

Research article

Distribución de primates en Bolivia y áreas prioritarias para su conservación

Nohelia I. Mercado¹ and Robert B. Wallace²

¹Greater Madidi-Tambopata Landscape Conservation Program, Wildlife Society, Casilla 3-35181 SM., La Paz, Bolivia, noheisa@gmail.com;

²Wildlife Conservation Society, 2300 Southern Boulevard, Bronx, New York, EEUU, rwallace@wcs.org

Resumen

Las principales amenazas para el orden Primates son la fragmentación y alteración de su hábitat, la cacería local y el comercio ilegal. Tales amenazas obligan a hacer una planificación adecuada para la conservación de los primates mediante la identificación de áreas de prioridad basadas en patrones de riqueza y rareza a partir de modelos de distribución potencial. En el presente trabajo se predijo la distribución potencial de 22 especies del orden Primates presentes en Bolivia mediante un modelo predictivo, Maxent. El modelo proporcionó una distribución inferida mediante 1200 registros de presencia correlacionados con variables ambientales, y confirmamos dicha distribución por medio del estadístico ROC/AUC. Se identificaron como áreas potenciales de conservación el noroeste del Departamento de Pando donde se encuentra la mayor diversidad de especies, incluyendo aquellas con un alto índice de rareza como *Callimico goeldii*, *Cebuella pygmaea* y *Saguinus imperator*, y al oeste del Departamento de Beni donde están presentes las dos especies de primates endémicas de Bolivia: *Callicebus olallae* y *Callicebus modestus*.

Palabras clave: Áreas potenciales de conservación, patrones de riqueza y rareza, distribución potencial, Bolivia, primates Neotropicales

Abstract:

The major threats for primates are habitat alteration and fragmentation, local hunting and illegal trade. These threats require conservation planning to identify priority areas based on species richness and rarity patterns from models of potential distribution. In this paper, the potential distribution for the 22 species of Bolivian primates are predicted through a predictive model, Maxent, which provided inferred distributions using 1200 presence records correlated with environmental variables and statistical ROC/AUC tests. The two priority potential conservation areas are the northwest of the Pando department where the highest diversity of species live, including the ones with the highest rarity score, such as *Callimico goeldii*, *Cebuella pygmaea* and *Saguinus imperator*, and western Beni where two Bolivian endemic species live, *Callicebus olallae* and *Callicebus modestus*.

Keywords: Potential conservation areas, species richness and rarity, potential distribution, Bolivia, Neotropical primates

Received: 4 February 2010; Accepted: 14 May 2010; Published: 28 June 2010

Copyright: © Nohelia I. Mercado and Robert B. Wallace. This is an open access paper. We use the Creative Commons Attribution 3.0 license <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/> - The license permits any user to download, print out, extract, archive, and distribute the article, so long as appropriate credit is given to the authors and source of the work. The license ensures that the published article will be as widely available as possible and that the article can be included in any scientific archive. Open Access authors retain the copyrights of their papers. Open access is a property of individual works, not necessarily journals or publishers.

Cite this paper as: Mercado N.I. and R.B. Wallace. 2010 Distribución de primates en Bolivia y áreas prioritarias para su conservación. *Tropical Conservation Science* Vol. 3 (2):200-217. Available online: www.tropicalconservationscience.org

Introducción

A nivel mundial las especies de primates en ambientes naturales están bajo crecientes amenazas causadas por el crecimiento de la población humana. De acuerdo con datos de la IUCN (International Union for Conservation of Nature), el 35 por ciento (70 de 199 taxones reconocidos en el Neotrópico) se encuentran en las categorías de Vulnerable, Amenazado y Críticamente Amenazado [1]. La mayoría de los primates están restringidos en su distribución a los bosques tropicales y subtropicales, ecosistemas en su mayoría críticamente amenazados. En estos ecosistemas se encuentran especies consideradas vulnerables o endémicas para 11 de los 25 “puntos calientes” de biodiversidad a nivel mundial [2]. De hecho todas las especies de primates críticamente en peligro y más de la mitad de especies vulnerables se encuentran en solo seis “puntos calientes” que comprenden el 0.5% de la superficie terrestre, sugiriendo que éstos son hábitats claramente prioritarios para la conservación [2].

La amenaza antropogénica de mayor importancia es la pérdida de hábitat debido a la deforestación, fragmentación y conversión de bosques en áreas de agricultura o hábitat asociado con la extracción de recursos naturales [2-4]. La degradación de hábitat tiene efectos sobre las poblaciones de especies animales y plantas, las que resultan aisladas en parches de bosque, cambiando así su composición y reduciendo su diversidad [5].

Otra de las principales amenazas es la explotación antropogénica la cual puede afectar los patrones de abundancia de especies en el Neotrópico [4,6-8]. La cacería, incluso a nivel de subsistencia, puede afectar severamente a poblaciones de especies, derivando en muchos casos en una extinción local [6,8,9].

La conservación del orden Primates es de suma importancia, ya que éstos juegan roles ecológicamente cruciales en los ecosistemas donde habitan, y la pérdida de estas especies puede afectarlos dramáticamente. En el Neotrópico, más del 90% de las especies vegetales depende de frugívoros para dispersar sus semillas y los primates comprenden una gran proporción de la biomasa total de estos frugívoros, siendo dispersores de numerosas semillas viables de cientos de especies diferentes [3].

Para una planificación de conservación eficiente es indispensable contar tanto con el conocimiento taxonómico como con los patrones de distribución de las especies en cuestión. Desafortunadamente para muchas especies, incluyendo primates, no existe mucha información sobre su distribución en general y menos aún en Bolivia (10). Frente a una situación con información incompleta, como primatólogos tenemos que realizar una estimación de las distribuciones para asegurar que las necesidades ecológicas de las especies estén tomadas en cuenta en esfuerzos de planificación para la conservación. Anteriormente dichas estimaciones se hicieron en base a localidades específicas [11,12], pero actualmente los modelos predictivos de distribución se están convirtiendo en una herramienta de suma importancia en aplicaciones de conservación y ese esfuerzo es el que presentamos en este trabajo.

Los modelos predictivos de distribución se basan principalmente en nichos ecológicos, prediciendo la disponibilidad ambiental para las especies como una función de las variables ambientales dadas, representando una aproximación de dicho nicho [13]. Se denomina nicho “fundamental” al conjunto de todas las condiciones que permiten la supervivencia de las especies, mientras que un nicho “realizado” es aquel que las especies ocupan en realidad [13,14]. En la mayoría de los casos, el nicho realizado puede ser más pequeño que el nicho fundamental, debido a la influencia humana, interacciones bióticas o barreras geográficas que dificultan la dispersión y colonización [13]. La distribución inferida a partir del nicho fundamental se denomina distribución potencial [13], la cual es necesaria para tener un conocimiento relativo de los patrones de distribución de cada especie. En el caso del Orden Primates no existía la suficiente certeza de los mismos.

En el presente trabajo, se identificaron áreas de prioridad para la conservación del Orden Primates presentes en Bolivia tomando en cuenta patrones de riqueza y rareza en base a la distribución potencial de 22 especies.

Métodos

Para obtener los registros de las 22 especies de primates de Bolivia consideradas en este estudio [15], se recopiló información proveniente de bibliografía publicada y no publicada, como ser tesis, planes de manejo e informes. Se incluyeron además registros de colecta. En el caso de localidades provenientes de fuentes bibliográficas se consideró únicamente aquellas que contenían información detallada acerca del tipo de indicio que presentaba el registro y la ubicación geográfica exacta [16]. Para el respectivo modelamiento predictivo de distribución solo se consideraron aquellos registros con una confiabilidad de identificación taxonómica relativamente alta en base a la fuente y tipo de registro [16]. Dichos registros de observación y colecta tienden inevitablemente a formar acumulaciones de puntos [17,18], por lo que la probabilidad de presencia depende en gran medida de la proporción relativa de la muestra de datos de ocurrencia, siendo esta sesgada hacia dichas acumulaciones de puntos [19]. Para evitar dicho efecto, se realizó un remuestreo seleccionando localidades con una separación mínima de 5 km entre sí [17].

Para determinar la distribución potencial de cada una de las especies se utilizó el modelo de predicción Maxent (Máxima Entropía). El modelo permite con pocos datos de presencia, hasta a penas de 5 registros, modelar la distribución de las especies con bastante confianza estadística. Los registros para cada especie en el área de estudio son la ocurrencia de una especie dada, lo que constituye la muestra de puntos, y además de las características tomadas, es decir, cuantas veces encuentras ciertas características ambientales seleccionadas en el modelo predictivo que se definen un área potencial de presencia de una especie dada [13]. En este caso se utilizaron solamente 7 de las 19 variables climáticas procedentes de WORLDCLIM [20], las que comprenden: temperatura media anual, rango medio diurno, isothermalidad, estacionalidad de temperatura, precipitación anual, precipitación del mes mas seco y estacionalidad de precipitación. No es aconsejable utilizar todas las variables climáticas debido a que la correlación en las capas de predicción puede tener efectos adversos en el desempeño del modelo [21]. Se utilizaron como variables adicionales los campos continuos de vegetación global de 500 m obtenidos con MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) [22,23], además del mapa de ecoregiones de Bolivia [24], las cuales están diferenciadas en 23 regiones ecológicas.

Los modelos de distribución potencial fueron evaluados mediante el método de curvas ROC/AUC, el cual evalúa la habilidad predictiva de los modelos de distribución generados. Éste método realiza una evaluación del modelo fuera de toda posible probabilidad de umbral, en el cual las localidades de presencia podrían ser aceptadas (i.e. $p > 0$ a $p < 1$) [25], obteniendo una curva de sensibilidad vs (1-especificidad), donde la sensibilidad es el porcentaje de positivos verdaderos correctamente predichos, y la especificidad es el porcentaje de los negativos verdaderos correctamente predichos [25]. Dicha curva maximiza la sensibilidad para bajos valores de una fracción de falsos positivos, siendo considerado un buen modelo y cuantificado por el área bajo la curva AUC [26]. El AUC puede ser usado como una medida de la realización y desarrollo del modelo, con un rango de valores desde 0.5 (al azar) a 1.0 (discriminación perfecta). También pueden existir valores aún menores, lo que indica que el modelo es inferior que al azar [26]. Usualmente valores de AUC de 0.5 – 0.7 son tomados como una confiabilidad baja del modelo, valores de 0.7 – 0.9 indican una aplicación útil del modelo, y valores > 0.9 indican una confiabilidad alta [25].

Se realizó un corte de umbral para cada uno de los modelos con el objeto de dar un carácter binario a los modelos predictivos de cada una de las especies, presencia/ausencia, en lugar de la probabilidad de presencia de la especie. En el presente trabajo se utilizaron dos umbrales de corte, siendo el umbral de “igual sensibilidad y especificidad”, el cual minimiza el valor absoluto de las

diferencias entre la sensibilidad (porcentaje de sucesos de presencia) y la especificidad (porcentaje de sucesos de ausencia), disminuyendo tanto los errores de omisión como de comisión [27]. Este umbral fue el que mejor se ajustó a aquellas especies con una distribución relativamente restringida, mientras que en el caso de las especies de amplio rango de distribución geográfica se utilizó como umbral el valor mínimo de probabilidad de presencia, esto debido a que el umbral de “igual sensibilidad y especificidad” muestra una predicción subestimada en aquellas especies de mayor rango geográfico.

En algunos casos se modificó manualmente el umbral de corte considerando la distribución actual conocida de cada especie y factores históricos como ser barreras geográficas. En el caso de los Primates, los ríos juegan un papel importante debido a que el rango geográfico de distribución de muchas especies en la Amazonía están limitadas, al menos en parte, por ríos [28].

Para determinar las áreas de prioridad de conservación de este orden se consideraron los patrones de riqueza por familia y orden, combinando todos los modelos de distribución, y generando un mapa compuesto representando los patrones de riqueza de especies de primates [21,29,30]. Siguiendo el criterio de Prendergast y colegas [31] se ha escogido el cinco por ciento de las cuadrículas con mayor valor de riqueza -en cualquiera de sus posibilidades- como las de mayor concentración de especies y que por tanto deberían ser consideradas en la selección de áreas [29,30].

En dicha selección se tomaron en cuenta también patrones de rareza. El cálculo de rareza para cada especie se hizo aplicando la metodología estándar para el cálculo de la rareza mediante la expresión:

$$r_i = Q^{-1}$$

siendo Q el número total de cuadrículas donde ocurre la especie i. Así, cuanto menor sea el número de cuadrículas en las que aparece una especie dada, mayor será su rareza [32]. Para dicho cálculo se trabajó con una cuadrícula de 10 Km² [21].

Se aplicó también otra medida derivada de la rareza continua, la rareza discontinua r_i , considerada solo como un porcentaje (del 20-30%) de las especies más raras. En adelante a estas especies se les denominará como “muy raras”. Este porcentaje se calcula ordenando de manera decreciente de valores el valor de r_i para cada especie, eligiendo después el 20-30% de las más raras [32].

Para una localidad dada, su valor de rareza continua vendría dado por la expresión [33]:

$$R_c = \sum r_i$$

Es decir, se realizó un mapa compuesto combinando las distribuciones del 30% de las especies catalogadas como “muy raras”.

Resultados

Patrones de Riqueza

El mapa general de riqueza basado en la superposición de mapas de las distribuciones potenciales de las 22 especies de primates presentes en Bolivia muestra claramente un área de mayor riqueza en casi todo el norte del Departamento de Pando, donde se encuentran aproximadamente 13 especies, incluyendo la mayoría de los Callitrichidos de Bolivia: *Saguinus imperator*, *Saguinus labiatus*, *Saguinus fuscicollis*, *Cebuella pygmaea* y *Callimico goeldii*. También están presentes en dicha área especies de amplio rango de distribución como *Ateles chamek* y *Alouatta sara* de la familia Atelidae, además de *Cebus libidinosus*, *Cebus albifrons* y *Saimiri boliviensis* de la familia Cebidae, especies de la familia Pitheciidae (*Callicebus* sp. y *Pithecia irrorata*), y *Aotus nigriceps* de la familia Aotidae. Otras áreas de importancia se encuentran al oeste del Departamento del Beni donde, a parte de las especies con mayor rango de distribución ya mencionadas, se sobreponen las distribuciones de las dos especies con rango más restringido: *Callicebus olallae* y *Callicebus modestus*, como también *Callicebu donacophilus* y *Cebus albifrons* (Fig. 1).

Finalmente, en la parte norte del Departamento de La Paz se encuentran especies como *C. aureipalatii*, y *L. cana tschudii*, la última restringida solo a los bosques montanos de dicho Departamento. Además de *S. fuscicollis* que tiene una distribución relativamente restringida al Departamento de Pando y norte y parte media de La Paz. Tomando en cuenta el cinco por ciento de las cuadrículas con mayor valor de riqueza, siendo estas las de mayor concentración de especies, se seleccionó áreas que deberían ser de prioridad para la conservación de primates (Fig. 2).

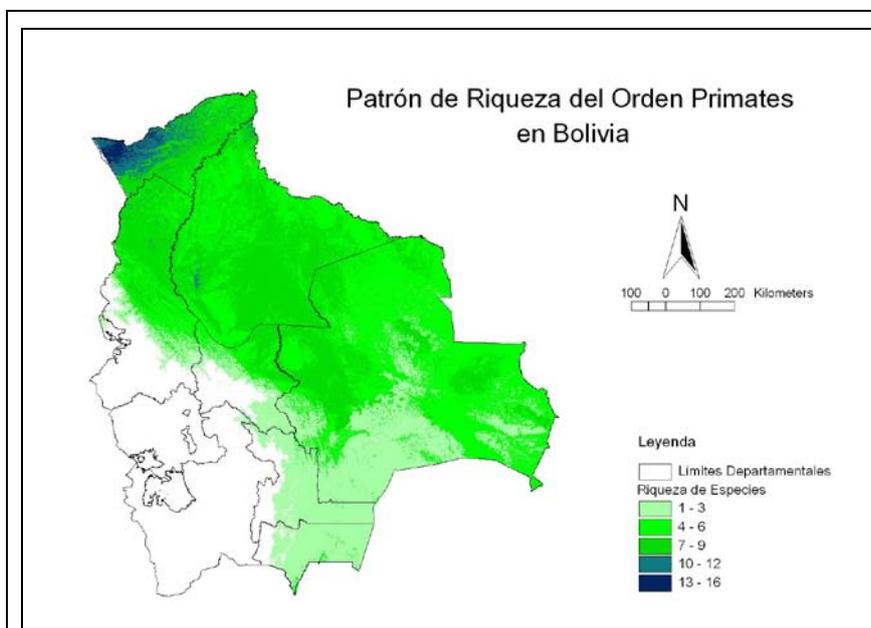


Fig. 1. Patrones de riqueza del Orden Primates basados en el número de especies presentes en una determinada área.

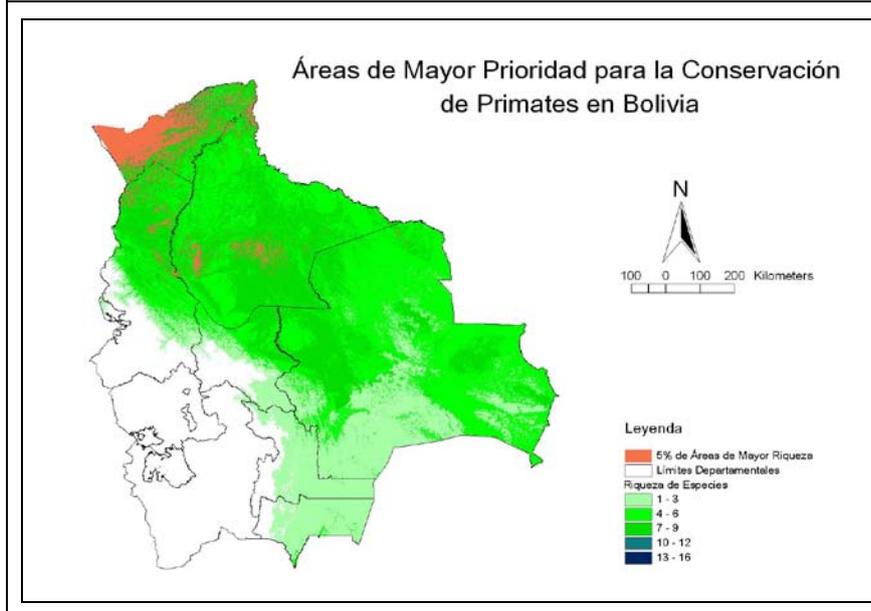


Fig. 2. Áreas de prioridad para la conservación de Primates en Bolivia en base a patrones de riqueza de especies

La sobreposición de distribuciones potenciales de las 6 especies de la familia Callitrichidae presentes en Bolivia revelan que el noroeste del Departamento de Pando es donde ocurre la mayor presencia de especies de esta familia (5 de 6) (Fig. 3). Las especies restringidas al norte de Pando ocupan primordialmente la ecoregión de los bosques amazónicos de Pando y los bosques amazónicos de inundación. La distribución de las especies está limitada por barreras geográficas, siendo los ríos

Manuripi-Orthon la barrera en casi todos los casos, con excepción de *S. labiatus* y *S. imperator*. *S. labiatus* está restringido hacia el sur por el río Tahuamanú, mientras que *S. imperator* está restringido hacia el norte por el río Tahuamanú y hacia el sur por el río Manuripi.

Mico melanurus tiene el mayor rango geográfico de esta familia, encontrándose principalmente en casi todo el Departamento de Santa Cruz con excepción del Chaco, así como, aparentemente, en el sur del Departamento del Beni. A pesar de su distribución amplia con respecto a las otras especies, ésta también se encuentra limitada por la barrera que constituye el río Mamoré.

El área de mayor riqueza de la familia Cebidae está definida por el área de distribución de *C. albifrons*, ya que las otras especies tienen distribuciones más amplias ocupando la mayoría de los bosques que comprenden las tierras bajas de Bolivia. *Cebus albifrons* se encuentra en el Departamento de Pando donde ocupan el bosque amazónico y de inundación, extendiéndose hasta los departamentos del Beni y La Paz (Fig. 4).

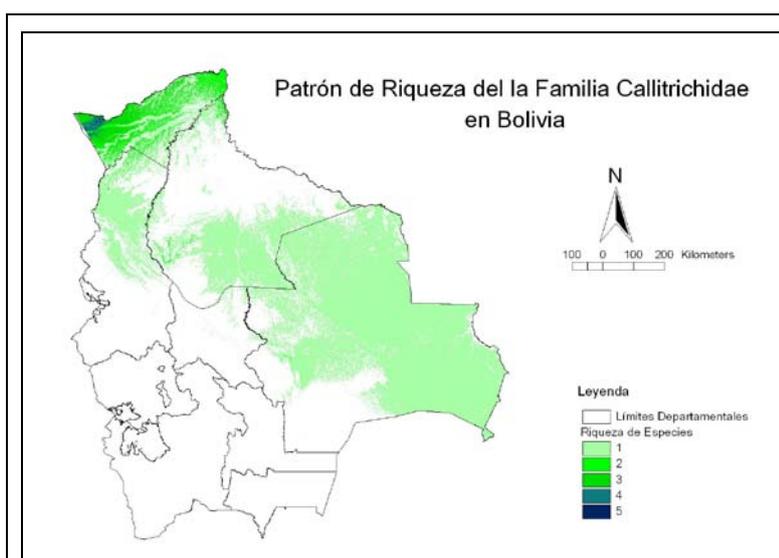


Fig. 3. Patrones de riqueza de la Familia Callitrichidae basados en el número de especies presentes.

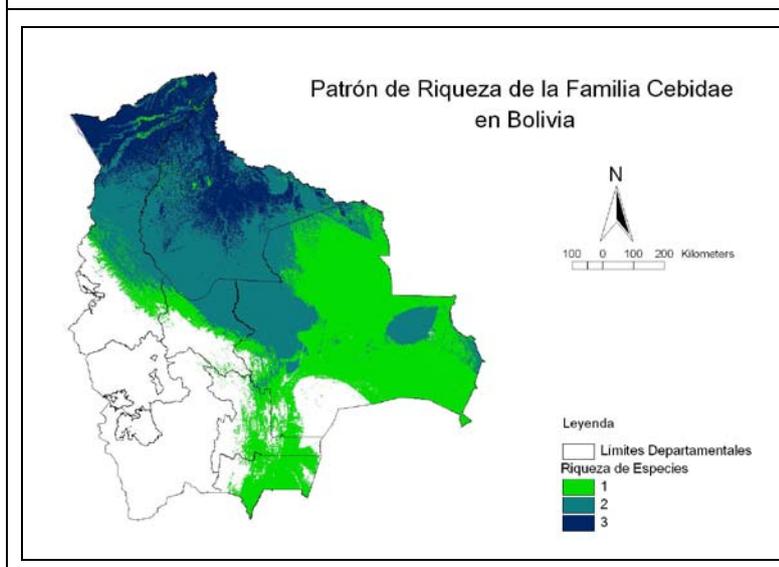


Fig. 4. Patrones de riqueza de la Familia Cebidae basados en el número de especies presentes.

Al igual que Cebidae, las especies que comprenden a la familia Atelidae en su mayoría presentan una distribución similar y extensa, con excepción de *Lagothrix cf. cana tschudii*. Sin embargo, para esta familia podría destacarse como un área de riqueza, el área de ocurrencia de *L. cf. cana* que se superpone con las distribuciones de *Ateles chamek* y *A. sara*, en la parte colindante al ANMI Apolobamba y PN Madidi, en el Departamento de La Paz, sobre lo que comprende los bosques montanos y Yungas (Fig. 5). Por otro lado una gran parte de la distribución amazónica de *Alouatta caraya* se sobrepone con *A. sara* y *Ateles chamek*. Con respecto a la familia Aotidae los modelos predictivos de ambas especies nos muestran como área de riqueza principalmente el oeste del Departamento de Pando, donde se sobrepone la distribución potencial de sus 2 especies, *Aotus nigriceps* y *Aotus azarae* (Fig. 6).

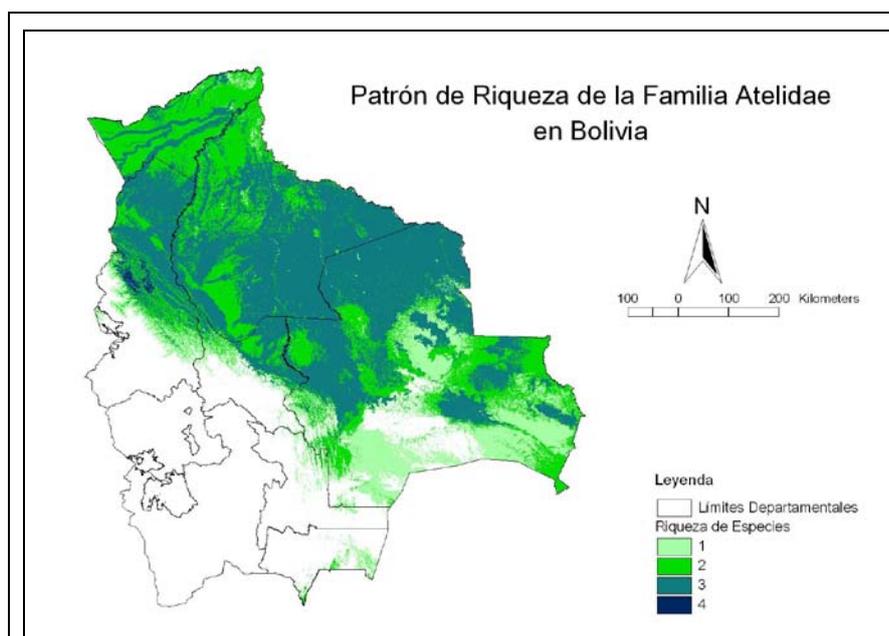


Fig. 5. Patrones de riqueza de la Familia Atelidae basados en el número de especies presentes.

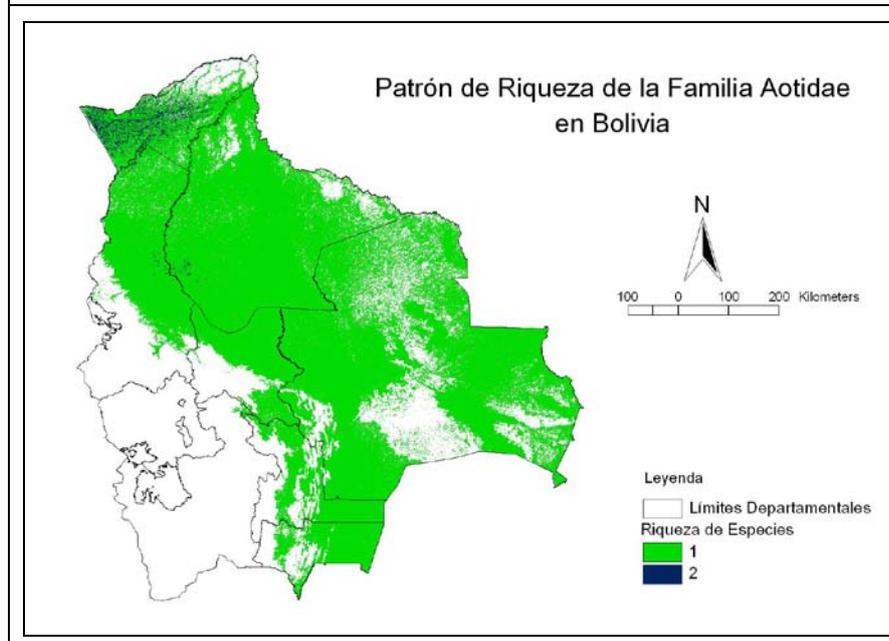
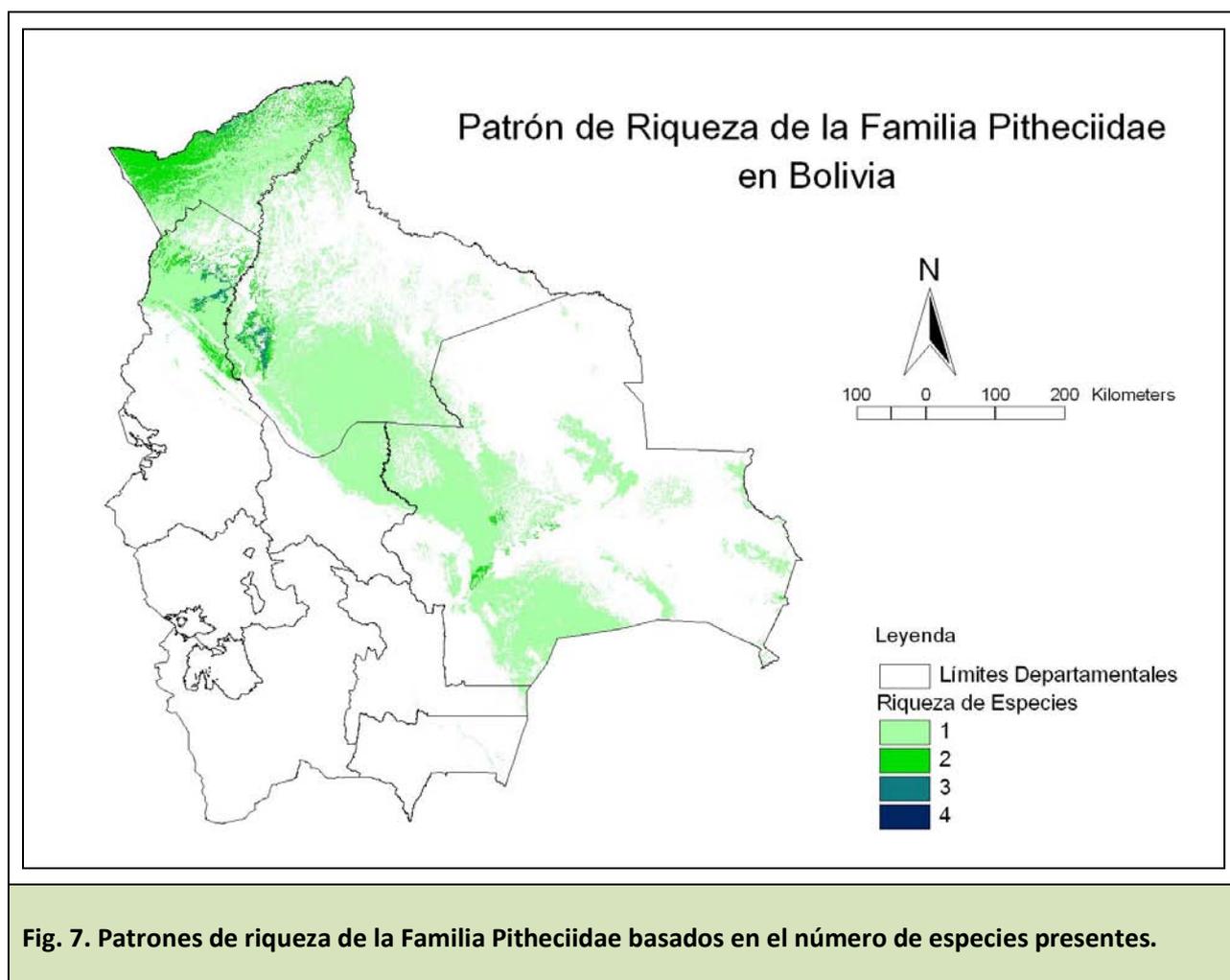


Fig. 6. Patrones de riqueza de la Familia Aotidae basados en el número de especies presentes.

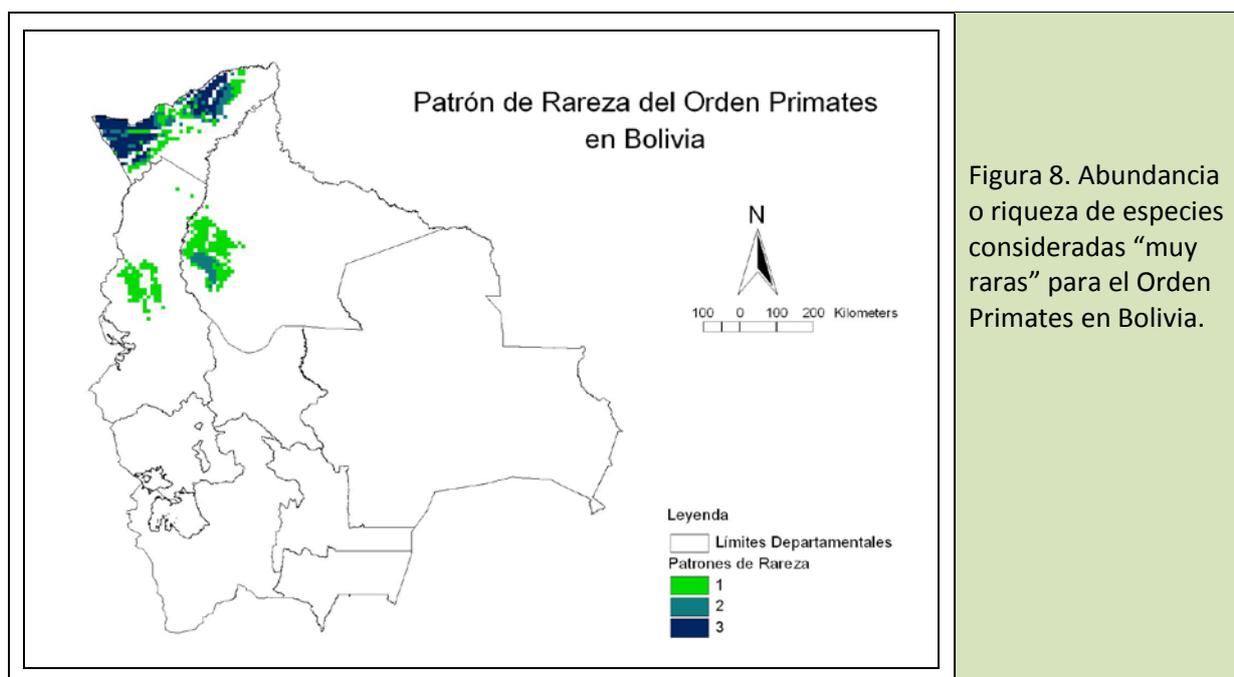
En cuanto a la familia Pitheciidae, el área de mayor riqueza vendría a ser el oeste del Departamento de Beni, limitado a la orilla oeste del río Beni, encontrándose tres especies del género *Callicebus*: *C. olallae*, *C. modestus* y *C. donacophilus*. El río Beni es una barrera geográfica tanto para *C. aureipalatii*, cuya distribución se encuentra al oeste de este río, como para *C. olallae* y *C. modestus*, las dos especies endémicas del Beni, ambas una distribución sumamente restringida. Otra zona de riqueza se puede observar al norte del Departamento de Pando donde se encuentra otra especie de *Callicebus* con identidad no definida y *Pithecia irrorata*. Se puede decir que las especies de esta familia, a pesar de ser relativamente numerosas, por lo general presentan una distribución parapátrica, ya que sus distribuciones rara vez se superponen entre si con excepción de *C. modestus* y *C. olallae* (Fig. 7).



Patrones de Rareza

Las especies con los índices de rareza más altos en Bolivia son aquellas que constituyen el 30 por ciento de las especies consideradas “raras”. La especie con un índice de endemismo mayor es *C. olallae*. En esta categoría están también *L. cana* cf. *tschudii* y *C. modestus*, además de algunas especies de la familia Callitrichidae como *C. goeldii*, *C. pygmaea* y *S. imperator* (Apéndice 1; Fig. 8).

La mayor abundancia de especies endémicas o raras se encuentra al norte del Departamento de Pando donde se encuentran *C. goeldii*, *C. pygmaea* y *S. imperator*. Otra área potencial de abundancia se encuentra en el oeste del Departamento del Beni donde están presentes las especies *C. olallae* y *C. modestus* (Fig. 8).



Distribución Potencial y Evaluación del Modelo Predictivo

Como ejemplo de la distribución potencial de cada especie de primate, observamos dos especies con una distribución sumamente restringida. Una de ellas es *Saguinus labiatus*, la cual muestra una distribución en la parte norte del Departamento de Pando (Fig. 9), ocupando los Bosques Amazónicos de Pando, además de los Bosques Amazónicos de Inundación, donde el río Tahuamanú representa una barrera geográfica para la misma.

Asimismo, se observa a *Callicebus olallae* (Fig. 10) al este del río Beni, el cual es a su vez una barrera geográfica. Este ocupa el oeste del Departamento del Beni, específicamente como hábitat potencial las sabanas inundables, donde se encuentran en parches de bosque y bosques ribereños de los Ríos Yacuma y Maniquí [34]. Esta especie es considerada “muy rara” (Apéndice 1), debido a que tiene el índice de rareza más alto de las 22 especies, además de ser una especie endémica del Beni junto con *C. modestus*.

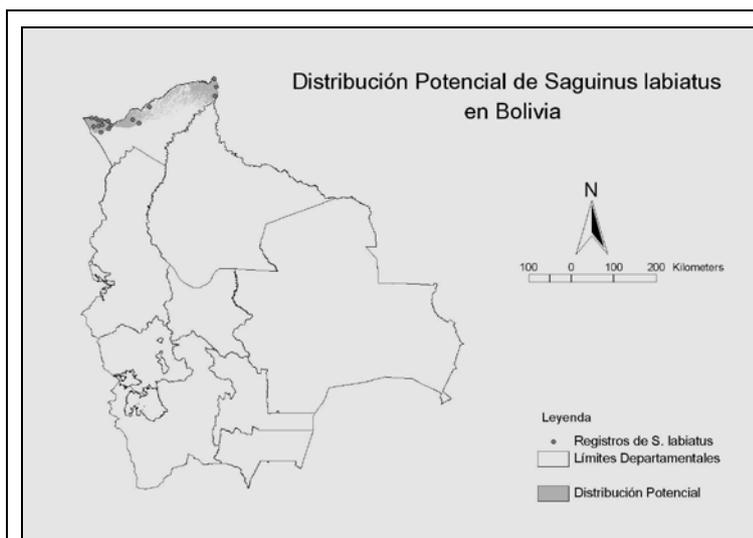


Fig- 9. Distribución potencial de *Saguinus labiatus* generada a través del modelo predictivo.

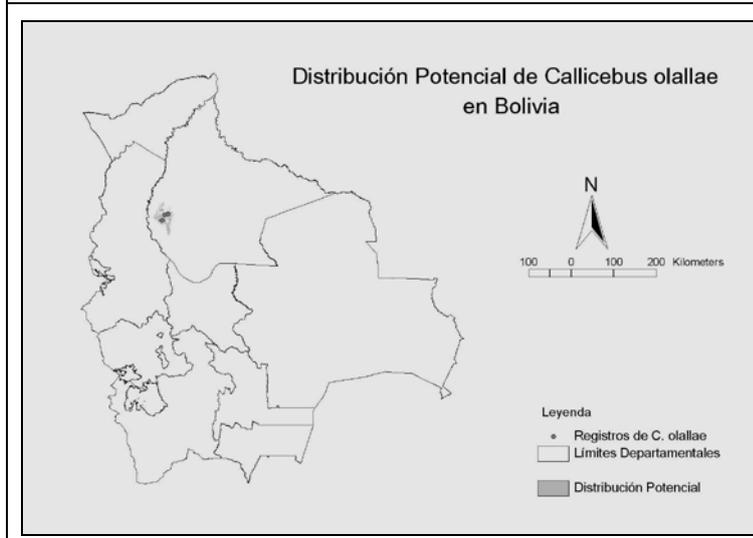


Fig. 10. Distribución potencial de *Callicebus olallae* generada a través del modelo predictivo.

Por otro lado *Ateles chamek*, presenta un amplio rango de distribución (Fig. 11) ocupando diversos hábitats, desde los Bosques Amazónicos de Pando y Beni, pasando por los Bosques Amazónicos Preandinos, Subandinos y Montanos al Norte y parte media del Departamento de La Paz y Norte de Cochabamba, hasta el Cerrado Chiquitano y las Sabanas Inundables del Pantanal en Santa Cruz. A diferencia de *Cebus albifrons* con una distribución media (Fig. 12), el cual ocupa principalmente el Bosque Amazónico de Pando, Bosque Amazónico de Inundación y Sabanas Inundables en el Departamento de Pando, además de gran parte de Beni.

En cuanto a la evaluación de los modelos de distribución, se puede ver que todos se encuentran en el rango de 0.7 – 0.9 (Tabla 1), por lo que se los puede considerar confiables y con una aplicación útil. Para aquellas especies con menos de 5 registros como ser *Aotus nigriceps*, *Saguinus imperator* y *Callicebus olallae*, no fue posible realizar dicha evaluación, ni siquiera por el método “jackknifing”, aplicado a todas aquellas especies con menos de 15 registros, debido al número sumamente reducido de registros para estas especies.

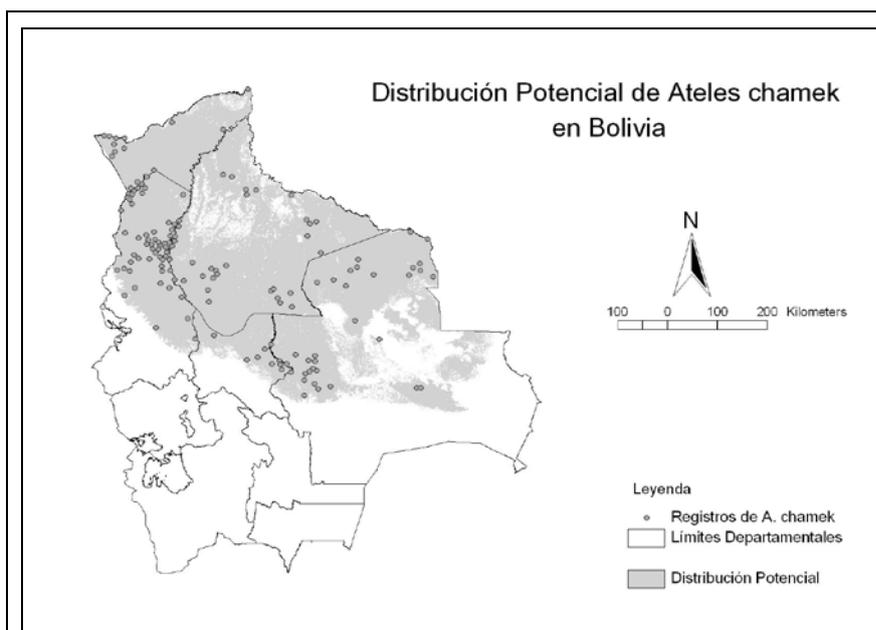


Fig. 11. Distribución potencial de *Ateles chamek* generada a través del modelo predictivo

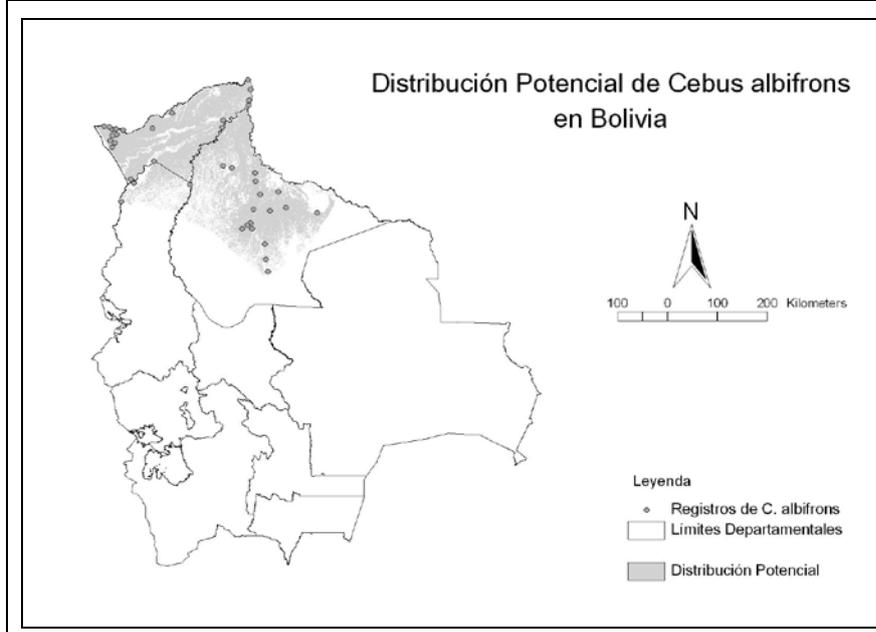


Fig. 12. Distribución potencial de *Cebus albifrons* generada a través del modelo predictivo.

Discusión

Respecto a los patrones de riqueza y tomando en cuenta el cinco por ciento de las grillas con mayor número de especies (Fig. 2), se identificó como la mayor área de riqueza para este Orden el noroeste del Departamento de Pando en los bosques amazónicos, encontrándose aproximadamente 13 especies. Esto puede deberse a una correlación entre dicha área y la riqueza de especies de plantas, la cual induce a un incremento en la diversidad de nichos de alimentación, logrando que puedan coexistir un mayor número de consumidores primarios como los primates [35]. Sin embargo, dichos patrones de riqueza podrían cambiar, incrementándose en algunas áreas tomando en cuenta posibles actualizaciones taxonómicas como es el caso del género *Cebus*, del cual se reconocen actualmente dos especies para Bolivia, *C. libidinosus* y *C. albifrons*. Es así que Souza-Silva (2001[36]) reconoce tres especies en lugar de *C. libidinosus*: *C. macrocephalus* (Spix, 1823[37]), al norte de Pando; *C. cay* [38] en el chaco boliviano, siendo ambos anteriormente reportados por Brown &

Rumiz [12] y Anderson [11] como *C. apella pallidus* y *C. apella paraguayanus* respectivamente, además de *C. apella* el cual podría encontrarse al este de Bolivia, comprendiendo así la especie del género *Cebus* de mayor rango geográfico a nivel nacional, mientras *C. libidinosus* podría no estaría presente en Bolivia. De forma similar según Rylands & Brandon - Jones [39] el género *Alouatta* podría comprender tres especies, ya que una segunda especie de aullador rojo podría entrar por el límite este de Bolivia, hacia el Parque Nacional Noel Kempff Mercado, el cual vendría a ser *A. puruensis*.

En cuanto al género *Callicebus*, Hershkovitz [40] propuso que la especie de este género que se encuentra en el Departamento de Pando es *C. brunneus*. No obstante, van Roosmalen y colegas [15] clasifica a estos como *C. dubius*, aunque estos carecen de la banda blanca en la frente (característica de *C. dubius*). De esta manera, la cola no parece ser tan blanca como en el dibujo de *C. brunneus* de Stephen Nash en van Roosmalen [15], más bien ésta es de color marrón rojizo con una punta blanca [41]. Asimismo, al comparar especímenes colectados en Brazil de *C. brunneus* con un espécimen colectado en Chivé sobre el Río Madre de Dios, entre los departamentos de Pando y La Paz, se observó que este presenta una marcada diferencia con los especímenes de Brazil ([42]; com. pers. Robert Wallace). Aquí preferimos reconocerlo como *Callicebus* sp. hasta que haya confirmaciones de su identidad taxonómica.

Por último, se encuentra *Aotus*, del cual aún es incierta su taxonomía en Bolivia, aunque Salazar-Bravo y colegas [43] reconoce a dos especies para Bolivia: *A. azarae* con una amplia distribución hacia el lado oriental de la cordillera y *A. nigriceps*, prácticamente restringido al Departamento de Pando. No obstante, podría haber una tercera especie presente en el Parque Nacional Noel Kempff Mercado, Departamento de Santa Cruz, siendo ésta registrada por Emmons [44] quien reporta a *Aotus cf. infulatus* en la localidad de Flor de Oro. Por consecuencia, se desconocen los límites de distribución de las especies, razón por la cual se realizó el modelamiento de distribución potencial a nivel de género.

En cuanto a la abundancia de especies consideradas “raras”, el respectivo patrón de rareza, en su mayor parte se sobrepone con las áreas de prioridad basadas en los patrones de riqueza, lo cual facilita el esfuerzo de conservación. Sin embargo, es crítico enfatizar que un porcentaje muy bajo de las áreas prioritarias identificadas se encuentra dentro de las áreas protegidas nacionales, con aproximadamente 11% de estas cubiertas dentro de la Reserva Natural de Vida Silvestre Manuripi al noroeste de Pando. Similarmente, al tomar en cuenta la sobreposición de las seis especies de primates con un mayor índice de rareza (Apéndice 1), las cuales también se consideran prioritarias para la conservación, se puede ver que aproximadamente un 14% de estas está dentro de áreas protegidas tanto nacionales como departamentales, incluyendo la Reserva Natural ya mencionada, además del PNANMI Madidi, el cual se superpone con el área de ocurrencia de *L. cf. cana*, la única especie de distribución restringida en el norte del Departamento de La Paz. Aunque dicha área no sería considerada un área potencialmente endémica es igualmente de suma importancia ya que esta especie presenta el segundo índice de rareza más alto además de ser considerada en estado vulnerable.

A nivel general y considerando solamente las localidades confirmadas, apenas 15 de las 22 especies de primates están con poblaciones protegidas en las áreas protegidas de carácter nacional del país. Tomando en cuenta los modelos predictivos de distribución este número aumenta a 16 de las 22 especies. Por lo tanto, hasta la fecha, no hay poblaciones de primates en áreas protegidas de carácter nacional de las siguientes especies: *Saguinus imperator*, *Pithecia irrorata*, *Cebuella pygmaea*, *Callimico goeldii*, *Callicebus modestus*, *C. olallae* y quizás *Aotus nigriceps*. Cinco de ellas están en el Departamento de Pando, además de las dos especies endémicas de *Callicebus* del Departamento del Beni.

Mientras que existen áreas tales como aquellas pertenecientes a las zonas de ocurrencia de *C. modestus*, que según su distribución potencial podría estar cubierta aunque no de forma completa

por el Refugio de Vida Silvestre de las Estancias Elsner en Espíritu. Sin embargo, dicha área de protección no cubre eficientemente el área de ocupación real de esta especie, además de no estar bajo gestión. No obstante, recientemente el municipio de Santa Rosa declaró 616.453 hectáreas como área de protección (Reserva Municipal de Santa Rosa) (Honorable Consejo Municipal de Santa Rosa del Yacuma, 2007), que cubre de forma más eficiente la distribución de ambas especies endémicas, *C. modestus* y *C. olallae*.

La metodología utilizada para determinar las distribuciones potenciales de cada especie de primate se basa en una probabilidad de presencia en base a la disponibilidad en un espacio ecológico el cual es proyectado dentro de un espacio geográfico, mostrando así un área geográfica de presencia predicha para las especies, es decir aquella área que satisface las condiciones de un nicho fundamental [45]. Este enfoque no toma en cuenta factores históricos como barreras geográficas, en el caso de los primates los ríos que pueden ser determinantes en el rango de distribución de algunas especies, particularmente aquellas de menor tamaño [25,26]. Por lo tanto, áreas predichas como disponibles pueden no estar siempre habitadas, lo que también puede deberse a interacciones bióticas como ser la competencia con otra especie morfológicamente similar. Por tal razón la distribución potencial resultante puede ser sobreestimada, siendo así muy importante la verificación en campo en un área predicha con presencia de la especie, para asegurar que dicha predicción es correcta.

La metodología muestra una clara influencia del tamaño de muestra, siendo por lo general los modelos para especies con un amplio rango y tolerancia geográficos los que tienden a ser menos precisos que aquellos para especies con un pequeño rango geográfico y limitada tolerancia ambiental [18,25,26]. Esto podría deberse a que los puntos de muestreo en un amplio rango de distribución no se encuentran distribuidos de una manera uniforme, presentando muchas veces concentraciones de puntos en una determinada área donde existe mayor accesibilidad, y dejando sitios descubiertos donde el muestreo es mínimo o inexistente. Por lo tanto, el modelo mostrará una mayor probabilidad de presencia hacia las zonas de mayor muestreo, subestimando así la predicción del modelo en áreas donde se presenta muy pocos o ningún registros. Este sesgo en la muestra es inevitable y es conocido como el "Efecto de la muestra desigual" [19]. Razón por lo cual fue mucho más difícil encontrar el umbral de presencia adecuado para aquellas especies con un amplio rango de distribución utilizando en estos casos como umbral de corte la mínima probabilidad de presencia o bien un valor subjetivo. Este efecto también puede presentarse en aquellas especies que solamente presentan una acumulación de puntos en un determinado sitio, como es el caso de *C. olallae* que a parte del conjunto de localidades de ocurrencia que se encuentran en Santa Rosa del Yacuma, también presenta un registro en el municipio de San Borja, el cual es excluido del modelo predictivo, debido a que la probabilidad de presencia fue inducida por dicha acumulación de puntos.

Conclusión

Una de las principales áreas de prioridad para la conservación de primates en Bolivia se encuentra en el norte y noroeste del Departamento de Pando, dado su alto valor tanto por ser una región de mayor biodiversidad como por ser una zona de alto endemismo o rareza. Otra zona de importancia se encuentra en el este del Departamento del Beni, al oeste del río del mismo nombre donde la principal razón para su conservación a parte de la riqueza de especies presentes, es la ocurrencia de las dos especies endémicas para Bolivia: *C. olallae* y *C. modestus*, ambas con un rango geográfico muy restringido.

Se identificaron vacíos de información para varias especies que requieren mayor investigación en cuanto a su distribución, estado poblacional y taxonomía para poder tomar medidas apropiadas para su conservación. Una de ellas, *L. cf. cana*, aunque no entra dentro de las zonas potenciales de biodiversidad, presenta un índice de rareza bastante alto. Es una especie que a pesar de encontrarse dentro de PN ANMI Madidi y Apolobamba requiere de mayor investigación. Otras especies a tomar

en cuenta son los Callitrichidos *C. pygmaea* y *S. imperator*, además de *P. irrorata* de la familia Pitheciidae que a pesar de encontrarse en un área potencial de conservación, se tienen muy pocos registros y limitada información. Para *C. pallescens* solo se tienen cuatro registros al sur de Santa Cruz. En general, es necesario realizar investigaciones sobre la taxonomía, principalmente en los géneros *Aotus*, *Alouatta*, *Cebus*, *Callicebus* y *Saguinus*.

Se verifica que las especies con mayor rango de distribución pertenecen en su mayoría a las familias Atelidae y Cebidae, cuyo tamaño y masa corporal no impiden que un río sea una barrera potencial para su dispersión. Caso contrario, en especies de menor tamaño como las pertenecientes a la familia Callitrichidae (*C. pygmaea*, *S. imperator* y *S. labiatus*) que en su mayor parte presentan una distribución bastante restringida al igual que algunas especies del género *Callicebus* (*C. olallae* & *C. modestus*).

Los modelos de distribución potencial son sin duda una herramienta bastante útil no solo para conocer la posible distribución de una determinada especie sino también para tener un conocimiento relativo sobre los patrones de riqueza tanto a nivel de orden como de familia en un área dada, o bien a nivel de zonas de alto endemismo o rareza, siendo estos criterios de suma importancia en la planificación y toma de decisiones de medidas de conservación.

Implicaciones para la conservación

- Se requiere más investigación en cuanto a taxonomía, especialmente de los géneros *Aotus*, *Saguinus*, *Callicebus*, *Cebus*, *Lagothrix* y *Alouatta*, para los cuales también se necesitarán establecer los límites de distribución para sus diferentes especies.
- Por otro lado también es importante trabajar con aquellas especies que tienen pocos registros de presencia, y cuya distribución no esta definida, como es el caso de *Saguinus imperator*, *Cebuella pygmaea*, *Pithecia irrorata*, *Callicebus pallescens* y *Lagothrix cana tschudii*.
- Asimismo, es de suma importancia determinar el estado poblacional y los requerimientos ecológicos de las especies mas vulnerables, especialmente las endémicas y/o amenazadas a nivel regional para ayudar en el diseño de acciones de conservación concretas.
- Se necesita establecer áreas protegidas de importancia nacional o local en el Departamento de Pando para asegurar la conservación de al menos cinco especies de primates que no se encuentra protegidas a nivel nacional en este momento. El reciente establecimiento de la Reserva Departamental de Vida Silvestre Bruno Racua es un paso muy importante si se logra implementar una gestión en los próximos años.
- Una prioridad inmediata es apoyar la gestión de la Reserva Municipal Santa Rosa de Yacuma asegurando que las necesidades de las dos especies de primates endémicos (*C. modestus* y *C. olallae*) esten tomados en cuenta y formen un elemento fundamental de un plan integral de monitoreo.
- Se recomienda una interacción y participación más activa entre instituciones interesadas en la conservación de primates, además de las áreas protegidas y la población local y nacional para lograr una mayor difusión y comunicación sobre los primates del país, sus amenazas e importancia de conservación.

Agradecimientos

Agradecemos a la Colección Boliviana de Fauna (CBF) y al Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado (MHNNKM) por la contribución en la recopilación de información en base a la cual se constuyó la base de datos para realizar los modelos de distribución potencial de cada especie. Además de agradecer al Dr. Kazuya Naoki por el conocimiento y apoyo técnico sobre el desarrollo de los modelos espaciales generados. Se agradecen las recomendaciones de dos revisores anónimos para mejorar versiones anteriores de este artículo.

Referencias

- [1] IUCN. 2007. *Primate quick facts*. <http://cms.iucn.org/>
- [2] Di Fiore, 2003. *Lecturas recomendadas del I Curso Latinoamericano de Biología de la Conservación de Primates*. Fundación ECO, Formosa, Argentina & San Diego Zoological Society, California, USA.
- [3] Marsh C.W., Johns, A.D. & Ayres, J.M. 1987. Effects of habitat disturbance on rain forest primates. Pp. 83-107. En: *Primate conservation in the tropical rain forest*. Marsh C.W. & Mittermeier R.A. (Eds.). Alan R. Liss, New York.
- [4] Terborgh J. 1986. Conserving New World primates: present problems and future solutions. En: *Primate Ecology and Conservation*. En: Else J. & Lee P.C. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge.
- [5] Steininger M., Tucker C., Ersts P., Killen T., Villegas S. & Hecht B. 2001. Clearance and fragmentation of tropical deciduous forest in the tierras bajas, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. *Conservation Biology* 15: 856-866.
- [6] Peres C.A. 1990. Effects of hunting on Western Amazonian primate communities. *Biological Conservation* 54: 47-59.
- [7] Ráez-Luna E.F. 1995. Hunting large primates and conservation of the Neotropical rain forest. *Oryx* 29: 43-48.
- [8] Townsend W.R., Rumiz D.I. & Solar L. 2002. El riesgo de la cacería durante las operaciones forestales: Impacto sobre la fauna silvestre en una concesión forestal en Santa Cruz. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 11: 47-53.
- [9] McGowan R.E. 2002. Issues in international conservation. *Conservation Biology* 16(3): 580-583.
- [10] Wallace R.B. & Mercado N. 2007. La diversidad, distribución y abundancia de primates en Bolivia: recomendaciones preliminares para su conservación. V Congreso Nacional de Biología para la Conservación y el Desarrollo Sostenible, 28 – 30 de Marzo de 2007, Santa Cruz – Bolivia.
- [11] Anderson, S. 1997. Mammals of Bolivia: taxonomy and distribution. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 231: 1-652.
- [12] Brown, A.D. & Rumiz D.I. 1985. Distribución de los primates en Bolivia - Estado actual de su conocimiento. Centro Argentino de Primates (CONICET – CORRIENTES), Buenos Aires, Argentina.
- [13] Phillips S.J. 2005. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling* 190: 231-259.
- [14] Guisan A. & Zimmermann N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modeling* 135: 147-186.
- [15] Van Roosmalen, M.G.M., Van Roosmalen, T. & Mittermeier, R.A. 2002. A taxonomic review of the titi monkeys, genus *Callicebus* Thomas, 1903, with the description of two new species, *Callicebus bernhardi* and *Callicebus stephennashi*, from Brazilian Amazonia. *Neotropical Primates* 10 (Suppl.): 1-52.

- [16] Lopez-Strauss H., Wallace R.B. & Mercado N. 2010. Metodología para el levantamiento y la sistematización de información sobre la distribución de mamíferos medianos y grandes de Bolivia. En: *Distribución, Ecología y Conservación de los Mamíferos Medianos y Grandes de Bolivia*. Wallace R.B., Gomez H., Porcel, Z. & Rumiz D. (Eds.). Centro de Ecología y Difusión Simon I. Patiño, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- [17] Mercado N., Wallace R.B., & López-Strauss H. 2010. Metodología para el desarrollo de mapas de distribución de los mamíferos medianos y grandes de Bolivia. En: *Distribución, Ecología y Conservación de los Mamíferos Medianos y Grandes de Bolivia*. Wallace R.B., Gomez H., Porcel, Z. & Rumiz D. (Eds.). Centro de Ecología y Difusión Simon I. Patiño, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- [18] Pearson R.G., Raxworthy C.J., Nakamura M. & Townsend-Peterson A. 2007. Predicting species' distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34: 1-46.
- [19] Jiménez-Valverde A. & Lobo M. 2006. The ghost of unbalanced species distribution data in geographical model predictions. *Diversity and Distributions* 12: 521-524.
- [20] WORLDCLIM, 2007. www.worldclim.org.
- [21] Young B.E. 2007. Distribución de las especies endémicas en la vertiente oriental de los Andes en Perú y Bolivia. NatureServe, Arlington, Virginia, USA.
- [22] Hansen M.C. 2003. Global percent tree cover at a spatial resolution of 500 meters: first results of the MODIS vegetation continuous fields algorithm. *Earth Interactions* 7(10): 1-15.
- [23] MODIS, 2007. <http://glcf.umd.edu/modis/vcf/data.shtml>.
- [24] Ibish P. & Merida N.E. (Eds.). 2003. *Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación*. Editorial FAN. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- [25] Manel S., Williams H.C. & Ormerod S.J. 2001. Evaluating presence – absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology* 38: 921-931.
- [26] Hernandez P.A., Graham C.H., Master L.L. & Albert D.L. 2006. The effect of simple size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29: 773-785.
- [27] Liu C., Berry P.M., Dawson T.P. & Pearson R.G. 2005. Selecting threshold of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography* 28: 385-393.
- [28] Lehman S.M. 2004. Distribution and diversity of primates in Guayana: species – area relationships and riverine barriers. *International Journal of Primatology* 25: 73-95.
- [29] Tabeni M.S., Bender J.B. & Ojeda R.A. 2004. Puntos calientes para la conservación de mamíferos en la Provincia de Tucumán, Argentina. *Mastozoología Neotropical* 11: 55-67.
- [30] Zambrana C.M. 2004. Distribución y diversidad potencial de la Avifauna en un complejo de áreas protegidas del noroeste de La Paz: Implicaciones para la conservación. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolivia.
- [31] Prendergast, J. R., Quinn R.M., Lawton J.H., Eversham B.C. & Gibbons D.W. 1993. Rare species the coincidence of diversity hotspots and conservation strategies. *Nature* 365: 335-337.
- [32] Cerrillo M.I., Dana E.D., Castro H., Rodríguez-Tamayo M.L. & Mota J.F. 2002. Selección de áreas prioritarias para la conservación de flora gipsícola en el sureste de la Península Ibérica. *Revista Chilena de Historia Natural* 75(2): 395-408.
- [33] Kerr J.T. 1997. Species richness, endemism, and the choice of areas for conservation. *Conservation Biology* 11: 1094-1100.
- [34] Martínez J. & Wallace R.B. 2007. Further notes on the distribution of endemic Bolivian titi monkeys, *Callicebus modestus* and *Callicebus olallae*. *Neotropical Primates* 14(2): 47-54.
- [35] Kay, R. F., Madden R.H., Van Schalk C. & Higdon D. 1997. Primate species richness is determined by plant productivity: Implications for conservation. *Ecology, Proc. Natl. Acad. Sci.* 94: 13023-13027.
- [36] Soúza-Silva J. 2001. Especiao nos macacos – prego e caiaras, gênero *Cebus* Erxleben, 1977 (Primates Cebidae). Tesis doctoral. Universidad Federal de Río de Janeiro, Río de Janeiro, Brazil.

- [37] Spix J. de. 1823. Simiarum et *Vespertillarum brasiliensium* species novae, ou histoire naturelle des especes nouvelles de singes et de chauves-souris observees et recueilles pendant le voyage dans l'interieur du Bresil. *Monaco* 8: 72.
- [38] Illiger C. 1815. Ueberblick der Säugethiere nach ihrer Verteilung über die Welttheile. *Abd. K. pr. Akad. Wiss* (1804-1811): 39-159.
- [39] Rylands A.B. & Brandon-Jones D. 1998. Scientific nomenclature of the red howlers from the northeastern Amazon in Brazil, Venezuela and the Guianas. *International Journal of Primatology* 19(5): 879-905.
- [40] Hershkovitz P. 1988. Origin, speciation dispersal of South American titi monkeys, genus *Callicebus* (family Cebidae, Platyrrhini). *Proc. Acad. Nat. Sci* 140(1): 240-272.
- [41] Rowe N. & Martinez W. 2003. *Callicebus* sightings in Bolivia, Peru and Ecuador. *Neotropical Primates* 11(1): 32-35.
- [42] Wallace R.B., Gomez H., Felton A. & Felton A.M. 2006. On a new species of titi monkey, genus *Callicebus* Thomas (Primates, Pitheciidae), from western Bolivia with preliminary notes on distribution and abundance. *Primate Conservation* 20: 29-39.
- [43] Salazar-Bravo J., Tarifa T., Aguirre L.F., Yensen E. & Yates T.L. 2003. Revised checklist of Bolivian Mammals. *Occasional Papers, The Museum of Texas Tech University* 220: 1-27.
- [44] Emmons L. 1998. Mammal fauna of the Parque Nacional Noel Kempff Mercado. Pp. 129-135. En: *A biological assesment of Parque Nacional Noel Kempff Mercado, Bolivia*. Killeen T.J. & Schulenberg T.S. (Eds.). RAP Working Papers 10, Conservation International Washington D.C.
- [45] Anderson, R.P. & Martínez-Meyer E. 2003. Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation* 116: 167-179.

Apéndice 1. Especies de primates registradas para Bolivia según Salazar-Bravo (2003), número de registros espacialmente independientes con los que se realizó el modelo predictivo, evaluación de su distribución potencial e Índice de Rareza obtenido en base a ésta

Familia	Especie	N° de Registros	AUC/ROC	Índice de Rareza
Callitrichidae	<i>Callimico goeldii</i>	15	0.986	0.00372
	<i>Cebuella pygmaea</i>	8	0.996	0.00433
	<i>Saguinus fuscicollis</i>	43	0.933	0.000958
	<i>Saguinus labiatus</i>	22	0.84	0.00209
	<i>Saguinus imperator</i>	4	---	0.00406
	<i>Mico melanurus</i>	70	0.891	0.000281
Cebidae	<i>Cebus libidinosus</i>	259	0.765	0.000151
	<i>Cebus albifrons</i>	42	0.934	0.000699
	<i>Saimiri boliviensis</i>	150	0.869	0.000174
Atelidae	<i>Ateles chamek</i>	156	0.807	0.000134
	<i>Alouatta caraya</i>	126	0.766	0.000142
	<i>Alouatta sara</i>	138	0.877	0.000148
	<i>Lagothrix cana</i>	6	0.973	0.0125
Aotidae	<i>Aotus azarae</i>	52	0.736	0.0000267
	<i>Aotus nigriceps</i>	3	---	0.000179
Pitheciidae	<i>Pithecia irrorata</i>	20	0.996	0.00197
	<i>Callicebus aureipalatii</i>	13	0.964	0.00288
	<i>Callicebus brunneus</i>	18	0.976	0.00115
	<i>Callicebus donacophilus</i>	27	0.951	0.000135
	<i>Callicebus modestus</i>	10	0.885	0.00637
	<i>Callicebus olallae</i>	4	---	0.025
	<i>Callicebus pallescens</i>	14	0.98	0.000628