

Disponibilidad de hábitat para el jaguar (*Panthera onca*) y su distribución en el Bosque Atlántico del Alto Paraná en Paraguay

*Tesis presentada para optar al grado de Magíster de la Universidad de Buenos Aires, Área Recursos Naturales-2021*

**Johanna Yesica López Duré**

Lic. en Ciencias - Mención Biología - Universidad Nacional de Asunción - 2014

Lugar de trabajo: Instituto de Biología Subtropical – IBS  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – CONICET  
Universidad Nacional de Misiones - UNAM



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano  
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

## **COMITÉ CONSEJERO**

Director de Tesis

**Agustín Javier Paviolo**

Biólogo. Universidad Nacional de Córdoba

Doctor en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Córdoba

Co-director de Tesis

**María Busch**

Bióloga. Universidad de Buenos Aires

Doctora en Ciencias Biológicas. Universidad de Buenos Aires

## AGRADECIMIENTOS

Esta tesis no sería posible sin la gran ayuda del Dr. Ariel Insaurrealde, quien me brindo en todo momento su tiempo, apoyo y una paciencia infinita asesorándome en cada paso de esta tesis desde sus inicios, enseñándome cada herramienta del ArcGIS hasta la obtención de cada variable. Por toda la buena predisposición de siempre, le agradezco infinitamente.

También me gustaría agradecer al responsable de la idea de la actualización de las variables para el modelo de hábitat Carlos De Angelo, quien me asesoro en todo momento y atendió a todas mis inquietudes al respecto.

Agustín Paviolo por abrirme las puertas del instituto, de su casa y darme la oportunidad de trabajar con un excelente equipo humano, por las correcciones, asesoramiento y por ayudarme a llevar a cabo esta tesis.

María Busch, por el acompañamiento, por sus aportes a las correcciones siempre tan constructivas.

A Rodrigo Ayala, por todo el apoyo incondicional en todo el proceso de esta tesis y darme fuerzas para no desistir.

A mi madre, por darme todo en la vida y mucho más siempre.

A mis hermanos y sobrinas, quienes siempre me apoyaron en todo este proceso.

A Don Merardo y Ña Pocho, quienes siempre me llenaban de fuerza y deseos de superación.

A Nancy y Anibal, por adoptarme y hacerme sentir parte de la familia.

A Julia Martínez, por enseñarme los primeros pasos en GIS y guiarme en el proceso de obtención de las variables.

A Facundo Robino (Tato), por la colaboración en el análisis e identificación de las muestras fecales colectadas de Paraguay.

A Esteban Dadario (Toto), por el acompañamiento y aguante en el trabajo de campo.

A Yami, por brindarme tanto amor y paciencia en mi proceso de adaptación misionera y por el aguante de siempre.

A Sofi, por inspirarme a hacer otras cosas aparte de la tesis.

A Mile, por su amistad y apoyo incondicional.

A Romi y Angel, por abrirme las puertas de su casa y brindarme su amistad.

A la China y Tuity por ser mi familia porteña, adoptándome como parte de la familia.

A mis compañeras del máster; Adri, Clau y Fanny, gracias por el apoyo y amistad en todo este proceso.

A todo el equipo del Proyecto Yaguareté del IBS; Ezequiel, Belu, Maru, Tiri, Silvia, Diego, Yamil, Martín, Nati, Juan, Fran y el Negro, quienes me apoyaron en todo lo necesario para llevar a cabo esta tesis y me brindaron su amistad en todo momento.

A todos los voluntarios colaboradores de Paraguay; José Benítez, Sixto Fernández, Fredy Ramírez, Daniel Espinosa, Mirtha Ruiz Díaz, Calonga, y Geoffry quienes me facilitaron muestras, registros fotográficos y su buena predisposición en todo el muestreo de campo.

A todas las instituciones públicas y privadas del gobierno paraguayo que de alguna manera u otra me facilitaron datos; Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES), Dirección de Censos y Estadística (DGCE), Instituto Forestal Nacional (INFONA), La Fundación Moisés Bertoni (FMB), Campos Morombi S.A, Itaipu Binacional y la Reserva Maharishi.



## **Resumen**

El Bosque Atlántico del Alto Paraná en Paraguay (BAAP) ha sufrido un notable proceso de deforestación en los últimos 30 años, lo que puso en riesgo la supervivencia del jaguar al este del país. Estudios realizados en la década pasada mostraron que el hábitat disponible para el jaguar en el BAAP se encontraba muy fragmentado y que los registros de su presencia eran muy escasos, persistiendo la especie en sólo cinco remanentes de selva. Sin embargo, debido a la rápida transformación del paisaje en la región y a las altas presiones humanas de los últimos años, se estima que la superficie de hábitat disponible para el jaguar podría haber disminuido, y la especie desaparecido de algunos fragmentos remanentes. El objetivo del presente estudio fue evaluar la disponibilidad de hábitat para el jaguar y la persistencia de la especie en el Bosque Atlántico del Alto Paraná en Paraguay. La metodología consistió en actualizar un modelo de hábitat desarrollado en la década pasada con jaguares del BAAP. Para esta actualización se realizó un análisis de usos del suelo en el BAAP con imágenes satelitales del año 2015. Además, se realizaron muestreos participativos para determinar la presencia de jaguares en el BAAP, los cuales consistieron en la colección de heces, registro y medición de huellas y muestreos con cámaras trampa. Adicionalmente, se evaluaron los cambios en el uso del suelo entre los años 2004 y 2015. Los resultados indican que la superficie de hábitat para el jaguar no sufrió cambios significativos entre los años 2004 y 2015. No obstante, el modelo del año 2015 indica que sólo un 0,92% de la superficie total de la región es hábitat de calidad alta o media para el jaguar, y el resto del área total es considerada como hábitat de baja calidad, marginal o barreras para la especie. En cuanto a la persistencia del jaguar, los registros de presencia están restringidos a dos de los mayores remanentes del BAAP de Paraguay, la Reserva Natural Privada Morombí y la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú, habiendo desaparecido de los tres fragmentos en los que subsistía en el año 2004. Los tres fragmentos donde la especie estaba presente y desapareció recientemente fueron áreas pequeñas para sostener poblaciones de jaguar o áreas con altas presiones humanas y grados de protección deficiente. Los resultados obtenidos indican que la situación de conservación del jaguar en el BAAP de Paraguay es extremadamente crítica.

Palabras clave: aptitud de hábitat, Bosque Atlántico, fragmentación, jaguar, Paraguay, protección, uso de suelo

## **Abstract**

The Atlantic Forest of Alto Paraná in Paraguay (BAAP) has undergone a remarkable deforestation process in the last 30 years, which put the survival of the jaguar at risk. Studies conducted in the past decade showed that jaguar's habitat in the BAAP was fragmented and records of its presence were very scarce, persisting only in five remnants of forest. However, due to the rapid change of the region landscape, it is estimated that the habitat available for jaguar has declined in recent years and has disappeared from some remaining fragments. The objective of this thesis was to evaluate the habitat availability for the jaguar and its current distribution in the Atlantic Forest of Alto Paraná in Paraguay. The methodology included an analysis of satellite images from 2015, the update of a habitat suitability model, participatory monitoring through the collection of feces, records of tracks and trap cameras surveys in the largest remnants of the BAAP. The habitat area for the jaguar did not have significant changes between 2004 and 2015. The 2015 model indicates that only 0.92% of the total area of the region corresponds to high or medium quality habitat, and 99.13% of the total area is considered as low quality with marginal habitat or barriers for jaguars. Jaguar records are restricted to only 2 of the largest remnants of the BAAP of Paraguay (the Morombí Private Nature Reserve and the Mbaracayú Forest Nature Reserve), but having disappeared from the remaining fragments where were registered in last studies. The three fragments where the species was present and recently disappeared were either small areas to sustain jaguar populations or areas with high human pressures and poor degrees of protection. The results obtained indicate that the jaguar is critically endangered in the BAAP of Paraguay.

Keywords: habitat fitness, Atlantic Forest, fragmentation, jaguar, Paraguay, protection, land use

## Tabla de contenido

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <a href="#">Resumen</a>                                                                                                              | i   |
| <a href="#">Abstract</a>                                                                                                             | ii  |
| <a href="#">Tabla de contenido</a>                                                                                                   | iii |
| <a href="#">INTRODUCCIÓN</a>                                                                                                         | 1   |
| <a href="#">1.1 El hábitat del jaguar y el Bosque Atlántico del Alto Paraná</a>                                                      | 1   |
| <a href="#">1.2 Antecedentes de estudios con jaguares en el Bosque Atlántico del Alto Paraná</a>                                     | 3   |
| <a href="#">1.3 Objetivos</a>                                                                                                        | 5   |
| <a href="#">1.4 Preguntas e hipótesis</a>                                                                                            | 6   |
| <a href="#">2. Área de estudio</a>                                                                                                   | 6   |
| <a href="#">2.1 El Bosque Atlántico del Alto Paraná</a>                                                                              | 6   |
| <a href="#">METODOLOGÍA</a>                                                                                                          | 8   |
| <a href="#">3.1 Clasificación de uso del suelo en el Bosque Atlántico del Alto Paraná</a>                                            | 8   |
| <a href="#">3.2 Modelo global de hábitat</a>                                                                                         | 11  |
| <a href="#">3.3 Actualización de las variables para el modelo global</a>                                                             | 14  |
| <a href="#">3.4 Evaluación de la pérdida de cobertura boscosa entre los años 2004 y 2015</a>                                         | 17  |
| <a href="#">3.5 Contraste de disponibilidad de hábitat entre los años 2004 y 2015</a>                                                | 18  |
| <a href="#">3.6 Muestreo para evaluar la presencia de la especie</a>                                                                 | 18  |
| <a href="#">3.6.1 Toma de datos en campo</a>                                                                                         | 18  |
| <a href="#">3.6.2 Análisis de las muestras colectadas</a>                                                                            | 19  |
| <a href="#">3.7 Evaluación del grado de implementación de protección en las distintas áreas protegidas con presencia de jaguares</a> | 22  |
| <a href="#">RESULTADOS</a>                                                                                                           | 22  |
| <a href="#">4.1 Cobertura de la tierra (2004/2015).</a>                                                                              | 22  |
| <a href="#">4.2 Superficie de hábitat disponible para el jaguar para el año 2015</a>                                                 | 25  |
| <a href="#">4.3 Persistencia del jaguar en el Bosque Atlántico del Alto Paraná de Paraguay.</a>                                      | 26  |
| <a href="#">4.4 Evaluación del grado de protección de las áreas protegidas con presencia de jaguares en el pasado.</a>               | 28  |
| <a href="#">4.5 Cambios en la superficie boscosa del BAAP entre los años 2004 y 2015</a>                                             | 30  |
| <a href="#">DISCUSIÓN</a>                                                                                                            | 33  |
| <a href="#">CONCLUSIÓN</a>                                                                                                           | 36  |
| <a href="#">BIBLIOGRAFÍA</a>                                                                                                         | 38  |
| <a href="#">ANEXOS</a>                                                                                                               | 45  |



## INTRODUCCIÓN

### 1.1 El hábitat del jaguar y el Bosque Atlántico del Alto Paraná

Según Morrison (1998), el hábitat para una especie es un área en donde las condiciones ambientales y los recursos disponibles se adecúan a los requerimientos ecológicos de la especie, promoviendo la ocupación por sus individuos y permitiendo su supervivencia. No obstante, las condiciones ambientales de un hábitat pueden no ser estables en el tiempo, y cambios sobre sus condiciones naturales pueden significar cambios en la aptitud original del sitio como hábitat para la especie (Jackson & Overpeck, 2000).

La pérdida de hábitat es considerada como una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad (Jetz *et al.*, 2007), siendo los grandes carnívoros un grupo cuyas poblaciones han sufrido de forma particular la retracción del hábitat (Ripple *et al.*, 2014). En América, el jaguar o yaguareté (*Panthera onca*) es un ejemplo claro de esta situación. Es el felino más grande de América y uno de los más amenazados por la pérdida de hábitat (Quigley *et al.* 2017). En su distribución original habitaba desde el sur de los Estados Unidos hasta el norte de la Patagonia Argentina (Sanderson *et al.*, 2002), sin embargo, en la actualidad su distribución original se ha reducido en más de un 50%, sobre todo en los extremos Norte y Sur. Actualmente, la pérdida de hábitat sigue amenazando a muchas de las poblaciones de jaguares y la especie requiere de la conservación de hábitats extensos, ya que poseen áreas de acción de grandes dimensiones (Quigley *et al.* 2017).

En el Neotrópico uno de los remanentes más importantes de hábitat para el jaguar es el Bosque Atlántico del Alto Paraná (BAAP), ecorregión más interna del complejo Bosque Atlántico de Sudamérica. El BAAP constituye el extremo sur de la distribución actual del jaguar (Paviolo *et al.* 2006). Al igual que el resto del Bosque

Atlántico, el paisaje del BAAP ha sido modificado por el hombre y gran parte de sus selvas han desaparecido (De Angelo *et al.* 2011b, 2013), retrayéndose también las poblaciones de jaguares. La pérdida de superficie boscosa en el BAAP ha sido tan grave que, para el año 2008, Paviolo *et al.*, (2016) reportaron que en la ecorregión quedaba menos de un 7% de hábitat de entre media y alta calidad para el jaguar. Además, la especie se distribuía en menos del 3% de la región, con aproximadamente 300 individuos en subpoblaciones dispersas y altamente fragmentadas (Paviolo *et al.* 2016).

En Paraguay, la deforestación del BAAP de las últimas décadas eliminó los bosques continuos, quedando en la actualidad algunos parches remanentes representados por áreas protegidas, principalmente del sector privado (Cartes 2003). El proceso de transformación del paisaje ha continuado durante los últimos años, poniendo en peligro el hábitat y la supervivencia del jaguar al este del país (De Angelo *et al.* 2011, 2013). Además, se estimó que en la región hasta hace pocos años las poblaciones de jaguares vivían en bajas densidades y los deficientes controles contra la caza furtiva agravaban esta situación (Paviolo *et al.* 2008, 2016), sin embargo, poco se sabe sobre su situación actual. Si bien en los últimos años se ha generado información sobre la especie en la región, la mayor parte de los datos disponibles están desactualizados.

Para entender como las condiciones del paisaje en el BAAP podrían estar asociados con la persistencia del jaguar en la región, De Angelo *et al.*, 2013 desarrolló modelos de aptitud de hábitat para el BAAP, que determinaban la asociación de condiciones del paisaje con la presencia de la especie. De esta forma, observó que la persistencia del jaguar estuvo asociada positivamente a la presencia de grandes fragmentos de bosques y que la densidad humana, la accesibilidad y los usos del suelo antrópicos afectaron negativamente a la especie. Además, sugirió que cambios sobre las

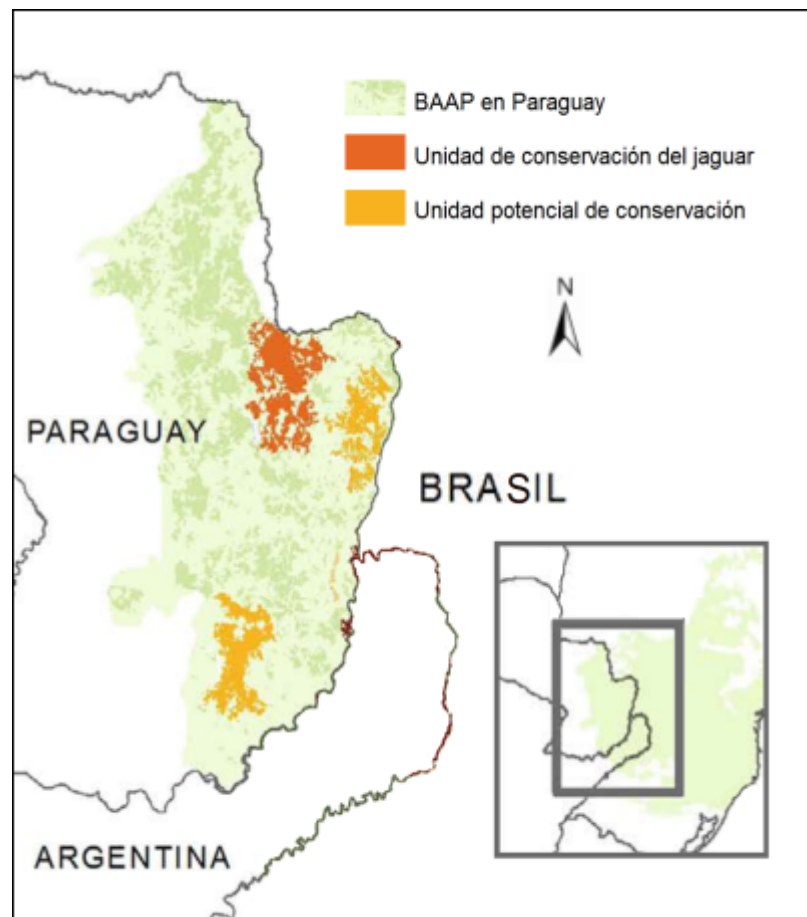
condiciones actuales e históricas de la fragmentación del BAAP afectarían a la disponibilidad de hábitat para la especie.

## **1.2 Antecedentes de estudios con jaguares en el Bosque Atlántico del Alto Paraná**

Los primeros estudios que incluyeron al jaguar en Paraguay fueron evaluaciones sobre dieta y uso de hábitat de carnívoros. Estos se desarrollaron en la Reserva Natural del Bosque Mbarakayú (RNBM) con el apoyo de la Fundación Moisés Bertoni (FMB) (Zuercher *et al.* 2001; Fundación Moisés Bertoni, datos no publicados). Luego, la fundación continuó con monitoreos sistemáticos de jaguares en la reserva y participó del proyecto liderado por el Dr. Carlos De Angelo, investigador del CONICET (Argentina). De Angelo aunó los esfuerzos de varias instituciones que aportaron al conocimiento sobre la distribución y el estado poblacional del jaguar en el Bosque Atlántico de Argentina, Brasil y Paraguay (De Angelo *et al.* 2011a, 2013). Posteriormente, se desarrolló una evaluación de la disponibilidad del hábitat y del estado poblacional del jaguar en todo el Bosque Atlántico (incluido el BAAP) (Paviolo *et al.* 2016). Los trabajos realizados por De Angelo (2011b; 2013) y Paviolo *et al.* (2016) están entre las investigaciones más recientes sobre el hábitat del jaguar para el BAAP. Los autores obtuvieron mapas de aptitud de hábitat para la especie en la región, incluyendo Brasil, Paraguay y Argentina. Estos mapas se basan en modelos que consideran los registros de presencia de jaguares y variables antrópicas y de paisaje para el año 2004 y 2008 respectivamente.

De acuerdo a estos últimos estudios, el hábitat disponible de la especie estaba muy fragmentado y los registros eran muy escasos, subsistiendo el jaguar en cinco fragmentos de selva asociados a áreas protegidas: la Reserva Natural del Bosque Mbarakayú, la Reserva de Recursos Manejados San Rafael, la Reserva Privada Morombí y los refugios de la hidroeléctrica binacional Itaipú Refugio Biológico Limoy

e Itabó. Estas poblaciones remanentes se encontraban en altísimo riesgo de ser extintas debido a su pequeño tamaño y a las altas presiones antrópicas que sufrían (De Angelo *et al.* 2011a, 2011b; 2013; Paviolo *et al.* 2016). En base al hábitat disponible y la presencia de la especie en el BAAP de Paraguay, Paviolo *et al.* (2016) definieron para el país una Unidad de Conservación del Jaguar (JCU), que son subpoblaciones con presencia de machos y hembras, y dos Unidades de Conservación del Jaguar Potenciales (PJCU), que son áreas donde la especie está presente, pero la presencia de hembras no está confirmada (Figura 1, Paviolo *et al.* 2016).



**Figura 1.** Ubicación de las Unidades de Conservación del Jaguar (JCU) y las JCU potenciales en el BAAP. En Paraguay se identificaron una JCU formada por las Reservas Mbaracayú y Morombí. Las otras dos JCU potenciales están formadas por la



Reserva de Recursos Manejados San Rafael y fragmentos cercanos, y la otra por los Refugios de la empresa Itaipú. Figura adaptada de Paviolo *et al.* 2016.

En el año 2016 se publicó el “Plan de manejo de la *Panthera onca* en Paraguay”, el cual menciona que una población remanente se encuentra en la parte este del país (Secretaría del Ambiente, Wildlife Conservation Society Paraguay & Itaipu Binacional, 2016). Sin embargo, la mayoría de los registros publicados tienen varios años de antigüedad y probablemente no reflejan la situación actual de la especie.

Paralelamente a estos estudios, la Fundación Moisés Bertoní en colaboración con otras instituciones de Paraguay (WWF y otros) conformaron la Alianza Jagueté. Como alianza desarrollaron estudios con cámaras trampa y seguimientos de individuos mediante collares satelitales en la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú y la Reserva Privada Morombi, donde fueron reportados los últimos registros de jaguares para la región. Además, Fariña (2012) realizó su tesis de maestría sobre densidad poblacional del jagueté y su relación con el puma en la Reserva Morombi.

### 1.3 Objetivos

El objetivo general de este proyecto fue evaluar la disponibilidad del hábitat para el jaguar en el Bosque Atlántico del Alto Paraná en Paraguay, y la persistencia de la especie en remanentes boscosos de la región relevados anteriormente. Como objetivos específicos se propusieron:

- 1- Realizar una clasificación de usos del suelo con imágenes satelitales del BAAP para el año 2015.
- 2- Actualizar el mapa de disponibilidad de hábitat del jaguar en el BAAP entre 2004 y 2015, tomando como base la información generada por De Angelo *et al.* (2013).
- 3- Comparar la superficie de hábitat disponible entre los años 2004 y 2015.
- 4- Determinar la presencia y distribución actual del jaguar en el BAAP de Paraguay.

## **1.4 Preguntas e hipótesis**

En relación a los objetivos planteados se presentan las siguientes hipótesis:

H1). El reemplazo de los hábitats naturales por usos del suelo antrópicos afecta a la disponibilidad del hábitat del jaguar.

Predicción: La pérdida de bosque nativo y el aumento del área destinada a actividades antrópicas entre los años 2004 y 2015 en el BAAP de Paraguay produjo una disminución en la proporción del área apta como hábitat para el jaguar.

H2) El tamaño de los fragmentos de bosque, y el grado de implementación de la protección, influyen en la supervivencia de las poblaciones de jaguares.

Predicción: Las áreas donde subsistan poblaciones de jaguares serán aquellas que mantienen fragmentos de bosque mayores a 10.000 ha, que tengan planes de manejo implementados y recursos disponibles para la protección del área.

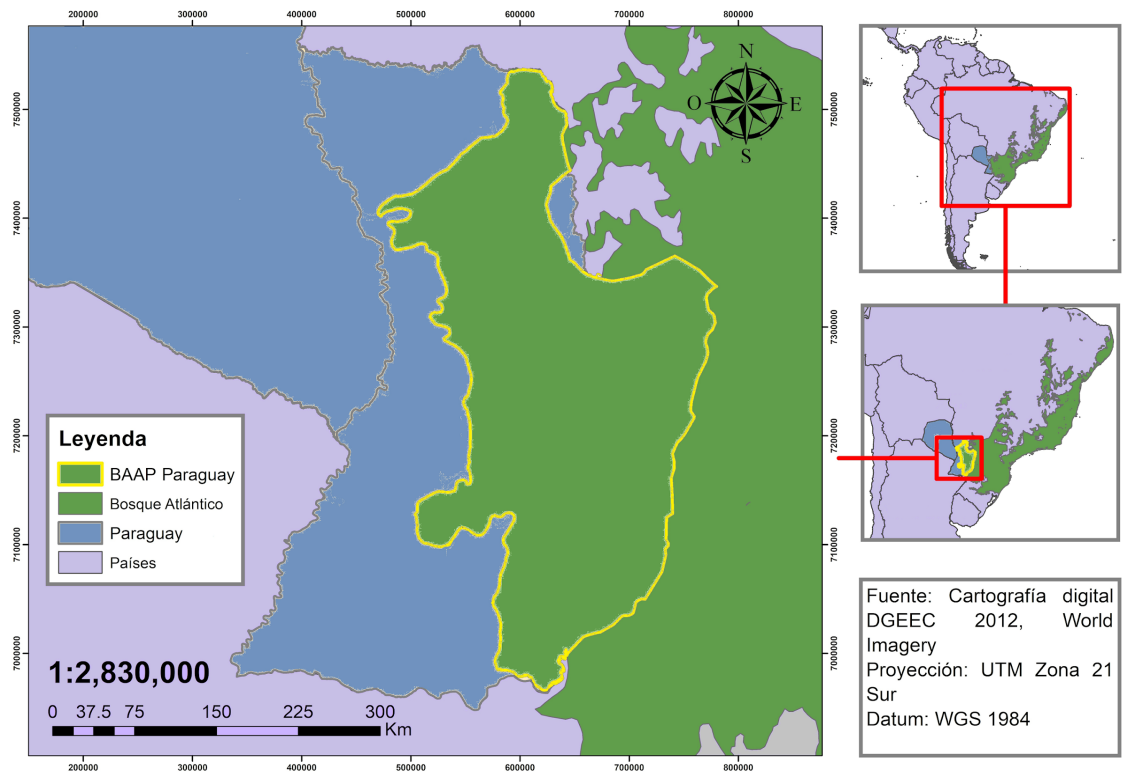
## **2. Área de estudio**

### **2.1 El Bosque Atlántico del Alto Paraná**

El Bosque Atlántico constituye un complejo de 15 ecorregiones terrestres, del que el Bosque Atlántico del Alto Paraná forma parte y comprende los territorios del sur-este de Brasil, parte este de la región oriental del Paraguay y la provincia de Misiones en Argentina (Di Bitetti *et al.* 2003) (Figura 2). La vegetación se caracteriza por ser un bosque subtropical semideciduo alternada con ambientes de selvas y otros tipos de formaciones boscosas como los bosques en galería, bambusales y palmitales (*Euterpe edulis*). El clima es subtropical húmedo de temperatura media anual de 16 a 22°C y precipitaciones que varían entre 1000 a 2200 mm anuales (Di Bitetti *et al.* 2003).

En Paraguay, el BAAP ocupaba originalmente una superficie aproximada de 8.700.000 hectáreas y se extendía por gran parte del este de la región oriental del país, comprendiendo los departamentos de Alto Paraná, Canindeyú, Guairá, Itapúa,

Caaguazú, Cordillera, San Pedro y Caazapá y una pequeña porción del “Cerrado” al oriente de Concepción y Amambay (Cartes 2003).



**Figura 2:** Ubicación geográfica del Bosque Atlántico del Alto Paraná en Paraguay.

Esta tesis se enfocó en la ecorregión del BAAP de Paraguay, parte del área de estudio De Angelo *et al.* (2013), quienes realizaron las primeras evaluaciones de hábitat de jaguares para el país. El trabajo de campo de búsqueda de la especie se llevó a cabo en las principales áreas silvestres protegidas públicas y privadas del BAAP de Paraguay, las cuales se manejan bajo diferentes niveles de protección. Por un lado, están las áreas públicas administradas por el gobierno, como lo son los parques nacionales; “Parque Nacional Ybucu’i” y “Parque Nacional Ñacunday”, y los refugios y reservas de la entidad binacional Itaipú. Por otro lado, están las áreas de manejo privado como la Reserva Natural Maharishi, la Reserva de Recursos Manejados San Rafael, la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú (con la mayor extensión continua de bosque original

relativamente poco perturbado) y la Reserva Natural Privada Morombi. Estas tres últimas conservan los remanentes de selva más importantes del BAAP en Paraguay.

## **METODOLOGÍA**

### **3.1 Clasificación de uso del suelo en el Bosque Atlántico del Alto Paraná**

La evaluación de la disponibilidad de hábitat para el jaguar realizada en esta tesis consistió en la actualización de las variables para correr nuevamente el modelo global de hábitat desarrollado por De Angelo *et al.* (2013), quienes evaluaron la disponibilidad de hábitat para el año 2004 en el BAAP considerando las variables de uso del suelo planteados por Izquierdo *et al.* (2008) y De Angelo (2009) (Tabla 1). Con el fin de obtener una evaluación actualizada del hábitat disponible para el jaguar, se realizó una nueva clasificación de uso del suelo con imágenes satelitales del año 2015. Adicionalmente, se realizó un relevamiento de jaguares en la región para evaluar si la persistencia de la especie está determinada por las condiciones de hábitat obtenidas mediante el modelo global de De Angelo *et al.* (2013). Todo esto se detalla más adelante.

#### *Imágenes satelitales*

Se realizó una clasificación de uso del suelo para la región del BAAP de Paraguay mediante métodos de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para ello se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 del año 2015 con 30 metros de resolución, descargadas de manera gratuita desde el sitio web del *United States Geological Survey* (USGS) (<http://earthexplorer.usgs.gov>). Se construyó una base de 4 escenas para cubrir el área de estudio, donde la mayor parte de las imágenes utilizadas corresponden a los meses de otoño del año 2015 (Anexo 6). Todas las imágenes fueron transformadas al sistema de coordenadas *Universal Transverse Mercator* (UTM) para la

zona 21 Sur. Además, fueron calibradas y corregidas espectral y espacialmente con el fin de mejorar la discriminación de cubiertas espaciales y favorecer la comparación con otras imágenes satelitales. El procesamiento previo de las imágenes fue realizado con el software ArcGIS Pro (versión 1.4) por la Dra. Julia Martínez Pardo, miembro del equipo del Proyecto Yaguareté, siguiendo la metodología utilizada por De Angelo (2009), de forma de poder comparar los resultados obtenidos de esta nueva clasificación con la clasificación de uso del suelo del año 2004 realizados por De Angelo (2009).

#### *Clasificación supervisada de uso del suelo*

La clasificación de uso del suelo se realizó con el programa ArcGis Pro 1.4, mediante la técnica de clasificación supervisada y aplicando el método de máxima verosimilitud. La clasificación supervisada consiste en una interpretación visual de la imagen para la toma *a priori* de repetidas muestras de las categorías a clasificar. El análisis de máxima verosimilitud entre la información contenida en la imagen y las muestras tomadas visualmente lo realiza el software para clasificar el contenido de la imagen en las distintas categorías seleccionadas de cobertura. El muestreo fue realizado a una escala de 1:100.000, además, para la interpretación visual de las imágenes se utilizó como mapa base y apoyo visual las imágenes de Google Earth y World Imagery Esri.

Se utilizó como referencia las descripciones de Izquierdo *et al.* (2008) y De Angelo (2009) para el reconocimiento de la reflectancia espectral de los diferentes tipos de usos del suelo para tomar muestras para la clasificación, donde cada escena fue clasificada por separado y las coberturas/usos fueron subdivididas en categorías más específicas con el fin de tener una mayor separación de las clases (Tabla 1).

### *Proceso de segmentación*

Para la toma de muestras se utilizó el método de segmentación con la herramienta *Segment Mean Shift* de ArcGisPro 1.4. Esta herramienta permite la toma de muestras mediante la segmentación de imágenes basado en objetos, es decir, agrupa los píxeles vecinos que comparten determinadas características en la imagen. Posterior a la segmentación, en cada imagen se tomaron muestras (segmentos) de las diferentes clases de uso del suelo con las que se desarrolló el modelo de clasificación. Primeramente, se subdividieron las clases para una clasificación preliminar siguiendo a Izquierdo *et al.* (2008), y luego se combinaron las subclases para el procesamiento post-clasificación.

**Tabla 1.** Clases de usos del suelo planteados por Izquierdo *et al.* (2008) y De Angelo (2009) para el desarrollo del modelo de hábitat para el jaguar en el BAAP (De Angelo *et al.* 2013) y utilizadas en este trabajo.

| <b>Clase</b>         | <b>Descripción</b>                                           |
|----------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1. Agua              | Cuerpos de agua                                              |
| 2. Cultivo Intensivo | Suelo desnudo, cultivo anual y perenne                       |
| 3. Cultivo Mixto     | Agricultura de subsistencia o de pequeña escala              |
| 4. Urbano            | Áreas urbanas de ciudades y pueblos                          |
| 5. Bosques           | Bosques nativos de áreas bajas, áreas altas y de ribera      |
| 6. Pasturas y Campos | Áreas homogéneas de pasturas y campos naturales              |
| 7. Plantaciones      | Plantaciones forestales jóvenes y maduras (eucalipto y pino) |

### *Proceso de post-clasificación*

Se realizó una post-clasificación de las imágenes con las herramientas *Sieve* y *Clump* del QGIS 3, de manera de reducir el efecto de granulado y eliminar píxeles sueltos de todas las categorías. La función *Sieve* fue usada para eliminar grupos de menos de 5 píxeles, mientras que la función *Clump* fue corrida a 5x5 píxeles para

suavizar el filtrado y rellenar los espacios con la clase mayoritaria. Finalmente, cada imagen clasificada fue transformada a una resolución de 330 x 330 m por pixel, la misma utilizada por De Angelo (2009), con el fin de poder comparar los resultados obtenidos de esta nueva clasificación con el año 2004 y así también poder medir el cambio de superficie de usos del suelo.

#### *Validación de la clasificación de uso del suelo*

Primeramente, la validación de la clasificación generada se realizó con los datos colectados en el muestreo espacial durante el proceso de entrenamiento de la clasificación supervisada, el cual permite realizar correcciones a partir de un proceso de prueba y error entre las muestras tomadas en la imagen y la clasificación resultante (Huang *et al.* 2007). Por otro lado, se empleó un muestreo aleatorio estratificado (Olofsoon *et al.* 2013), el cual consiste en tomar muestras (pixeles) sobre la imagen clasificada, de manera aleatoria y estratificada, proporcionando un mínimo de observaciones aleatoriamente en cada categoría que posteriormente fueron validadas visualmente utilizando como referencia imágenes de alta resolución disponible en Google Earth (<https://earth.google.com/web/>). La estimación del error se calcula construyendo una matriz de error (Card 1982), que permite evaluar el modelo de clasificación a partir del conteo de la cantidad de aciertos y errores de cada una de las clases que el modelo clasifica.

### **3.2 Modelo global de hábitat**

Como ya se ha mencionado, la evaluación realizada en esta tesis de la disponibilidad de hábitat para el jaguar consistió en la actualización de las variables y el modelo global de hábitat desarrollado por De Angelo *et al.* (2013) para el BAAP. Dicho modelo fue desarrollado por De Angelo *et al.* (2013) con imágenes satelitales del año 2004 y analiza las probabilidades de presencia del jaguar en función de variables

antrópicas y de paisaje. A partir de la información obtenida de la clasificación de usos del suelo para el año 2004 y 2015 (Tabla 2), el modelo global fue corrido nuevamente para comparar la superficie del hábitat del jaguar y el uso del suelo entre estos años.

#### *Variables del paisaje y antrópicas*

El modelo global de De Angelo *et al.* (2013) determinó cuáles son las variables que mejor explican la presencia de jaguar en el BAAP para el año 2004. Así, la persistencia del jaguar estuvo asociada positivamente a la presencia de bosques nativos. Además, los usos del suelo antrópico, la densidad poblacional humana y la accesibilidad para el hombre afectaron negativamente al hábitat de la especie. Para dicho modelo, las variables de paisaje y antrópicas fueron generadas en base a mapas de uso del suelo del BAAP para el año 2004, como se detalla a continuación:

- Variables de paisaje: (1) bosque en un radio de 1 km, estimado a partir del porcentaje de bosque nativo que posee cada celda en un radio de 1 km mediante un análisis de vecindad; (2) cultivo intensivo en un radio de 1 km, estimado a partir del porcentaje de agricultura intensiva que posee cada celda en un radio de 1 km; (3) cultivo mixto en un radio de 4 km, estimado a partir del porcentaje de agricultura a pequeña escala que posee cada celda en un radio de 4 km; (4) pasturas y campos en un radio de 4km, estimado a partir del porcentaje de pasturas y campos que posee cada celda en un radio de 4 km; (5) categoría de nivel de protección, considerando a las áreas protegidas con valores categóricos
- Variables antrópicas: (1) población rural promedio, estimada a partir de los datos censales poblacionales; (2) costo de acceso, el cual representa el costo de acceso para las personas, medido en las horas que se necesitan para acceder a un pixel desde la localidad más cercana, teniendo en cuenta las vías de acceso (rutas y/o ríos) y las características del paisaje (uso del suelo, pendiente, etc.), y donde los



límites de las áreas protegidas existentes para cada período fueron incorporadas como barreras que reducen la accesibilidad (De Angelo *et al.* 2011). En el BAAP la distancia a las vías de acceso de cazadores demostró tener un efecto significativo en la presión de caza furtiva (Martinez Pardo *et al.* 2022) y en la abundancia de felinos y sus presas (Di Bitetti *et al.* 2008, Paviolo *et al.* 2009).

Cabe mencionar que De Angelo *et al.* (2013) consideraron el efecto de una variable histórica, determinada como el bosque presente en el pasado (año 1988) en un radio de 7 km (Tabla 2). Esta última variable quedó en el modelo final del trabajo debido a que permitía ajustar mejor los datos de presencia de la especie. Los autores explican que la cantidad de bosques presentes en el pasado ayuda a explicar la presencia de la especie en pequeños fragmentos que han ido quedando aislados. Estos fragmentos son en realidad áreas con probabilidades relativamente altas de tener jaguares sólo porque en el pasado han tenido mucho bosque, pero posiblemente sean áreas que no sean capaces de sostener a los jaguares en el mediano plazo. Por lo tanto, más que áreas aptas se tratan de áreas con "deuda de extinción" (De Angelo *et al.* 2013). Esto quiere decir que, si bien estas áreas pueden eventualmente sostener algún jaguar remanente, la especie se extinguirá en el futuro cuando estos animales presentes mueran. Para la situación particular de esta tesis, como el objetivo fue evaluar las condiciones del hábitat entre el año 2004 y 2015, y no explicar las variables que afectan la posibilidad de encontrar a la especie en el presente, en este trabajo no se incluyó la variable de bosque en el pasado y fue eliminada asignando un nuevo valor igual a 0 en los análisis, es decir, se anuló el efecto de esta variable para el modelo. Por lo tanto, no fue considerada para correr los dos modelos realizados en esta tesis, el modelo global para el año 2004 y el mismo modelo global actualizado al año 2015.

### 3.3 Actualización de las variables para el modelo global

La actualización de las variables del modelo global desarrollado por De Angelo *et al.* (2013) consistió en la generación de nuevos valores para las variables antrópicas y de paisaje que conforman al modelo. Así, todas las variables mencionadas anteriormente fueron generadas nuevamente, pero con información actualizada de los parámetros para los años 2004 y 2015, con el fin de realizar las comparaciones entre la disponibilidad de hábitat para ambos años.

No obstante, cabe mencionar que la variable antrópica población rural media no fue posible actualizarla, ya que los datos del último censo paraguayo realizado en el año 2012 no fueron publicados por la Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censos del Paraguay (DGEEC), por causa de un error en la toma de datos. Para resolver este problema, se decidió utilizar la variable población rural media, es decir, el promedio de la población rural entre los años 1970 y 2000 interpolado al área de estudio (BAAP de Paraguay).

#### *Variables de paisaje*

Las variables de paisaje “*porcentaje de bosque nativo en radio de 1km (bosque\_1km), porcentaje de agricultura intensiva en radio de 1km (Intensivo\_1km), porcentaje de agricultura mixta en radio 4km (Mixto\_4km), porcentaje de pasturas y campos en radio de 4km (Campos\_4km)*” fueron generadas utilizando la herramienta focal statistic del software ArcGisPro 1.4 y la información contenida en el mapa de uso del suelo del año 2015. Las variables de nivel de protección “*protect\_cat0, protect\_cat1 y protect\_cat2*” son variables categóricas y fueron generadas mediante la asignación de valores a las diferentes áreas protegidas que se encuentran en el área de estudio de acuerdo a la categoría de protección a la que pertenecen, dando el valor 0 a las áreas sin categoría de protección, valor 1 a las reservas naturales privadas y valor 2 a las áreas

con mayor protección, como los parques nacionales, binacionales y la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú.

Para generar las variables de categorías de protección, de la capa de áreas naturales protegidas del área de estudio se preparó un ráster para cada categoría de área protegida. Con la herramienta *Reclassify* se crearon tres rústers distintos con las siguientes categorizaciones:

- Categoría 0). Esta categoría corresponde a la variable “protec\_cat0” del modelo global y es un ráster en donde se asignó el valor “1” a todas las áreas silvestres protegidas, y “0” a las regiones no protegidas.
- Categoría 1). Esta categoría corresponde a la variable “protec\_cat1” del modelo global y es un ráster que representa a las áreas de protección intermedia o uso sustentable, asignándole el valor “1” a las reservas privadas (con excepción de Mbaracayú), reservas de la biosfera y refugios biológicos de Itaipú, y “0” a todo el resto de la capa.
- Categoría 2) Esta categoría corresponde a la variable “protec\_cat2” del modelo global y es un ráster que representa a las áreas protegidas con el mayor nivel de protección o protección integral, asignándole el valor “1” a los parques nacionales y a la Reserva Mbaracayú, y “0” al resto de la capa.

#### *Variables antrópicas*

Una de estas es la variable antrópica costo de acceso (*acceso\_cost*), la cual se utilizó como base el mapa actualizado de usos del suelo para el año 2015 y el mapa del año 2004 con la información de las vías de acceso y características del paisaje. Las vías de acceso facilitan el asentamiento humano y los cambios en el uso del suelo, así como tienen influencia en la explotación de los ambientes naturales por parte del hombre (Sanderson *et al.* 2002). Esta variable representa el costo para una persona, medido

como las horas necesarias para acceder a la celda ubicada desde la localidad o ciudad más cercana, y considera las vías de acceso (rutas y/o ríos) y las características del paisaje (usos del suelo, pendientes, etc.), donde los límites de las áreas protegidas existentes fueron incorporados como barreras que reducen la accesibilidad. Considera así a las ciudades y poblados más cercanos del área de estudio, como fuentes de las presiones humanas (cazadores, animales domésticos, etc.). Se utilizaron los datos de rutas principales (asfaltadas), secundarias (camino de tierra) y caminos menores como vías de acceso, junto a los ríos principales. Estas vías de acceso fueron categorizadas según la velocidad promedio de circulación, medido en km/h. Los ríos fueron incorporados como vía de acceso de baja velocidad (10km/h), ya que en áreas boscosas suelen ser utilizados por cazadores para acceder a sitios de caza (Di Bitetti *et al.* 2006; Di Bitetti *et al.* 2008), pero en áreas abiertas constituyen una “barrera”, ya que limita el tránsito con vehículos. Finalmente, el resultado del análisis de accesibilidad es un mapa de costo de acceso para el área estimado en unidades de tiempo (Anexo 4).

**Tabla 2.** Variables del modelo global utilizadas por De Angelo en el año 2004 y actualizadas para el año 2015.

| <b>Variables</b>              | <b>Descripción</b>                                                         |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| bosque_r1                     | bosque en un radio de 1km                                                  |
| cultivo intensivo_r1          | agricultura intensiva en radio de 1km                                      |
| cultivo mixto_r4              | agricultura mixta en radio de 4km                                          |
| pasturas y campos_r4          | campos y pasturas en radio de 4km                                          |
| protect_cat0 x<br>acceso_cost | área no protegida multiplicada por el costo de acceso                      |
| protect_cat1 x<br>acceso_cost | área protegida de uso sustentable multiplicada por el costo de acceso      |
| protect_cat2 x<br>acceso_cost | área protegida con protección integral multiplicada por el costo de acceso |
| población_hist rural          | población rural promedio entre 1970 y 2000 (no actualizada)                |

### *Actualización de los mapas de disponibilidad de hábitat*

Con la herramienta “*raster calculator*” del programa ArcGIS Pro 1.4 se construyeron los mapas de disponibilidad de hábitat (2004-2015) basados en el modelo global de De Angelo *et al.* (2013). Para esto, se cargaron todas las variables incluidas en el modelo global original. Una vez obtenido el mapa de disponibilidad de hábitat, se definieron los seis puntos de corte de aptitud de hábitat planteados originalmente por De Angelo *et al.* (2013):

- Barrera: áreas con probabilidades de presencia de jaguares menor al 15%
- Marginal: áreas con probabilidades de presencia de jaguares mayores al 15% y menores al 40%
- Muy baja: áreas con probabilidades de presencia de jaguares mayores al 40% y menores al 60%
- Baja: áreas con probabilidades de presencia de jaguares mayores al 60% y menores al 80%
- Media y alta: áreas con probabilidades de presencia de jaguares mayores al 80% y menores al 90% para media. Mayores al 90% para alta.

Todas las variables generadas fueron analizadas con el programa ArcGIS Pro 1.4, en formato ráster con un nivel de resolución de 330 m.

### **3.4 Evaluación de la pérdida de cobertura boscosa entre los años 2004 y 2015**

Utilizando la herramienta *Calculator* de ArcGIS Pro 1.4, a partir de las capas de usos del suelo del año 2004 y 2015, se calculó la superficie de cobertura boscosa en hectáreas para ambos años, así también, se calcularon las demás coberturas clasificadas. Además, se contrastaron los resultados en la cobertura de bosques y diferentes usos del suelo de ambos años (2004 y 2015). Como resultado final se obtuvieron los cambios en la superficie de los diferentes usos del suelo en el periodo comprendido entre el 2004 y el 2015 (Tabla 3, Figuras 5).

### **3.5 Contraste de disponibilidad de hábitat entre los años 2004 y 2015**

Para evaluar los cambios en la disponibilidad del hábitat se contrastaron la superficie de hábitat para el año 2004 (obtenidos en esta tesis sin la variable bosque\_año1973) con la superficie de hábitat para el año 2015 (Tabla 4, Figura 6 y 7). Además, se contrastó el mapa de aptitud de hábitat para el año 2015 con los datos de presencia del jaguar, obtenidos mediante el relevamiento de campo y la información de registros confirmados provista por grupos de colaboradores.

### **3.6 Muestreo para evaluar la presencia de la especie**

#### **3.6.1 Toma de datos en campo**

Para registrar la presencia de la especie en el área de estudio se aplicaron dos métodos de muestreo. Por un lado, se visitaron las áreas donde fueron registrados jaguares en el pasado y los lugares donde no se tenían registros anteriores en búsqueda de evidencias actuales de la especie, tales como heces, huellas y pelos. También se instalaron cámaras trampa en las reservas Morombi, Mbarakayú y las tres Reservas de Itaipú (Itabo, Pikyry y Tati Yupi). Por el otro, se contactaron pobladores locales para conformar una red de colaboradores como sistema de recolección de datos participativo en la región. El grupo de colaboradores fue conformado por un total de 12 voluntarios locales, en su mayoría guardaparques de diferentes lugares en el área de estudio (Figura 3), a los cuales se les hizo entrega de un kit de colecta (guantes descartables, bolsas de papel, regla milimetrada, bolígrafo y bolsas tipo ziploc). Además, los colaboradores fueron capacitados para coleccionar registros indirectos como huellas, pelos y heces.

#### *Huellas y heces*

Las huellas se registraron por medio de fotografías con una referencia que demuestre su tamaño real para su posterior análisis e identificación específica. Además, los colaboradores también coleccionaron heces de más de 2 cm de diámetro haciendo uso

de guantes descartables, depositándolas en bolsas de papel rotuladas y cerradas para evitar la posible contaminación genética entre muestras. Posteriormente las heces fueron almacenadas en frascos rotulados con alcohol al 96% para asegurar su conservación hasta ser trasladadas al laboratorio para realizar un análisis genético para identificar la especie.

#### *Cámaras trampa*

Se instalaron un total de 8 cámaras trampa de la marca Cudde back Digital en áreas protegidas de Itaipú, de las cuales 4 cámaras fueron instaladas en la Reserva Biológica Itabó, 2 cámaras trampa en el Refugio Biológico Pikyry y 2 cámaras trampa en el Refugio Biológico Tati Yupi. Sin embargo, 3 de las mismas fueron robadas (1 cámara trampa en cada reserva), el resto de las cámaras (5) permanecieron funcionando por lo menos durante un mes en cada localización. Además, se recibieron los registros del monitoreo con cámaras trampa llevado a cabo por las instituciones que colaboraron en este trabajo, la Fundación Moisés Bertoni y la Reserva Natural Privada Morombí. Por otro lado, se recibieron datos de voluntarios de la agencia del Cuerpo de Paz en Paraguay que han compartido el monitoreo con cámaras trampa que llevaron a cabo en los alrededores del Parque Nacional Ybycu'í. Finalmente, con todos los métodos de muestreo realizados en campo (monitoreo participativo mediante la red de colaboradores, instalación de cámaras trampa en áreas protegidas y búsqueda de huellas y heces) se elaboró un mapa del esfuerzo de muestreo (Anexo 5).

### **3.6.2 Análisis de las muestras colectadas**

#### *Identificación genética de las muestras fecales*

Las muestras fecales fueron analizadas genéticamente mediante marcadores moleculares de ADN mitocondrial y microsatélites específicos desarrollados en el laboratorio del Museo de Historia Natural Bernardino Rivadavia de la ciudad de Buenos

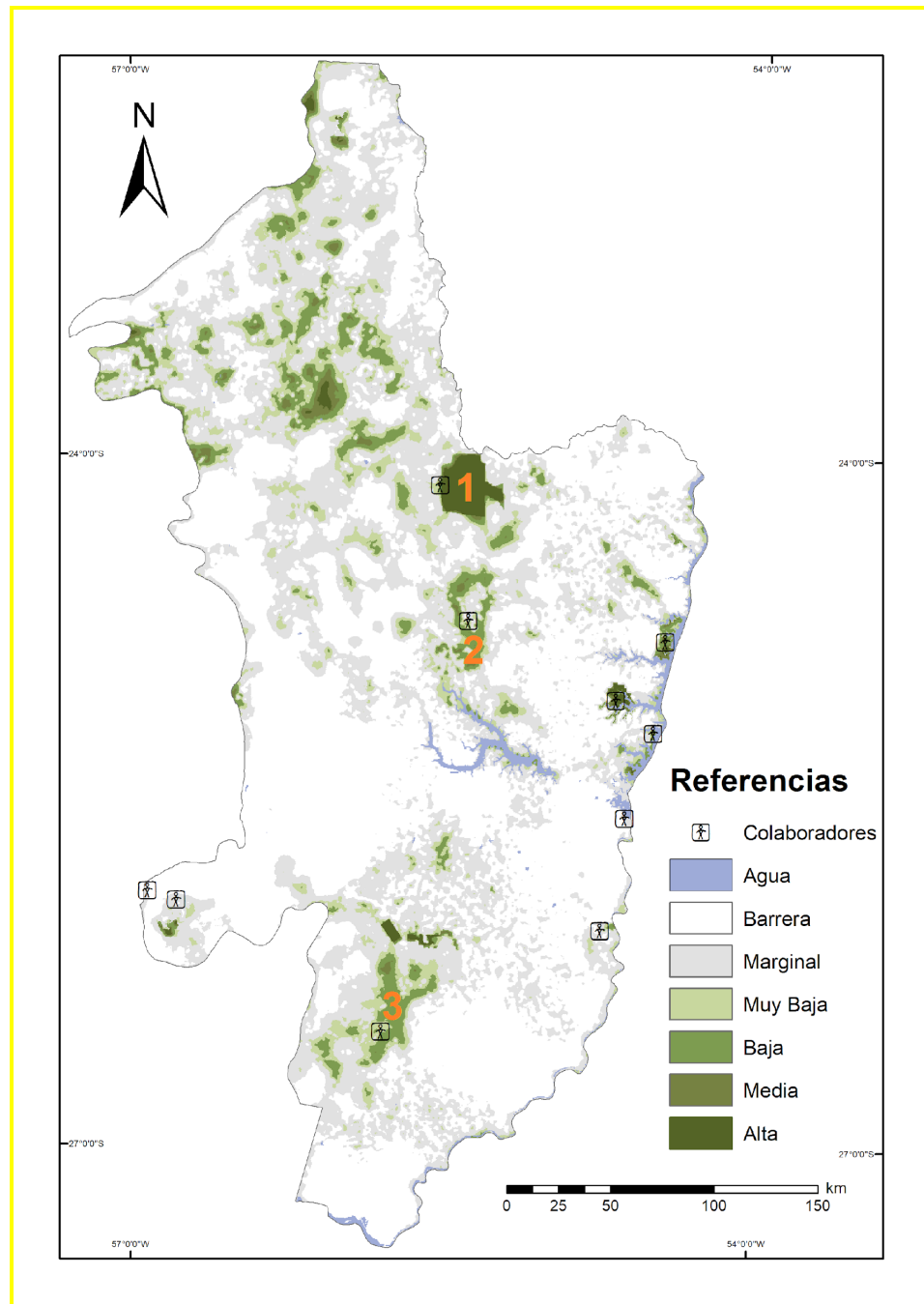
Aires. El trabajo de identificación fue realizado por el Biólogo Facundo Robino quién es integrante del equipo de trabajo en el Instituto de Biología Subtropical (IBS) y del Proyecto Yaguareté.

Primeramente, se extrajo el ADN de las heces con kits de extracción de heces (QUIAGEN de kits de Quick-DNA Fecal/Soil Miniprep Kit), luego se procedió al almacenamiento del producto y estimación de la calidad del ADN extraído mediante una corrida de PCR en Real Time amplificando un microsatélite del gato doméstico (FCA 740), de manera de evaluar la calidad de las muestras para luego procesarlas diferencialmente en posteriores amplificaciones. Además, para la identificación de la especie se realizó una amplificación del fragmento mitocondrial ATP-6, con un posterior análisis de la secuencia con Bioedit. Finalmente, para el genotipado se utilizaron 10 microsatélites desarrollados para el gato doméstico.

#### *Medición de huellas*

La identificación de huellas se realizó mediante las fotografías digitales tomadas en campo con referencia de tamaño. Las fotografías fueron editadas previamente modificando el contraste y brillo para lograr una mayor definición del contorno de la huella. Con el apoyo del programa Image J se tomaron 13 mediciones de cada huella fotografiada que se introdujeron a la clave de identificación de huellas desarrollado por De Angelo et al. (2010), la cual diferencia huellas de cánidos y félidos, identificando también huellas de pumas y jaguares. Esta clave de identificación utiliza 13 mediciones para identificar la especie en base a un modelo discriminante desarrollado para el reconocimiento de huellas (De Angelo et al., 2010).





**Figura 3.** Mapa de aptitud de hábitat extraído de De Angelo, 2009 con la variable histórica\_bosque1973. Además, se indica la distribución del grupo de colaboradores conformado por voluntarios locales para registrar la presencia de jaguares en el área de estudio. 1) Reserva Mbaracayú. 2) Reserva Morombí. 3) San Rafael

### **3.7 Evaluación del grado de implementación de protección en las distintas áreas protegidas con presencia de jaguares**

Con el fin de evaluar el grado de implementación de protección de las reservas donde en el pasado se habían registrado jaguares, se realizó una encuesta a los responsables de las siguientes áreas protegidas: Reserva Natural del Bosque Mbaracayú, Reserva Natural Privada Morombi, Reserva Natural Itabo y Limoy de Itaipú Binacional y la Reserva de Recursos Manejados San Rafael. Esta encuesta se basó fundamentalmente en analizar los criterios del grado de protección considerados en los trabajos de Paviolo *et al.* (2008) y Bruner *et al.* (2001). De esta forma, a través de la herramienta “Google Forms”, se plantearon 21 preguntas agrupadas en 2 temas principales: evidencia de amenazas y esfuerzos de protección (Anexo 6). Además, para recabar mayor información que apoye la encuesta realizada, se revisó el plan de manejo de todas aquellas áreas protegidas que contaban con dicho plan. Los resultados de esta encuesta se representaron con gráficos que muestran las diferencias entre el grado de amenaza y protección de cada reserva evaluada (Figuras 9,10 y 11).

## **RESULTADOS**

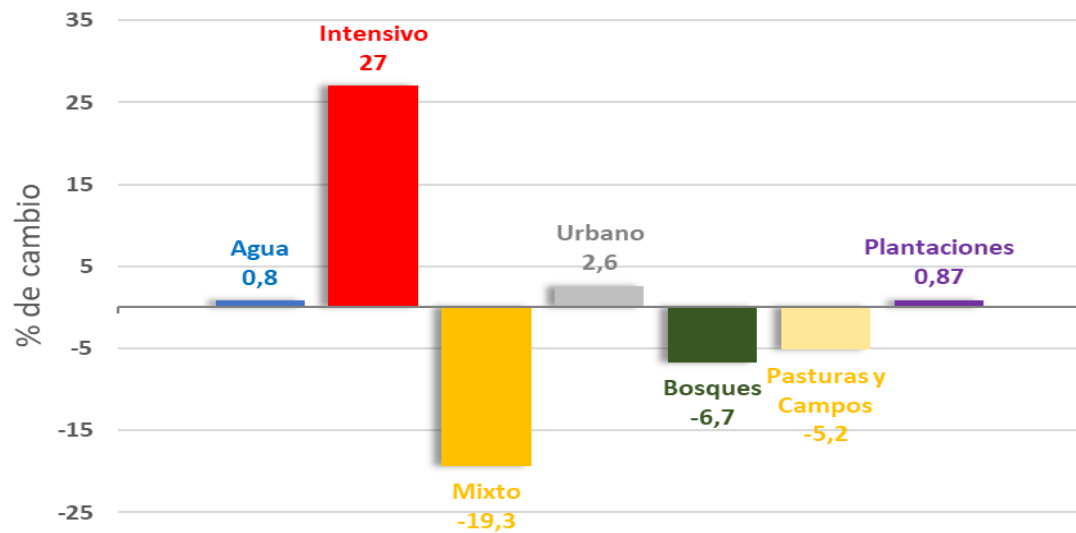
### **4.1 Cobertura de la tierra (2004/2015).**

La superficie total del área de estudio en este trabajo para el mapa de usos del suelo del año 2015 fue de 8.727.497 ha. Al comparar esta clasificación con la de De Angelo (2009) del año 2004 (8.149.200 ha), se encontró que la superficie total clasificada para el BAAP en Paraguay fue diferente. Esta diferencia de superficies se debió a las distintas metodologías utilizadas para la clasificación, siendo las del año 2015 de esta tesis más precisas (30 x 30 m), en contraste con la resolución del 2004 de De Angelo (330 x 330 m). Con el fin de poder comparar ambos mapas de uso del suelo se consideró el porcentaje de cada cobertura sobre el total del área de estudio para cada

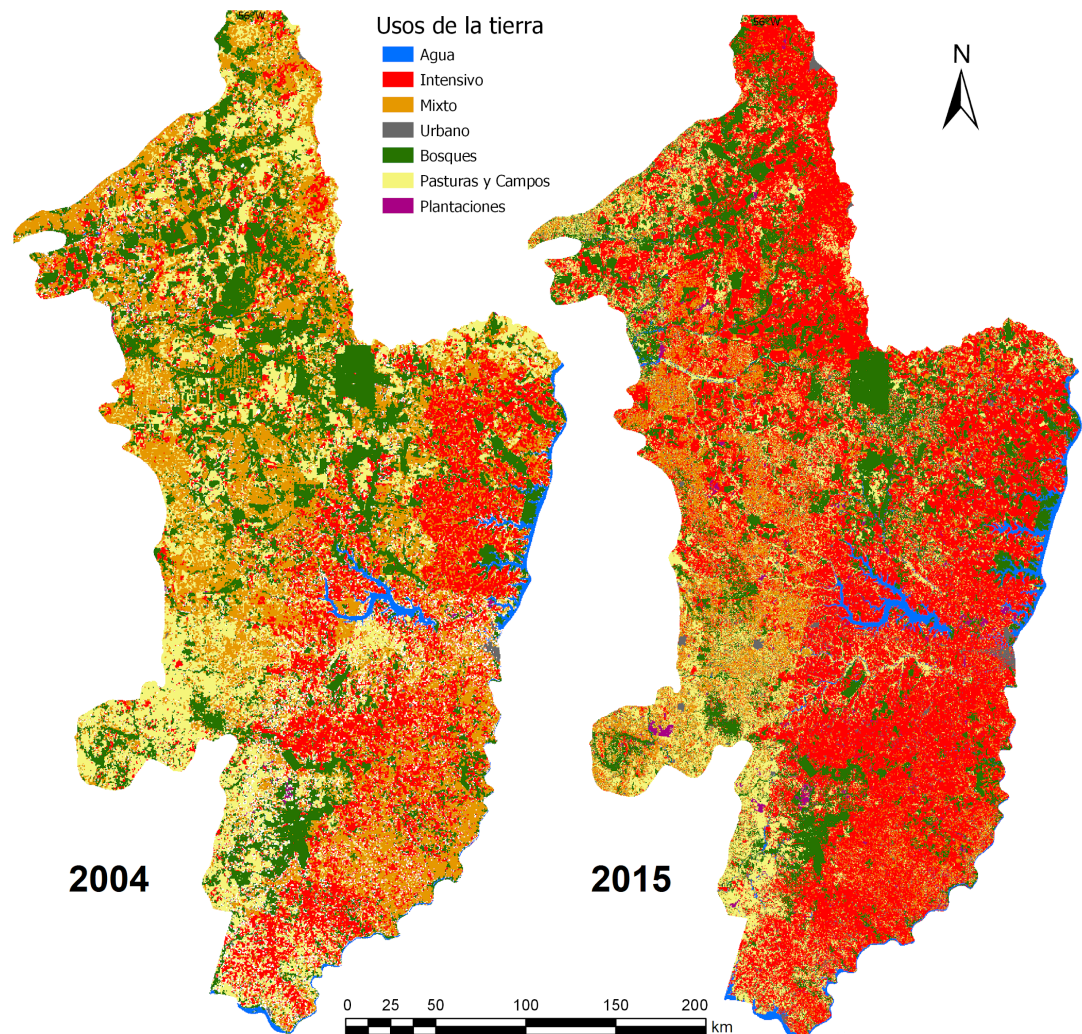
caso. De esta forma, para el 2015 fueron identificadas 1.648.637 ha de bosque nativo correspondiente al 18,8% de la superficie total. El uso intensivo representó la clase dominante con un total de 4.364.854 ha (50%), siendo esta el uso de suelo de mayor superficie para el año 2015. Además, se observó un aumento de uso antrópico que para el 2004 ocupaba el 71% de la superficie total y para el 2015 ocupa el 84%. También se observó una disminución muy importante en la superficie de uso mixto y una leve disminución en los bosques (Tabla 3, Figuras 4 y 5). El cultivo intensivo fue el uso de suelo con mayor crecimiento, con un aumento notoriamente superior en comparación a los demás usos que han aumentado entre los años 2004 y 2015 (Figura 4, Anexo 1 y 2).

**Tabla 3.** Superficies ocupadas en hectáreas (ha) y relativa (%) por los usos del suelo en el BAAP entre los años 2004 y 2015.

| Usos del suelo    | Sup. 2004        | (%)        | Sup. 2015        | (%)        |
|-------------------|------------------|------------|------------------|------------|
| Agua              | 101.000          | 1,24       | 178.324          | 2          |
| Intensivo         | 1.874.300        | 23         | 4.364.854        | 50         |
| Mixto             | 2.509.900        | 30,8       | 1.000.671        | 11,5       |
| Urbano            | 10.100           | 0,12       | 237.075          | 2,7        |
| Bosques           | 2.084.600        | 25,6       | 1.648.637        | 18,9       |
| Pasturas y Campos | 1.559.700        | 19,1       | 1.211.273        | 13,9       |
| Plantaciones      | 9.600            | 0,12       | 86.663           | 0,99       |
| <b>Total</b>      | <b>8.149.200</b> | <b>100</b> | <b>8.727.497</b> | <b>100</b> |



**Figura 4.** Diferencias de porcentajes de cambios de los usos del suelo en el BAAP entre los años 2004 y 2015.



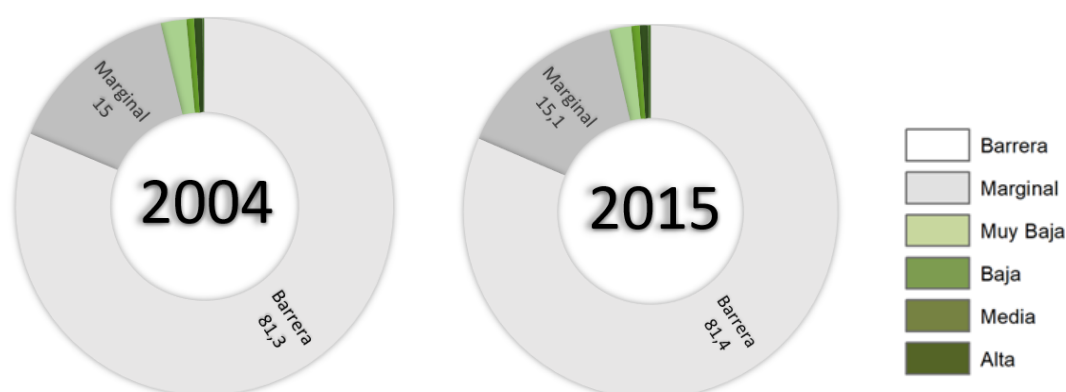
**Figura 5.** Mapa de cobertura de usos del suelo en el BAAP entre los años 2004 y 2015 (imágenes Landsat), donde se aprecian los cambios ocurridos en el paisaje.

#### 4.2 Superficie de hábitat disponible para el jaguar para el año 2015

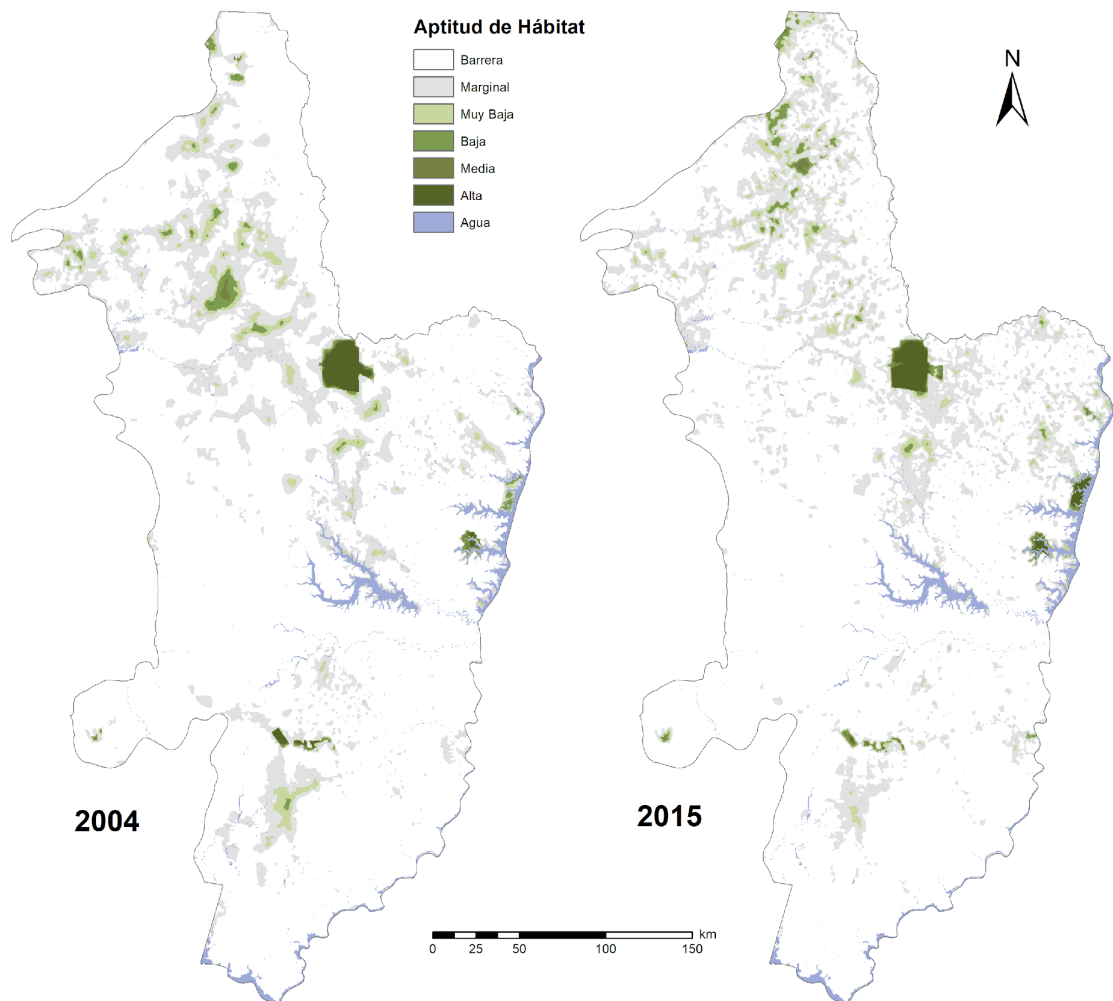
El mapa de disponibilidad de hábitat actualizado para el año 2015 indica que la región del BAAP es en gran parte una barrera para el jaguar (81,4%) o es hábitat marginal (15,1%), ocupando las áreas de hábitat de media o alta calidad menos del 1% de la superficie del BAAP (Tabla 4, Figura 6). Al comparar estos resultados con los observados para el año 2004, se observan pocas diferencias en cuanto a la disponibilidad de hábitat (Tabla 4, Figura 6), con una distribución de superficie de hábitat similar (Figura 7, Anexo 3). La Reserva Natural del Bosque Mbaracayú conserva la mayor cantidad de hábitat de calidad media y alta para el país (Figura 13)

**Tabla 4.** Superficie de hábitat para los años 2004 y 2015. Se muestran las diferentes categorías de aptitud del hábitat medidas en hectáreas y porcentaje para ambos años.

| <b>Aptitud de Hábitat</b> | <b>2004</b>      | <b>%</b>   | <b>2015</b>      | <b>%</b>   |
|---------------------------|------------------|------------|------------------|------------|
| Alta                      | 61.474           | 0,7        | 61.583           | 0,71       |
| Media                     | 14.505           | 0,17       | 18.067           | 0,21       |
| Baja                      | 60.701           | 0,7        | 61.605           | 0,71       |
| Muy Baja                  | 188.201          | 2,16       | 165.256          | 1,9        |
| Marginal                  | 1.306.452        | 15         | 1.313.693        | 15,1       |
| Barrera                   | 7.096.229        | 81,3       | 7.094.236        | 81,4       |
| <b>Total</b>              | <b>8.727.562</b> | <b>100</b> | <b>8.714.440</b> | <b>100</b> |



**Figura 6.** Proporciones porcentuales de las diferentes categorías de hábitats para el jaguar en el BAAP entre los años 2004 y 2015.



**Figura 7.** Mapa aptitud del hábitat para el jaguar en el BAAP de Paraguay para los años 2004 (modificado de De Angelo 2009), y 2015 actualizado (sin considerar la variable histórica bosque\_año1973 y bosque\_año1988).

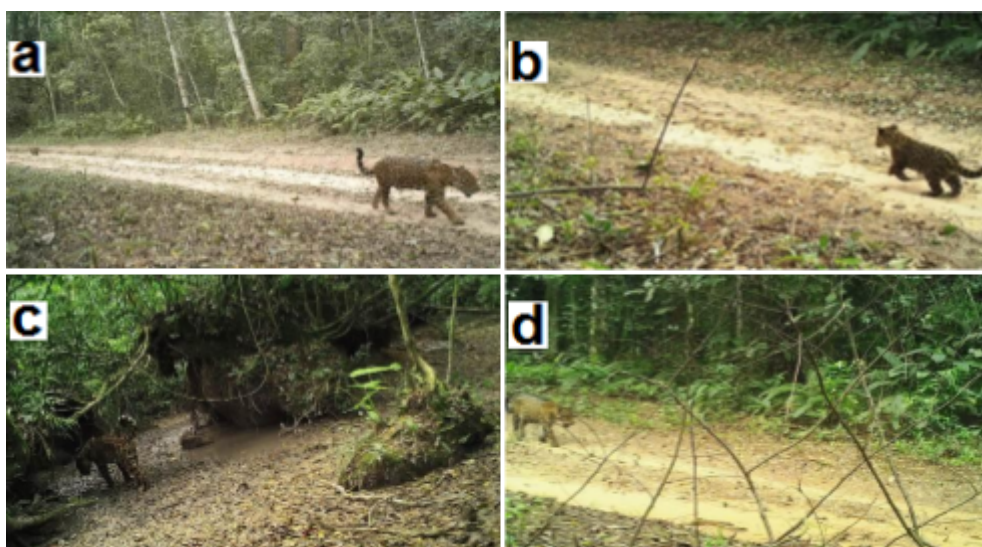
#### **4.3 Persistencia del jaguar en el Bosque Atlántico del Alto Paraná de Paraguay.**

Se registró la presencia del jaguar en dos reservas dentro del área de estudio; en la Reserva Natural Privada del Bosque Mbaracayú y la Reserva Natural Privada Morombí (Figura 12 y 13). Los registros fueron confirmados por medio de identificación de huellas, análisis genético de muestras fecales o imágenes de cámaras trampa. Para todo el muestreo, se obtuvo un total de 32 registros de huellas y heces; (15 registros de huellas diferentes y 17 muestras fecales), de los cuales 3 registros diferentes



de huellas fueron observados en la Reserva Morombí y fueron confirmadas para jaguar mediante su medición. En cuanto a las muestras de heces estudiadas mediante análisis genéticos solo 1 resultó ser de jaguar. Además, las cámaras trampa de los colaboradores en la Reserva Natural Privada Mbaracayú registraron 4 jaguares para la reserva: 1 hembra con cría, 1 macho adulto y 1 hembra solitaria (Figura 8). A través de filmaciones con cámaras trampa de colaboradores en la Reserva Morombí se registró a 1 solo jaguar adulto para la reserva.

De las cinco reservas en donde De Angelo et al. (2013) y Paviolo et al. (2016) reportaron la presencia del jaguar en la década pasada, la especie persiste en solo dos de estas: en la Reserva Natural Privada del Bosque Mbaracayú y en la Reserva Natural Morombí (Figura 12). En las demás reservas, San Rafael y los refugios de Itaipú (Itabo y Limoy), no se encontraron evidencias de jaguares durante el muestro de campo ni mediante el muestreo participativo, a pesar de que Itaipú Paraguay y el Instituto Smithsonian vienen desarrollando un relevamiento intensivo en las reservas del ente binacional (Tabla 5).



**Figura 8.** Imágenes captadas por cámaras trampa de la Fundación Moisés Bertoni en la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú: a) hembra con cría, b) cría c) hembra adulta d) macho adulto.

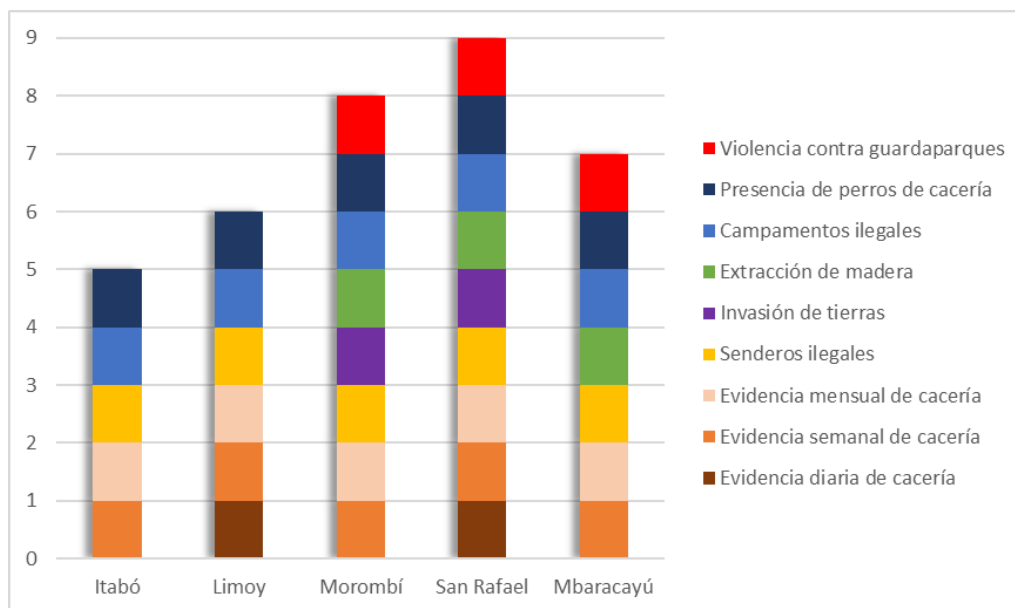
**Tabla 5.** Superficie de bosque en hectáreas (ha) y registros de jaguares para los años 2004 y 2017 en los 5 sitios donde en el pasado se ha reportado la presencia de la especie por De Angelo (2009).

| Fragmentos | Bosque     |            | Presencia de jaguar |      |
|------------|------------|------------|---------------------|------|
|            | 2004 en Ha | 2015 en Ha | 2004                | 2017 |
| Mbaracayú  | 64.847     | 63.312     | ✓                   | ✓    |
| San Rafael | 57.838     | 52.790     | ✓                   | ✗    |
| Morombí    | 27.126     | 27.311     | ✓                   | ✓    |
| Limoy      | 12.543     | 12.336     | ✓                   | ✗    |
| Itabo      | 10.534     | 10.931     | ✓                   | ✗    |

#### 4.4 Evaluación del grado de protección de las áreas protegidas con presencia de jaguares en el pasado.

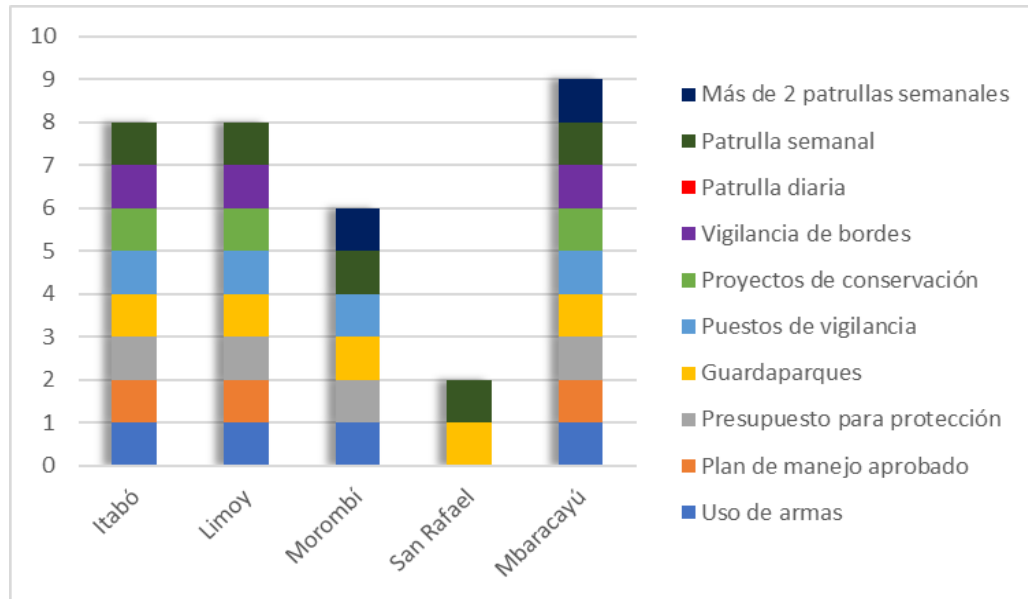
Las encuestas realizadas en 5 áreas protegidas que registraron jaguares en el pasado muestran diferencias respecto al grado de protección de cada área. Además, los resultados indican que la reserva que presenta mayor presión es la Reserva San Rafael (Figura 3), donde se registraron todas las amenazas evaluadas por la encuesta: presencia de senderos ilegales, invasión de tierras, extracción de madera, campamentos ilegales, presencia de perros de cacería, violencia contra guardaparques y evidencia de cacería diaria, semanal y mensual (Figura 9).



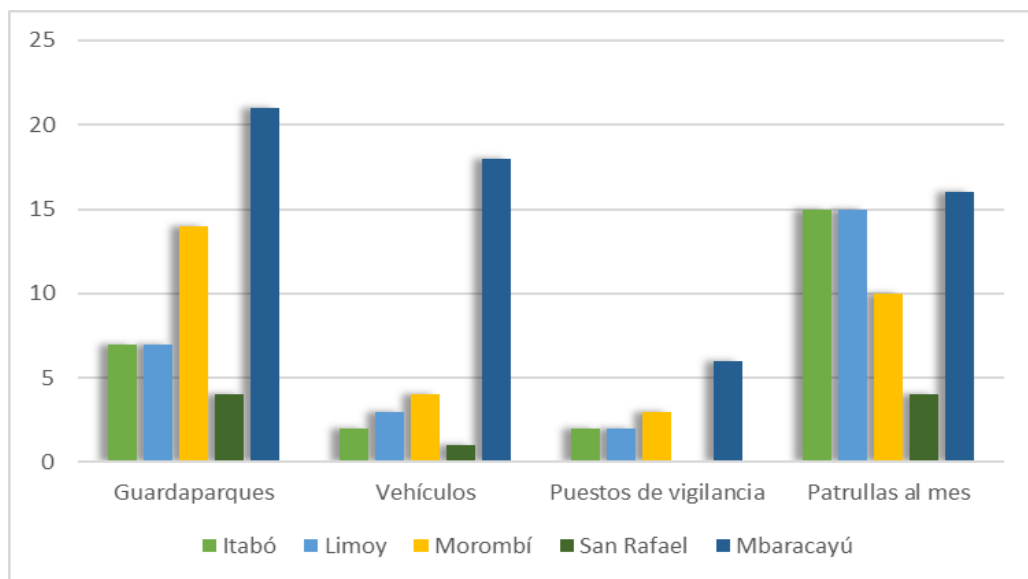


**Figura 9.** Amenazas reportadas en las cinco reservas donde en el pasado se habían registrado jaguares

Respecto a la implementación de estrategias de protección, la reserva con mayor cantidad de estrategias aplicadas es la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú (Figura 3), donde se implementan 9 de las 10 estrategias evaluadas por la encuesta: puestos de vigilancia, proyectos de conservación, presupuesto para la protección, patrullas periódicas (diaria, semanal, más de 2 a la semana), uso de armas de fuego, plan de manejo y guardaparques (Figura 10). Además, en cuanto a la cantidad de recursos invertidos en protección, la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú también presenta el mayor nivel de protección (Figura 11).



**Figura 10.** Cantidad de estrategias implementadas para la protección dentro de las cinco áreas protegidas

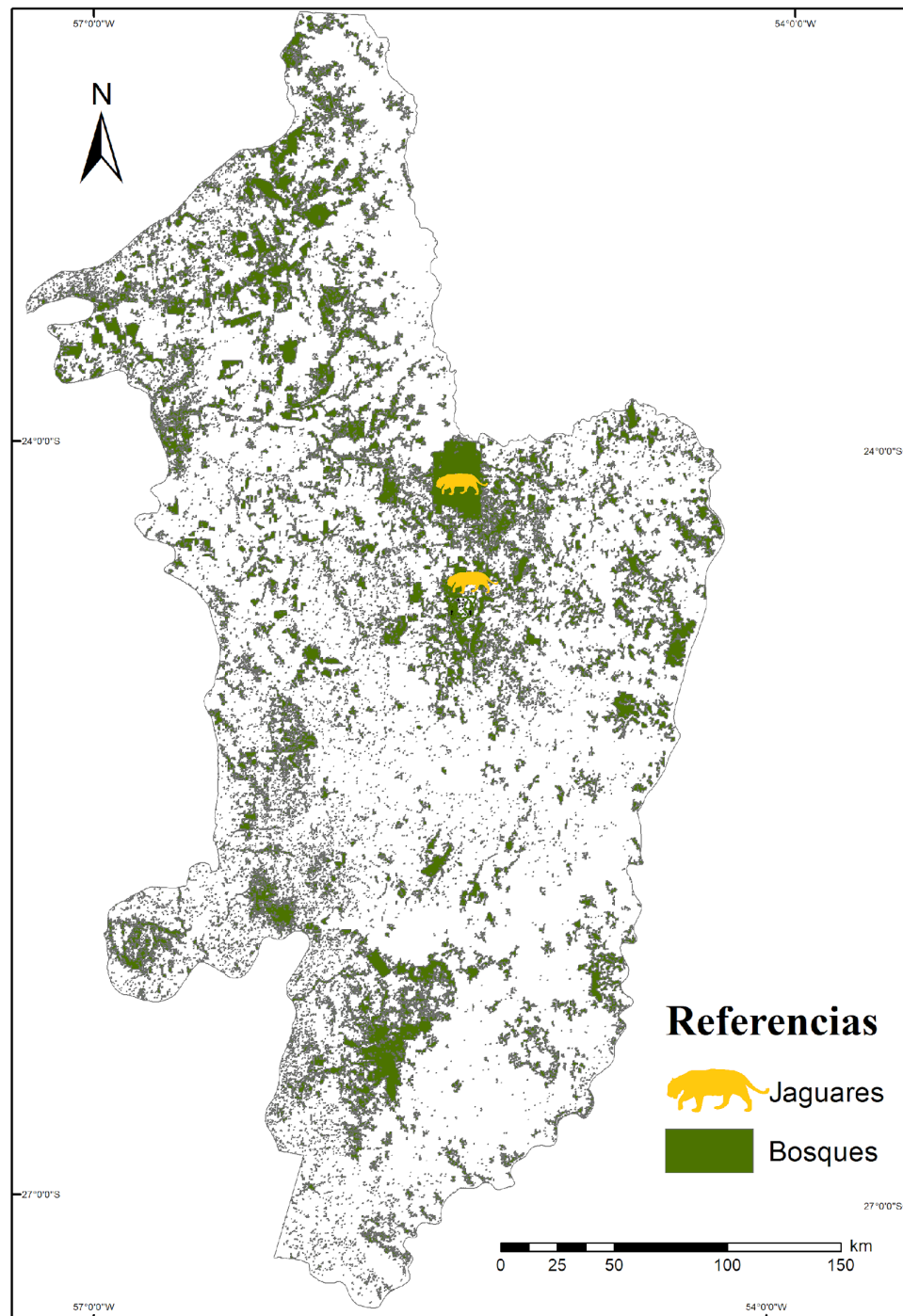


**Figura 11.** Número de recursos humanos, equipamiento y esfuerzos invertidos en protección en las diferentes áreas protegidas evaluadas.

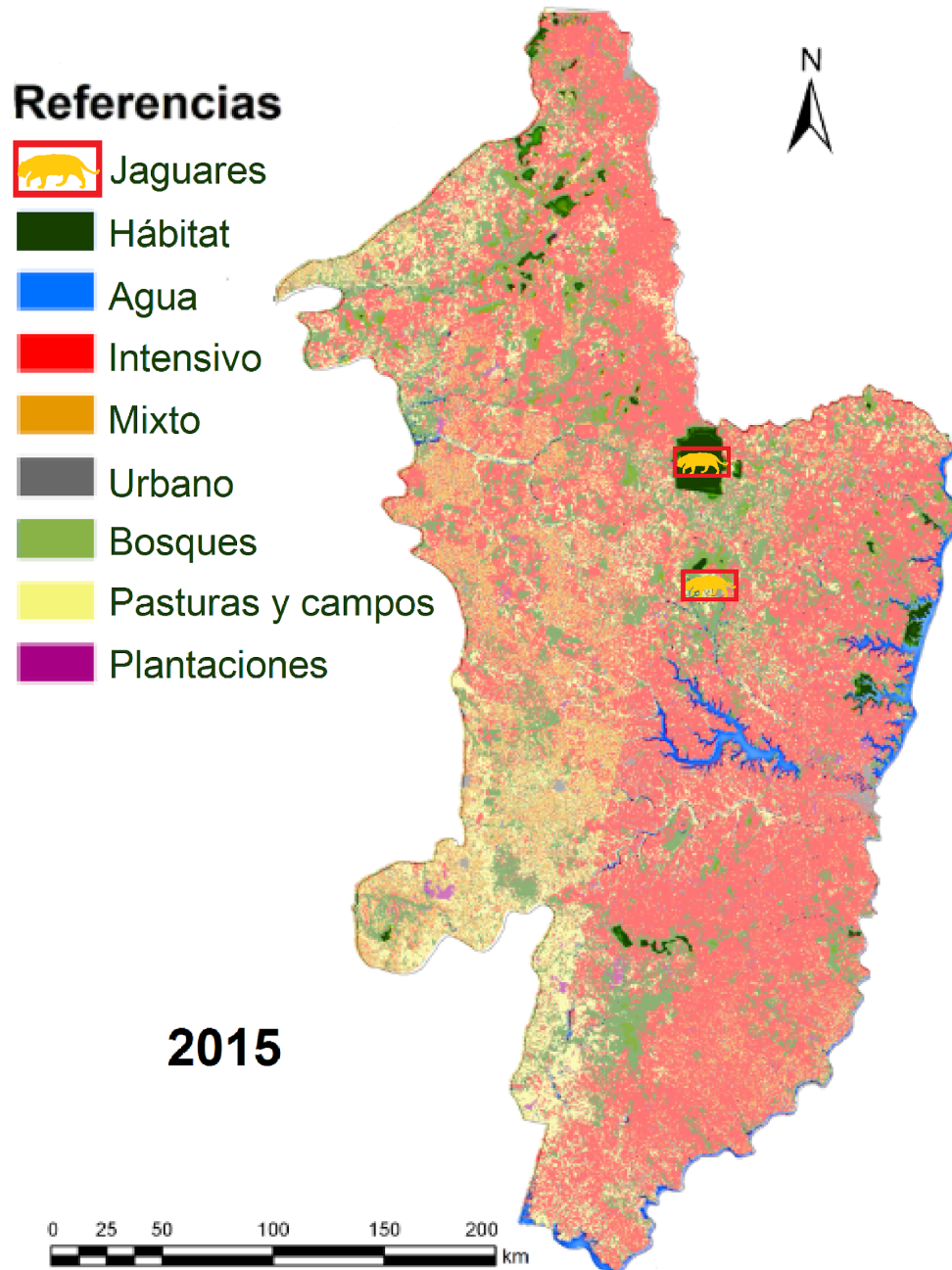
#### 4.5 Cambios en la superficie boscosa del BAAP entre los años 2004 y 2015

Los mapas de usos del suelo generados en esta tesis muestran que la Reserva San Rafael, la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú y la Reserva Natural Privada Morombí son las áreas protegidas con mayor superficie de bosque para el 2015 (Figura

12) y, además, las dos últimas no han sufrido grandes cambios en superficie boscosa entre el 2004 y 2015, a diferencia de la Reserva San Rafael que ha perdido cerca de 5000 ha (8,7%) de bosque (Tabla 5)



**Figura 12.** Distribución de la cobertura boscosa remanente y los registros de jaguares confirmados en los mayores fragmentos de bosques en el BAAP de Paraguay.



**Figura 13.** Hábitat de calidad media y alta, usos del suelo y los registros de jaguares confirmados en el BAAP de Paraguay en la Reserva Mbaracayú (registro superior en el mapa) y la Reserva Morombí (registro inferior en el mapa)

## DISCUSIÓN

Los resultados de esta tesis muestran que, si bien en el BAAP se han producido cambios en el uso del suelo entre los años 2004 y 2015, los mismos no significaron un impacto importante en la disponibilidad de hábitat para el jaguar según el modelo actualizado para la región. Sin embargo, los resultados del muestreo participativo y la búsqueda de presencia de jaguares muestran que la especie ha desaparecido en tres de los cinco fragmentos en los que persistía en el año 2004.

Si bien hubo una disminución en la superficie relativa de bosques y un aumento del cultivo intensivo, esto parece no haber afectado significativamente la cantidad y calidad del hábitat disponible, lo cual no concuerda con la primera predicción de este trabajo. Sin embargo, observando más detalladamente el modelo global de De Angelo *et al.* (2013), base de este trabajo, se observa que las variables como los cultivos intensivos afectan negativamente sobre el hábitat del jaguar, pero su efecto se reduce a una distancia de 1 km, mientras que los efectos negativos de pasturas y agricultura mixta actúan a una distancia de 4 km (De Angelo *et al.* 2013). La escala a la cual los distintos usos del suelo afectan al hábitat del jaguar no es subjetiva, ya que fueron puestas a prueba en trabajos previos (De Angelo *et al.* 2011, 2013). Considerando esto, es posible que el efecto negativo de pérdida de bosques haya sido compensado por una disminución del efecto negativo de los usos antrópicos, producto de los cambios en las proporciones de uso intensivo y mixto. Por lo general, debido a que los cultivos intensivos (soja y maíz principalmente en esta región) son desarrollados con maquinarias que trabajan a gran escala, la presencia de animales y personas en los campos suele ser escasa, reduciéndose así los conflictos con los grandes felinos por miedo o por ataques al ganado. Por el contrario, el uso mixto es generalmente encontrado en pequeñas propiedades donde vive gente, quienes frecuentemente tienen animales domésticos para su subsistencia, lo que hace que aumente el conflicto con los

felinos. Del mismo modo, las pasturas son utilizadas para la cría de ganado y, al igual que en los cultivos mixtos, el potencial de conflicto con los felinos aumenta y sus poblaciones pueden verse más amenazadas (De Angelo *et al.* 2013, Paviolo *et al.* 2018). De esta manera, en este trabajo que se muestra que la disponibilidad del hábitat del jaguar no es solamente afectada por la disponibilidad de los ambientes naturales, sino que también pueden ser afectada por cambios entre distintos usos de la tierra para uso antrópico.

En cuanto a la pérdida de bosques, se observó que entre el 2004 y 2015 la tasa de deforestación fue de 396 km<sup>2</sup>/año (435,963 ha en 11 años). Un estudio similar realizado recientemente reportó una tasa de deforestación de 580 km<sup>2</sup>/año para Paraguay durante el mismo periodo (2004 al 2015), siendo la más elevada para la ecorregión del BAAP (Martínez Pardo, J 2020). El estudio se realizó para todo el BAAP, incluyendo los territorios de Brasil, Paraguay y Argentina, abarcando imágenes desde 1973 al 2015 y a una resolución de 30 metros. Aunque en dicho trabajo se reporta una reducción de casi el 66% del hábitat del jaguar desde 1973 hasta el 2015, se menciona que entre los años 2004 y 2015 no hubo grandes cambios en la disponibilidad de hábitat para el jaguar en Paraguay, coincidiendo esto con los resultados obtenidos en esta tesis.

En cuanto a la persistencia de la especie en el BAAP de Paraguay, los resultados en esta tesis indican que el jaguar desapareció en tres de los cinco fragmentos en los que estaba presente en el año 2004. Dos de los fragmentos donde la especie ha desaparecido son las Reservas de Limoy e Itabó, pertenecientes a la empresa hidroeléctrica Itaipú Binacional. De acuerdo a las densidades de jaguares estimadas para el Bosque Atlántico (Paviolo *et al.* 2008, 2016), la superficie de estas reservas (menor a 10.000 ha) es demasiado pequeña para albergar incluso unos pocos individuos de la especie. De esta manera, su desaparición reciente era esperable. El tercer fragmento donde la especie

desapareció es la Reserva San Rafael. Esta reserva es más grande y aún conserva grandes extensiones de bosques (más de 50.000 ha), por lo que podría albergar una pequeña población de jaguares. Sin embargo, fue la reserva que presentó mayor presión de amenazas, menor implementación de estrategias para la conservación y menores esfuerzos de protección (Figuras 9, 10 y 11). De los 9 factores de amenaza evaluados por la encuesta de este trabajo, San Rafael ha reportado todos ellos (9 de 9), evidenciando una constante presión de caza furtiva (diaria), robo de madera, invasión de tierras, violencia contra guardaparques, etc. (Figura 9). Incluso, en el año 2018, dos guardaparques en la Reserva Natural Tapyta, ubicada a pocos kilómetros de San Rafael, fueron muertos durante una patrulla de rutina, y en el 2019 traficantes de madera dispararon sobre guardaparques de la Reserva San Rafael. Un análisis histórico sobre los planes de manejo de las áreas protegidas de Paraguay revela que la Reserva San Rafael no cuenta con plan de manejo (Espínola-Torres *et al.* 2020). También ha cambiado de categoría de protección pasando de Parque Nacional (categoría de alta protección) a Reserva de Recursos Manejados (categoría de baja protección). Además, los resultados de la clasificación de usos del suelo muestran que la reserva ha perdido aproximadamente 5000 ha de bosques entre los años 2004 y 2015 (tabla 5). Por lo tanto, San Rafael es la reserva con mayor presión de amenazas, menor cantidad de recursos invertidos y menores estrategias implementadas para la protección del área, como bien muestran los resultados de la encuesta realizada. De esta manera, la desaparición del jaguar en este fragmento era también esperable.

Los dos fragmentos que aún conservan jaguares son las reservas RNB Mbaracayú y la RNP Morombí. A pesar de que en estas reservas existe cierto nivel de presión en cuanto a las amenazas reportadas (Figura 9), son las reservas que implementan varias estrategias de protección (Figura 10) y las que mayores recursos invierten en el cuidado

del área (Figura 11), lo que se traduce en un esfuerzo relativamente elevado de conservación. Además, los resultados de la clasificación de usos del suelo muestran que estas reservas han mantenido su superficie boscosa desde el 2004 al 2015 (Tabla 5) y, junto con San Rafael, son las reservas con mayor cantidad de bosques del BAAP en Paraguay. Estos resultados permiten apoyar la hipótesis de que el tamaño de los fragmentos de bosques (mayor a 10.000 hectáreas) y las buenas prácticas de implementación de protección son necesarios para la persistencia de las poblaciones de jaguares, y que solo una de estas condiciones por separado no basta para la conservación de la especie.

La Reserva Mbaracayú presenta el mejor escenario de gestión de la conservación y es muy probable que en unos pocos años sea la única reserva donde persistan los jaguares del BAAP. La reserva conserva la mayor cantidad de hábitat para el jaguar (Figura 13), y el mayor fragmento de bosque continuo del BAAP (~65000 ha). Además, es la que mayores estrategias y esfuerzos de protección realiza, cuenta con un amplio cuerpo de guardaparques para su protección y recursos para el manejo del área. Sin embargo, la población de jaguares es probablemente menor a los 15 individuos (Paviolo *et al.* 2016) y su viabilidad a largo plazo será dependiente de las medidas de protección que se logren implementar.

## CONCLUSIÓN

Los objetivos específicos propuestos en esta tesis han logrado concretarse. Los resultados indican que la situación actual del jaguar en el BAAP es sumamente delicada. Si bien según las estimaciones del presente estudio no se ha perdido hábitat en los últimos años, se ha perdido la especie en la mayor parte de los fragmentos en los que subsistía en el año 2004. De las tres Unidades de Conservación del Jaguar definidas por Paviolo *et al.* (2016) para el BAAP de Paraguay (una de ellas JCU y dos JCU



potenciales), las dos JCU potenciales comprendidas por San Rafael y los refugios de Itaipú han perdido a la especie, que actualmente solo subsiste en la JCU conformada por las reservas Mbaracayú y Morombí. No obstante, la población de jaguares en estas reservas probablemente no es muy grande y no están conectadas entre sí. Además, si bien ambas reservas han mostrado ser las que mayores esfuerzos de conservación realizan, la presión de amenazas sobre estas sigue siendo elevada. Para conservar a las últimas subpoblaciones de jaguares que habitan en Mbaracayú y Morombí, los esfuerzos deberán ser puestos en controlar las amenazas a la especie en ambas áreas y, fundamentalmente, analizar la posibilidad de conectar estas reservas mediante corredores biológicos que permitan el flujo genético entre las subpoblaciones.

Las áreas protegidas deberán enfocar sus esfuerzos en lograr conservar los remanentes boscosos y disminuir la presión de cacería mediante una correcta implementación de protección, como es el caso de la Reserva Mbaracayú. A diferencia de la Reserva San Rafael, que en la actualidad no cuenta ni con plan de manejo ni con la infraestructura mínima necesaria para un manejo efectivo del área, Mbaracayú lleva el mejor escenario de gestión de la conservación y es una de las dos únicas áreas que aún conservan jaguares en el Bosque Atlántico de Paraguay. Es fundamental que la reserva San Rafael realice un mayor esfuerzo de conservación ya que aún conserva grandes extensiones de bosques y, entre las áreas evaluadas, fue la que menos recursos y esfuerzos invierte para la conservación y la que mayor presión de amenazas presenta. La creación del plan de manejo para la reserva San Rafael es otro punto importante. En cuanto a la reserva Morombí, se deben extremar los cuidados en esta área ya que, junto con Mbaracayú, son las únicas reservas que aún mantienen poblaciones de jaguares. Cabe mencionar que actualmente la situación de Morombí es muy delicada, en los últimos años viene empeorando la violencia en la región, también las invasiones de

tierra y los conflictos con la reserva, todo esto quizás por el aumento en los niveles de pobreza en las poblaciones campesinas vecinas.

La información generada en esta tesis sobre la disponibilidad del hábitat y la persistencia actual de la especie servirá de base para planificar estrategias de conservación e implementar acciones de manejo para la población de jaguares en el BAAP de Paraguay. Además, es un aporte importante al conocimiento que se tiene de la especie dentro de todo el Bosque Atlántico, ya que poco y nada se sabía sobre la situación poblacional en esta ecorregión en Paraguay. De esta forma, en un contexto nacional o ecorregional, los futuros trabajos que busquen comprender la conectividad del hábitat de las poblaciones de jaguares del BAAP podrán hacer uso de la información generada en esta tesis.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Bruner, A. G., Gullison, R. E., Rice, R. E., & Da Fonseca, G. A. (2001). Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science*, 291(5501), 125-128.
- Card, D. 1982. He ma tic Map ccuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 48 (3): 431- 439.
- Cartes, J. L. (2003). Brief history of conservation in the Interior Atlantic Forest. En: *Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook*, editado por C. Galindo-Leal y I. de Gusmão Câmara. Island Press. Washington, D.C. pp 269-287.
- Cullen Jr, L., Stanton, J. C., Lima, F., Uezu, A., Perilli, M. L., & Akçakaya, H. R. (2016). Implications of fine-grained habitat fragmentation and road mortality for jaguar conservation in the Atlantic Forest, Brazil. *PloS one*, 11(12), e0167372.

- Crawshaw Jr., P. G. (1995). Comparative ecology of ocelot (*Felis pardalis*) and jaguar (*Panthera onca*) in a protected subtropical forest in Brazil and Argentina. PhD Thesis, University of Florida, Gainesville, USA. Pp 190.
- De Angelo, C.D., (2009). El paisaje del Bosque Atlántico del Alto Paraná y sus efectos sobre la distribución y estructura poblacional del jaguar (*Panthera onca*) y el puma (*Puma concolor*). Ph.D. dissertation, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- De Angelo, C., Paviolo, A. y Di Bitetti, M. S. (2010). Identifying jaguar, puma and large canids tracks: a comparison of traditional versus multivariate methods. *Journal of Wildlife Management* 74 (5):1141–1153.
- De Angelo, C., Paviolo, A., Rode, L. Cullen Jr., D. Sana, K. C. Abreu, M. da Silva, A. Bertrand, T. Haag, F. Lima, A. R. Rinaldi, M. Velázquez, F. Ramírez, S. Fernández, C. Corio, E. Hasson y M. S. Di Bitetti. (2011). Participatory networks for monitoring “flagship” species: the jaguars and the pumas of the Upper Paraná Atlantic Forest. *Oryx*, 45 (4), 534-545.
- De Angelo, C., Paviolo, A. & Di Bitetti, M. (2011). Differential impact of landscape transformation on pumas (*Puma concolor*) and jaguars (*Panthera onca*) in the Upper Paraná Atlantic Forest. *Diversity and Distributions*, 17(3), 422-436.
- De Angelo, C., Paviolo, A., Di Blanco, Y.E., Di Bitetti, M.S., (2008). Guía de huellas: De los mamíferos de Misiones y otras áreas del subtrópico de Argentina., 1º Edición. ed. Ediciones del Subtrópico, Yerba Buena, Tucumán Arg.
- De Angelo, C., Paviolo, A., Wiegand, T., Kanagaraj, R., Di Bitetti, M.S., (2013). Understanding species persistence for defining conservation actions: A management landscape for jaguars in the Atlantic Forest. *Biological Conservation*. 159,422– 433.

- Dinerstein, E., Olson, D. M., Graham, D. J., Webster, A. L., Primm, S. A., Bookbinder, M. P., & Ledec, G. (1995). Una evaluación del estado de conservación de las ecoregiones terrestres de América latina y el Caribe. Washington D.C.: WWF - World Bank. Pp.: 135.
- Di Bitetti M.S; Placci, G.; e Dietz, L. A. (2003). Uma visão de Biodiversidade para a Ecorregião Florestas do Alto Paraná – Bioma Mata Atlântica: planejando a paisagem de conservação da biodiversidade e estabelecendo prioridades para ações de conservação. Washington, D.C.: World Wildlife Fund.
- Di Bitetti, M. S., Paviolo, A., Ferrari, C. A., De Angelo, C., & Di Blanco, Y. (2008). Differential responses to hunting in two sympatric species of brocket deer (*Mazama americana* and *M. nana*). *Biotropica* 40 (5): 636-645.
- Espínola-Torres, M., Amarilla-Rodríguez, S., & Pinazzo, J. (2020). Planes de manejo de las áreas silvestres protegidas en Paraguay: un análisis histórico. *Revista De Ciencias Ambientales*, 54(1), 177-189. <https://doi.org/10.15359/rca.54-1.10>
- Fariña, R. (2012). Densidad poblacional del jaguarete (*Panthera onca*) y su relación con el puma (*Puma concolor*), en la Reserva Natural Privada Morombi, Departamento Caazapa y Canindeyú, Paraguay, MSc. Disertation, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Asunción. Paraguay.
- Huang, C., Kim, S., Altstatt, A., Townshend, J. R., Davis, P., Song, K., C. J. Tucker, O. Rodas, A. Yanosky, R. Clay y J. Musinsky. (2007). Rapid loss of Paraguay's Atlantic forest and the status of protected áreas - A Landsat assessment. *Remote sensing of Environment*, 106(4), 460-466.
- Hirzel, A. H., Posse, B., Oggier, P. A., Crettenand, Y., Glenz, C., y Arlettaz, R. (2004). Ecological requirements of reintroduced species and the implications for release

- policy: the case of the bearded vulture. *Journal of applied ecology*, 41(6), 1103-1116.
- Izquierdo, A., C. De Angelo y M. Aide. (2008). Thirty years of human demography and land-use change in the Atlantic Forest of Misiones, Argentina: a test of the forest transition model. *Ecology and Society* 13 (2):3.
- Jackson, S. T., & Overpeck, J. T. (2000). Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary. *Paleobiology*, 26 (sp4), 194-220.
- Jetz, W., Wilcove, D. & Dobson, A. (2007). Projected impacts of climate and land-use change on the global diversity of birds. *PLoS biology*, 5(6), e157.
- Kanagaraj, R., T. Wiegand, S. Kramer-Schadt, M. Anwar y S. P. Goyal. 2011. Assessing habitat suitability for tiger in the fragmented Terai Arc Landscape of India and Nepal, *Ecography* 34 (6): 970-981.
- Martínez Pardo, J., P. Cruz, S. Moya, E. Pizzio, F. Foletto, F. Robino, J. Aquino, S. Costa, Y. Barros, F. Cleo, M. S. Di Bitetti, M. E. Iezzi, A. Paviolo, C. De Angelo. En prensa. Predicting poaching hotspots in the largest remnant of the Atlantic Forest by combining passive acoustic monitoring and occupancy models. *Biological Conservation*.
- Morrison, M.L., Marcot, B.G. y Mannan, R.W. (2006). *Wildlife-habitat relationships: concepts and applications*. 3rd edition. Island Press, Washington.
- Martínez, J. (2020). Modelado de las amenazas antrópicas para el jaguar (*Panthera onca*) en la selva paranaense: Uso de modelos espaciales para comprender sus determinantes primarios y formular estrategias para la conservación de un depredador tope. Ph.D. dissertation, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

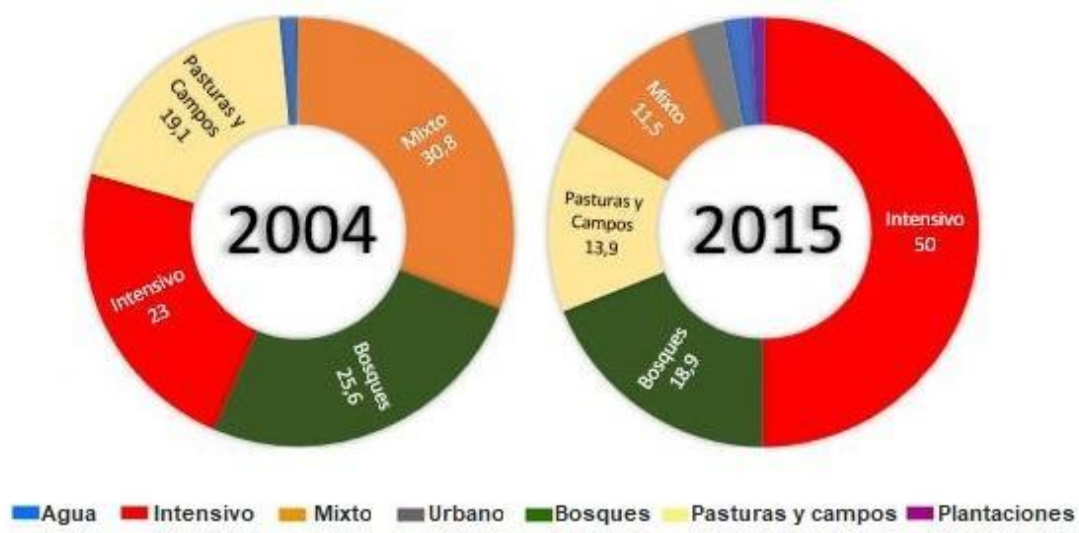
- Naves, J., Wiegand, T., Revilla, E., & Delibes, M. (2003). Endangered species constrained by natural and human factors: the case of brown bears in northern Spain. *Conservation biology*, 17(5), 1276-1289.
- Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., & Woodcock, C. E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129: 122-131.
- Paviolo, A. (2010). Densidad de Yaguareté (*Panthera onca*) en la selva paranaense: su relación con la disponibilidad de presas, presión de caza y coexistencia con el puma (*Puma concolor*). *Mastozoología Neotropical*, 17(2), 397-398.
- Paviolo, A., Cruz, P., Iezzi, M. E., Pardo, J. M., Varela, D., De Angelo, C., & Arrabal, J. P. (2018). Barriers, corridors or suitable habitat? Effect of monoculture tree plantations on the habitat use and prey availability for jaguars and pumas in the Atlantic Forest. *Forest ecology and management*, 430, 576-586.
- Paviolo, A., De Angelo, C., Di Blanco, Y., Agostini, I., Pizzio, E., Melzew, R., Ferrari, C., Palacio, L., Di Bitetti, M., 2009. Efecto de la caza y el nivel de protección en la abundancia de los grandes mamíferos del Bosque Atlántico de Misiones, In *Contribuciones para la conservación y manejo en el Parque Nacional Iguazú*. eds B. Carpinetti, M. Garciarena, pp. 237-254. Administración de Parques Nacionales, Buenos Aires, Argentina.
- Paviolo, A., De Angelo, C. D., Di Blanco, Y. E., & Di Bitetti, M. S. (2008). Jaguar *Panthera onca* population decline in the upper Paraná Atlantic Forest of Argentina and Brazil. *Oryx*, 42(4), 554-561.
- Paviolo, A., De Angelo, C., Di Blanco, Y., Ferrari, C., Di Bitetti, M., Kasper, C. B. & Oliveira, T. G. (2006). The need of transboundary efforts to preserve the southernmost jaguar population in the world. *Cat News*, 45, 12-14.

- Paviolo, A., De Angelo C., Ferraz, R., Morato G., Martínez Pardo, A. C. Srbek-Araujo, B. Beisegel, F. Lima, D. Sana, M. Xavier da Silva, M. Velázquez, L. Cullen Jr, P. G. Crawshaw Jr., M. L. S. P. Jorge, P. M. Galetti Jr, M. S. Di Bitetti, R. Cunha de Paula, E. Eizirik, T. M. Aide, M. P. Cruz, M. Perilli, A. S. M. C. Souza, V. A. Quiroga, E. Nakaro, F. Ramírez, S. Fernández, S. A. Costa, E. A. Moraes & F. C. C. Azevedo. (2016). A biodiversity hotspot losing its top predator: The challenge of jaguar conservation in the Atlantic Forest of South America. *Scientific Reports* 6:37147.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson y R. E. Schapired. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling* 190 (3-4):231-259.
- Quantum GIS Development Team. (2017). Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- Quigley, H., Foster, R., Petracca, L., Payan, E., Salom, R. & Harmsen, B. (2017). *Panthera onca* (errata version published in 2018). The IUCN Red List of Threatened Species 2017.
- Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2018.
- Ripple, W. J., Estes, J. A., Beschta, R. L., Wilmers, C. C., Ritchie, E. G., Hebblewhite, M., Berger, J., Elmhagen, B., Letnic, M., Michael, N., Schmitz, O., Smith, D., A. Wallach y A. Wirsing. (2014). Status and ecological effects of the world's largest carnivores. *Science*, 343(6167), 1241484.
- Sollmann, R., Torres, N. M., & Silveira, L. (2008). Jaguar conservation in Brazil: the role of protected areas. *Cat News*, 4(Special Issue).
- Sattler, T., F. Bontadina, A. H. Hirzel y R. Arlettaz. 2007. Ecological niche modelling of

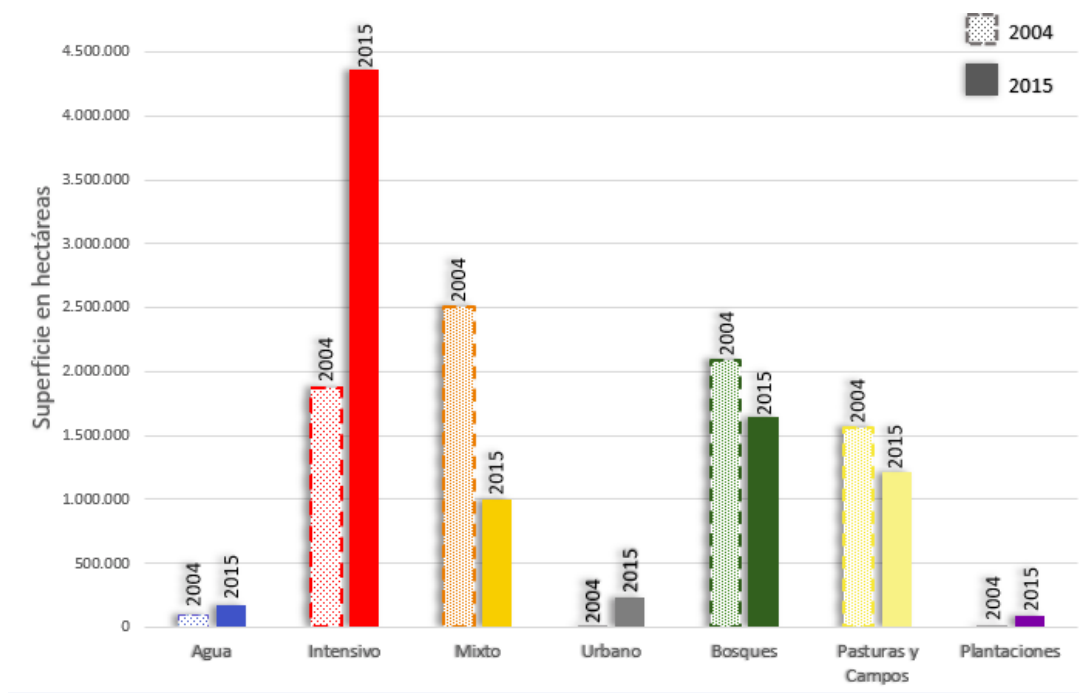
- two cryptic bat species calls for a reassessment of their conservation status. *Journal of Applied Ecology* 44 (6): 1188-1199.
- Sanderson, E. W., K. H. Redford, C. L. B. Chetkiewicz, R. A. Medellín, A. R. Rabinowitz, J. G. Robinson y A. B. Taber. (2002). Planning to save a species: The jaguar as a model. *Conservation Biology* 16:58-72.
- Schadt, S., Revilla, E., Wiegand, T., Knauer, F., Kaczensky, P., Breitenmoser, U., Bufka, L., Cervený, P., Koubek, T., Huber, C. Stanisa y L. Trepl. (2002). Assessing the suitability of central European landscapes for the reintroduction of Eurasian lynx. *Journal of Applied Ecology*, 39: 189-203.
- Schiaffino, K. (2000). Una experiencia de participación de productores rurales en un proyecto de conservación de yaguararé en Misiones. Pp: 269-271 en la situación ambiental Argentina (C. Bertonatti y J. Corcuera eds.). Fundación Vida Silvestre. Argentina, Buenos Aires.
- Secretaría del Ambiente, Wildlife Conservation Society Paraguay & Itaipu Binacional. (2016). Plan de Manejo de la *Panthera onca*, Paraguay 2017-2026. 1era. Edición. Asunción, Paraguay. 90 pp.
- Zeilhofer, P., Cezar, A., Torres, N. M., de Almeida Jacomo, A. T., & Silveira, L. (2014). Jaguar *Panthera onca* Habitat Modeling in Landscapes Facing High Land-use Transformation Pressure—Findings from Mato Grosso, Brazil. *Biotropica*, 46(1), 98-105.
- Zuercher, G. L., P. S. Gipson y K. Hill. (2001). A predator-habitat assessment for Felids in the Inland Atlantic Forest of Eastern Paraguay: a preliminary analysis. *Endangered Species Update* 18 (4):115-119.



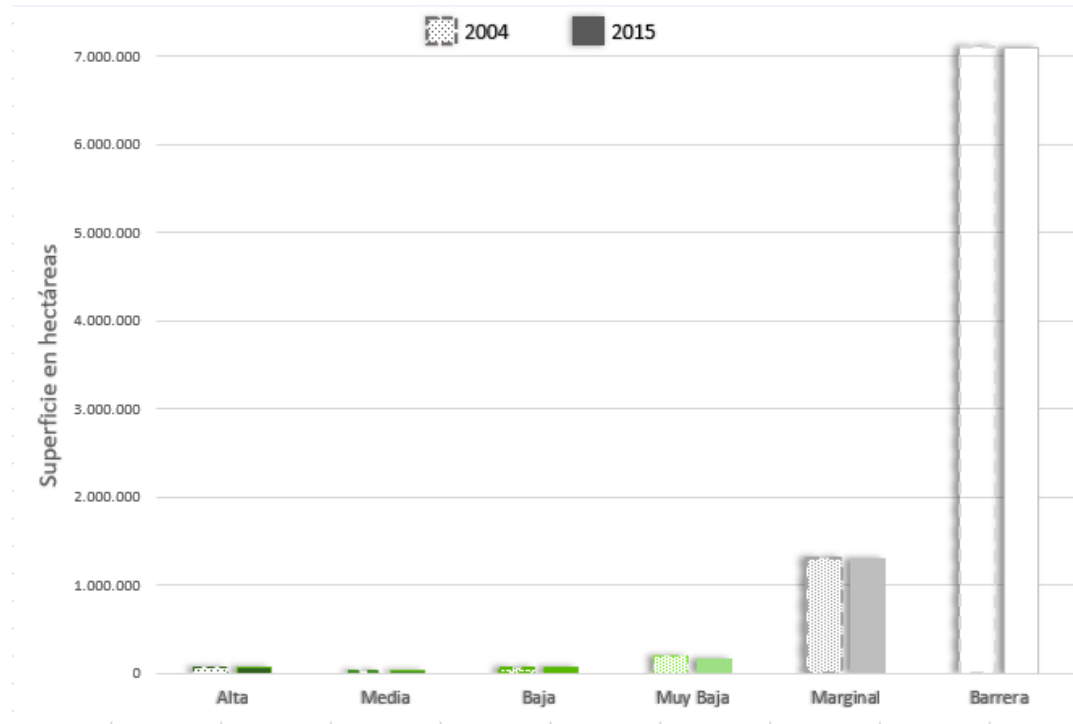
ANEXOS



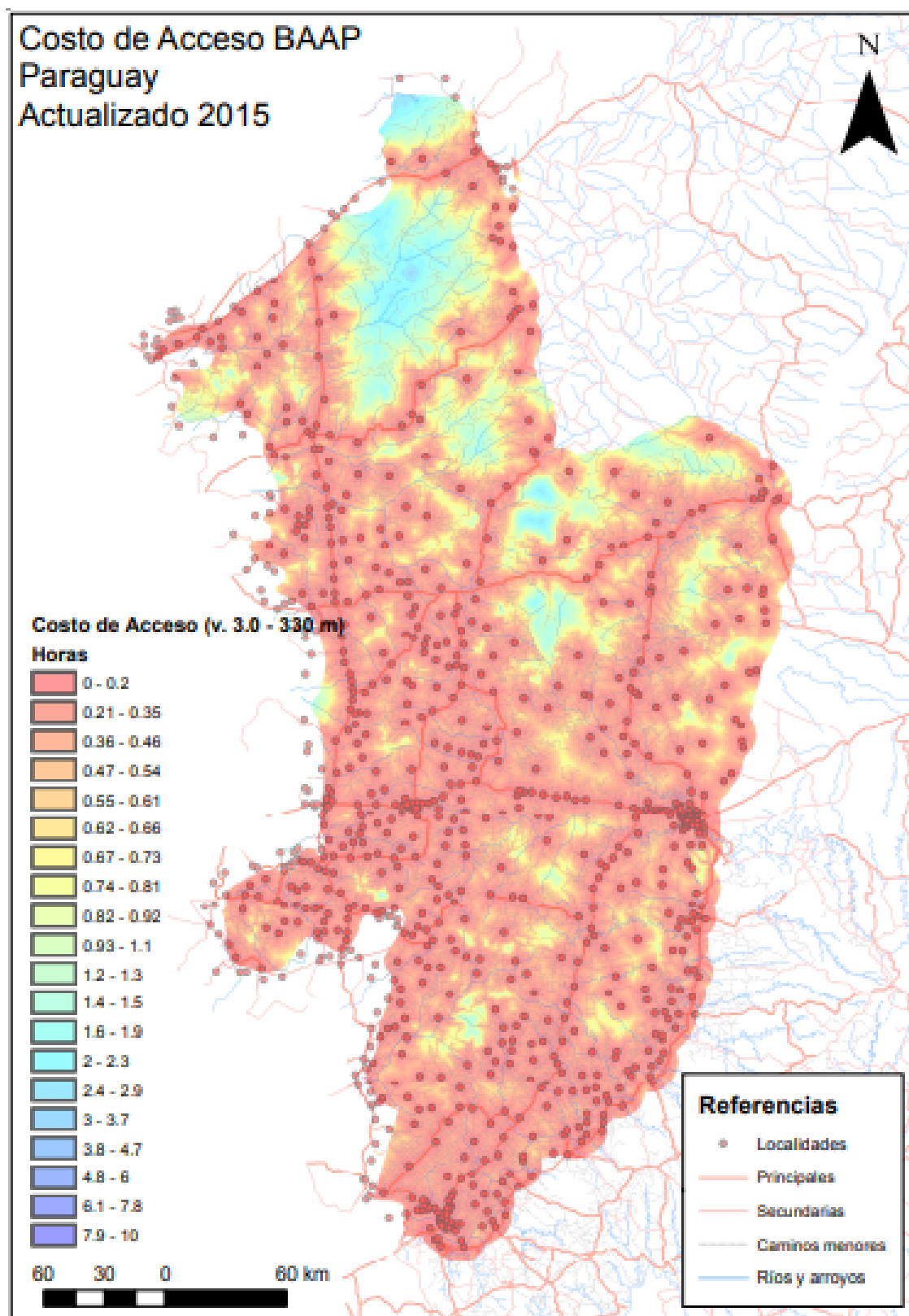
Anexo 1. Proporción de usos del suelo en los años 2004 y 2015.



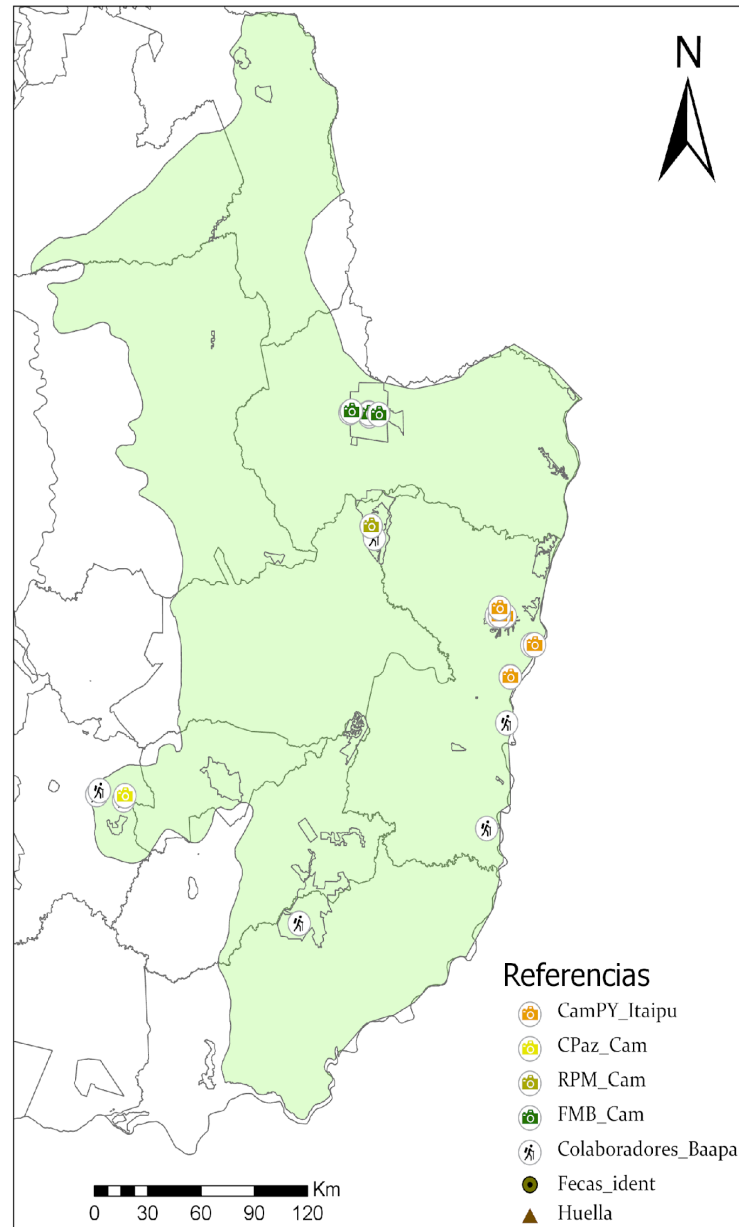
Anexo 2. Uso del suelo en hectáreas entre los años 2004 y 2015.



**Anexo 3.** Disponibilidad de hábitat en hectáreas en los años 2004 y 2015.



**Anexo 4.** Mapa de costo de acceso a cada celda estimado en horas (variable antrópica).



**Anexo 5.** Mapa de localización de las cámaras trampa y sitios relevados. Donde; CamPy\_Itaipu; Cámaras trampa en las reservas de Itaipu; CPaz\_Cam: Cámaras trampa del cuerpo de Paz; RPM\_Cam: Cámaras trampa en la R.P.Morombi; FMB\_Cam: F.M.Bertoni

**Anexo 6.** Imágenes satelitales Landsat 8 utilizadas para generar el mapa de coberturas del suelo del BAAP en Paraguay.

| Row | Path | Fecha      |
|-----|------|------------|
| 225 | 76   | 26/04/2015 |
| 225 | 77   | 26/04/2015 |
| 225 | 78   | 26/04/2015 |
| 226 | 76   | 07/08/2015 |

**Encuesta realizada para evaluar el nivel de protección de las áreas protegidas**

1. Nombre del Área Protegida
2. ¿El Área Protegida cuenta con plan de manejo aprobado?
3. Número de guardaparques asignados permanentemente al área
4. Número de vehículos utilizados para vigilancia del área
5. ¿El Área Protegida cuenta con puestos de vigilancia?
6. ¿Con qué frecuencia realizan patrullas para vigilar el área?
7. ¿Con qué frecuencia encuentran evidencia de cacería dentro del área protegida (caza furtiva, trampas, cartuchos, disparos, etc.)?
8. ¿Con qué frecuencia encuentran perros de cazadores?
9. ¿Existen senderos ilegales dentro del área protegida?
10. ¿Han encontrado trampas de cazadores dentro del área protegida?
11. ¿Se escuchan disparos de arma de fuego dentro del área protegida?
12. ¿Han encontrado campamentos ilegales dentro del área protegida?
13. ¿Se encuentran cartuchos dentro del área protegida?
14. ¿Hay extracción de madera dentro del área protegida? ¿Con qué frecuencia?
15. En tu opinión, ¿crees que la presión de cacería en el área protegida es: baja, media, alta o severa?
16. ¿Los guardaparques utilizan armas de fuego en el área protegida?

17. ¿El área protegida cuenta con presupuesto para protección?
18. ¿El área protegida cuenta con proyectos de conservación?
19. ¿Con qué frecuencia realizan vigilancias en los bordes del área protegida?
20. En caso de que la respuesta anterior sea afirmativa, ¿Cuántos son los puestos de vigilancia?
21. ¿Existe invasión de tierra dentro del área protegida?