

# Desarrollo de un modelo espacial explícito de hábitat para la paraba jacinta (*Anodorhynchus hyacinthinus*) en el Pantanal boliviano (Santa Cruz, Bolivia)

A spatial explicit habitat model for the Hyacinth Macaw (*Anodorhynchus hyacinthinus*) in the Bolivian Pantanal (Santa Cruz, Bolivia)

Jesús N. Pinto-Ledezma<sup>1,2,3</sup>, X. Vanessa Sandoval<sup>3</sup>, Valkiria N. Pérez<sup>1,3</sup>, Thania J. Caballero<sup>1,3</sup>, Katherine Mano<sup>1,3</sup>, Marco A. Pinto Viveros<sup>1,3</sup> & Ronald Sosa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Carreras de Biología y Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. El Vallecito Km. 9 carretera al Norte, Casilla de Correos 702, Santa Cruz, Bolivia

Autor de correspondencia: [jesuspintoledezma@gmail.com](mailto:jesuspintoledezma@gmail.com)

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás, Campus II, Goiânia, Goiás, 74001-970, Brasil

<sup>3</sup>Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. Av. Irala 565, Casilla de Correos 2489, Santa Cruz, Bolivia

## Resumen

Debido a la actual crisis ambiental muchas poblaciones de aves están declinando rápidamente, a causa de las acciones antrópicas que conllevan a la destrucción de sus hábitats. El objetivo de este estudio fue modelar relaciones entre las características del paisaje y la presencia de la paraba jacinta (*Anodorhynchus hyacinthinus*), para generar un mapa espacial explícito que indica las áreas potencialmente adecuadas para la conservación de la especie en el Pantanal boliviano. Se desarrolló un modelo basado en una función de selección de recursos (RSF) en base a coberturas espaciales y datos de la especie. El modelo provee datos cuantitativos sobre los hábitats e indica áreas adecuadas para la paraba Jacinta en base a la probabilidad relativa de detectar la especie en el área de estudio, como una respuesta de la especie a una agrupación de variables de hábitat. El modelo seleccionado presenta el menor valor de Delta AICc ( $\Delta = 0$ ) de todos los modelos considerados, además que muestra una exactitud alta (AUC = 0.856,  $P < 0.05$ ). Nuestros resultados indican que es posible desarrollar modelos espaciales explícitos en base a datos de presencia de las especies y datos de coberturas, que indican la idoneidad de los paisajes para la especie objetivo. Sin embargo, este es el primero para la región, por lo cual el modelo aquí presentado debe ser considerado como exploratorio.

**Palabras clave:** *Anodorhynchus hyacinthinus*, Conservación, Hábitat, Modelos espaciales, Pantanal boliviano.

## Abstract

Given the current conservation crisis, many bird populations are declining due to anthropogenic actions that lead to the destruction of its habitats. The aim of the present study is to model the relationship between landscape characteristics and the presence of the Hyacinth Macaw (*Anodorhynchus hyacinthinus*), to generate a spatial explicit map, that indicate the potential suitable areas for the conservation of this species in the Bolivian Pantanal. We develop a resource selection

function model (RSF), based on spatial landcover data and species data. This model provides quantitative data on habitats and indicates the suitable areas for hyacinth macaw based on the relative probability of detecting the species in the study area as a response of the species to a group of habitat variables. The selected model has the lowest value of Delta AICc ( $\Delta = 0$ ) of all models considered, also showing a high accuracy (AUC = 0.856,  $P < 0.05$ ). Our findings indicate that it is possible to develop spatially explicit models based on species occurrence data and landcover data, which indicate the suitability of landscape for target species. However, this is the first for the region, for that the model presented here must be considered as exploratory.

**Keywords:** *Anodorhynchus hyacinthinus*, Bolivian Pantanal, Conservation, Habitat, Spatial models.

## Introducción

Debido a la actual crisis ambiental, las poblaciones de distintas especies están declinando rápidamente, a causa de las acciones antrópicas que conllevan a la destrucción de sus hábitats (DeGraaf & Rappole 1995, Marzluff & Sallabanks 1998). En consecuencia, para mantener las poblaciones de manera estable, se requiere la conservación y el manejo del hábitat donde estas habitan y hacen uso de sus recursos (Carter *et al.* 2006), donde un elemento base para el éxito de estas acciones es el conocimiento de la distribución espacial de las especies y las relaciones de estas con sus hábitats, puesto que la conservación es más efectiva cuando los esfuerzos se centran en los hábitats identificados como adecuados para una especie de interés (Pinto-Ledezma 2009).

La paraba jacinta (*Anodorhynchus hyacinthinus*) es el psitácido más grande del mundo y se encuentra distribuido en Brasil, Bolivia y Paraguay (Collar 1997). A nivel global es considerada como una especie En Peligro (EN) (Birdlife International 2013), debido al rápido decrecimiento de sus poblaciones a causa del tráfico ilegal y pérdida de su hábitat (Snyder *et al.* 2000, Birdlife International 2013). A nivel nacional es considerada Vulnerable (Herrera 2009), estimándose una población de 300 individuos distribuidos al este del departamento de Santa Cruz en el Pantanal boliviano (Herrera 2009). Generalmente habita bordes de bosques húmedos de tierras bajas,

palmares de sabanas, bosques secos abiertos con bosques de galería y palmares (Collar 1997). En Bolivia, habita principalmente áreas pantanosas, sabanas arboladas y palmares que se inundan de manera estacional (Collar *et al.* 1992). Si bien la especie y sus hábitats se encuentran dentro de dos áreas protegidas (Área Natural de Manejo Integrado San Matías y Parque Nacional Noel Kempff) aunque de este último solo se tiene reportes no confirmados por especialistas, la especie no se encuentra libre de amenazas, porque la ganadería extensiva (principal actividad económica del Pantanal), está siendo reemplazada por modelos de ganadería más intensivos provocando la degradación de la vegetación natural por la deforestación y la fragmentación de los bosques (Seidl *et al.* 2001, Harris *et al.* 2005, Pinto-Ledezma & Rivero 2013). Este cambio de tecnologías representa un problema importante para la conservación de la especie, puesto que disminuye el reclutamiento de poblaciones del sujo (*Sterculia apetala*) (Batista & Nogueira 2003) principal especie arbórea donde la paraba establece sus nidos (Guedes & Harper 1995, Batista & Nogueira 2003, Pizo *et al.* 2008) y aumentando la competencia por cavidades para establecer sus nidos con otras especies de aves (Guedes & Harper 1995, Guedes 2002), mamíferos y abejas (Snyder *et al.* 2000).

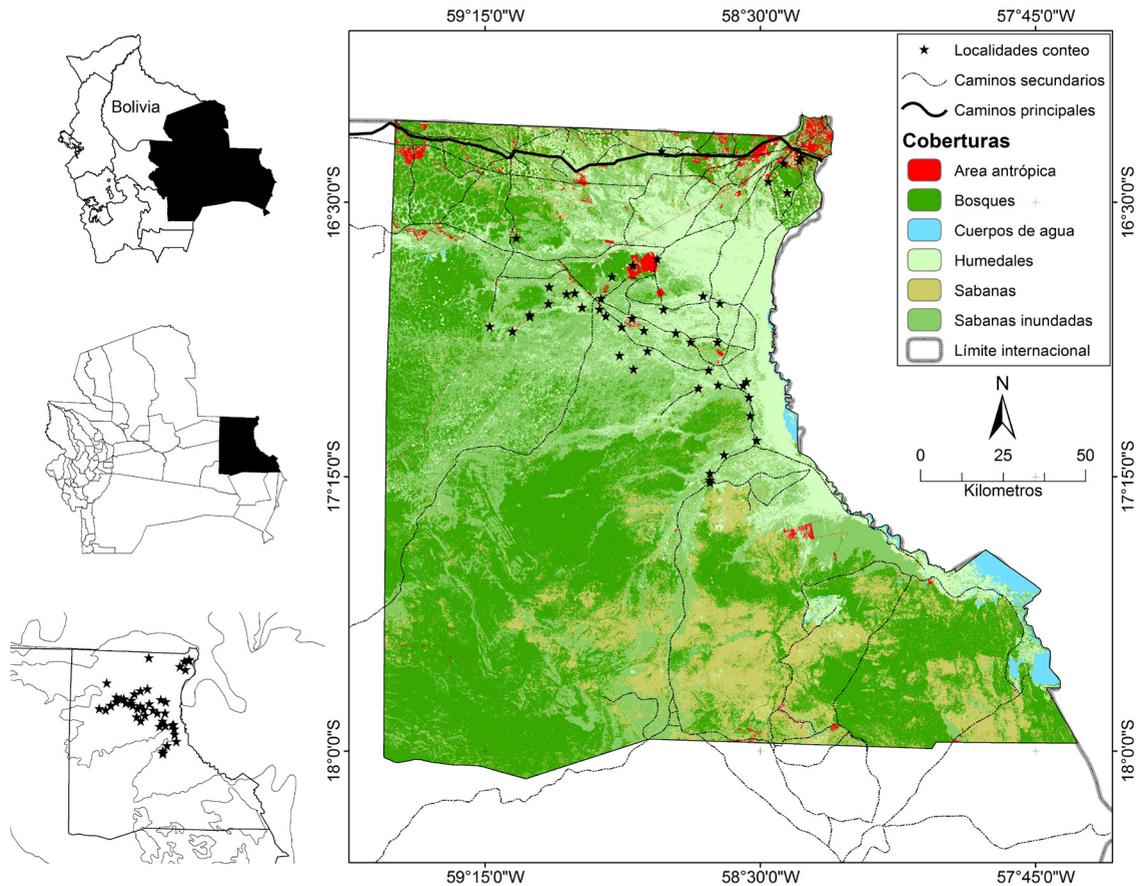
En base a lo expuesto anteriormente, en este artículo, modelamos las relaciones entre las características del paisaje y la presencia de la paraba jacinta (*Anodorhynchus hyacinthinus*),

con el propósito de generar un mapa espacial explícito que indica las áreas potencialmente adecuadas para la conservación de la especie en el Pantanal boliviano.

### Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo al este de Bolivia en el Pantanal boliviano, más específicamente en el ANMI San Matías (Fig. 1), que tiene una superficie de 2.918.500 hectáreas. Fisiográficamente es un área plana

a suavemente ondulada que se encuentra en la zona de piedemonte formando una sucesión progresiva de planicies aluviales de diferentes alturas denominadas terrazas (alta, media, baja), que determinan la presencia de sectores con anegación permanente y temporal a solo de forma ocasional (Ibisch *et al.* 2003, Navarro & Ferreira 2004). Las particularidades geológicas, geomorfológicas, edáficas, el sistema hidrológico y la influencia del clima determinan severas restricciones al uso del suelo, lo que hace que esta zona no



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio. Se indica las localidades donde se realizaron los conteos de la paraba jacinta (*Anodorhynchus hyacinthinus*), así como también las coberturas que fueron incluidas en el desarrollo del modelo de hábitat.

haya sido tan afectada con las actividades antrópicas intensivas (Pinto-Ledezma 2010, Pinto-Ledezma & Rivero 2013). Debido a que es un ecosistema de humedal, depende del ciclo de inundaciones y de acuerdo a esto se pueden distinguir: sabanas, zonas inundadas, parches de bosque húmedo, bosque de galería y pantanos que actúan como sumideros que previenen las inundaciones (Scott & Carbonell 1986), formando paisajes heterogéneos tanto espacial como temporalmente (Kux & Henebry 1997).

## Métodos

### Diseño experimental en campo

Se seleccionaron localidades donde se realizaría el muestreo de la paraba jacinta y sus hábitats, basado principalmente en los siguientes criterios: a) presencia/ausencia confirmada de la especie en una localidad, b) abundancia relativa de la especie por localidad, c) accesibilidad. Los dos primeros criterios se basaron en datos de estudios previos sobre la especie (Herrera 2009, Mamani & Estévez 2009, Pinto-Ledezma *et al.* 2011), siendo las distancias entre localidades variable (~ 5-10 km) (Fig. 1). En cada localidad se midieron características de hábitat y la presencia/ausencia y abundancia de la especie. Con el propósito de minimizar doble conteo, cada localidad fue muestreada de manera intensa por las mañanas, esto permitió maximizar las detecciones y minimizar el conteo erróneo de las aves volando en cada localidad (Casagrande & Beissinger 1997, Pinto-Ledezma *et al.* 2011).

### Datos de la especie

Los datos de la especie se colectaron entre noviembre-diciembre (21 días) 2010, enero-febrero (18 días) 2011 y septiembre-octubre (24 días) 2013, fechas que corresponden con la época reproductiva de la especie. En cada localidad, se realizaron censos poblacionales

de la especie. Los conteos se realizaron entre las 06:30 y las 10:30 periodo en cual la especie se encuentra más activa y el método empleado fue una combinación de conteos por puntos y transectos de línea variable (Ralph *et al.* 1996, Pinto-Ledezma *et al.* 2011), esto permitió cubrir un área representativa de una región y mejorar la probabilidad de detección de las especies (Casagrande & Beissinger 1997, Pinto-Ledezma *et al.* 2011). Usamos binoculares (Bushnell Legacy 10 x 50) como apoyo y en algunos casos hicimos uso de un telescopio (Bushnell Elite 20 x 60) para asegurar la correcta identificación de la especie cuando esta se encontraba distante. Solo los individuos perchados en su locación inicial de detección fueron contados (Buckland *et al.* 1993) y cada locación fue georeferenciada usando un GPS (Etrex Vista HX) y se anotaron la fecha, hora, número de individuos.

También se desarrollaron entrevistas informales con el propósito obtener datos sobre la localización de la paraba Jacinta y sus nidos, el número de individuos, además la percepción local sobre la importancia de la especie para conservar. Dichas entrevistas se realizaron a los pobladores de la comunidad Candelaria (~ 63 familias), y a los propietarios y/o encargados de las propiedades ganaderas (localidades) donde se encuentra la especie.

### Datos de coberturas

Las coberturas usadas para el desarrollo del modelo fue extraída del mapa de cobertura y uso actual de la tierra para el departamento de Santa Cruz (CyCUS) (GADSC 2007), mismo que fue recodificado en: bosque, sabana, sabana inundada, humedal, áreas antrópicas y cuerpos de agua (Fig. 1). Para un detalle explicativo de las coberturas usadas en la construcción del modelo leer la "Memoria explicativa del CyCUS", disponible en [http://www.museoelkempff.org/sitio/info\\_geografia3.php?id=21](http://www.museoelkempff.org/sitio/info_geografia3.php?id=21).

Extrajimos muestras de las coberturas (Tabla 1) a través de un análisis de ventana móvil, que resume los datos dentro de una ventana de un

**Tabla 1.** Variables individuales usadas para determinar las asociaciones entre la presencia de la paraba jacinta y las características de paisaje en el Pantanal boliviano (Provincia Ángel Sandoval, Santa Cruz). Leyenda: \*= Características de paisaje incluidas como variables individuales, calculadas para cada cobertura del mapa CyCUS.

Variable de paisaje	Descripción	Media	EE
Bosques (%)	Cubiertas boscosas existentes en el área de estudio	19.41	12.11
Sabanas inundadas (%)	Áreas de sabanas que se inundan de manera estacional	45.86	2.88
Sabanas (%)	Grandes extensiones planas de pastizales naturales que no se inundan	1.70	0.29
Humedales (%)	Todas las áreas que están sujetas a inundaciones en algunas épocas del año o permanentemente	37.47	2.95
Áreas antrópicas (%)	Incluye todas las áreas de uso antrópico o cultural, desde agricultura a ganadería en pastos cultivados	7.84	2.11
Cuerpos de agua (%)	Incluye lagunas, ríos y cuerpos de agua estacionales	0.03	0.02
MPS* (ha)	Tamaño medio de los parches para todas las coberturas	14.11	0.67
ENMNN* (m)	Distancia euclidiana media entre parches para todas las coberturas	270.02	8.41
PD* (n)	Densidad de parche para todas las coberturas	8.29	0.57
IJI* (n)	Índice de yuxtaposición e interspersión para todas las coberturas	41.47	4.18

tamaño seleccionado alrededor de cada celda en una capa de datos (Niemuth *et al.* 2005). Para esto se seleccionaron el tamaño de ventana de 1 km ya que el área de uso habitual de la especie no sobrepasa 1 km<sup>2</sup> (Pozza *et al.* 1998). Este tamaño de ventana fue seleccionado porque una escala adecuada para el análisis del paisaje se define por el rango de autonomía de un individuo o grupo de individuos en el desempeño de una función particular (Wiens *et al.* 1986). También, extrajimos datos de la configuración espacial de los paisajes a nivel de clase (Tabla 1) como variables predictoras adicionales para

el desarrollo del modelo, puesto que estas variables ayudan a interpretar la configuración del paisaje y sus efectos sobre una cobertura particular (McGarigal & Cushman 2002).

### Desarrollo del modelo

Se usaron los datos de campo (es decir, localidades de presencia de la especie) y el mapa de CyCUS para desarrollar un modelo en base a una función de selección de recursos (RSF, Manly *et al.* 2004, Basch *et al.* 2010), asumiendo la probabilidad relativa de que las

características del paisaje pueden predecir el uso de una unidad de paisaje (Niemuth 2003, Niemuth *et al.* 2005), indicando la idoneidad relativa de las condiciones ambientales de un determinado hábitat con respecto a la presencia de las especies (Banner & Schaller 2001, Pinto-Ledezma 2009). La RSF se desarrolló de acuerdo con el modelo:

$$W^*(x) = (\beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_px_p)$$

Donde,  $W^*(x)$  = probabilidad de la función de selección de recursos (RSF) y  $\beta_i$  = coeficientes estimados por la regresión logística que representan la probabilidad de uso de las variables consideradas en el modelo (Manly *et al.* 2004).

Desarrollamos modelos candidatos para la especie y usamos criterios de información de Akaike (siglas en inglés: AIC), para seleccionar los modelos que mejor se ajustan a los datos (Burnham & Anderson 2002, Diniz-Filho *et al.* 2008). Calculamos las diferencias de AIC ( $\Delta_i$ ) para permitir la comparación entre modelos y consideramos que  $\Delta_i < 2$  en la selección final de los modelos (Burnham & Anderson 2002). Finalmente, usamos los modelos de mejor ajuste para crear un modelo cartográfico de ocupación de hábitat que muestra la probabilidad de ocupación potencial en el área de estudio. Para el desarrollo del modelo cartográfico se incorporaron los datos SIG resultantes del análisis de ventana móvil dentro de la ecuación RSF. El desarrollo de este modelo cartográfico se realizó mediante el uso del módulo Spatial Analysis (Map Calculator) de Arc Gis v10.2 (ESRI 2012).

Para evaluar el rendimiento de los modelos usamos un análisis de curvas ROC (Swets 1988), bajo la premisa de que el uso o no uso de las características del paisaje por parte de la especie no es conocido. Los rangos puntuaciones de las curvas ROC van de 0 a 1 e indican la capacidad de un modelo para discriminar entre dos grupos. Una puntuación de 0.5 indica un rendimiento aleatorio y valores más altos

indican una mejor discriminación (Swets 1988). Los modelos de regresión logística y la selección de modelos fueron analizados con el programa Spatial Analysis in Macroecology (Rangel *et al.* 2010) y las curvas ROC con el paquete pROC en la plataforma R (Robin *et al.* 2011).

## Resultados

Un total de 166 individuos (media = 5,454 ± EE = 4,829; moda = 3; mínimo = 1; máximo = 21) de *Anodorhynchus hyacinthinus* fue registrado en 56 localidades para el Pantanal boliviano. En algunas localidades se registró hasta 21 individuos (p.e., Propiedad El Espinal).

### Modelamiento de hábitat

Para cada uno de los modelos generados se presenta el número de variables incluidas, el valor de AICc, la diferencia entre cada modelo y el modelo con menor AICc ( $\Delta$  AICc) y el peso de Akaike ( $W_i$ ) (Tabla 2).

Explorando la relación de las variables predictoras y la presencia de la paraba jacinta en el área de estudio, encontramos 32.767 posibles modelos. De estos modelos, cuatro presentan valores de  $\Delta$  AICc menores que 2.0, siendo las variables de sabanas inundables, los humedales, las áreas antrópicas e IJI-sabanas las variables que mejor predicen la presencia de la especie, por lo que la combinación de estas variables constituyen el mejor modelo ( $r^2=0.619$ ;  $\Delta$  AICc = 0;  $W_i = 0.013$ ) (Tabla 2). En este sentido y de acuerdo a las variables extraídas (Tabla 1) de las coberturas del CyCUS en conjunción con los datos de campo, consideramos que las variables seleccionadas en el modelo cubren las necesidades de cobertura para la especie de estudio, indicado las áreas de interés en el mapa generado (Fig. 2). También es importante mencionar que las variables predictoras del modelo están fuertemente relacionadas con la presencia de la especie ( $r = 0.806$ ), por lo que el mapa generado en base al modelo de probabilidad, identifica las áreas

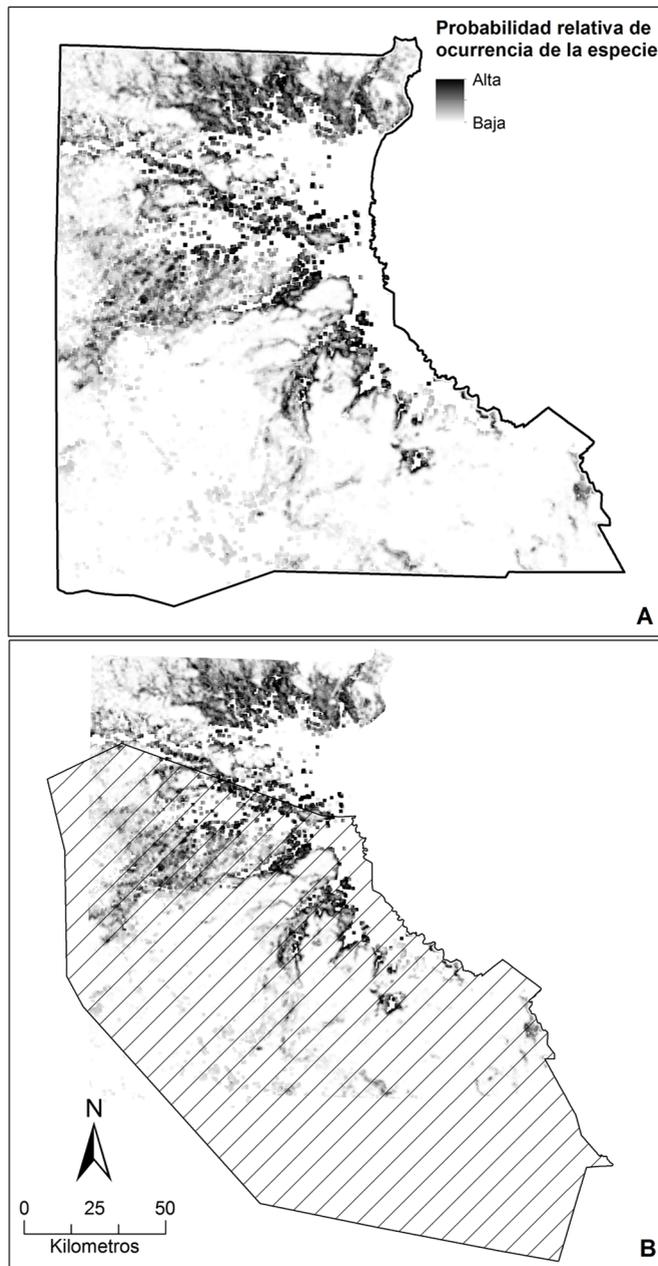
**Tabla 2.** Combinación de variables, diferencias de Akaike ( $\Delta$  AICc), y pesos de Akaike ( $W_i$ ) para los 10 mejores modelos candidatos que predicen la presencia de la paraba jacinta en el Pantanal boliviano. El primer modelo fue el seleccionado para el desarrollo del mapa espacial explícito.

Modelo	$r^2$	AICc	$\Delta$ AICc	AICc $W_i$
Sabanas inundables + Humedales + Áreas antrópicas + IJI-Sabanas	0.619	35.859	0	0.013
Sabanas inundables + Humedales + Cuerpos de agua + Áreas antrópicas + IJI-Sabanas	0.627	37.73	1.871	0.005
Bosques + Sabanas inundables + Humedales + Áreas antrópicas + IJI-Sabanas	0.626	37.83	1.971	0.005
Sabanas inundables + Humedales + Áreas antrópicas + PD-Sabanas	0.6	38.176	2.318	0.004
Sabanas inundables + Humedales + Áreas antrópicas + IJI-Sabanas inundables + IJI-Sabanas	0.576	38.286	2.428	0.004
Sabanas inundables + Humedales	0.622	38.361	2.502	0.004
Sabanas inundables + Humedales + Áreas antrópicas + PD-Sabanas inundables + IJI-Sabanas	0.551	38.363	2.504	0.004
Sabanas inundables + Humedales + Áreas antrópicas + MPS-Sabanas + IJI Sabanas	0.622	38.433	2.574	0.004
Sabanas inundables + Humedales + Áreas antrópicas + ENMNN-Sabanas IJI-Sabanas	0.597	38.559	2.7	0.03

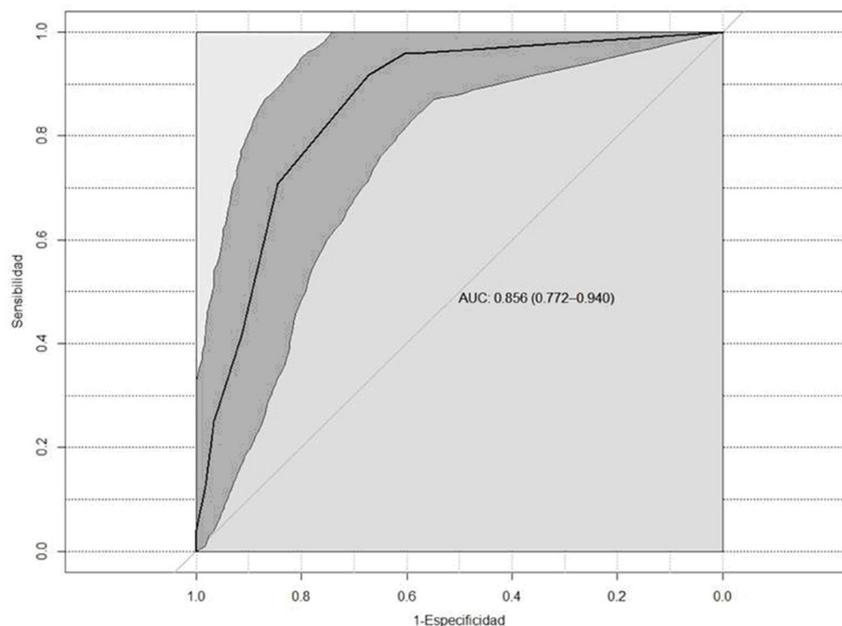
potencialmente adecuadas para *Anodorhynchus hyacinthinus* (Fig. 2).

En el análisis de las curvas ROC (Figura 3) indica un nivel de exactitud alto para el modelo seleccionado (AUC= 0.856; IC= 0.772-0.940;  $P < 0.05$ ), lo cual indica una alta discriminación entre áreas ocupadas y no ocupadas por la especie. Por otro lado, la variable áreas antrópicas (media

= 7.835 +/- EE = 2.113) es reportada como la variable de mayor importancia (0.608) en la selección de modelos, esto podría deberse a que la mayoría de los individuos de la paraba Jacinta fueron registrados en áreas de ganadería extensiva o en pastos naturales (media = 4.375 +/- EE=0.638) y por las observaciones en campo, pudiéndose especular que la ocurrencia de la



**Figura 2.** Modelo espacial explícito generado en base al modelo de mejor ajuste. (A) se indica la probabilidad relativa de detectar la paraba Jacinta en el área de estudio. (B) se muestra sobreposición del área de conservación (ANMI San Matías) sobre el mapa probabilidad de detección de la paraba jacinta.



**Figura 3.** Curva ROC para el modelo hábitat de la paraba jacinta. Se muestra el valor del área bajo la curva (AUC) así como los valores de intervalos de confianza (área gris oscura).

especie está ligada a áreas donde se desarrolla este tipo de actividad.

## Discusión

### Conservación de la especie en Bolivia

La paraba jacinta (*Anodorhynchus hyacinthinus*) en Bolivia es considerada como una especie Vulnerable (VU) (Herrera 2009) y no en Peligro (EN) como es considerada a nivel global (Birdlife International 2013). Esto se debe principalmente a que las poblaciones de la especie se encuentran dentro de un área protegida (ANMI San Matías) y a las severas restricciones en el uso del suelo causado por las condiciones físicas y ambientales del Pantanal (Pinto-Ledezma 2010, Pinto-Ledezma & Rivero 2013), que han condicionado que el uso del suelo no sea tan intensivo como otras regiones de las tierras bajas

del Oriente (Pinto-Ledezma & Rivero 2013). Sin embargo, las políticas cambiantes de comercio y la fuerte inversión en caminos (Killeen 2007) están provocando un cambio de tecnologías tradicionales (p.e., ganadería extensiva) por aquellas que impulsan la expansión de sistemas intensivos de ganadería y agricultura con la consecuente colonización de nuevas áreas, lo que causaría una intensificación de desmontes destinados a estas actividades, aumentando la deforestación y la fragmentación del paisaje (Pinto-Ledezma 2010, Pinto-Ledezma & Rivero 2013) y la pérdida de hábitats. Por lo que este problema se está convirtiendo en la principal amenaza para la especie, reemplazando así a la principal amenaza actual, que es el comercio (tráfico) de mascotas (Herrera 2009).

La principal medida de conservación para la especie en Bolivia es su inclusión dentro el Apéndice I de CITES (CITES 2014) del cuál

Bolivia es miembro desde 1979. También se encuentra citada en la Ley de Medio Ambiente (Ley N° 1333) y en los decretos que dictaminan la Veda General e Indefinida en Bolivia (Decretos Supremos N° 22641 y N° 25458). Adicionalmente, acciones locales de conservación se han ido implementando en los últimos años, como la instalación de nidos artificiales y creación de centros de recuperación. Sin embargo, hasta que no se los llenen vacíos de información sobre su ecología en el Pantanal boliviano, la generación y aplicación de acciones de conservación continuará siendo deficiente.

### Modelamiento de hábitat

El manejo y conservación de las poblaciones de vida silvestre dependen de nuestra habilidad de entender y predecir las relaciones entre las especies y sus hábitats (Noon 1986). Los estudios del modelamiento de hábitat son basados principalmente en la suposición de que los resultados de los modelos deben estar correlacionados con la aptitud de las poblaciones (Brennan *et al.* 1986, Pinto-Ledezma 2009), sin olvidar que los modelos de hábitat no son perfectos estimadores de todas las variables de las especies, siendo que algunas de estas podrían ser independientes del modelo utilizado (Marcot 2006).

Como todos los modelos, los modelos de hábitat a nivel de paisaje (aplicado en este trabajo) son imperfectos, sin embargo, estos modelos proporcionan un método objetivo y cuantitativo para la evaluación de paisajes para la conservación. En este sentido, este trabajo estuvo basado en la generación de múltiples modelos, donde cada modelo fue generado en base a la agrupación de distintas variables de hábitat (Tabla 1), donde además se usaron datos de campo, siendo estos fundamentales para el modelamiento y la verificación de los modelos, puesto que sin los datos de campo no es posible inferir sobre el uso o no de las áreas identificadas por las especies de estudio

(Pinto-Ledezma 2009). El modelo de mejor ajuste seleccionado indica áreas adecuados para *Anodorhynchus hyacinthinus* en base a la probabilidad relativa de detectar la especie en el área de estudio, como una respuesta de la especie a una agrupación de variables de hábitat (Tabla 2). Por lo que, los resultados proveen una vía cuantitativa para monitorear las prácticas de manejo de los hábitats y paisajes, así como también para analizar los recursos de las especies a nivel de paisaje y enfocarse en actividades de conservación (Banner & Schaller 2001). Por otro lado, dependiendo del tipo de hábitat, pueden existir diferentes patrones de selección de hábitat en áreas geográficas relativamente pequeñas (Stauffer & Best 1986). Por eso, al desarrollar los modelos de hábitat, es necesario considerar las diferencias espaciales y temporales entre tipos de hábitats (p.e., áreas inundables y áreas no inundables) de manera separada (Pinto-Ledezma 2009). De esta manera, el mapa resultante nos muestra también la distribución de los hábitats adecuados para la especie de estudio, así como las áreas que necesitan mayor atención en conservación, lo cual es importante para una mejor planificación de las acciones de conservación y manejo de las áreas para la paraba jacinta. Nuestro trabajo es el primero en proveer modelos de hábitat para *Anodorhynchus hyacinthinus* y modelos como los presentados en este trabajo, se constituyen en herramientas importantes para la identificación de áreas en las que las especies objetivo probablemente ocurran. Si bien los modelos presentados no incluyen parámetros demográficos, es importante que futuros modelos consideren la inclusión de estos parámetros, ya que de esta manera la identificación de áreas para la conservación será más efectiva. Pero a falta de mejor información, estos modelos proporcionan una base importante para la toma de decisiones de conservación. Finalmente es importante mencionar que, las respuestas de las especies objetivo a las características de paisaje cambiaran probablemente en zonas con

diferentes grados de disponibilidad de recursos, por lo que la aplicación de los modelos debe estar limitada a la extensión de las variables consideradas para desarrollar los modelos (Ritters *et al.* 1997, Niemuth *et al.* 2005).

### Rendimiento del modelo

Un paso importante después de construir un modelo es validar su desempeño. Para el caso de los modelos de hábitat, se debe validar la distribución geográfica modelada, o sea, si el modelo representa una mejor predicción de lo que se esperaría al azar (Fielding & Bell 1997). En el presente trabajo usamos curvas ROC para medir el rendimiento del modelo y encontramos que nuestro modelo presenta un buen rendimiento (AUC = 0.856), en otras palabras, el modelo predicho consigue distinguir eficientemente los hábitats idóneos y no idóneos para la especie. Por otro lado, siguiendo a Lobo *et al.* (2008), este trabajo también informa la sensibilidad y la especificidad (Fig. 3), ya que la importancia relativa de los errores de comisión y de omisión deben ser considerados para evaluar el funcionamiento del método de evaluación.

### Conclusiones

En base a lo anterior, los resultados obtenidos pueden ser aplicados en la planificación y gestión de la conservación de *Anodorhynchus hyacinthinus*, permitiendo que los esfuerzos de conservación no estén enfocados en un solo lugar sino también en otras áreas que forman parte del complejo que tiene el área de estudio, sean estos naturales y/o antrópicas. Nuestros resultados demuestran que las áreas identificadas como categorías de alta y media probabilidad de ocupación de hábitat son parte fundamental del paisaje, por eso, su manejo y conservación deben ser prioritarios. Estas áreas tienen valores ecológicos fundamentales ya que constituye el hábitat para la especie de estudio y otras especies de vida silvestre, por lo que deberían ser consideradas como

importantes para su conservación, puesto que la reducción del hábitat dentro del rango de distribución de la paraba jacinta en Bolivia se ha reducido en al menos el 10% en la última década.

### Agradecimientos

Un agradecimiento al personal del ANMI San Matías en especial al cuerpo de guardaparques (Antonio Tacuchabá, Ricardo Barberly, Miguel Egúez y Danner Flores), que sin su apoyo y fuerza de trabajo en campo este estudio no hubiese sido posible. Este estudio fue financiado por la Rufford Small Grants Foundation (Project RSG 73.08.09 y RSG 13506-2) para JNPL y por la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia en Santa Cruz (Project ANCS-C-UPSA-01-2011) para JNPL. Agradecemos las sugerencias de dos revisores anónimos para el presente artículo.

### Referencias

- Banner, A. & S. Schaller. 2001. Gulf of Maine watershed habitat analysis, Gulf of Maine Program, Falmouth, ME. U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Falmouth. 160 p.
- Batista, J. & F. M. B. Nogueira. 2003. Hyacinth Macaw (*Anodorhynchus hyacinthinus*) reproduction in the northern Pantanal, Mato Grosso, Brazil. *Ornitología Neotropical* 14: 29-38.
- Brennan, L. A., W. M. Block & R. J. Gutiérrez. 1986. The use of multivariate statistics for developing habitat suitability index models. pp. 177-182. En: Verner, J. M., L. Morrison, & C. J. Ralph (eds). *Wildlife 2000: Modeling Habitat Relationships of Terrestrial Vertebrates*. University of Wisconsin Press, Madison.
- Burnham, K. P & D. R. Anderson. 2002 *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. Springer-Verlag, Nueva York. 512 p.

- BirdLife International. 2013. Species factsheet: *Anodorhynchus hyacinthinus*. En: www.birdlife.org. Última descarga 23/04/2013.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham & J. L. Laake. 1993. Distance sampling: estimating abundance of biological populations. Chapman and Hall, Londres. 446 p.
- Carter, G. M., E. D. Stolen & D. R. Breininger. 2006. A rapid approach to modeling species-habitat relationships. *Biological Conservation* 127: 237-244.
- Casagrande, D. G. & S. R. Beissinger. 1997. Evaluation of four methods for estimating parrot population size. *The Condor* 99: 445-457.
- CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora). 2014. Appendices I, II and III. International Environment House, Gland. 46 p.
- Collar, N. J., L. P. Gonzaga, N. Krabbe, A. Madroño Nieto, L. G. Naranjo, T. A. Parker III & D. C. Wege. 1992. *Anodorhynchus*. Pp. 241-265. En: *Threatened Birds of the Americas: The ICBP/IUCN Red Data Book*. 3rd ed., Cambridge.
- Collar, N. J. 1997. Family Psittacidae (parrots). Pp. 280-417. En: Del Hoyo, J., A. Elliott & J. Sargatal (eds.) *Handbook of the Birds of the World. Volumen 4. Sandgrouse to Cuckoos*. Lynx Edicions, Barcelona.
- Dale, V.H. 1997. The relationship between land-use change and climate change. *Ecological Applications* 7: 753-769.
- DeGraff, R.M. & J.H. Rappole. 1995. Neotropical migratory birds: natural history, distribution, and population change. Cornell University Press, Ithaca. 676 p.
- Diniz-Filho, J. A. F., T. F. Rangel & L. M. Bini. 2008. Model selection and information theory in geographical ecology. *Global Ecology and Biogeography* 17: 479-488.
- ESRI, 2012. Workstation ARCGIS-ARC/INFO. Environmental Systems Research Inc., Redlands.
- Fearnside, P. M. 2000. Global warming and tropical land use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change* 46: 115-158.
- Fearnside, P. M. & W. F. Laurance. 2004. Tropical deforestation and greenhouse-gas emissions. *Ecological Applications* 14(4): 982-986.
- Fielding, A. H. & J. F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24: 38-49.
- GADSC (Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz). 2007. Memoria explicativa del mapa de cobertura y uso actual de la tierra para el departamento de Santa Cruz (2005). Secretaría Departamental de Desarrollo Sostenible, Dirección de Ordenamiento Territorial, Cuencas y Plan de Uso de Suelo, Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Santa Cruz. 39 p.
- Guedes, N. M. R. 2002. El proyecto del Guacamayo Jacinto *Anodorhynchus hyacinthinus* en el Pantanal sur, Brasil. Pp. 163-174. En: V Congreso Mundial Sobre Papagayos. Loro Parque Foundation, Tenerife.
- Guedes, N. M. R. & C. H. Harper. 1995. Hyacinth macaw in the Pantanal. Pp. 394-421. En: Abramson, J., B. L. Speer & J. B. Thonsen (eds.) *The Large Macaws*. Raintree Publ., Fort Bragg.
- Harris, M. B., W. Tomas, G. Mourao, C. J. da Silva, E. Guimaraes, F. Sonoda & E. Fachim. 2005. Safeguarding the Pantanal wetlands: threats and conservation initiatives. *Conservation Biology* 19: 714-720.
- Herrera, 2009. *Anodorhynchus hyacinthinus*. Pp. 389-390. En: Aguirre, L. R. Aguayo, J. Balderrama, C. Cortez & T. Tarifa (eds.)

- Libro Rojo de Fauna de Vertebrados de Bolivia. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, La Paz.
- Houghton, R. A., D. L. Skole, C. A. Nobre, J. L. Hacler, K. T. Lawrence & W. H. Chomentowski. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature* 403: 301-304.
- Ibisch, P. L., S. G. Beck, B. Gerkmann & A. Carretero. 2003. La diversidad biológica: Ecoregiones y ecosistemas. Pp. 47-88. En: Ibisch, P. & G. Mérida (eds.). *Biodiversidad: La Riqueza de Bolivia*. Estado de Conocimiento y Conservación. Ministerio de Desarrollo Sostenible, Editorial Fundación Amigos de la Naturaleza, Santa Cruz.
- Killeen, T. J. 2007. A perfect storm in the Amazon wilderness: development and conservation in the context of the Initiative for the Integration of the Regional Infrastructure of South America (IIRSA). *The Advances in Applied Biodiversity Science series* 7: 1-98.
- Kux, H. J. H. & G. M. Henebry. 1997. Analysis of flooding dynamics in the Pantanal, using time series of ERS-1 SAR Imagery. The use and applications of ERS in Latin America. Pp. 159-167. En: *Proceedings of an International seminar held in Viña del Mar, Chile, 25-29 November 1996*. Edited by T.-D. Guyenne. ESASP-405. European Space Agency, Paris.
- Lobo, J. M., A. Jiménez-Valverde & R. Real. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 17(2): 145-151.
- McGarigal K. & S. Cushman. 2002. Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation. *Ecological Applications* 12(2): 335-345.
- Mamani, A. M. & S. Estévez. 2009. Estudio poblacional de la paraba azul (*Anodorhynchus hyacinthinus*) en el Área Natural de Manejo Integrado San Matías. Informe no publicado. Fundación Noel Kempff, Santa Cruz. 48 p.
- Manly, B. F. J., L. Lyman, D. L. McDonald, T. L. McDonald & W. L. Erickson. 2004. *Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies*. Kluwer Academic Publishers, Nueva York. 234 p.
- Marcot, B. G. 2006. Habitat modelling for biodiversity conservation. *Northwestern Naturalist* 87: 56-65.
- Marzluff, J. M. & R. Sallabanks. 1998. Past approaches and future directions for avian conservation biology. Pp. 5-14. En: Marzluff, J.M. & R. Sallabanks (eds.). *Avian Conservation: Research and Management*. Island Press, Washington DC.
- Navarro, G. & W. Ferreira. 2004. Zonas de vegetación potencial de Bolivia: Una base para el análisis de vacíos de conservación. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 15: 1-40.
- Nepstad, D., G. Carvalho, A. Barros, A. Alencar, J. Capobianco, J. Bishop, P. Moutinho, P. Lefebvre, S. U. Lopes & E. Prins. 2001. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology and Management* 154: 395-407.
- Niemuth, N. D. 2003. Identifying landscapes for greater prairie chicken translocation using habitat models and GIS: a case study. *Wildlife Society Bulletin* 31(1): 145-155.
- Niemuth, N. D., M. E. Estey & Ch. R. Loesch. 2005. Developing spatially explicit habitat models for grassland bird conservation planning in the Prairie Pothole Region of North Dakota. Pp. 469-477. En: Ralph, C. J. & R. D. Terrell (eds.) *Bird Conservation Implementation and Integration in the Americas: Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference*. 2002 March 20-24;

- Asilomar, California, Volume 1 General Technical Report 191. United States, Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany.
- Noon, B. R. 1986. Summary: Biometrics approaches to modelling-The researchers viewpoint. pp. 197-201. En: Verner, J., M. L. Morrison & C. J. Ralph (eds.) *Wildlife 2000: Modeling Habitat Relationships of Terrestrial Vertebrates*. University of Wisconsin Press, Madison.
- Pinto-Ledezma, J. N. 2009. Identificación de áreas de protección especial para la protección de aves migrantes en la reserva Mar Chiquita. Tesis de maestría en manejo de vida silvestre, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. 98 p.
- Pinto-Ledezma, J. N. 2010. Análisis regional del estado de conservación de la porción alta del Río Paraguay. Informe no publicado. WWF Bolivia, Santa Cruz. 124 p.
- Pinto-Ledezma, J. N, R. Sosa, M. Paredes, I. García, D. Villarroel, S. Muyucundo & M. L. Rivero. 2011. La paraba jacinta (*Anodorhynchus hyacinthinus*): estado poblacional y su conservación en el Pantanal boliviano. *Kempffiana* (7): 19-31.
- Pinto-Ledezma, J. N. & M. L. Rivero. 2013. Temporal patterns of deforestation and fragmentation in lowland Bolivia: implications for climate change. *Climatic Change* DOI: 10.1007/s10584-013-0817-1
- Pizo, M. A., C. I. Donatti, N. M. R. Guedez & M. Galetti. 2008. Conservation puzzle: endangered hyacinth macaw depends on its nest predator for reproduction. *Biological Conservation* 141: 792-796.
- Pozza, D.D., N.M.R. Guedes & M. Troller. 1998. Utilização de equipamentos de rádio telemetria no estudo do comportamento da arara-azul. Pp. 184-185. En: Encontro de Pesquisa e Iniciação Científica da Universidade Anhanguera, Campo Grande.
- Ralph, C. J., G. R. Geupel, P. Pyle, T. Martin, E. Thomas, D. F. DeSante & B. Milá. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. General Technical Report 159. United States, Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany. 46 p.
- Rangel, T. F., J. A. Diniz-Filho & L. M. Bini. 2010. SAM: a comprehensive application for spatial analysis in macroecology. *Ecography* 33: 46-50.
- Ritters, K. H., R. V. O'Neill & K. B. Jones. 1997. Assessing habitat suitability at multiple scales a landscape level approach. *Biological Conservation* 81: 191-202.
- Robin, X., N. Turck, A. Hainard, N. Tiberti, F. Lisacek, J. C. Sanchez & M. Müller 2011. pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves". *BMC Bioinformatics* 12: 77-85.
- Scott, D. A. & M. Carbonell. 1986. Directory of Neotropical wetlands. International Union for Conservation of Nature, Cambridge and IWRB, Slimbridge. 684p.
- Seidl, A. F., J. D. V. de Silva, & A. S. Moraes. 2001. Cattle ranching and deforestation in the Brazilian Pantanal. *Ecological Economics* 36: 413-425.
- Snyder, N., P. McGowan, O. Gilardi & A. Grajal. 2000. Parrots: status survey and conservation action plan 2000-2004. International Union for Conservation of Nature, Gland. 180 p.
- Stauffer, D. F. & L. B. Best. 1986. Effects of habitat type and sample size on habitat suitability index models. pp. 71-78. En: Verner, J. M., L. Morrison & C. J. Ralph (eds.) *Wildlife 2000: Modeling Habitat Relationships of Terrestrial Vertebrates*. University of Wisconsin Press, Madison.
- Swets, J.A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240: 1285-1293.
- Watson, R. T., I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo & D.

- J. Dokken. 2000. Land use, land-use change, and forestry. Cambridge University Press, Cambridge. 375 p.
- Wiens, J. A., J. T. Rotenberry & B. Van Horne. 1986. A lesson in the limitations of field experiments: shrub- steppe birds and habitat alteration. *Ecology* 67: 365-376.

Artículo recibido el 25 de Diciembre de 2013.  
Manejado por Javier López de Casenave.  
Aceptado el 01 de Julio de 2014.