a 4.97 individuos/km² (Cuadro 1). Hubo fluctuaciones en la abundancia del pavón a lo largo de ambos tipos de temporadas. En general, los valores de densidad fueron superiores en las temporadas reproductivas, principalmente para el periodo 2012-2013 y 2013-2014 (Figura 2). La probabilidad de detección fue más alta en la temporada reproductiva comparada con la no reproductiva. La tasa de encuentro y el tamaño de grupos fueron mayores en las temporadas reproductivas (Cuadro I).

Cuadro 1. Densidad estimada de *Oreophasis derbianus* durante once temporadas en el Núcleo I de la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, con base en la teoría del muestreo de distancias (Buckland *et al.* 1993, 2004). Los periodos de muestreo corresponden al ciclo anual de la especie a partir de la temporada reproductiva (octubre-mayo) y la no reproductiva (junio-septiembre). (periodo marzo 2011-enero 2016: Los datos fueron truncados al 10%.)

Temporada	Esfuerzo de muestreo (Km)	Densidad ± EE (ind/km ²)	% CV	Intervalo de confianza (95%) de la densidad estimada
Reproductiva 2011	47.40	2.21 ± 1.18	53.4	0.77-6.34
No reproductiva 2011	63.20	4.97 ± 2.05	41.28	2.19-11.25
Reproductiva 2011-2012	126.40	6.35 ± 1.70	26.77	3.74-10.75
No reproductiva 2012	63.20	3.31 ± 1.43	43.20	1.41-7.77
Reproductiva 2012-2013	124.80	8.94 ± 1.90	21.24	5.87-13.61
No reproductiva 2013	63.20	3.31 ± 1.42	42.81	1.42-7.72
Reproductiva 2013-2014	125.10	8.64 ± 1.73	20.05	5.81-12.85
No reproductiva 2014	63.20	1.65 ± 0.91	54.70	0.57-4.76

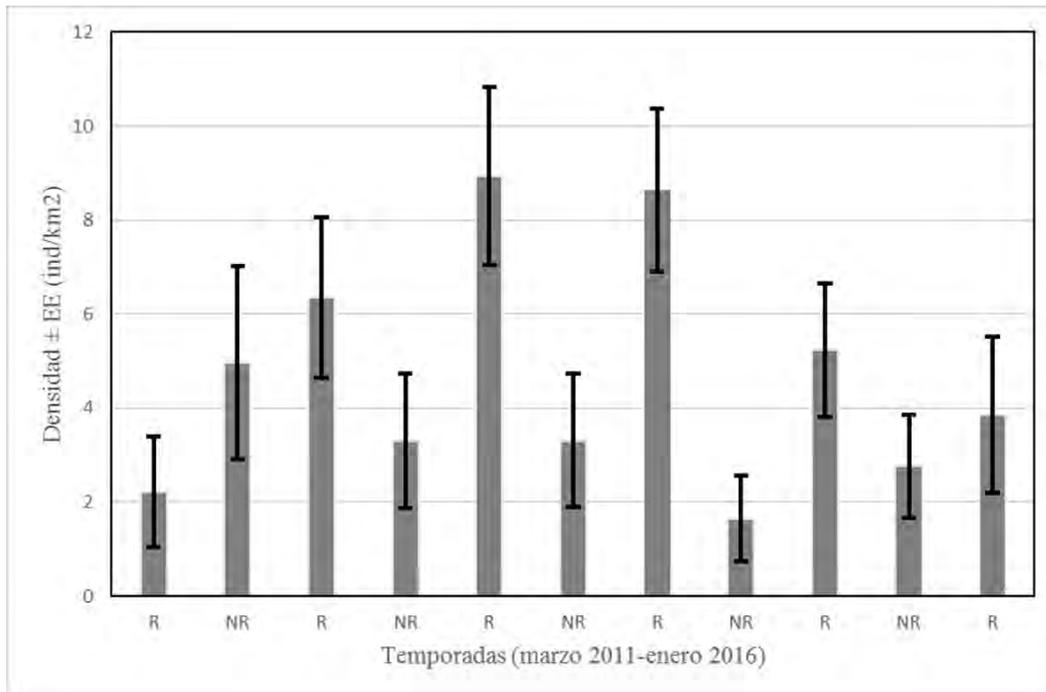


Figura 2. Variación en los valores de densidad durante las temporadas reproductivas (R) y no reproductivas (NR) del pavón *Oreophasis derbianus* en el núcleo I de la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México (Periodo marzo 2011-enero 2016). Las barras de error muestran el error estandar.

Distribución espacial y temporal

El mayor número de registros (machos, hembras, juveniles y polluelos) se obtuvo en cinco de los seis trayectos, a excepción del trayecto monos, en donde la presencia del pavón fue la más baja (Figs. 1, 3). Los trayectos con el mayor número de registros fueron Prusia, Palo Gordo y Bandera, con una distribución similar en el número de registros a lo largo del periodo de estudio, a excepción del año 2011, donde los registros fueron menores (Figs. 1 y 3).

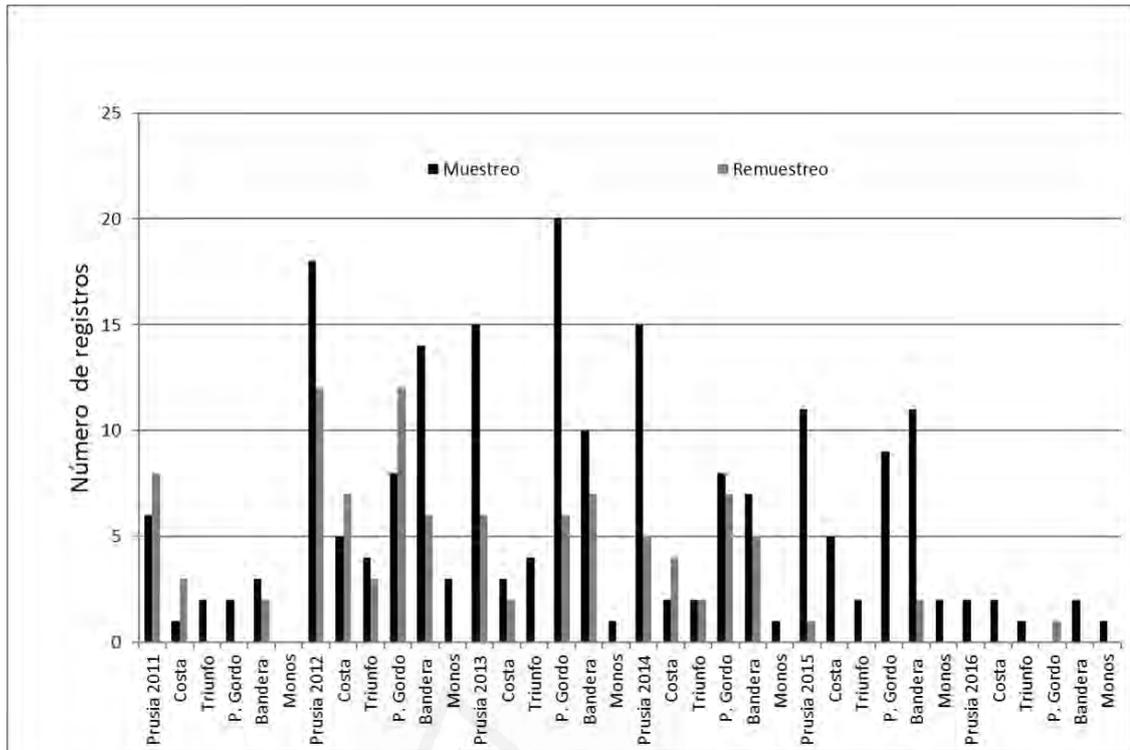


Figura 3. Número de registros anuales de pavones durante el muestreo y remuestreo en los seis trayectos en el núcleo I de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas (Periodo marzo 2011-enero 2016).

Tuvimos registros visuales y auditivos durante casi todos los meses del período de estudio, a excepción del año 2011, donde solo se tuvieron avistamientos para cinco meses, y sorprendentemente no hubo registros para los meses de abril-mayo y octubre-diciembre (Figura 4). En contraste, para el periodo 2012-2015 se incrementó el número de detecciones y se tuvieron registros para todos los meses, excepto para el mes de septiembre, junio y octubre (Fig. 4). En el periodo febrero-abril se detectó el mayor número de pavones, y en febrero de 2012, se registró el mayor número de individuos: diez machos, una pareja, y un juvenil cuyo sexo no fue determinado (Fig. 4). El mayor número de registros se concentró en los meses de invierno y primavera de cada año, que corresponden a la época reproductiva (octubre-mayo), con un pico entre enero y abril (Fig. 4), sugiriendo un patrón similar de distribución anual, excepto para el año 2011. El general los pavones son principalmente detectados en la época reproductiva,

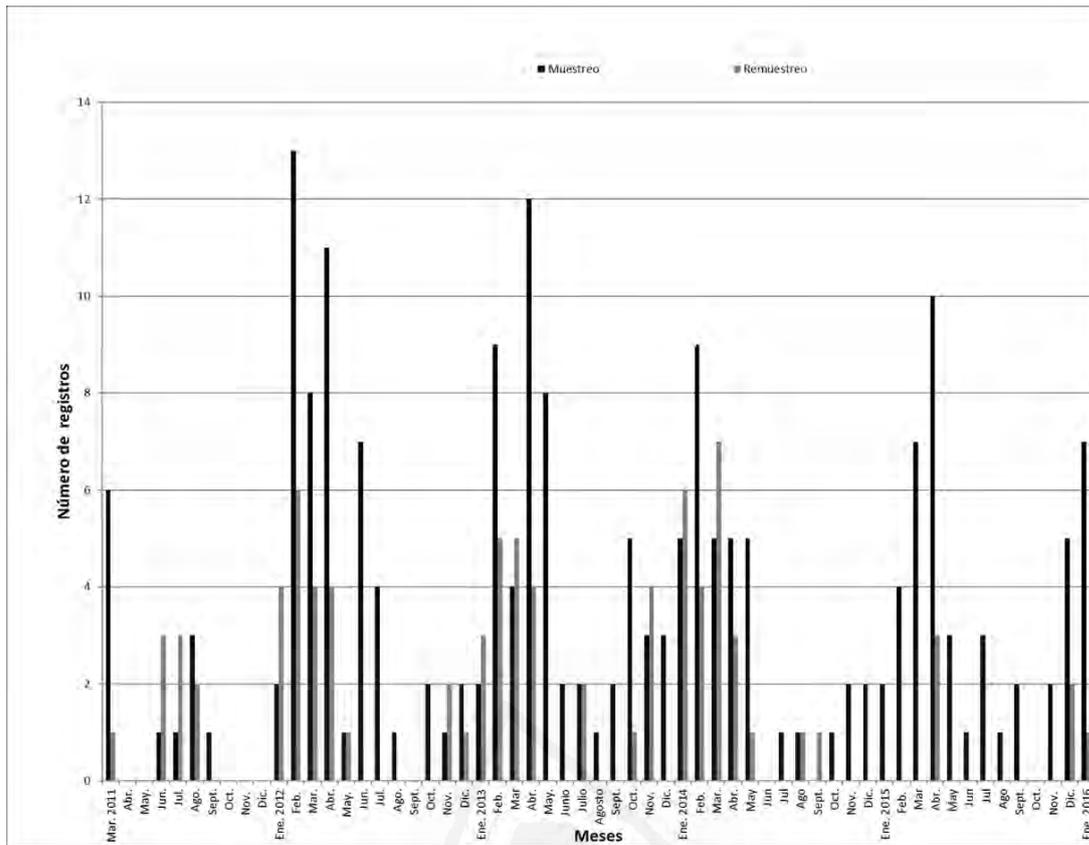


Figura 4. Distribución mensual y anual del número de registros de pavones durante los muestreos y remuestreos en seis trayectos en el núcleo I de la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas (Periodo marzo 2011-enero 2016).

siempre ubicados dentro del bosque mesófilo de montaña y en un rango altitudinal entre 1971 y 2452 m.

Espacialmente, los pavones ocurrieron en todos los trayectos, pero en puntos específicos (Figs. 1, 5). En el trayecto Costa tuvimos registros en solo 9 de 60 puntos, con 27 registros, y se detectaron con mayor frecuencia en el intervalo entre 1001-1500 m y 2001-2500 m (Figs. 1, 5a). En el trayecto Prusia, los pavones fueron registrados en 26 de 60 puntos, con 70 registros, con mayor número de detecciones en el intervalo entre 1501-2000 m (Figs. 1, 5b). En el trayecto Bandera, los pavones fueron detectados en 17 de 60 puntos con 51 registros, y con mayor número de registros en los intervalos de 1501-2000 m (Figs. 1, 5c). En el trayecto Palo Gordo, las detecciones fueron en 9 de 60 puntos con 51 registros, y aunque se tienen registros al principio y al final del trayecto, los pavones se detectaron con

mayor frecuencia entre el intervalo 1001 y 2000 m (Fig. 5d). En trayecto El Triunfo, los pavones fueron registrados en 5 de 28 puntos, con 6 registros (Figs. 1, 5e). Finalmente, en el trayecto Monos se obtuvo el menor número de registros (cinco registros), y los pavones ha sido registrados solo en tres de los 49 puntos, principalmente hacia el final del trayecto (Figs. 1, 4f). Los registros de los pavones fueron más frecuentes en determinados puntos e intervalos a lo largo de los trayectos, en algunos de los cuales los registros fueron reiterativos y predecibles. Es decir, los pavones frecuentemente se detectan en o cercanos a los mismos puntos, pero no en todos los puntos a lo largo de un mismo trayecto, sugiriendo una posible distribución agregada (Fig. 1). Asimismo, los pavones son principalmente registrados a partir de una distancia de 1 km del campamento en cada uno de los trayectos (Fig. 1).



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

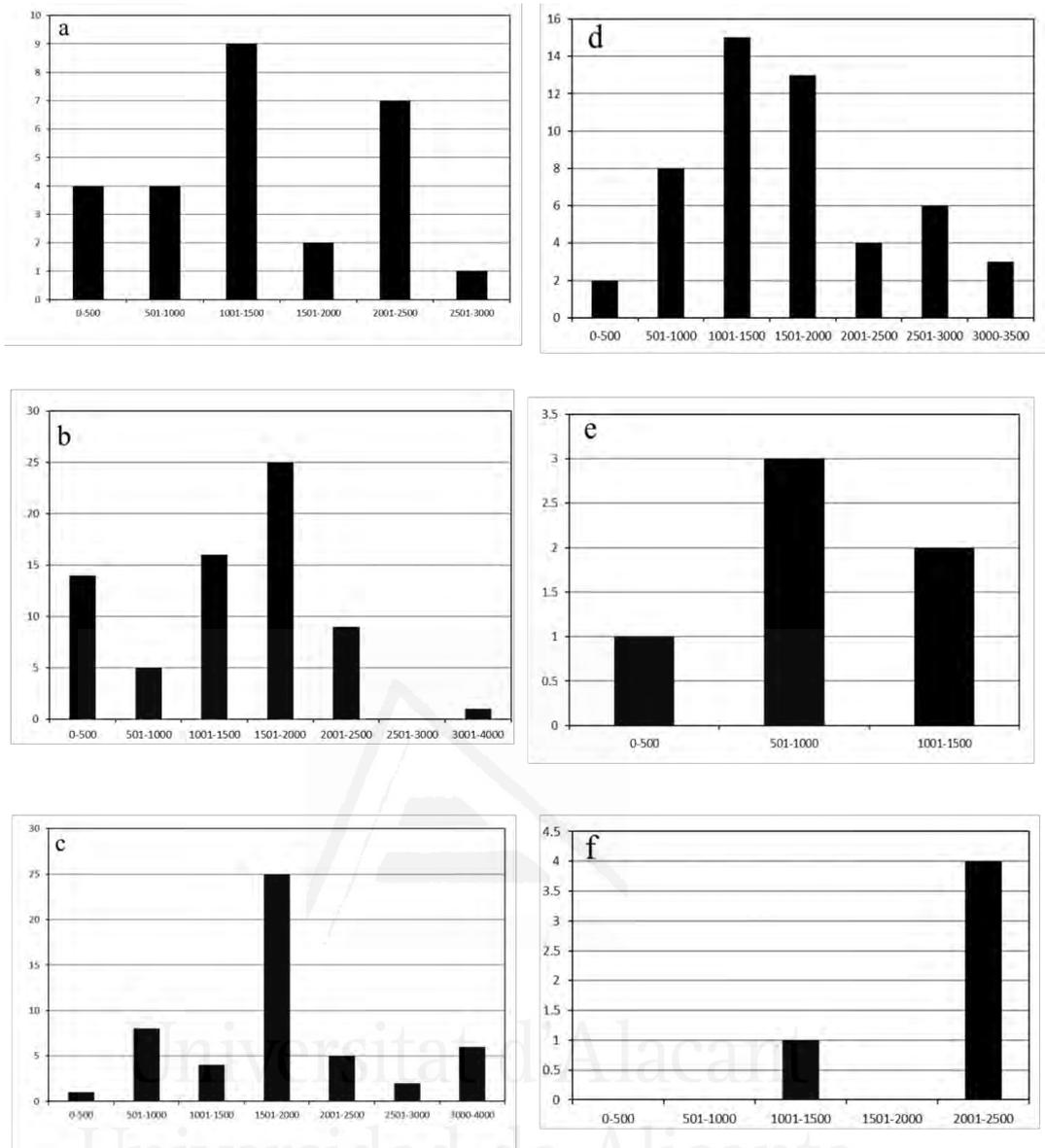


Figura 5. Número de registros de pavones a intervalos de 500 metros en seis trayectos en el núcleo I de la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas (Periodo marzo 2011-enero 2016): Costa (a), Prusia (b), Bandera (c), Palo Gordo (d), El Triunfo (e), Monos (f).

Dieta

Las observaciones *ad libitum* generaron información adicional sobre la dieta y el comportamiento de forrajeo. Las observaciones indican que el pavón consume las hojas verdes de *Prunus brachybotrya* tanto en la época reproductiva como en la no reproductiva. Las hojas verdes de *Solanum appendiculatum* y *P. brachybotrya* son las más frecuentes en la dieta y son consumidas tanto por individuos adultos, como por polluelos y juveniles.

El pavón consumió principalmente ocho especies cuyos frutos maduros tienen un tamaño entre 2-10 mm (*Dendropanax* sp., *Smilax* sp., *Zunilia cucullata*, *Eugenia capulli*, *Cestrum* aff *guatemalense*, *Trema micrantha*, *Urera caracasana*, *Citharexylum mocinnii*). Tres especies de frutos cuyo tamaño va de 11 a 20 mm (*Conostegia volcanalis*, *Rhamnus capraeifolia* var. *grandifolia*, *Symplococarpum purpusii*) y dos especies más con frutos mayores a 41 mm (*Epiphyllum crenatum* var. *crenatum*, *Hedyosmum mexicanum*). Los frutos con menos registros de consumo fueron de 21-30 mm y de 31 a 40 mm, correspondientes a 2 especies (*Quercus* sp., y *Amphitecna montana*), respectivamente. Los tamaños de frutos más usados por el pavón corresponden a las especies más abundantes en su dieta: *Symplococarpum purpusii* (17 x 10 mm), *Citharexylum moccinii* (10 x 5 mm), *Morus insignis* (50 x 10 mm), *Dendropanax* sp (7 x 8 mm), y *Conostegia volcanalis* (12 x 10 mm). Semillas encontradas en excretas fueron de las siguientes especies y tamaños: *Dendropanax* sp. (4.3 x 3.0 mm), *C. moccinii* (5 mm), *O. chiapensis* (25 x 6.3 mm), *Symplocos hartwegii* (32.9 x 11.5 mm), *C. volcanalis* (< 1mm) y *Smilax* sp. (6.5 mm).

La dieta también fue inferida a partir de muestras fecales. Las muestras fecales variaron de color (gris, negro, azul pizarra, verde) y contenido en función de la dieta. En promedio las excretas tuvieron un tamaño de 57.05 ± 3.43 mm x 30.88 ± 6.66 mm (N = 5). Con base en los contenidos de las muestras fecales el pavón se alimentó de diversas especies de frutos y fragmentos de hojas verdes. Cuando la dieta en las muestras fecales fue una combinación de frutos y hojas verdes, o solamente hojas verdes, aparecieron pequeñas piedras, y no así cuando el contenido es solamente a base de frutos. También las muestras fecales presentaron una combinación de dos a tres especies de frutos, por ejemplo:

semillas de *Dendropanax* sp., y *Smilax* sp.; semillas de *Symplocarpon purpusii* y *Dendropanax* sp.; semillas de *Eugenia capulli*, *Smilax* sp., y *Urera caracasana*. Seis muestras fecales, contenían en promedio 80.66 ± 35.92 semillas de *Dendropanax* sp., sin aparente daño mecánico, e incluso algunos frutos completos. Todas las semillas encontradas en las muestras fecales estuvieron intactas sugiriendo que el pavón solo digiere la pulpa y no las semillas, indicando que el pavón podría tener una importante función como dispersor de semillas en los bosques de montaña.

Cuidado parental

El cuidado parental se ha documentado en los trayectos Prusia, Costa y Palo Gordo. En mayo de 2012, una hembra fue observada junto con un par de juveniles, cuya edad aproximada de un año se determinó en base al tamaño del cuerno, el cual fue de aproximadamente 3 cm. En octubre y noviembre de 2012, otra hembra con un solo juvenil fueron observados alimentándose de frutos de *Podocarpus matudae*. Al juvenil le estimamos una edad de 4-5 meses, basados en las características del cuerno: dos pequeñas protuberancias aún separadas por una fila de plumas negras, y cada protuberancia de aproximadamente 1 cm de alto. Ambos individuos fueron observados continuamente por un periodo de 8.48 h: la hembra se alimentó 19 veces y el juvenil 23 veces, y se registraron 44 defecaciones. Ambos forrajearon de forma individual, y no registramos que la hembra alimentara al juvenil en el árbol de *P. matudae*. El juvenil fue alimentado por la hembra con frutos de *P. matudae*, fuera de árbol y cerca del nivel de suelo, mediante regurgitación, y ambos también consumieron hojas verdes de *Pilea* sp. (Urticaceae). En diciembre de 2012, una hembra fue observada en la parte superior del mismo árbol de *P. matudae*, solo que esta vez la registramos sola. Probablemente la misma hembra de octubre y noviembre, lo cual sugiere un posible evento de depredación. En enero de 2013, otra hembra con un juvenil de aproximadamente un año de edad, con cuerno de 3-4 cm de longitud, fueron observados alimentándose de un fruto aún no determinado.

Depredación

En marzo de 2006, un pavón adulto fue depredado por un individuo adulto de *Spizaetus ornatus*. Este evento fue documentado por Ismael Gálvez y un grupo de observadores de aves, en el trayecto Prusia. Al pasar por el sitio, un águila salió

volando desde el suelo hacia un encino, donde posó por unos minutos y posteriormente realizó vuelos circulares y vocalizaciones para alejarse del sitio. Tres horas después, el grupo de observadores retornaron al mismo sitio de la previa observación, y el águila se comportó de la misma forma. Al revisar con más detalle, se encontraron plumas dispersas en el suelo y a un pavón muerto en la base de un árbol, con una pierna parcialmente devorada, y el cráneo y el cuerno parcialmente triturados. Solo se colectó la cabeza y las plumas de la cola del pavón. En marzo de 2010, en el mismo sendero, documentamos un ataque de *S. ornatus*, al estar observando la conducta de cortejo del pavón. Un pavón macho adulto estaba posado y mugiendo desde la parte media y central de un árbol sin hojas de *P. brachybotrya*, y a una altura de 20 m. Al mismo tiempo, una hembra respondiendo a los llamados de cortejo del macho desde el estrato bajo del bosque y otras dos hembras posadas en la parte media de árboles cercanos, acicalándose el plumaje. Repentinamente el macho suspendió sus continuos llamados e inmediatamente se lanzó en dirección al suelo, en respuesta al ataque del águila, quien continuó con su vuelo silencioso. En el suelo, el pavón permaneció inmóvil por 20 minutos, con el cuello estirado y en absoluto silencio, al igual que las hembras. Pasado el peligro, el macho inició nuevamente con sus llamados de cortejo.

Uso y comportamiento en bañaderos

Los pavones usaron principalmente tres bañaderos. Los dos primeros equidistantes 3 metros, ambos al borde de uno de los senderos. El primero sobre la parte media de un talud, y el segundo sobre el suelo, usados de 2010 a 2013. El tercer bañadero en otro sendero, en un claro del bosque propiciado por la caída de un árbol, usado desde el año 2013. Los pavones parecen preferir lugares soleados para ser usados como bañaderos.

En base a un total de 688 fotografías y 11 video clips, los pavones hacen uso frecuente de los bañaderos de enero a marzo, con algunas esporádicas visitas de abril a agosto. Los pavones pueden bañarse o visitar el bañadero tan temprano como a las 06:48 de la mañana, y tan tarde como a las 18:30 h. Sin embargo, las sesiones de baños de tierra ocurrieron principalmente por la tarde, entre las 13:00 y 18:00h (Fig. 6), lo cual indica que los pavones tienden a bañarse principalmente por las tardes. Aunque los pavones visitaron los bañaderos en varias ocasiones,

algunas de las visitas fueron muy cortas, prácticamente de segundos, debido a que los bañaderos se encontraban mojados o también a que fueron interrumpidos debido al paso de visitantes (turistas, observadores de aves, arrieros).

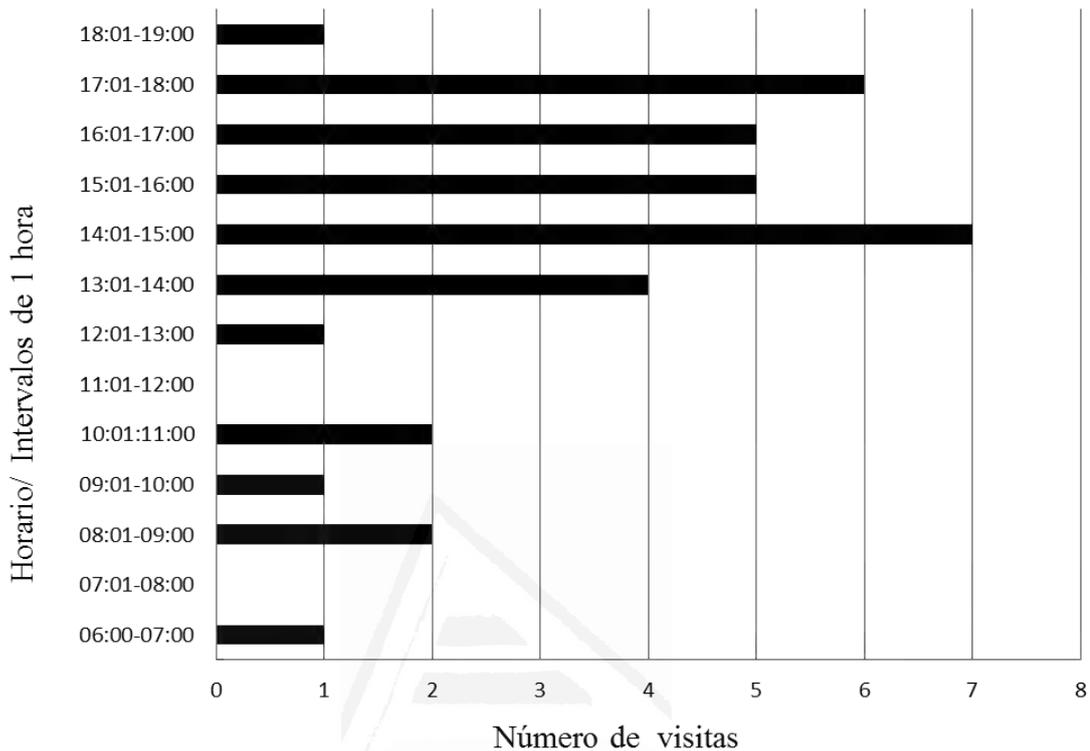


Figura 6. Número de visitas de *Oreophasis derbianus* en bañaderos en el Núcleo I de la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México.

Los pavones visitaron un total de 26 veces los bañaderos. Sin embargo, hemos considerado solo 20 sesiones mayores a 1 minuto de duración para efectos de análisis. Los pavones tuvieron sesiones de baño con duración promedio de $08:45 \pm 6.7$ min ($n = 20$, rango = 01:15-25:32 min). Se pueden bañar en forma individual o en pareja. Generalmente llegan al bañadero caminando, y cuando arriban en pareja, siempre llega primero el macho. El macho puede escarbar con las patas para remover la tierra, hurgar con el pico el sustrato y emitir llamados de cortejo (mugidos para llamar a la hembra), pero una vez que la hembra arriba, el macho sale del bañadero para que la hembra ocupe su lugar. Es atípico encontrar dos bañaderos casi juntos, uno del lado izquierdo y el otro del lado derecho del sendero. En algunas de las visitas en pareja, a los bañaderos cercanos, la hembra

se bañó en el bañadero del suelo y el macho en el otro bañadero del talud. Sin embargo, los datos fotográficos muestran que el bañadero sobre el suelo fue el más visitado y usado. Para bañarse los pavones adoptan diferentes posiciones y movimientos conductuales para cubrirse de tierra, muy similares a los realizados por otros galliformes. Generalmente los pavones se tumban sobre el bañadero, apoyándose sobre el vientre o sobre uno de sus costados para frotar vigorosamente el cuerpo, las alas, erizar las plumas y frotar la cabeza hasta cubrirse de tierra que se desprende del suelo, e incluso usando una de sus patas. El baño de tierra es a menudo seguido por un abatimiento de las alas y sacudidas corporales vigorosas, para continuar con el acicalamiento con la ayuda del pico. Adicional a los baños de tierra, los pavones también toman baños de sol, lo cual puede suceder inmediatamente después de bañarse con tierra o posterior a un evento de lluvia, en donde posan en la parte alta de los árboles. Los baños de sol consisten en abrir completamente las alas y la cola y esponjar el plumaje de forma peculiar para que el sol llegue hasta la piel. Sin embargo, en el bañadero los machos pueden también realizar despliegues de cortejo, llamar a las hembras e incluso alimentarse de hojas verdes, alimentar a las hembras ofreciendo fragmentos de hojas verdes o piedrecillas). Además de los pavones, los mismos bañaderos pueden también ser usados por otras especies de aves como *Penelopina nigra* y *Dactylorhynchus thoracicus*.

DISCUSIÓN

Densidad

Las densidades conocidas para los crácidos varían entre 0.9 y 25.3 ind/km² (Ríos et al. 2005). A nivel de subfamilia, la densidad promedio para miembros de los Cracinae (*Crax*) se ha estimado en 8.9 ± 7.4 ind/km² y para Penelopinae (*Ortalis*, *Penelope*, *Penelopina*, *Oreophasis*) en 17.7 ± 9.4 ind/km² (Kattan et al. 2016). Sin embargo, algunos Penelopinae tienen densidades menores a 10 ind/km² (Kattan et al. 2016). La densidad total estimada para el pavón en el núcleo I de la Reserva de la Biósfera El Triunfo (5.40 ± 0.64 ind/km²) se encuentra dentro de los rangos de densidad previamente reportados para la misma reserva usando métodos similares y en cortos periodos de muestreo, pero es relativamente baja, si la comparamos con las densidades señaladas para otros crácidos de tierras bajas, y

particularmente para los crácidos de montaña. No obstante, dichas comparaciones son difíciles de establecer debido a las diferentes metodologías, temporalidades y escalas de muestreo utilizadas. Las densidades estimadas para los crácidos de montaña son relativamente escasas. Ríos et al. (2005) estimaron una densidad de 0.87 a 2.6 ind/km² para la Pava negra *Aburria aburri*, mientras que Jacobs y Walker (1999) y Kattan et al. (2014) reportan densidades entre 2 y 17 ind/km² para *Penelope barbata*, y de 10 a 42 ind/km² para *P. perspicax*, respectivamente. El pavón es considerado como una especie rara a lo largo de toda su distribución (del Hoyo y Motis 2004). Sin embargo, en algunas localidades de Guatemala, como por ejemplo en el Volcán San Pedro, se ha estimado una densidad de 31.4 ind/km² (Rivas y Cobar 2008), lo cual puede ser el resultado de una sobreestimación o que la especie es más abundante hacia el centro de su distribución geográfica y menos común hacia los extremos de la misma. Por ejemplo, en la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas, que corresponde a la distribución más oriental del pavón, la densidad es menor (2.74 ± 1.93 a 3.19 ± 1.40 ind/km²: Quiñónez-Guzmán 2011, González-García et al. 2017). Sin embargo, las diferencias en los valores de abundancia, pueden deberse también al uso y aplicación de distintas metodologías, duración y temporalidad de los muestreos, así como a los propios requerimientos ecológicos de las especies, como posibles variaciones geográficas en la densidad total o ecológica (Ríos et al. 2005).

El pavón es relativamente sedentario y suele permanecer alimentándose o descansando en un mismo árbol por periodos prolongados de tiempo en un día (120.54 ± 128.66 min; rango = 2-529 min; n = 164 observaciones). Asimismo, muestra una fuerte fidelidad intra e interanual a un mismo sitio de forrajeo y hasta cierto grado, no suele tener una conducta evasiva al observador (González-García, 2005). Este patrón de conducta posibilita detectar individuos en su posición original y hacer mediciones precisas de la distancia perpendicular de detección del individuo o grupo de individuos al sendero, los cuales son requisitos fundamentales para poder estimar su densidad con base en la teoría del muestreo de distancias (Buckland et al. 1993, 2004). La relación entre la función de detección y las distancias perpendiculares indica la carencia de datos agrupados, valores extremos y el cumplimiento del “criterio de forma” (Figura 5) (*sensu* Buckland et al., 1993,

2004), lo cual indica que la teoría del muestreo de distancias para estimar la densidad de *O. derbianus*, es el adecuado (González-García et al. 2017).

Las estimaciones de la densidad poblacional de *O. derbianus* muestran variación tanto espacial como temporal. El poder evaluar sólo la variación natural en el tamaño poblacional de *O. derbianus* y que esta variación pueda ser asociada a factores ambientales, permitiría sugerir pautas de manejo para la conservación de la especie. Sin embargo, a partir de nuestras estimaciones, aun no es posible correlacionar la variación natural en la abundancia de *O. derbianus* con algún factor explicativo en particular. Estimaciones robustas de la abundancia de *O. derbianus*, así como nuestro mejor conocimiento del sistema, nos permitirán poder plantear estas hipótesis *a priori*. Por ejemplo, hemos observado que la disponibilidad de frutos de los cuales depende *O. derbianus* varían anualmente y en consecuencia, esta disponibilidad parece incidir en su abundancia, en sus hábitos alimentarios, en el comienzo de su temporada reproductiva y probablemente en su éxito reproductivo (González-García, 2012, González-García et al. 2017).

Distribución espacial y temporal

Los pavones parecen distribuirse de forma agregada o son más detectables en ciertas secciones de los senderos. De los seis senderos, el sendero Monos es un caso especial, dado que los pocos registros, han sido detectados casi al final del mismo, prácticamente en la unión con el sendero Costa, por lo que probablemente se trate de los mismos individuos cercanos en la intersección de ambos trayectos. Probablemente los pavones son poco frecuentes sobre este sendero debido a la estructura del bosque y a que gran parte del mismo está expuesto a los efectos del viento. Además, es posible que este sendero no brinde los requerimientos de hábitat muy específicos para el pavón, como pueden ser sitios de anidación, topografía, estructura y composición de la vegetación o algunos factores físicos (Ríos et al. 2005).

Algunos autores han sugerido que las especies de pavas de montaña realizan movimientos altitudinales (Gómez de Silva et al. 1999, Renjifo *et al.* 2002, Chaves-Campos 2003, Delacour & Amadon 2004, González-García et al. 2006, Rivas y Cobar 2008a). Nuestras observaciones sugieren que la población estudiada del pavón es estacionalmente residente (Fig. 4). Sin embargo, algunos meses

muestran carencia de registros visuales y/o auditivos lo cual puede ser un sesgo de las técnicas de muestreo, un efecto de la propia dinámica reproductiva y fenológica de la especie, o un resultado de la baja densidad. Por tanto la probabilidad de no tener detecciones del pavón es muy alta y no significa necesariamente la ausencia de la especie en el área. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que en El Triunfo, algunos individuos de la población puedan hacer migraciones altitudinales, especialmente durante la época de escasez de frutos, tal como plantea para *Aburri aburri* (Rios et al. 2005).

Dieta

Es común que los crácidos se alimenten de una gran variedad de frutos y también, pero en menor proporción, de follaje, flores e invertebrados (Muñoz et al. 2007, Muñoz y Kattan 2007). La dieta del pavón está compuesta de una gran diversidad taxonómica y morfológica de frutos y hojas verdes y flores (González-García 2005). Sin embargo, a diferencia de otros crácidos de montaña, aparentemente el pavón no incluye invertebrados en la dieta (González-García 2005, Muñoz et al. 2007, Muñoz y Kattan 2007). Nuestras observaciones no dieron evidencia del consumo de insectos y ninguna de las muestras fecales presentaron restos visibles de insectos u otros restos de invertebrados. Por tanto, nuestras observaciones sugieren una dieta frugívora-folívora con alto consumo de frutos y hojas verdes, un comportamiento alimentario que ya ha sido registrado para varios miembros de la familia Cracidae, especialmente en crácidos de montaña (Chalukian 1997, Galetti *et al.* 1997, Jiménez *et al.* 2000, Santamaria & Franco 2000, Muñoz 2003, Rios et al. 2005, Muñoz et al. 2007, Porter y Riehl 2017). Todas las semillas encontradas en las muestras fecales, sin aparente daño mecánico, sugieren que en el tracto digestivo los frutos experimentan un tratamiento suave y por tanto los pavones digieren solamente la pulpa y no las semillas. Incluso las hojas verdes también experimentan el mismo tratamiento, dado que fragmentos u hojas aún completas pueden encontrarse en las muestras fecales. Observaciones similares se reportan para otros crácidos de bosques de niebla como *P. perspicax* (Muñoz et al. 2007) y *P. obscura* (Merler et al. 2001) que son parcialmente folívoros. Los frutos consumidos por el pavón fueron de forma y tamaño variables, y se alimentaron principalmente de frutos pequeños, entre 2 y 20 mm y con menos registros de frutos entre 21 y 40 mm. Algunos crácidos del género *Penelope*, se alimentan de frutos

de tamaño similar (Merler et al. 2001, Mikich 2002, Zaca et al. 2006, Muñoz et al. 2007). En general, los pavones incluyeron en su dieta, desde pequeñas bayas de Melastomataceae con cientos de diminutas semillas hasta drupas grandes de Lauraceae con una sola semilla, familias de plantas con alto contenido de lípidos (Muñoz et al. 2007).

Cuidado parental

Estas observaciones sugieren que las hembras son las únicas encargadas del cuidado parental, que una o dos de las crías son depredadas a diferentes edades, y que el cuidado parental se prolonga más allá de una estación reproductiva, por lo cual probablemente las hembras se reproducen cada dos años.

Depredación

La depredación y ataques a crácidos por rapaces tropicales es poco documentada. Kilham (1978) reporta las vocalizaciones de alarma emitidas por *Penelope purpurascens* por el ataque de *S. ornatus*. En contraste, a las estridentes vocalizaciones emitidas por *P. purpurascens*, los pavones permanecieron en silencio. El ataque no exitoso probablemente se deba a que el pavón se encontraba en la parte media y central del árbol, rodeado de diversas ramas, pero sin hojas, lo que permitió detectar a tiempo al depredador. Otras especies de aves y mamíferos presentes en la zona que pueden ser depredadores de pavas y polluelos son *Eira barbara*, *Puma concolor*, *Herpailurus yagouarondi*, *Leopardus tigrinus* y *Micrastur semitorquas*.

Uso de bañaderos

Los baños con tierra, es un comportamiento complejo, conspicuo, estereotipado y altamente especializado donde la tierra es deliberadamente introducido en el plumaje (Campbell y Lack 1985, Olson y Keeling 2005). Esta conducta involucra pasar un sustrato a través de las plumas y se piensa que su función es: mantener el plumaje en buenas condiciones, eliminar restos de piel, remover plumas o controlar las infecciones de ectoparásitos, reducir el exceso de humedad y controlar el exceso de lípidos en el plumaje incrementando la capacidad de aislamiento (Campbell y Lack 1985, Hendricks y Hendricks 1995, Olson y Keeling 2005). La tierra puede también funcionar como abrasivo sobre el

exoesqueleto de los ectoparásitos resultando en la desecación del insecto (Hendricks y Hendricks 1995). Sin embargo, el baño con tierra en el pavón tiene funciones adicionales y está directamente relacionado con la conducta reproductiva (González-García 1994). Como parte del cortejo, los machos conducen a las hembras a los bañaderos, y durante los recesos de incubación las hembras toman baños de tierra, lo cual sugiere que cada hembra tiene su propio bañadero, generalmente cercano al sitio de anidación. Adicionalmente el plumaje también es expuesto al sol probablemente con la finalidad de regular la temperatura corporal, producir vitamina D, remover restos de piel y parásitos, y mantener el plumaje en buenas condiciones (Mueller 1972, Campbell y Lack 1985, Blem y Blem 1992). Previa observaciones indican que los pavones se bañan una vez al día entre las 12 00 y 16 00 horas. De forma solitaria invierten aproximadamente 30 minutos y en pareja alrededor de 17 minutos (González-García 1994). El baño con tierra y la exposición del plumaje al sol también han sido documentados en otros crácidos, como en *P. perspicax* y *Chamaepetes goudotii* (Ríos et al. 2006, Delgado et al. 2012). En general, las aves invierten tiempo en el baño de tierra y sol, lo cual indica lo crítico que puede ser el mantenimiento y cuidado constante de las plumas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el financiamiento otorgado por Embajadores de las Nubes y a Saint Louis Zoo WildCare Institute. Al Comité Internacional para la Conservación de *Oreophasis derbianus* y su Hábitat. Al Instituto de Ecología, AC, y a El Colegio de la Frontera Sur por los apoyos complementarios para la realización de este estudio. A la CONANP por todas las facilidades y apoyos otorgados para la coordinación e implementación del trabajo en la Zona Núcleo I de la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Al personal de la Reserva de la Biosfera El Triunfo: A. García, A. Gálvez Gálvez, E. López Gálvez, I. Gálvez Gálvez, J. G. García, J. C. Castro, R. Gálvez Roblero y R. Mengchu Guerrero. A los estudiantes y voluntarios por su ayuda en las diversas actividades en campo en la Reserva de la Biosfera El Triunfo: A. Alvarado, A. Ansures, A. Arrona, A. Campos, A. Cantú, A. Cornejo, A. García, A. Jiménez, A. K. Chanona, A. Leyva, A. Lobato, A. López, A. Martínez, A. Monroy, A. Pérez, A. Romero, A. Vásquez, B. Chiu López, B. Kraig, B. Pérez Santiz, C. Alvarado, C. Frías, C. Hartmann, C. Nuñez, C. Ventura, D. Alvarado, D. Arreola, D. Garza, E. Carmelo, E. Homá, E. Labastida, E. López, E. M. Gómez, E. Naranjo, E.

Velázquez, F. Bibriesca, F. Berzaghi, F. Bustamente, F. Campusano, F. Gómez, F. Marani, F. Miranda, G. Argueta, G. Cristiani, G. Pinilla, G. Rodríguez, G. Sánchez, H. A. Bartolomé, H. Montaña, I. Medina, I. Santiz, I. Villafuerte, I. X. Villafuerte, J. F. Gómez, J. González, J. López, J. M. Ruiz, J. Paulo Carbajal, J. A. Robledo Escalante, J. Bech, J. González, J. C. Ocampo, J. F. Rodríguez Femat, J. L. Martínez, J. L. Hernández, J. P. Hernández, J. R. Ramírez, J. R. Sosa, J. Rendón, J. R. Vázquez Pérez, J. Victoria, K. Burgman, K. Kühne, L. Gutiérrez, L. de J. Sánchez, L. Jiménez, L. Orozco, L.F. Rivera, L. Tlapaya, L. Victoria, L. Yunes, M. Carrillo, M. de C. Ramírez, M. del C. Soto, M. Carrillo, M. González, M. J. López, M. J. Gómez, M. E. Pérez, M. G. Vargas, M. Ruiz, M. Vugdelic, N. Balan, N. Gómez, N. B. Guillen, N. Jiménez, N. Sánchez, O. del Angel, O. Bravo, O. de la Cruz Limones, O. Díaz, O. Godínez, O. Suárez, P. Conde, P. E. Rocha, P. Hernández, P. Gutiérrez, P. Petit, P. Ramírez, P. P. Vásquez Sánchez, R. Bartolán, R. Berlio, R. Ortega, R. Partida Lara, R. Velázquez, S. Puerta, S. Velázquez, T. Miranda, V. Bravo, V. González, V. Morales, V. Rodríguez, X. Macía y Y. Ramírez. A Olga por la elaboración del mapa.

REFERENCIAS

- Andrle, R. F. 1967. The Horned Guan in Mexico and Guatemala. *Condor* 69:93-109.
- Andrle, R. F. 1969a. Biology and conservation conservation of the Horned Guan. *American Philosophical Society Yearbook* 1968:276-277.
- Andrle, R. F. 1969b. Quest for the Horned Guan. *Science* 49:40 43.
- (AOU) American Ornithologist's Union. 1998. Check-list of North American Birds. 7th ed. American Ornithologists' Union. Washington, DC, USA.
- Binford, L. C. 1989. A Distributional Survey of the Birds of the Mexican State of Oaxaca. *Ornithological Monographs* No. 43. American Ornithologist's Union. Washington DC, USA.
- BirdLife International. 2012. Species factsheet: *Oreophasis derbianus*. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 11/04/2012

- Blem, C. R., y L. B. Blem. 1972. Some observations of sunbathing in swallows. *Journal of Field Ornithology* 63:53-56.
- Brooks, D. M. y R. A. Fuller. 2006. Biology and conservation of cracids. Pp. 9–21. En: *Conserving cracids: the most threatened family of birds in the Americas*. D. M. Brooks (Ed.). Miscellaneous Publications of the Houston Museum of Natural Science, Number 6, Houston, Texas, USA.
- Brooks, D. M. y S. D. Strahl. 2000. Curassows, Guans and Chachalacas. Status Survey and Conservation Action Plan for Cracids 2000-2004. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. England.
- Campbell, B. y E. Lack 1985. A dictionary of birds. British Ornithologist's Union. T & A D Poyser Ltd. London.
- Challenger, A. 1998. Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado, Presente y Futuro. CONABIO. Instituto de Biología, UNAM, Agrupación Sierra Madre, SC.
- Cóbar, A. J. 2006. Distribución actual y selección de sitios para el estudio y conservación del pavo de cacho (*Oreophasis derbianus* G. R. Gray, 1844) en los departamentos de San Marcos y Huehuetenango, Guatemala. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Delacour, J. y D. Amadon. 2004. Curassows and Related Birds. Second Edition. Lynx Edicions and the National Museum of Natural History, Barcelona and New York, USA.
- del Hoyo, J., A. Elliott y J. Sargatal (Eds.). 1994. Handbook of the Birds of the World. Vol.4. Lynx Ed., Barcelona, Spain.
- del Hoyo y A. Motis. 2004. Update Chapter. Pp. 322-476 En: Curassow and Related Birds. J. Delacour y D. Amadon. Second edition. Lynx Edicions and The National Museum of Natural History, Barcelona, Spain and New York, USA.
- Delgado-V, C. A., J. C. Correa-H, A. Arias-Alzate y S. Botero. 2012. Dustbathing behavior of the Sickle-winged Guan (*Chamaepetes goudotii*). *Bulletin of the Cracid Specialist Group* 33:19-22.

- Gómez de Silva, G. H., F. González-García y M. P. Casillas-Trejo. 1999. Birds of the Upper Cloud Forest of El Triunfo, Chiapas, Mexico. *Ornitologia Neotropical* 10:1-26.
- González-García, F. 1984. Aspectos biológicos del pavón *Oreophasis derbianus* G. R. Gray (Aves: Cracidae) en la reserva natural El Triunfo, Municipio de Ángel Albino Corzo, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Facultad de Biología. Xalapa, Veracruz, México.
- González-García, F. 1986. Description and development of Horned Guan's chicks *Oreophasis derbianus* under captive conditions. XIX Congressus Internationalis Ornithologicus. Ottawa, Canada.
- González-García, F. 1988. The Horned Guan. *Animal Kingdom* 91:20-23.
- González-García, F. 1991. Observaciones sobre la ecología y biología reproductiva del Pavón *Oreophasis derbianus* en la Reserva de la Biosfera "El Triunfo". Chiapas, México. IV Congreso de Ornitología Neotropical, Quito, Ecuador.
- González-García, F. 1992. Primer Informe de Actividades. Estudio y Conservación del Pavón en la Sierra Madre de Chiapas. CONACYT, Instituto de Ecología, AC, Xalapa, Veracruz, México.
- González-García, F. 1993a. Illegal Trade of Horned Guans. *Cracid Newsletter* 2:1-7
- González-García, F. 1993b. News on the study and conservation of the Horned Guan in Mexico. *Cracid Newsletter* 2:13
- González-García, F. 1994. Behavior of horned guans in Chiapas, Mexico. *Wilson Bulletin* 106:357-365.
- González-García, F. 1995. Reproductive biology and vocalizations of the Horned Guan *Oreophasis derbianus* in Mexico. *Condor* 97:415-426.
- González-García, F. 1997b. Distribución del pavón *Oreophasis derbianus* en México: Pasado, Presente y Futuro. Pp. 211-216. En: *The Cracidae. Their Biology and Conservation*. S. D. Strahl, S. Beaujon, D. M. Brooks, A. J. Begazo, G. Sedaghatkish y F. Olmos (Eds.). *The Cracidae. Their Biology and Conservation*. Hancock House Publ., WA.

- González-García, F. 1997c. Conducta de anidación del pavón *Oreophasis derbianus* (Aves, Cracidae) en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, México. Pp. 418-422. En: The Cracidae. Their Biology and Conservation. S. D. Strahl, S. Beaujon, D. M. Brooks, A. J. Begazo, G. Sedaghatkish y F. Olmos (Eds.). Hancock House Publ., WA.
- González-García, F. 2001. Estado de Conservación del pavón *Oreophasis derbianus* en el campo y en cautiverio en México. Pp. 147-166 En: Biology and Conservation of Cracids in the New Millenium. D.M. Brooks and F. González-García (Eds.). Misc. Publ. HMNS 2, Houston, TX.
- González-García, F. 2005. Dieta y Comportamiento de Forrajeo del Pavón *Oreophasis derbianus* en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF.
- González-García, F. 2008. El pavón, unicornio del bosque de niebla. Biodiversitas 81:2-5.
- González-García, F. 2012. El Pavón (*Oreophasis derbianus*), una especie cuasiendémica a México. El canto del Centzontle 3 (1):1-25.
- González-García, F., E. Santana-C., P. D. Jordano Barbudo, V. Rico-Gray, V. Urios Moliner. En prensa. Diet and feeding behavior of the Horned Guan (*Oreophasis derbianus*) in Mexico. Wilson Journal of Ornithology.
- González-García, F., M. A. Martínez-Morales, A. Abundis Santamaría, J. A. Rivas-Romero, J. Quiñónez-Guzmán, J. Rodríguez Acosta, J. L. Rangel-Salazar, y C. A. Guichard Romero. 2017. Protocolo estandarizado para el seguimiento poblacional del pavón, *Oreophasis derbianus*: propuesta de métodos de campo y analíticos. Huitzil 18:185-201.
- González-García, F. y P. Bubb. 1989. Estudio y Conservación del Pavón *Oreophasis derbianus* en la Sierra Madre de Chiapas, México. Informe de Actividades. Instituto de Ecología, Wildlife Conservation International.
- González-García, F., A. Abundis Santamaría, R. Díaz Valenzuela y N. Z. Lara Rodríguez. 2006a. Densidad, distribución y estado de conservación del pavón *Oreophasis derbianus* en México. Reporte Técnico. Instituto de

Ecología, AC, Wildcare Institute, Zoológico de San Luis Missouri. Xalapa, Veracruz, México.

González-García, F., C. Porras y J. Vargas. 2006b. Artificial incubation of the Horned Guan *Oreophasis derbrianus* (Aves: Cracidae) eggs. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s) 22:81-94.

Heath, M. y A. Long. 1991. Habitat, distribution and status of the Azurerumped Tanager *Tangara cabanisi* in Mexico. *Bird Conservation International* 1:223-254.

Hendricks P., y L. N. Hendricks. 1995. Behavior and interactions of Bewick's and House Wrens at a common dusting site, with comments on the utility of dusting. *Journal of Field Ornithology* 66:492-496.

IDESMAC (Instituto para el Desarrollo Sustentable de Mesoamérica, A. C.). 1997. Análisis sobre los cambios de uso del suelo y cobertura vegetal en la Reserva de la Biosfera El Triunfo. IDESMAC, WWF. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

(INE) Instituto Nacional de Ecología. 1999. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP, México, DF.

(IUCN) International Union for Conservation of Nature 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.1. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 12 April 2012.

Jacobs, M. D., and J. S. Walker. 1999. Density estimates of birds inhabiting fragments of cloud forest in southern Ecuador. *Bird Conservation International* 9:73–79.

Kattan, H. G., M C. Muñoz y D. W. Kikuchi. 2016. Population densities of curassows, guans, and Chachalacas (Cracidae): effects of body size, hábitat, season, and hunting. *Condor* 118:24-32

Kattan, G. H., A. León, G. Corredor, W. Beltrán, and M. Parada (2006). Distribution and population density of the endangered Cauca Guan *Penelope perspicax*. *Bird Conservation International* 16:299–307.

- Kattan, G. H., N. Roncancio, Y. Banguera, M. Kessler-Rios, G. A. Londoño, O. H. Marín, and M. C. Muñoz (2014). Spatial variation in population density of an endemic and endangered bird, the Cauca Guan (*Penelope perspicax*). *Tropical Conservation Science* 7:161–170.
- Kidwai, Z., K. Sankar, Q. Qureshi y J. A. Khan. 2011. Abundance and hábitat utilisation by Galliformes in the Sariska Tiger Reserve, Rajasthan, India. *International Journal of Galliformes Conservation* 2: 54-60.
- Kilham, L. 1978. Alarm call of Crested Guan when attacked by Ornate Haw-Eagle. *Condor* 80:347-348.
- Lambert, J. D., T. P. Hodgman, T. P., Laurent, E. J., Brewer, G. L., Iloff, M. J., and Dettmers, R. 2009. The Northeast Bird Monitoring Handbook. American Bird Conservancy. The Plains, Virginia. 32 pp
- Londoño, G. A., M. C. Muñoz y M. M. Ríos. 2007. Density and Natural History of the Sickie-winged Guan (*Chamaepetes goudotii*) in the Central Andes, Colombia. *The Wilson Journal of Ornithology* 119:228-238.
- Long, A. y M. Heath. 1991. Flora of the El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico: a preliminary floristic inventory and the plant communities of polygon I. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México, Serie Botánica* 62:133-172.
- Lovejoy, T. E. y A. R. Brash. 1984. Homage au Jean D'Arc or the conservation of the Cracidae. *Dodo. Journal of Jersey Wildlife Preservation Trust* 21:33-42.
- Martínez-Morales, M.A. 1999. Conservation status and habitat preferences of the Cozumel Curassow. *Condor* 101:14-20.
- Martínez-Morales, M.A., P. Caballero-Cruz, A.D. Cuarón. 2009. Predicted population trends for Cozumel curassows (*Crax rubra griscomi*): empirical evidence and predictive models in the face of climate change. *Journal of Field Ornithology* 80:317-327.
- Martínez-Morales, M.A., F. González-García, P. Enríquez Rocha, J.L. Rangel Salazar, D.A. Navarrete Gutiérrez, C.A. Guichard Romero, A. Tobón Sampedro, G.E. Pinilla Buitrago, Gonzalo Enrique. 2013. Modelos de

- distribución actual y futura de los crácidos presentes en México. El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Campeche. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. JM024. México, DF.
- Méndez, O. 2010. Datos biológicos del pavo de cacho (*Oreophasis derbianus*) en el volcán Tolimán, Sololá. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias y Humanidades. Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala.
- Merler, J. A., M. A. Diuk-Wasser, and R. D. Quintana. 2001. Winter diet of Dusky-legged Guan (*Penelope obscura*) at the Parana' River Delta region. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 36:33–38.
- Mikich, S. B. 2002. A dieta frugívora de *Penelope superciliaris* (Cracidae) em remanescentes de floresta estacional semidicidual no centro-oeste do Paraná, Brasil e sua relação com *Euterpe edulis* (Arecaceae). *Ararajuba* 10:207–217.
- Møller, A.P. y W. Liang. 2013. Tropical birds take small risks. *Behavioral Ecology* 24:267-272.
- Mueller, H. C. 1972. Sunbathing in Birds. *Zeitschrift für Tierpsychologie* 30:253-258.
- Muñoz, M. C., y G. H. Kattan. 2007. Diets of cracids: How much do we know?. *Ornitología Neotropical* 18:21-36.
- Muñoz, M. C., G. A. Londoño, M. M. Ríos y G. H. Kattan. 2007. Diet of the Cauca Guan: exploitation of a novel food source in times of scarcity. *Condor* 109:841-851.
- Olson, I. A. S., y L. J. Keeling. 2005. Why in earth?. Dustbathing behavior in jungle and domestic fowl reviewed from a Tinbergian and animal welfare perspective. *Applied Animal Behaviour Science* 93: 259-282.
- Parker, T. A. III., S. Hilty y M. Robbins. 1976. Birds of El Triunfo cloud forest, Mexico, with notes on the Horned Guan and other species. *American Birds* 30:779-782.
- Pereira, S. L., A. J. Baker y A. Wajntal. 2002. Combined Nuclear and Mitochondrial DNA Sequences Resolve Generic Relationships within the Cracidae (Galliformes, Aves). *Systematic Biology* 51:946-958.

- Peterson, R. T. y E. L. Chalif. 1989. Aves de México. Guía de Campo. Ed. Diana, México.
- Peterson, A. T., V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, J. Bartley, R. W. Buddemeier, A. G. Navarro-Sigüenza. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling* 144:21-30.
- Porter, S. A., y C. Riehl. 2017. Diet of the Crested Guan (*Penelope purpurascens*) in Panama: leaf-eating by a tropical frugivore. *The Wilson Journal of Ornithology* 129:191-197.
- Quiñónez, J. 2011. Densidad poblacional e historia natural del pavo de cacho (*Oreophasis derbianus*) en la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas, El Progreso, Guatemala. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Ramírez, R. F. y G. Williams-Linera. 1990. Estructura, Composición Florística y Fitogeografía del Bosque Mesófilo de Montaña de El Triunfo, Chiapas. XI Congreso Mexicano de Botánica. 30 de septiembre al 5 de Octubre de 1990. Oaxtepec, Morelos.
- Ríos, M. M., M. C. Muñoz y G. A. Londoño. 2006. Historia natural de la Pava Caucana (*Penelope perspicax*). *Ornitología Colombiana* 4: 16-27.
- Ríos, M. M., G. A. Londoño y M. C. Muñoz. 2005. Densidad poblacional e historia natural de la Pava Negra (*Aburria aburri*) en los Andes Centrales de Colombia. *Ornitología Neotropical* 16:1-13.
- Rivas J. A., y A. J. Cóbar. 2005. Distribución y abundancia del Pavo de Cacho (*Oreophasis derbianus*) en la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas. Fundación Defensores de la Naturaleza (FDN). The Nature Conservancy (TNC) Guatemala.
- Rivas J. A., y A. J. Cóbar. 2007. Distribución y conservación del Pavo de Cacho (*Oreophasis derbianus*) en Guatemala. Pp. 10-16. En: Memorias del III Simposium Internacional sobre *Oreophasis derbianus*. J. Cornejo y E. Secaira (Eds). Veracruz, México.

- Rivas J. A., y A. J. Cobar. 2008a. Densidad poblacional y fenología de las plantas alimenticias del pavo de cacho (*Oreophasis derbianus* G. R. Gray 1844) en el parque regional municipal Chuwanimajuyu, Sololá. Informe técnico. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Rivas, J. A., y A. J. Cobar. 2008b. Estudio preliminar sobre la distribución del Pavo de Cachos (*Oreophasis derbianus*) en la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas, Guatemala. Yu'am 1: 12-18.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial. Diciembre 30, 2010.
- (SERBO) Sociedad para el Estudio de los Recursos Bióticos de Oaxaca, AC. 1997. Análisis de la vegetación y uso del suelo en Chimalapas. Reporte Técnico. Segunda Edición. SERBO, AC MACARTHUR FOUNDATION, WWF, ODA.
- Solórzano, L. S. 1995. Fenología de 22 especies arbóreas y su relación con la migración altitudinal del Quetzal (*Pharomachrus mocinno mocinno* De la Llave 1832) en la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.
- Tovar, G., J. Cornejo, M. Macek y E. S. Dierenfeld. 2009. Intake and digestion of Horned Guan *Oreophasis derbianus* diets measured in three Mexican zoos. Zoo Biology 28:319-330.
- Vestergaard, K. (1982). Dust-bathing in the domestic fowl: diurnal rhythm and dust deprivation. Applied Animal Ethology, 8: 487-495
- Vestergaard, K., Hogan, J.A. and Kruijt J.P. (1990). The development of a behavior system: Dustbathing in the Burmese red junglefowl. I. The influence of the

rearing environment on the organization of dustbathing. *Behaviour*, 112: 35–52

Villaseñor, G. J. F. y Santana E. 2003. El monitoreo de poblaciones: herramienta necesaria para la conservación de aves en México. E: Conservación de las aves. Experiencias en México. Héctor Gómez de Silva y Adán Oliveras de Ita Editores. CONABIO, México. 408 p.

Williams-Linera, G. 1991. Nota sobre la estructura del estrato arbóreo del bosque mesófilo de montaña en los alrededores del campamento El Triunfo, Chiapas. *Acta Botánica Mexicana* 13:1-7

Zaca, W., W. R. Silva, and F. Pedroni. 2006. Diet of the Rusty-margined Guan (*Penelope superciliaris*) in an altitudinal forest fragment of southeastern Brazil. *Ornitología Neotropical* 17:373–382.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

EL PAVÓN, *OREOPHYSIS DERBIANUS*: ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN Y CONSERVACIÓN EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA EL TRIUNFO, CHIAPAS, MEXICO.

Fernando González-García^{1,2,3}, Miguel Ángel Martínez-Morales⁴, José Luis Rangel-Salazar⁴, Carlos Alberto Guichard-Romero⁵ y Alberto González-Romero¹

¹ Red de Biología y Conservación de Vertebrados, Instituto de Ecología, AC. Carretera Antigua a Coatepec No. 351, El Haya, Xalapa, Veracruz, 91070, México.

² Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante. Carretera San Vicente del Raspeig s/n, San Vicente del Raspeig, Alicante, 03690, España.

³ Laboratorio de Bioacústica y Ecología del Comportamiento. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional. Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, 71236, México.

⁴Departamento de Conservación de la Biodiversidad, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Barrio María Auxiliadora, 29290, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México

⁵Zoológico Regional Miguel Álvarez del Toro, Calzada de Cerro Hueco S/N, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 29094, México.

Introducción

El pavón es un crácido endémico de las tierras altas de Mesoamérica, habita en bosques mesófilos de montaña (BMM) o bosques de niebla en buen estado de conservación. En México, se distribuye probablemente desde los Chimalapas en el este de Oaxaca y en la Sierra Madre de Chiapas entre los 1400 y 2700 msnm, y hacia Guatemala entre los 2000 y 3500 msnm principalmente, con excepcionales registros entre 1200 y 1500 msnm; probablemente se distribuya hasta el oeste de Honduras, pero actualmente no se tiene evidencia de ello (del Hoyo 1994, del Hoyo

y Motis 2004, Delacour y Amadon 2004, González-García *et al.* 2006, BirdLife International 2013, IUCN 2015). En la Sierra Madre de Chiapas, el pavón habita en ambas vertientes y es aparentemente más abundante en la Vertiente Atlántica. En esta sierra se estima que el BMM cubre al menos 100,000 ha en una franja que corre de noroeste a sureste (Challenger 1998, Ponce-Reyes *et al.* 2012). Dentro de la Reserva de la Biosfera El Triunfo (RBET), ubicada en la Sierra Madre de Chiapas, se conserva parte de lo que es quizá la superficie más extensa de BMM del país, esto es alrededor de 55,000 ha; en esta área natural protegida (ANP) el BMM es una asociación de *Quercus-Matudaea-Hedyosmum-Dendropanax* (Long y Heat 1991, Williams-Linera 1991). Es muy probable que la reserva conserve la población reproductiva más numerosa del pavón en México.

Globalmente, la IUCN (2015) lo considera como *endangered* (amenazado) y el Grupo de Crácidos del Grupo de Especialistas en Galliformes de la IUCN lo clasifica como una especie con una prioridad de conservación inmediata (Brooks 2006, Cancino y Brooks 2006); en México, está considerado en peligro de extinción (SEMARNAT 2010). Su estado de conservación responde a que se asume una declinación continua en su distribución y tamaño poblacional debido al efecto sinérgico de la destrucción y fragmentación de su hábitat por factores como el establecimiento de plantaciones de café, la agricultura, la ganadería, los asentamientos humanos y las actividades mineras, y por la cacería de subsistencia y el tráfico ilegal al que ha estado sujeto (González-García 1993, 1997b, Vannini y Rockstroh 1997, del Hoyo y Motis 2004). Entre los principales factores naturales de afectación a esta especie y su hábitat están la ocurrencia de incendios forestales, huracanes y la actividad volcánica (Andrle 1967, González-García 2001, del Hoyo y Motis 2004). Asimismo, se ha estimado que la distribución geográfica de *O. derbianus* experimentará una notable contracción debido a la pérdida de cobertura boscosa (Ponce-Reyes *et al.* 2012, Rojas-Soto *et al.* 2012, Martínez-Morales *et al.* 2013) y a los efectos del cambio climático (Peterson *et al.* 2001, Peterson *et al.* 2016). Todos estos factores operan en combinación con las características de su historia de vida como la edad tardía de la primera reproducción, la baja tasa de supervivencia y reproducción, entre otras (p. ej., Møller y Liang 2013).

El pavón ha sido uno de los crácidos más estudiados desde el punto de vista biológico, tanto en condiciones naturales como en cautiverio (González-García

1984, 1986, 1991, 1994, 1995, 1997a, 1997b, 1997c, 2001, 2005, González-García y Bubb 1989, Gómez de Silva *et al.* 1999). En el presente trabajo presentamos un análisis del estado actual del conocimiento biológico del pavón y aportamos algunas ideas sobre las perspectivas de investigación y conservación de la especie a futuro en la RBET, así como la posible adopción de estas ideas en otras áreas a lo largo de su distribución geográfica (González-García 2001).

Historia natural

VOCALIZACIONES Y CORTEJO. El macho y la hembra son morfológicamente similares; sin embargo, la diferenciación sexual puede hacerse a través de sus vocalizaciones. El macho tiene cuatro diferentes tipos de vocalizaciones y la hembra hasta ocho (González-García 1995). Los llamados de cortejo, con los que es factible distinguirlos, se emiten desde principios de octubre hasta fines de mayo (González-García 1995, Gómez de Silva *et al.* 1999). Durante el cortejo, el macho llama a la hembra constantemente mediante mugidos de tono grave (frecuencia baja). Como parte del cortejo, la hembra recibe frutos y fragmentos de hojas verdes y también es conducida hasta un sitio abierto en el bosque para tomar baños de polvo.

BAÑOS DE POLVO Y CORTEJO. Los bañaderos son espacios abiertos en el interior del bosque originados por la caída natural de árboles grandes o medianos. Dichos espacios favorecen la entrada de rayos de sol que al secar la tierra permiten su posible uso como sitios para tomar baños de polvo (González-García 1994). En las aves, esta conducta involucra pasar polvo a través de las plumas y se piensa que su función es para mantener el plumaje en buenas condiciones, eliminar restos de piel, remover plumas y parásitos, y reducir la cantidad de grasa en el plumaje (Campbell y Lack 1985, Olson y Keeling 2005). Adicionalmente, el baño de polvo en el pavón está relacionado con la conducta reproductiva (González-García 1994); esto es, como parte del cortejo los machos hacen uso de estos espacios para conducir a las hembras a tomar baños de polvo (Figura 1). Los pavones se pueden bañar de forma individual o en pareja durante el cortejo; cuando es en forma individual un individuo invierte casi media hora en bañarse, y cuando es en pareja cada uno invierte alrededor de 18 minutos. En pareja, siempre se baña primero la

hembra, aunque pueden bañarse por la mañana, generalmente el baño es más frecuente después del mediodía. Como parte del cortejo, en estos sitios el macho hace despliegues y también alimenta a la hembra tanto con fragmentos de hojas verdes como con piedrecillas. Durante la incubación, las hembras también continúan usando los bañaderos. Adicional a los baños de polvo, los pavones pueden también exponer su plumaje al sol (Figura 2) que se presume funciona para el mantenimiento, secado y restauración del plumaje, así como para el flujo de aceite, expulsión de parásitos y síntesis de vitamina D (Campbell y Lack 1985).



Figura 1. El pavón, *Oreophaps derbiana*, tomando baños de polvo en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas.

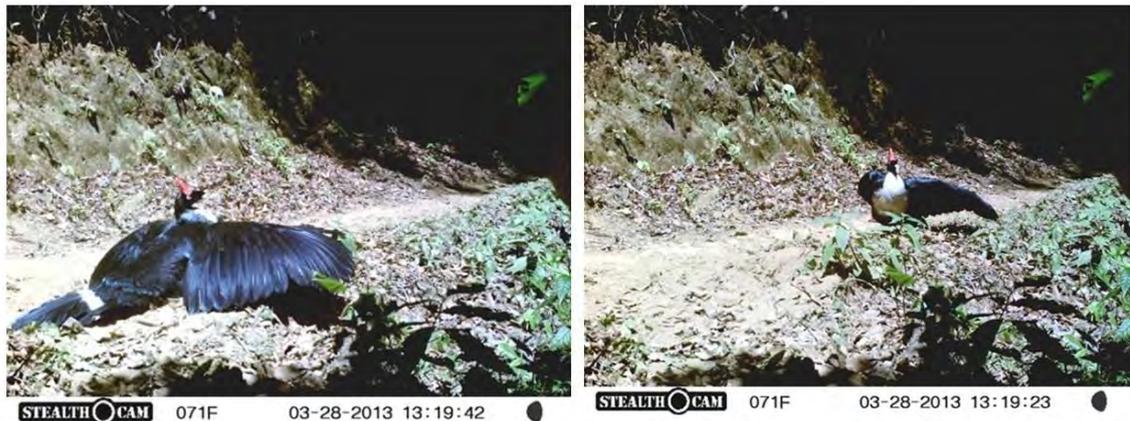


Figura 2. El pavón, *Oreophasis derbianus* tomando baños de sol en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas.

REPRODUCCIÓN. El sistema reproductivo es poligínico de tipo secuencial, en donde el macho puede tener acceso a cierto número de hembras que va de tres a cinco por temporada reproductiva (González-García 1995). La incubación y cuidado de los pollos es labor sólo de la hembra. La hembra anida en la parte media y superior de árboles relativamente aislados del resto de la vegetación, a una altura promedio de 20.5 m (n = 8 nidos). Los árboles utilizados como sitios de anidación tienen una altura promedio de 29.8 m (n = 8) y pueden ser de las especies *Matudaea trinervia*, *Ternoestromia lineata*, *Quercus* sp. y *Clethra* sp. El nido es construido sobre raíces de bromelias, orquídeas, bejucos y hojarasca, y mide 31 x 34 cm. La hembra pone dos huevos blancos de textura áspera, con un tamaño promedio de 84 x 61 mm (n = 4) (González-García 1995, 1997c). Los huevos son incubados durante 34 o 35 días. Durante la incubación, la hembra sale del nido para alimentarse o tomar baños de polvo; cada receso tiene una duración promedio de 30 min (González-García 1993, 1995, 1997c). Al término de la incubación, los huevos eclosionan casi simultáneamente, pero los pollos permanecen en el nido de tres a seis días más (González-García 1993, 2001).

ALIMENTACIÓN. El pavón es principalmente arborícola y forrajea en el estrato medio del bosque, pero también baja al suelo (González-García 2005). Se alimenta de frutos, flores y fragmentos de hojas verdes. En la zona núcleo I de la RBET, la dieta incluye los frutos de por lo menos 64 especies de plantas, incluyendo hojas de 13 especies, siendo las hojas de *Solanum appendiculatum* las consumidas con mayor frecuencia (González-García y Bubb 1989, Solórzano 1995, González-García 2001, 2005).

DEPREDADORES. Entre los probables depredadores de huevos y polluelos de pavón se encuentran la tucaneta verde (*Aulacorhynchus prasinus*) y el búho leonado (*Strix fulvescens*), mientras que el águila elegante (*Spizaetus ornatus*) depreda principalmente adultos. Entre los mamíferos están la martucha (*Potos flavus*), el tejón (*Nasua narica*), el cabeza de viejo (*Tayra barbara*), el puma (*Puma concolor*) y el jaguar (*Panthera onca*) (González-García 2001).

Individualidad vocal en machos adultos en cautiverio

La individualidad vocal está ampliamente documentada en aves (Falls 1982, Catchpole y Slater 1995) y puede ser un potencial método para el monitoreo acústico a nivel individual de especies elusivas, amenazadas o en peligro de extinción. Con el fin de evaluar tal potencial vocal para la identificación individual de los pavones, realizamos grabaciones de machos cautivos en zoológicos durante el periodo reproductivo. Los análisis preliminares sugieren que estos individuos pueden ser reconocidos individualmente por su principal llamado, un mugido de frecuencia baja (sonido grave) que es repetido continuamente como una estrategia para atraer y cortejar a las hembras. En cautiverio, los llamados de los pavones consisten de siete notas y cada llamado tiene una duración de 7.7 ± 0.3 s ($n = 284$ llamados). En la Figura 3 se pueden apreciar llamados típicos de cortejo de machos adultos, grabados bajo condiciones de cautiverio.

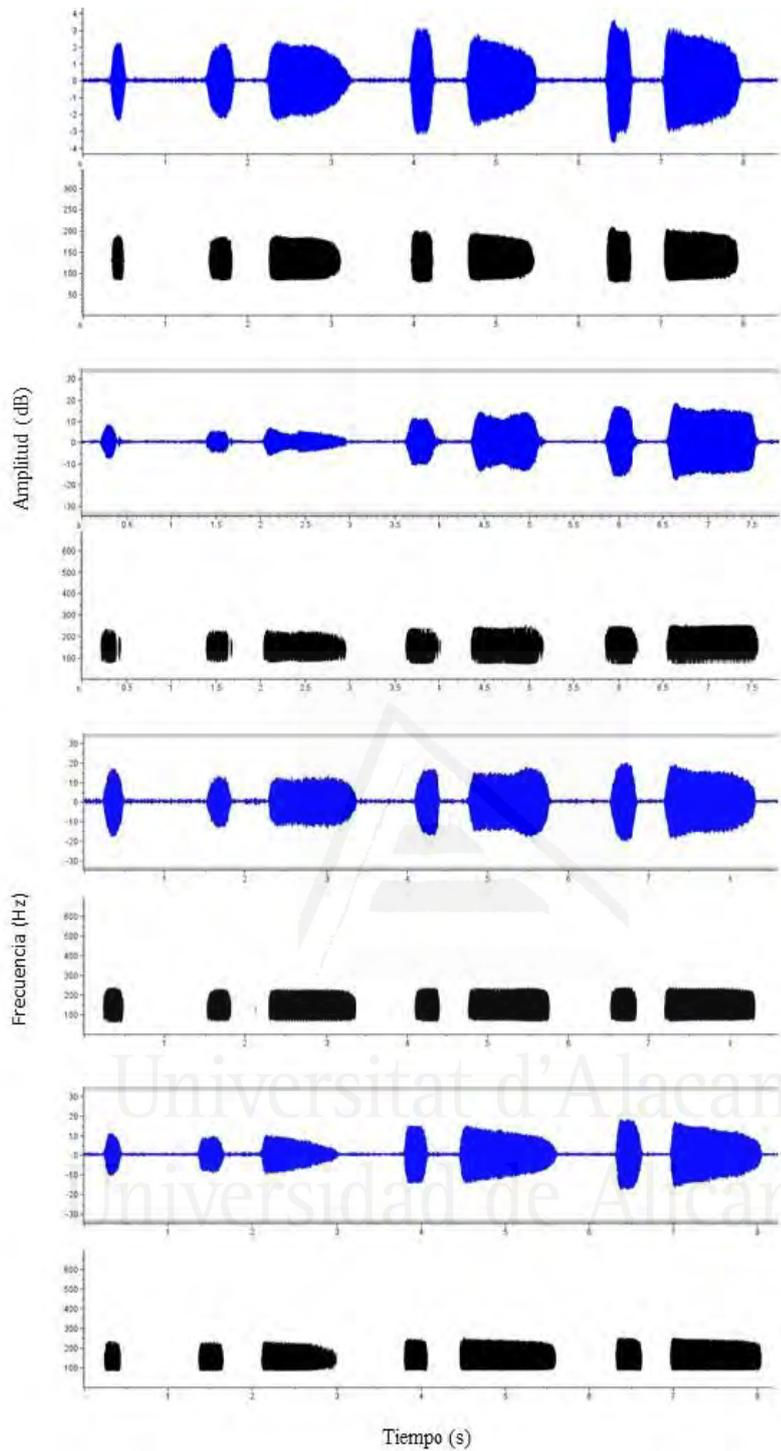


Figura 3. Oscilogramas (color azul) y espectrogramas (color negro) de llamados de cuatro machos adultos del pavón, *Oreophasis derbianus*, grabados en cautiverio.

Monitoreo poblacional

Con el fin de conocer la abundancia y tendencia poblacional del pavón en la RBET, iniciamos un programa de monitoreo; este programa inició formal y sistemáticamente en 2011 y pretendemos que continúe hasta al menos el 2016. Para tal fin, hemos desarrollado un protocolo estandarizado para generar datos de campo de buena calidad y en consecuencia poder hacer estimaciones robustas de la densidad poblacional del pavón. Este protocolo lo desarrollamos y lo hemos evaluado principalmente en la RBET, pero también ha sido replicado en la Reserva de la Biosfera Volcán Tacaná (RBVT) y en otras dos localidades en Guatemala. Para la implementación del protocolo de monitoreo impartimos cinco talleres de capacitación teórico-prácticos a guarda parques y monitores comunitarios. Para la estimación de la abundancia, basamos el trabajo de campo en la teoría y métodos del muestreo de distancias (Buckland *et al.* 1993, 2004). Específicamente en la RBET se recorren mensualmente seis senderos (rango 1.4 - 3.0 km; longitud total = 15.8 km) geo-referenciados, medidos y marcados cada 50 m, y a una velocidad de 1 km/h en buenas condiciones climáticas (sin lluvia, neblina o viento fuerte). Los muestreos se realizan por la mañana y desde aproximadamente la salida del sol. Durante cada evento de detección, ya sea visual o auditivo, registramos los siguientes datos: número de individuos, sexo (macho, hembra), edad (adulto, juvenil, pollo), eventos conductuales (*e. g.*, forrajeo, cortejo, baños de polvo) y la distancia perpendicular desde el sendero hasta el individuo o grupo de individuos detectados. A la fecha, las estimaciones de la densidad poblacional del pavón durante el período 2011-2016 muestran una variación tanto espacial como temporal, y hemos estimado una densidad entre 3.99 ± 1.36 ind/km² (IC 95% = 2.05-7.79) y 7.44 ± 1.47 ind/km² (IC 95% = 5.04-10.98) (González-García *et al.* 2017).

Patrones de ocupación

Los modelos de ocupación parten del hecho de que las especies silvestres son difícilmente observables, aun después de una búsqueda exhaustiva, y algunas especies aún pueden pasar inadvertidas cuando en realidad están presentes

(MacKenzie *et al.* 2002). Estos modelos, estiman de forma simultánea la probabilidad de ocupación (ψ) y la probabilidad de detección (p) de especies a partir de múltiples repeticiones sobre un trayecto de muestreo en sitios establecidos, donde la detección se representa con “1” y la no detección con “0” (MacKenzie *et al.* 2002, 2006). La ocupación es definida como la proporción de un área o de las unidades espaciales de muestreo que son ocupadas por la especie; es decir, su presencia (Mackenzie *et al.* 2003, 2004). Analizar los patrones de ocupación de aves raras, sigilosas y en peligro de extinción, como es el caso del pavón, es crucial para entender los cambios en su distribución en el espacio y en el tiempo (Berlio 2014).

Berlio (2014) evaluó los patrones de ocupación del pavón basado en detecciones visuales y auditivas, y encontró que los pavones son más detectables durante la temporada de reproductiva (diciembre a mayo), que en la no reproductiva (junio a noviembre). Se estimó una probabilidad de ocupación de 77% ($\Psi = 0.77 \pm 0.17$; $p = 0.22 \pm 0.06$) con una mayor probabilidad de detección durante la temporada reproductiva y una probabilidad de ocupación del 100% ($\Psi = 1.0 \pm 0.00$; $p = 0.08 \pm 0.03$) con una menor probabilidad de detección, durante la no reproductiva. Los registros asociados a los intervalos de muestreo mostraron que el patrón de ocupación fue temporalmente heterogéneo. La ocupación del pavón, en ambas temporadas, fue explicada por la disponibilidad de recursos de las especies arbóreas de las cuales se alimentan y por la presencia de cañadas, lo cual sugiere que estas especies arbóreas y las características del paisaje son clave en el uso de hábitat (Berlio 2014).

El pavón y su futuro

Considerando el delicado estado de conservación del pavón se han implementado acciones como la designación de varias ANP, las cuales ofrecen cierta protección a la especie. Además de la RBET, otras áreas importantes para su protección y conservación en la Sierra Madre de Chiapas son el Área de Protección de Recursos Naturales “La Frailescana”, la Zona Sujeta a Conservación Ecológica “Cordón Pico El Loro-Paxtal” y la “Reserva de la Biósfera Volcán Tacaná” (González-García 1991, Heath y Long 1991, Collar *et al.* 1992). Sin embargo, el

bosque mesófilo de montaña (BMM) está desapareciendo rápidamente en toda esta sierra. El BMM está siendo destruido como resultado de asentamientos humanos, agricultura, ganadería, pastoreo, minería y cultivo de café, de tal modo que su continuidad en la sierra, incluso dentro de la RBET, se encuentra amenazada y ya fragmentada. Un “cinturón” de vegetación secundaria parece interrumpir la continuidad del BMM hacia la parte norte de la RBET, así como también en su parte media y sureste, lo cual representa una amenaza potencial para el BMM de las cinco zonas núcleo de la RBET, que son las áreas mejor conservadas dentro de la reserva (IDESMAC 1997). Dado que la RBET es una de las principales zonas que proporcionan protección al pavón, deben considerarse los impactos actuales y potenciales que amenazan con la formación de un archipiélago de BMM al interior de la RBET y en general, a lo largo de la Sierra Madre de Chiapas. El pavón, al ser el ave frugívora más grande del BMM, se asume que tiene una incidencia importante en el mantenimiento y quizá en la regeneración del BMM a través del movimiento y dispersión de grandes cantidades de semillas.

El conocimiento actual sobre la historia natural de *O. derbianus* se ha generado principalmente en la Zona Núcleo I en la RBET, motivado en parte por el interés en la conservación de la biodiversidad de esta zona, incluso desde antes de que fuera designada como un ANP (INE 1999) y también por el interés de diversas universidades, centros de investigación y ONG del país. La designación como reserva de la biosfera, condujo entre otras cosas, a la implementación de la infraestructura necesaria que permitió la realización de diversos estudios en la zona, algunos de largo plazo.

Dos acontecimientos de vital importancia para el estudio y conservación del pavón tanto en México como en Guatemala, fueron: a) la constitución en 2002 del “Comité Internacional para la Conservación de *Oreophasis derbianus* y su Hábitat” y b) la creación del fondo “Embajadores de las Nubes”. El Comité Internacional (CI) tiene como responsabilidad primaria la elaboración, implementación y el seguimiento del *Plan de Conservación del Pavón y su Hábitat en México y Guatemala*. El CI evalúa dicho plan mediante la organización de simposios y talleres bianuales en ambos países. El simposio más reciente se realizó del 13 al

14 de noviembre de 2015, en San Cristóbal de las Casas, Chiapas, en donde se actualizaron y definieron nuevas acciones para el plan de conservación y se expusieron los avances en estudios puntuales y diferentes estrategias de manejo y conservación. El fondo “Embajadores de las Nubes”, es un esfuerzo combinado de varias instituciones zoológicas (Africam Safari-México, Saint Louis Zoo-EUA, Vogelpark Walsrode-Alemania y Crax International-Bélgica) y se constituyó para generar recursos económicos que apoyen la realización de proyectos de conservación *in situ* del pavón y su hábitat. Sin duda, este fondo ha incidido de manera sustancial en el avance del conocimiento y conservación de *O. derbianus* en ambos países. Por tanto, la creación e integración de ambas estrategias es un buen ejemplo y un gran esfuerzo para la conservación de una especie en riesgo, al menos en la región mesoamericana, que bien pudiera replicarse en otras especies y sistemas biológicos en alguna categoría de amenaza.

La integración, consolidación y coordinación de una red entre diversos colaboradores para el estudio y monitoreo de *O. derbianus* en toda su área de distribución es esencial para diseñar e implementar estrategias globales para su conservación a largo plazo. Esta red de colaboración debe ser transparente, incluyente y debe definir las funciones específicas y los modos de coordinación de cada uno de los colaboradores desde la generación de datos en campo, su análisis, el almacenamiento de datos e información, hasta el flujo de dicha información entre todos los colaboradores y usuarios de la misma. Esta estructura de colaboración podría constituirse en la base para crear una red más amplia que evalúe la diversidad biológica y el funcionamiento ecosistémico regional, más allá de *O. derbianus*.

Recomendaciones y consideraciones

Aunque hemos tenido avances sustanciales en el conocimiento sobre la historia de vida del pavón, tanto en México como en Guatemala, aún se requiere de la implementación de estudios y acciones que deriven en un mejor entendimiento de los factores biológicos, ecológicos y sociales que permitan y orienten la implementación de estrategias de manejo y conservación a largo plazo. Algunos de los estudios y acciones necesarios en el corto, mediano y largo plazos son:

- a) Implementar un estudio y monitoreo sobre los patrones ecológicos y fenológicos de las especies vegetales más importantes como recursos alimentarios del pavón para relacionar dichos patrones con su abundancia y patrones reproductivos, y evaluar también sus respuestas fisiológicas y etológicas a cambios ambientales.
- b) Continuar y fortalecer el programa de monitoreo poblacional de largo plazo en las reservas de la biosfera El Triunfo y Volcán Tacaná.
- c) Realizar exploraciones en la RBET para conocer con precisión su distribución, con énfasis en las zonas núcleo II a V.
- d) Evaluar el estado de conservación de las poblaciones de pavón y su hábitat en los Chimalapas, Oaxaca.
- e) Conocer los patrones de movimiento estacional e identificar los mecanismos que determinan la ocupación, abundancia y su variación espaciotemporal a diferentes escalas con el uso de telemetría convencional y satelital.
- f) Evaluar el papel del pavón en la dinámica del BMM en los Chimalapas, la RBET y el Volcán Tacaná.
- g) Estudiar el patrón vocal diurno y estacional, así como la variación individual de los llamados de machos adultos silvestres mediante el monitoreo acústico, como un método no invasivo, usando sistemas autónomos de grabación.
- h) Evaluar el patrón de uso de bañaderos y su importancia en el ciclo biológico del pavón mediante el uso de trampas-cámara.
- i) Establecer y consolidar otras ANP: los Chimalapas, Volcán Cerro Tres Picos, Área de Protección de Recursos Naturales La Frailescana, Cordón Pico El Loro-Paxtal y la reserva binacional México-Guatemala en el Volcán Tacaná.
- j) Proteger y en su caso realizar acciones de restauración ecológica de los BMM que están experimentando un acelerado proceso de degradación y fragmentación en la Sierra Madre de Chiapas.
- k) Mantener corredores de vegetación en buen estado de conservación en toda la Sierra Madre de Chiapas.
- l) Evitar la minería a cielo abierto en los BMM dentro y fuera de las ANP.

- m) Asegurar poblaciones viables en cautiverio a través de la implementación y fortalecimiento de programas de investigación, manejo genético y demográfico para una potencial reintroducción de los descendientes.
- n) Implementar programas de educación ambiental y alternativas de manejo y aprovechamiento sustentable (ecoturismo, turismo rural, aviturismo, desarrollo comunitario, festivales) en las reservas de la biósfera El Triunfo y Volcán Tacaná, y en la región de los Chimalapas.
- o) Organizar un programa de intercambio de experiencias entre los actores locales (monitores, tomadores de decisiones) sobre conservación, restauración, aviturismo, desarrollo sostenible y monitoreo poblacional, con el fin de socializar los conocimientos generados.

Agradecimientos

Agradecemos el financiamiento otorgado por Embajadores de las Nubes, Saint Louis Zoo WildCare Institute, el Comité Internacional para la Conservación de *Oreophasis derbianus* y su Hábitat, Idea Wild, Africam Safari, Zoológico Miguel Álvarez del Toro, Vida Silvestre Dr. Jesús Estudillo López (El Nido), Cornell Lab of Ornithology. Al Instituto de Ecología, AC y a El Colegio de la Frontera Sur por los apoyos complementarios para la realización de este estudio. A la CONANP y a la RBET por todas las facilidades y apoyos otorgados para la coordinación e implementación del trabajo en la Zona Núcleo I de la propia reserva. A todo el personal de la reserva, particularmente a A. Gálvez Gálvez, E. López Gálvez, I. Gálvez Gálvez, R. Gálvez Roblero y R. Mengchu Guerrero. A todos los estudiantes y voluntarios por su ayuda en las diversas actividades en campo en la RBET y áreas circundantes.

Referencias bibliográficas

- Andrle, R. F. 1967. The Horned Guan in Mexico and Guatemala. Condor 69: 93-109.
- Berlio, L. R. G. 2014. Patrones de ocupación de tres especies de aves amenazadas en el polígono I de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas. Informe de

Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. México, DF.

BirdLife International. 2013. *Oreophasis derbianus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T22678453A48053685. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-2.RLTS.T22678453A48053685.en>. Downloaded on **06 March 2016**.

Brooks, D. M. (Editor) 2006. Conserving cracids: The most threatened family of birds in the Americas. Miscellaneous Publications of the Houston Museum of Natural Science 6. Houston, Texas.

Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham y J. L. Laake. 1993. Distance Sampling. Estimating abundance of biological populations. Chapman y Hall. London.

Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, J. L. Laake, D. L. Borchers y L. Thomas. 2004. Advanced Distance Sampling. Estimating abundance of biological populations. Oxford University Press. New York.

Campbell, B. y E. Lack. 1985. A Dictionary of Birds. British Ornithologist's Union. T & A D Poyser. London.

Cancino, L. y D. M. Brooks. 2006. Conservando crácidos: la familia de aves más amenazadas de las Américas. Miscelaneous Publications of the Houston Museum of Natural Science, Number 6. Houston, Texas.

Catchpole, C. K, y P. J. Slater. 1995. Bird Song: Biological Themes and Variations. Cambridge: Cambridge University Press.

Challenger, A. 1998. Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado, Presente y Futuro. CONABIO, Instituto de Biología, UNAM, Agrupación Sierra Madre, S.C. México, D.F.

Collar, N. J., L. P. Gonzaga, N. Krabbe, A. Madroño Nieto, L.G. Naranjo, T. A. Parker III y D.C. Wege. 1992. Threatened Birds of the Americas. The ICBP/IUCN Red Data Book (Third edition, part 2). Cambridge, UK: International Council for Bird Preservation.

Delacour, J. y D. Amadon. 2004. Curassows and related birds. Segunda edición. Lynx Editions and The National Museum of Natural History, Barcelona and New York.

- del Hoyo, J., A. Elliott y J. Sargatal (Eds.). 1994. Handbook of the Birds of the World. Vol.4. Lynx Ed., Barcelona, Spain.
- del Hoyo, J. y A. Motis. 2004. Update chapter. In Curassows and related birds, J. Delacour y D. Amadon. Segunda edición. Lynx Editions and The National Museum of Natural History. Barcelona and New York.
- Falls J. B. 1982. Individual recognition by sound in birds. In Acoustic Communication in Birds. Vol. 2. Song Learning and its consequences (D. E. Kroodsma, E. H. Miller, H. Oullet, Editors). Academic Press, New York. pp. 237–278.
- Gómez de Silva, G. H., F. González-García y M. P. Casillas-Trejo. 1999. Birds of the Upper Cloud Forest of El Triunfo, Chiapas, Mexico. *Ornitología Neotropical* 10 (1):1-26
- González-García, F. 1984. Aspectos biológicos del pavón *Oreophasis derbianus* G. R. Gray (Aves: Cracidae) en la reserva natural El Triunfo, Municipio de Ángel Albino Corzo, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Facultad de Biología. Xalapa, Veracruz, México.
- González-García, F. 1986. Description and development of Horned Guan's chicks *Oreophasis derbianus* under captive conditions. XIX Congressus Internationalis Ornithologicus. Ottawa, Canada, 22-29 June, 1986.
- González-García, F. 1991. Observaciones sobre la ecología y biología reproductiva del Pavón *Oreophasis derbianus* en la Reserva de la Biosfera "El Triunfo". Chiapas, México. IV Congreso de Ornitología Neotropical, Quito, Ecuador.
- González-García, F. 1993. Illegal trade of Horned Guans. *The Cracid Newsletter* 2:7.
- González-García, F. 1994. Behavior of horned guans in Chiapas, Mexico. *Wilson Bulletin* 106: 357-365.
- González-García, F. 1995. Reproductive biology and vocalizations of the Horned Guan *Oreophasis derbianus* in Mexico. *Condor* 97:415-426.
- González-García, F. 1997a. Crecimiento y Desarrollo de *Oreophasis derbianus* bajo condiciones de cautiverio. In *The Cracidae: Their Biology and Conservation* (S. D. Strahl, S. Beaujon, D. M. Brooks, A. J. Begazo, G. Sedaghatkish, y F. Olmos, Editors). Hancock House Publ., WA. pp. 140-145.
- González-García, F. 1997b. Distribución del pavón *Oreophasis derbianus* en México: Pasado, Presente y Futuro. In *The Cracidae: Their Biology and*

- Conservation (S. D. Strahl, S. Beaujon, D. M. Brooks, A. J. Begazo, G. Sedaghatkish, y F. Olmos, Editors). Hancock House Publ., WA. pp. 211-216
- González-García, F. 1997c. Conducta de anidación del pavón *Oreophasis derbianus*: Aves, Cracidae) en la Reserva de la biosfera El Triunfo, Chiapas, México. In The Cracidae: Their Biology and Conservation (S. D. Strahl, S. Beaujon, D. M. Brooks, A. J. Begazo, G. Sedaghatkish, y F. Olmos, Editors). Hancock House Publ., WA. pp. 418-422
- González-García, F. 2001. Estado de conservación del pavón *Oreophasis derbianus* en el campo y en cautiverio en México. In Biology and Conservation of Cracids in the New Millenium (D.M. Brooks y F. González-García, Editors). Miscellaneous Publications of the Houston Museum of Natural Science, Number 2, Houston, Texas. pp. 147-166
- González-García, F. 2005. Dieta y comportamiento de forrajeo del pavón *Oreophasis derbianus* en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- González-García, F., M. A. Martínez-Morales, A. Abundis-Santamaría, J. A. Rivas-Romero, J. M. Quiñónez-Guzmán, J. Rodríguez-Acosta, J. L. Rangel-Salazar, C. A. Guichard- Romero. 2017. Protocolo estandarizado para el seguimiento poblacional del pavón, *Oreophasis derbianus*: propuesta de métodos de campo y analíticos. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología* 18(1):00-00.
- González-García, F., y P. Bubb. 1989. Estudio y Conservación del Pavón *Oreophasis derbianus* en la Sierra Madre de Chiapas, México. Informe de Actividades. Instituto de Ecología, Wildlife Conservation International.
- González-García, F., J. A. R. Romero y A. J. C. Carranza. 2006. Pavón de Cacho (*Oreophasis derbianus*). In Conserving Cracids: the most threatened family of birds in the Americas (D.M. Brooks, Editor). Miscellaneous Publications of the Houston Museum of Natural Science, Number 6, Houston, Texas. pp. 40-45.
- Heath, M. y A. Long. 1991. Habitat, distribution and status of the Azure-rumped Tanager *Tangara cabanisi* in Mexico. *Bird Conservation International* 1:223-254.

- IDESMAC (Instituto para el Desarrollo Sustentable de Mesoamérica, A. C.). 1997. Análisis sobre los cambios de uso del suelo y cobertura vegetal en la Reserva de la Biosfera El Triunfo. IDESMAC, WWF. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.
- INE (Instituto Nacional de Ecología). 1999. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP, México, D.F.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources; en línea). 2015. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015.4. <www.iucnredlist.org> (consultado 13 de enero de 2016).
- Long, A. y M. Heath. 1991. Flora of the El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico: a preliminary floristic inventory and the plant communities of polygon I. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Autónoma de México, Serie Botánica* 62 (2):133-172.
- MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, G. B. Lachman, S. Droege, J. A. Royle, C. A. Langtimm. 2002. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology* 83:2248-2255.
- MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, J. E. Hines, M. G. Knutson y A. B. Franklin. 2003. Estimating Site Occupancy, Colonization, and Local Extinction When a Species is Detected Imperfectly. *Ecology* 84: 2200-2207.
- MacKenzie, D. I., J. A. Royle, J. A. Brown, y J. D. Nichols. 2004. Occupancy Estimation and Modeling for Rare and Elusive Populations. In *Sampling Rare or Elusive Species, Concepts, Designs, and Techniques for Estimating Population Parameters* (William L. Thompson, Editor). Washington, DC. pp. 149-172
- MacKenzi, D. I., J. D. Nichols, J. A. Royle, K. H. Pollock, L. L. Bailey, J. E. Hines. 2006. *Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence*. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Martínez-Morales, M. A., F. González-García, P. L. Enríquez, J. L. Rangel Salazar, D. A. Navarrete Gutiérrez, C. A. Guichard Romero, A. Tobón Sampedro, G.E. Pinilla Buitrago, Gonzalo Enrique. 2013. Modelos de distribución actual y futura de los crácidos presentes en México. El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Campeche. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. JM024. México, D.F.

- Møller, A. P. y W. Liang. 2013. Tropical birds take small risks. *Behavioral Ecology* 24:267-272.
- Olson, I. A. S. y L. J. Keeling 2005. Why in earth? Dustbathing behaviour in jungle and domestic fowl reviewed from a Tingergian and animal welfare prespective. *Applied Animal Behaviour Science* 93: 259-282.
- Peterson, A. T., V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, J. Bartley, R. W. Buddemeier y A. G. Navarro-Sigüenza. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling* 144:21-30.
- Peterson, A. T. y A. G. Navarro-Sigüenza. 2016. Bird conservation and biodiversity research in Mexico: status and priorities. *Journal of Field Ornithology* 87(2): 121-132.
- Ponce-Reyes, R., V. H. Reynoso-Rosales, J. E. M. Watson, J. VanDerWal, R. A. Fuller, R. L. Pressey y H. P. Possingham. 2012. Vulnerability of cloud forest reserves in Mexico to climate change. *Nature Climate Change* 2:448-452.
- Rojas-Soto, O. R., V. Sosa y J. F. Ornelas. 2012. Forecasting cloud forest in Eastern and southern Mexico: conservation insights under future climate change scenarios. *Biodiversity and Conservation* 21: 2671-2690.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - especies nativas de México y de flora y fauna silvestres - categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, México, DF.
- Solórzano, L. S. 1995. Fenología de 22 especies arbóreas y su relación con la migración altitudinal del quetzal (*Pharomachrus mocinno mocinno* De la Llave 1832) en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Vannini, J. P. y P. M. Rockstroh. 1997. The status of cracids in Guatemala. In *The Cracidae: Their Biology and Conservation* (S.D. Strahl, S. Beaujon, D.M. Brooks, A.J. Begazo, G. Sedaghatkish y F. Olmos, Editors). Hancock House Publishers, Canadá y EUA. pp. 326-334.

Williams-Linera, G. 1991. Nota sobre la estructura del estrato arbóreo del bosque mesófilo de montaña en los alrededores del campamento El Triunfo, Chiapas. *Acta Botánica Mexicana* 13:1-7.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

SECCIÓN IV.

4.1 CONCLUSIONES

CONCLUSIONS GENERALES

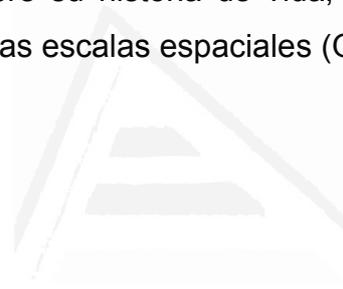
1. Los pavones en cautiverio emitieron un tren de llamados estereotipados de frecuencia baja, donde cada llamado está formado por siete notas que variaron en duración y ancho de banda en frecuencia. La variación interindividual de llamados entre machos adultos del pavón bajo condiciones de cautiverio, sugiere una distinción entre individuos, y tal distinción permanece estable en el tiempo, al menos, durante un par de años, información fundamental para el monitoreo acústico de la población silvestre.
2. Las variables con diferencias significativas entre individuos se relacionan con el dominio temporal, es decir, con la duración de las notas y el intervalo entre notas. La discriminación entre individuos estuvo fuertemente asociada con la duración de la segunda sección del llamado (4 notas) y por la duración de la quinta y tercera notas.
3. Dado que el pavón habita en un bosque con vegetación densa donde la captura, manipulación y marcaje de individuos son difíciles y complicadas por diversas razones, la identificación de individuos por vocalizaciones puede ser una herramienta alternativa para el seguimiento de las poblaciones silvestres. La implementación de un programa de monitoreo acústico pasivo basado en la identificación individual podría generar información sobre la historia biológica y contribuir a la mejora de los modelos de conservación y manejo.
4. El pavón es un cracido con hábitos frugívoro-folívoro. Durante la temporada reproductiva el pavón se alimentó principalmente de frutos de seis especies de plantas (*Symplocarpum purpusii*, *Citharexylum mocinnii*, *Morus insignis*, *Dendropanax sp.*, *Conostegia volcanalis* and *Hedyosmun mexicanum*).
5. Los pavones consumieron tanto en la época reproductiva como en la no reproductiva hojas tiernas de once taxones, siendo las más frecuentes

Solanum appendiculatum y de *P. brachybotrya*. En la reserva de la biófera el Triunfo el pavón se alimenta de 63 especies de 32 familias, y a lo largo de su distribución geográfica de 101 especies. En El Triunfo, para 48 especies sólo se consumen frutas, mientras que para 11 especies el consumo se limita a las hojas, y las flores para una sola especie. Para cuatro especies se consumen tanto los frutos como las hojas.

6. Los machos consumen una mayor proporción de frutos y menor proporción de hojas que las hembras, y los machos tienden a usar árboles más altos y a forrajear en estratos más altos que las hembras.
7. La densidad global estimada para el pavón en la zona de estudio fue de 5.40 ± 0.64 individuos/km² (N = 144 observaciones; IC 95% = 4.29-6.81). La densidad estimada para las temporadas reproductivas varió de 2.21 a 8.94 individuos/km² y para las temporadas no reproductivas varió de 1.65 a 4.97 individuos/km²
8. El pavón, probablemente es el primer crácido que cuenta con un protocolo de muestreo en campo y métodos analíticos estandarizados para su estudio poblacional. Esta propuesta está basada en nuestra experiencia con el monitoreo poblacional de la especie y en la aplicación de la teoría del muestreo de distancias. El propósito de este protocolo estandarizado es generar datos de campo de calidad para obtener estimaciones robustas de la abundancia poblacional del pavón. Como resultado de esta experiencia, definimos una serie de lineamientos básicos y factibles que proponemos sea un estándar como métodos de muestreo y analíticos de las poblaciones de *O. derbianus* para asegurar la calidad y comparabilidad de los datos generados en campo.
9. El futuro no parece prometedor para el pavón, al considerar que vive en bajas densidades, tiene un rango geográfico restringido, preferencias de hábitat especializadas y una dieta basada en un pequeño conjunto de especies de plantas del bosque mesófilo de montaña. Se predice que esta especie se verá muy afectada por el cambio climático, y se espera una reducción del hábitat y aumento de la variación e incertidumbre en la producción de frutos. Las investigaciones deberán orientarse hacia la

conservación para un manejo efectivo del pavón y las especies de plantas asociadas de tal modo que se garantice la permanencia de los bosques mesófilos de montaña de México y Guatemala.

10. En conclusión, esta investigación pone de manifiesto la importancia de profundizar en la ecología e historia natural de las especies de aves en alguna categoría de riesgo (IUCN 2016), y donde la historia natural es relevante porque permite generar conocimientos detallados sobre el sistema de estudio, entendiendo a la historia natural como la observación y descripción del mundo natural (Ojeda 2014). En este caso, el pavón *O. derbianus*, un crácido de montaña con características elusivas, en peligro de extinción y de hábitat y distribución restringidos. La información generada sobre aspectos de su biología básica, son fundamentales en el conocimiento sobre su historia de vida, y sus interacciones bióticas y abióticas a distintas escalas espaciales (Ojeda 2014).



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universidad de Alicante