

Hacia el paisaje de conservación para el yaguararé en la Región Chaqueña Argentina

Informe técnico - POCY Chaco – Parte I

DESCRIPCIÓN BREVE

Modelado del hábitat del yaguararé en la región chaqueña argentina, utilizando los conocimientos e investigaciones realizadas en los últimos 20 años, como base para la elaboración del paisaje óptimo de conservación del yaguararé (POCY Chaco).

Desarrollado por:

Carmen Marcela López
Verónica Andrea Quiroga
Lucero Corrales
Julia Martínez Pardo
Agustín Paviolo
Carlos De Angelo



Río Cuarto, diciembre de 2023

Hacia el paisaje de conservación para el yaguareté en la Región Chaqueña Argentina

Informe técnico POCY Chaco Parte I

Equipo de trabajo: Carmen Marcela López, Verónica A. Quiroga, Lucero Corrales, Julia Martínez Pardo, Agustín Paviolo y Carlos De Angelo – Proyecto Yaguareté (CeIBA-CONICET) - **Contacto:** carlos.deangelo@conicet.gov.ar – Tel: 0358-4676236 Int 105

El presente informe surge en respuesta a los objetivos y acciones del Plan Nacional de Conservación del Monumento Natural Yaguareté (Panthera onca) (p.ej. Objetivo 1 en Ramadori et al., 2016)) y el Plan de Emergencia para la Conservación del Yaguareté en el Gran Chaco Argentino (p.ej. Acción C. 1.3. en Palacios, 2017), y se encuadra en los proyectos posdoctorales de CONICET de las Dras. Carmen López y Julia Martínez Pardo, y el plan de trabajo en la Carrera de Investigador Científico del CONICET de les Dres. Verónica Quiroga, Agustín Paviolo y Carlos De Angelo. La recopilación y procesamiento de información sobre la presencia y distribución del yaguareté utilizada para la realización de este informe fue posible gracias al apoyo y colaboración del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), la Universidad Nacional de Misiones (UNaM), la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), el “Grupo de Colaboradores para la Conservación del Yaguareté en la Región Chaqueña argentina” del Proyecto Yaguareté del Centro de Investigaciones del Bosque Atlántico (CeIBA) y el CONICET, la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (PICT 2016-4087), la Administración de Parques Nacionales (APN), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, los Gobiernos de las Provincias de Chaco, Formosa, Santiago del Estero y Salta, el Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD, y United Nations Office for Project Services, UNOPS), la Fundación Vida Silvestre Argentina, Greenpeace Argentina e innumerables instituciones y financiadores con los que nuestro equipo ha colaborado en estos años.

Resumen

La pérdida y fragmentación de los ambientes naturales producida por el avance de la frontera agropecuaria constituye una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad de la Región Chaqueña. Esto, sumado a la amenaza de la cacería, afecta en mayor magnitud a especies con grandes requerimientos de hábitat como el yaguareté (*Panthera onca*), que se encuentra En Peligro Crítico de extinción en Argentina. Mediante este trabajo, desde el Proyecto Yaguareté desarrollamos modelos de hábitat multitemporales integrando diferentes factores socioambientales que afectan a la retracción del yaguareté y su hábitat en la Región Chaqueña de Argentina, donde aún persiste la especie. Estos modelos fueron elaborados de manera bidimensional, combinando modelos de paisaje con modelos de amenazas directas, identificando las principales áreas de conservación y manejo para esta especie y su hábitat. Sobre estas áreas, en una siguiente etapa delimitaremos las áreas de manejo y conservación prioritarias para la especie en la región para llegar al Paisaje de Óptimo de Conservación del Yaguareté en la Región Chaqueña Argentina.

Cita sugerida para este informe: López, C.M.; Quiroga, V.; Corrales, L.; Martínez Pardo, J.; Paviolo, A. y C. De Angelo. 2023. *Hacia el paisaje de conservación para el yaguareté en la Región Chaqueña Argentina – POCY Chaco Parte I*. Proyecto Yaguareté (CeIBA - CONICET). Río Cuarto, Argentina. 26 p.

Tabla de contenidos

Resumen	1
Tabla de contenidos	2
Objetivo general.....	3
Objetivo específico de la parte I del desarrollo del POCY Chaco	3
Introducción.....	3
Desarrollo del paisaje de conservación	4
Área de estudio.....	4
Mapeo de la presencia del yaguareté y puntos de disponibilidad de hábitat para la Región Chaqueña en los últimos 20 años	5
Modelado del hábitat del yaguareté en la Región Chaqueña Argentina.....	6
Variables que determinan las condiciones del hábitat del yaguareté.....	7
Modelos de aptitud de hábitat	7
Modelo de disponibilidad de recursos y condiciones del paisaje (MDR)	8
Modelo de amenaza de caza (MAC)	10
Modelo combinado de dos dimensiones.....	13
Hacia el desarrollo del POCY Chaco: Conclusiones iniciales	16
Referencias.....	17
Apéndices.....	19
Apéndice I	19
Listado de variables elaboradas y probadas en el ajuste de los modelos	19
Apéndice II	23
Detalle de los resultados del modelo de disponibilidad de recursos seleccionado	23
Detalle de los resultados del modelo de amenaza de caza seleccionado	24
Apéndice III	26
Áreas protegidas en relación las categorías del hábitat para el yaguareté en la Región Chaqueña	26

Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es desarrollar un paisaje de conservación para el yaguareté (*Panthera onca*), que sirva como herramienta para la planificación y el ordenamiento territorial de la Región Chaqueña. Este objetivo se abordará en dos partes, donde en el presente informe se desarrolla el primer objetivo específico.

Objetivo específico de la parte I del desarrollo del POCY Chaco

Sobre la base de información recopilada previamente referente a la historia reciente (del 2000 al 2020) y a la condición actual de la población del yaguareté en la Región Chaqueña de Argentina, desarrollamos un modelo bidimensional de la distribución del hábitat del yaguareté en la Región Chaqueña Argentina basado en el efecto de las características naturales y antrópicas sobre la presencia de la especie en la región. Para ello se utilizó tanto información actual, como de la historia reciente de la presencia de la especie y del avance de la frontera agrícola-ganadera, para comprender sus consecuencias sobre el retroceso del hábitat y estado actual de conservación de la especie.

Introducción

Actualmente, la situación del yaguareté en la Región Chaqueña Argentina es crítica (Quiroga *et al.*, 2014; Paviolo *et al.*, 2019), con altas tasas de desmonte (Piquer-Rodríguez *et al.*, 2015; Baumann *et al.*, 2017; Romero-Muñoz *et al.*, 2019) que hacen que la disponibilidad de grandes superficies continuas de hábitat apto para la especie sea muy baja. Para sostener poblaciones viables de yaguareté se necesitan no solo bosques en buen estado de conservación, sino con una alta disponibilidad de presas y niveles bajos de cacería (Romero-Muñoz *et al.*, 2019). En la actualidad, la mayor superficie del territorio chaqueño argentino donde aún se distribuye la especie, no reúne las condiciones suficientes para el mantenimiento de poblaciones saludables de la especie debido principalmente a los desmontes y la cacería (Quiroga *et al.*, 2014; Di Bitetti *et al.*, 2016; Romero-Muñoz *et al.*, 2019). Como resultado, el yaguareté en Argentina se encuentra en Peligro Crítico de Extinción, y en la Región Chaqueña en particular se sostiene una población que no superaría los 20 individuos (Di Bitetti *et al.*, 2016; Paviolo *et al.*, 2019).

Durante las últimas dos décadas y mediante diversos métodos de muestreo, desde el Proyecto Yaguareté (CONICET/CeIBA), y en un esfuerzo interinstitucional, estudiamos el estado poblacional de la especie y su problemática de conservación, recolectando datos confirmados de presencia de yaguareté en la Región Chaqueña Argentina, así como de la relación de la especie con el entorno y los pobladores rurales (Quiroga *et al.*, 2014; Cruz *et al.*, 2017; Quiroga *et al.*, 2018; Quiroga *et al.*, 2019). Durante estos años realizamos relevamientos con cámaras trampa, huelleros, entrevistas a pobladores rurales, recorridos de búsqueda de rastros (Quiroga, 2013; Quiroga *et al.*, 2014), y desde el año 2015 llevamos adelante un monitoreo participativo que se sostiene en colaboración permanente con numerosas instituciones y pobladores locales (Cirignoli, 2017; Cruz *et al.*, 2017; Quiroga *et al.*, 2018). Esto nos permitió brindar la base de la información para la elaboración del Plan de Emergencia para la Conservación del Yaguareté en Región Chaqueña (Palacios, 2017), y luego desarrollar acciones identificadas como prioritarias en este Plan y por la Subcomisión Chaqueña para la Conservación del Yaguareté. Una de las acciones importantes abordadas por nuestro equipo, es el sostenimiento de un sistema de alerta y monitoreo de la presencia de la especie que a su vez genera un insumo muy valioso de información para desarrollar otra de las acciones previstas en el Plan: construir un modelo de aptitud de hábitat del yaguareté espacialmente explícito, aplicado al manejo y gestión de la especie para su conservación en la región (Acción C. 1.3.; Palacios, 2017).

El paisaje óptimo de la conservación del yaguareté (POCY) es una herramienta construida a partir de análisis en sistemas de información geográfica y orientada hacia el manejo y toma de decisiones, que ya hemos desarrollado para la población de yaguaretés del Corredor Verde de Misiones (De Angelo, 2009; Schiaffino *et al.*, 2011; De Angelo *et al.*, 2013). Dicha herramienta ha sido de gran importancia para focalizar esfuerzos de conservación y planificación territorial para esta población de yaguaretés y su hábitat (Martínez Pardo *et al.*, 2017), colaborando así en la recuperación de la población de la especie en esa provincia (Paviolo *et al.*, 2016; Paviolo *et al.*, 2019). La Ley Nacional de Presupuestos Mínimos de Bosques Nativos (Ley 26.331, 2007) prevé que para el Ordenamiento de los Bosques Nativos las provincias deben considerar el hábitat disponible para asegurar la supervivencia de las comunidades biológicas, en especial para las grandes especies de carnívoros y herbívoros (Criterio 1). De este modo, contar con la información sobre la distribución y áreas críticas para la conservación del yaguareté es un insumo clave para el ordenamiento de los bosques chaqueños del norte del país. Existen en este sentido demandas específicas desde, por ejemplo, el requerido proceso de actualización del OTBN de provincias como Chaco, Salta y Corrientes, o de acreditación e implementación como es el caso de Formosa y Santiago del Estero (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023). Por ello, generar esta herramienta para la Región Chaqueña es clave para gestionar el ordenamiento territorial de las provincias de la región utilizando como base criterios para la conservación del yaguareté y su hábitat.

Desde el Proyecto Yaguareté hemos estado trabajando en los últimos años para recopilar no solo información clave sobre la presencia de la especie sino también la información referente a las condiciones que determinan la disponibilidad y conectividad del hábitat de la especie en la región. **En el presente informe, analizamos toda esta información para aplicarla en un modelo de hábitat que sirva de base para en una segunda etapa crear un instrumento que será clave para guiar los esfuerzos para la conservación y recuperación de la especie en la Región Chaqueña Argentina.**

Desarrollo del paisaje de conservación

Área de estudio

El área de estudio está comprendida dentro las ecorregiones de Chaco Seco y Chaco Húmedo argentino (Morello *et al.*, 2012), abarcando el área actual de distribución del yaguareté en el Chaco argentino y las áreas de distribución potencial (Paviolo *et al.*, 2019). El área está centrada en las provincias de Chaco y Formosa, incluyendo también el norte de Santiago del Estero y el este de la provincia de Salta. Tuvimos en cuenta además en el análisis la región colindante del sur de Paraguay y sudeste de Bolivia de manera de considerar sus posibles conexiones con otras poblaciones adyacentes (Figura 1), abarcando un total de 30.299.938 hectáreas.

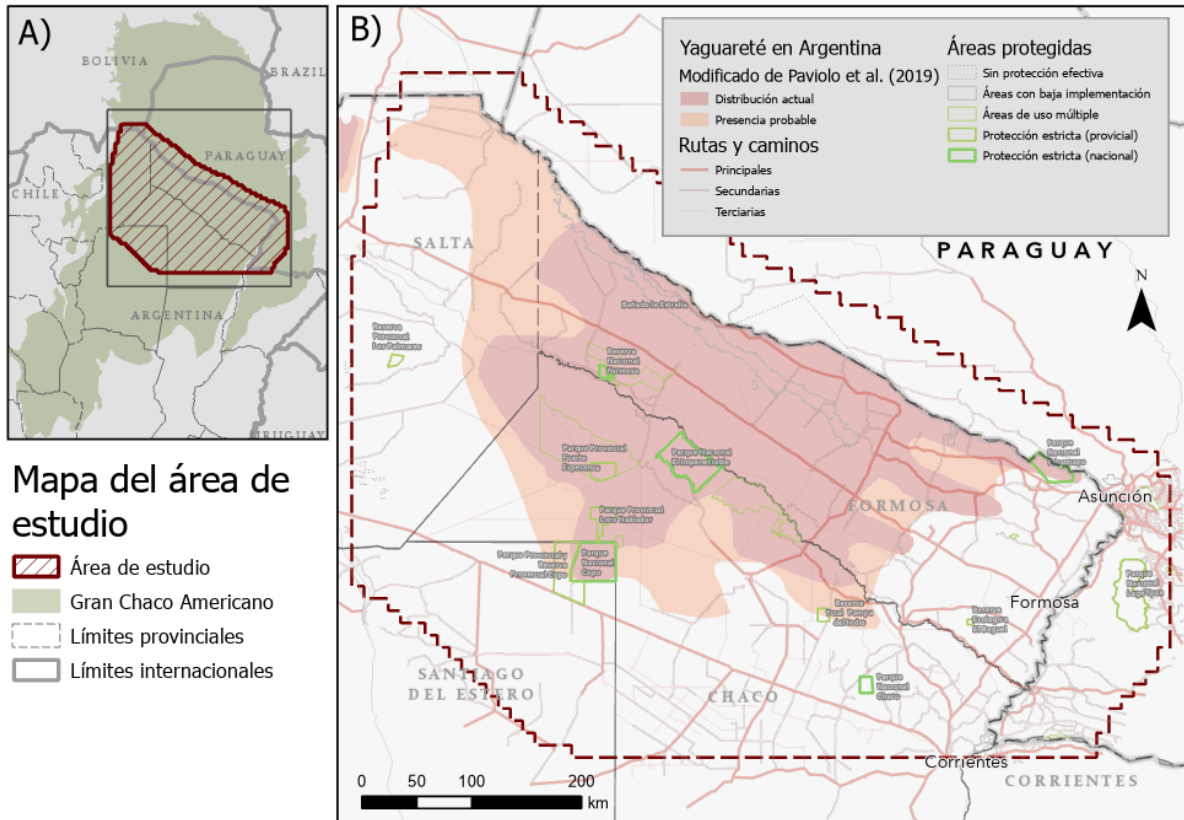


Figura 1. Delimitación del área de trabajo para desarrollar el paisaje de conservación del yaguareté en la Región Chaqueña Argentina. A) Ubicación del área de estudio dentro del Gran Chaco Americano (el recuadro indica el área ampliada). B) Delimitación del área de estudio en relación con la distribución actual estimada del yaguareté en la Región Chaqueña Argentina.

Mapeo de la presencia del yaguareté y puntos de disponibilidad de hábitat para la Región Chaqueña en los últimos 20 años

Para elaborar los modelos de hábitat, primero, recopilamos los puntos de presencia de yaguareté colectados por el equipo de nuestro Proyecto y nuestros colaboradores a lo largo de los últimos 20 años en la región (Quiroga, 2013; Quiroga *et al.*, 2014; Cirignoli, 2017; Quiroga *et al.* en preparación; Cruz *et al.*, 2017; Quiroga *et al.*, 2018). Así, obtuvimos un total de 135 registros de yaguareté correspondientes al período 2002 a 2021 (Quiroga *et al.* en preparación), a los que se sumaron localizaciones de GPS que describen los movimientos de Qaramta en este período, un yaguareté macho monitoreado desde 2019 por nuestro equipo, en colaboración con la Fundación Rewilding Argentina y la Administración de Parques Nacionales en la zona del Parque Nacional El Impenetrable. Para evitar los sesgos causados por el muestreo no sistemático de los datos de presencia de yaguareté o la incorporación de datos de movimiento de un solo individuo, filtramos estos datos seleccionando al azar un solo registro por cada 450 km² por períodos de diez años, siguiendo lo realizado por Romero-Muñoz *et al.* (2019) para su trabajo para toda la Región Chaqueña, donde utilizamos como referencia el tamaño de área de acción de hembras monitoreadas para la región. Es decir, en promedio para el modelado solo seleccionamos registros que estuvieran distanciados al menos unos 12 km en el espacio o 10 años en el tiempo. Este proceso fue realizado con las herramientas de Spatial Thinning dentro de las herramientas de modelado de solo presencia de ArcGIS Pro 3.2. Mediante esta metodología y criterio, se seleccionaron 93 registros de presencia de yaguareté que fueron utilizados para el modelado de hábitat (Quiroga *et al.* en preparación).

Para elaborar modelos el hábitat donde sólo se cuenta con registros de presencia de la especie, como en nuestro caso, una de las metodologías más utilizadas es la comparación entre las localizaciones de presencia de la especie y localizaciones disponibles o de fondo (*background*) (Phillips y Dudik, 2008; Phillips *et al.*, 2017). Estas localizaciones se pueden generar totalmente al azar en el área de estudio, o ser generados aleatoriamente, pero con el mismo sesgo espacial que tuvo el proceso de colecta de registros de presencia (Merow *et al.*, 2013; Merow *et al.*, 2016; Romero-Muñoz *et al.*, 2019). En nuestro caso, para generar un mapa de probabilidades en función del esfuerzo relativo de colecta de datos, utilizamos toda la información georreferenciada que se recolectó en estos 20 años de trabajo del equipo del Proyecto Yaguareté (tracks de recorridas, puntos de informantes, registros de yaguareté y otras especies o datos de interés, etc.), incluyendo también la ubicación de las localidades de la región. Con este mapa de probabilidades, generamos 10.000 localizaciones aleatorias para la parte de Argentina del área de estudio (Figura 2). Estas localizaciones fueron atribuidas a los diferentes períodos de tiempo de manera proporcional a la cantidad de localizaciones de presencia disponibles para cada año o grupo de años. Luego, extrajimos los valores de las variables eco-geográficas asociando tanto las localizaciones de presencia de yaguareté como a las localizaciones de *background* a los años correspondientes para cada registro y variable.

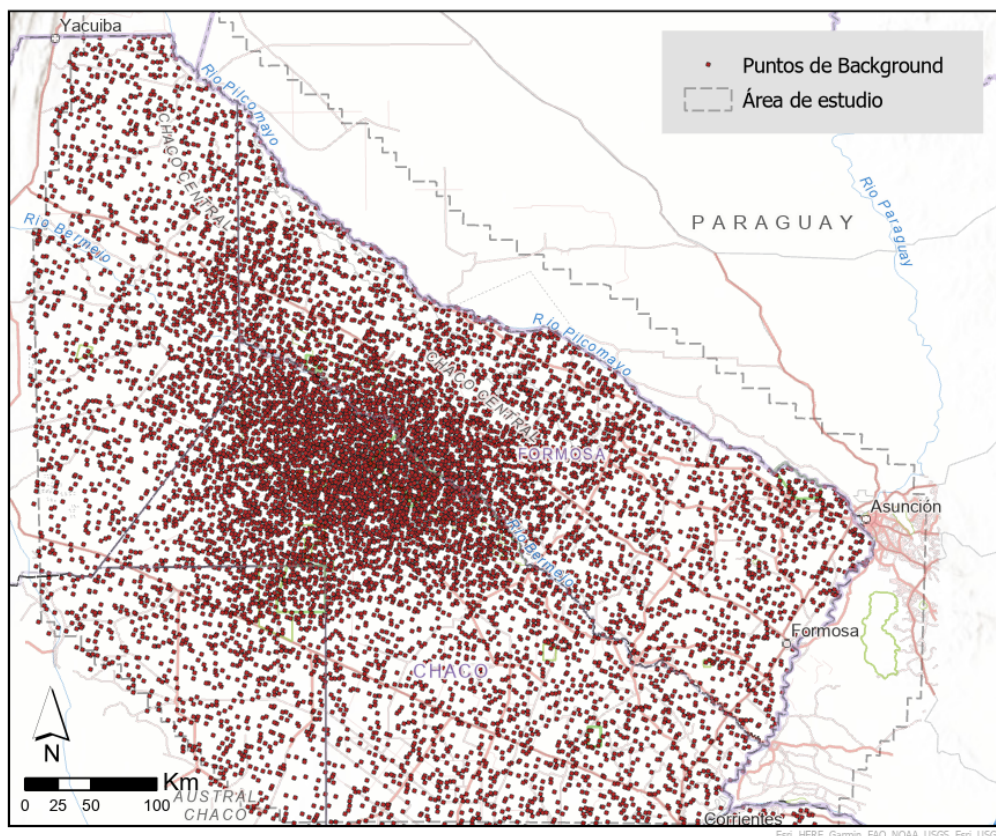


Figura 2. Localizaciones de disponibilidad o puntos de *background* generados aleatoriamente, pero considerando el esfuerzo de muestreo empleado para obtener los registros de yaguareté en la región en los últimos 20 años.

Modelado del hábitat del yaguareté en la Región Chaqueña Argentina

Utilizamos una metodología de modelado basada en los trabajos de Romero-Muñoz *et al.* (2019) para el yaguareté en el Gran Chaco, y la aproximación de De Angelo *et al.* (2013) para la transformación de modelos de hábitat en un paisaje de conservación para la especie en el Corredor Verde de Misiones y Brasil.

VARIABLES QUE DETERMINAN LAS CONDICIONES DEL HÁBITAT DEL YAGUARETÉ

Las variables eco-geográficas que determinan la distribución del hábitat del yaguareté se basaron en lo definido por dichos autores y se elaboraron integrando las características ecológicas y socioeconómicas de la región (Apéndice I). Utilizamos como referencia el enfoque Romero-Muñoz *et al.* (2019) y las variables fueron divididas en dos grandes categorías: disponibilidad de recursos y condiciones del paisaje (modelo de disponibilidad de recursos o MDR) y amenazas para el yaguareté (modelo de amenaza de caza o MAC). El detalle sobre la elaboración de éstas se detalla más adelante para las variables seleccionadas en los modelos finales, y en el Apéndice I para todas las variables analizadas y puestas a prueba. De manera general, las variables de coberturas del suelo como la disponibilidad de bosques nativos se obtuvieron a partir de las capas disponibles en MapBiomas Chaco (<https://Chaco.mapbiomas.org>) para los últimos 20 años. Por otro lado, las variables socioeconómicas asociadas a las amenazas (accesibilidad, densidad de signos de actividad humana, densidad de rutas, etc.) las creamos a partir de bases de datos oficiales como el Instituto Geográfico Nacional (www.ign.gob.ar) o de acceso libre como Open Street Map (www.openstreetmap.org), y el mapeo exhaustivo de fuentes de presión humanas (p. ej. puestos y localidades, rutas y caminos, etc.) digitalizadas manualmente para complementar la información a la escala espacial y temporal necesaria. Tanto las variables de disponibilidad de recursos como las de amenazas las evaluamos de acuerdo con su variación temporal para el período 2000 a 2020, de manera de asociar los datos de presencia del yaguareté a las condiciones más próximas en el tiempo a cuando el registro de la especie fue obtenido. Todas las variables se mapearon para toda el área de estudio con una resolución de 100 x 100 m por píxel (1 hectárea).

Modelos de aptitud de hábitat

Tanto los registros de presencia de yaguareté como las variables analizadas reflejan un período de unos 20 años de historia de la región, por lo que para el modelado del hábitat asociamos los puntos de presencia a las condiciones del paisaje más próximas a la fecha de dichos puntos. A partir de ello, modelamos la aptitud del hábitat mediante modelos de máxima entropía en el programa Maxent 3.4.4 (Phillips *et al.*, 2017), y seguimos las recomendaciones de Merow *et al.* (2013) para la parametrización de los mismos en modelos multitemporales. Para evitar el sobreajuste de los modelos y asegurar el sentido biológico de las respuestas de las variables, solo utilizamos la función lineal como potencial respuesta de las variables y un multiplicador de regularización de 1 (Elith *et al.*, 2011; Merow *et al.*, 2013). Para evaluar la solidez de nuestros modelos, realizamos una validación cruzada de 20 repeticiones y evaluamos la importancia de las variables mediante una estimación jackknife de su contribución (Phillips y Dudik, 2008).

Utilizamos los 93 registros de presencia de yaguareté que fueron seleccionados como indicamos anteriormente, y que abarcaron el período 2002 a 2021 inclusive. Utilizamos por cada repetición del modelo un 75% de los registros seleccionados al azar (muestras de entrenamiento), y dejamos un 25% de los registros como muestras de testeo independiente. Desarrollamos el proceso de modelado en dos dimensiones, utilizando por separado las variables relacionadas a las condiciones del paisaje y disponibilidad de recursos para el jaguar (MDR), y por otro lado a las amenazas directas para la especie (MAC) (De Angelo, 2009; De Angelo *et al.*, 2013; Romero-Muñoz *et al.*, 2019). Para cada dimensión, observamos la correlación existente entre las variables mediante R (R Development Core Team, 2024), y exploramos las combinaciones de variables posibles entre variables no correlacionadas o con correlaciones con un r^2 menor a 0,7. Las primeras combinaciones posibles de variables las evaluamos en modelos con 10 repeticiones, donde ajustamos la importancia de las variables a través de una estimación de jackknife (Phillips y Dudik, 2008) y sus curvas de respuesta. A los diferentes modelos alternativos generados los evaluamos mediante los valores de área bajo la curva ROC (AUC). Para la elaboración de los modelos finales seleccionamos las variables a través de las pruebas en las diferentes

combinaciones partiendo de aquellas que mostraron respuestas consistentes en las repeticiones de los modelos y con sentido biológico de acuerdo a las hipótesis planteadas (Apéndice I), y que combinadas se obtuvieran modelos con ajuste aceptable (AUC mayor a 0,6) (Hirzel *et al.*, 2006). Observando y comparando la respuesta y aporte de cada variable, más el grado de ajuste y consistencia de los modelos, llegamos a un modelo final para cada una de las dimensiones analizadas. Los modelos finales fueron realizados duplicando el número de repeticiones reportando los valores de ajuste y porcentaje de aporte promedio de las variables, y el mapa de aptitud de hábitat de la mediana de estas 20 repeticiones. Estos modelos expresan la aptitud de hábitat en relación a la probabilidad de presencia del yaguareté en valores de entre 0 y 1, que luego recategorizamos en 3 categorías principales a partir de los siguientes puntos de corte de acuerdo a Hirzel *et al.* (2006) y De Angelo *et al.* (2013): 1) áreas no aptas o barreras, que están determinadas por los valores por debajo del valor mínimo de aptitud reportado por Maxent para un punto de presencia o *minimum training presence logistic threshold*; 2) áreas marginales o de aptitud intermedia, que tuvieron valores entre el punto de corte anterior y el valor de predicho/esperado igual a 1, es decir áreas donde las probabilidades de ocurrencia de la especie son menores a la esperadas por la disponibilidad de esos ambientes en el área de estudio; y 3) áreas aptas que tuvieron valores de aptitud superiores a el valor de predicho/esperado igual a 1 de acuerdo al índice de Boyce, es decir valores de aptitud donde las ocurrencias de la especie son más frecuentes de manera consistente a lo que se espera por la disponibilidad de áreas con esos valores en el área de estudio. Luego, para cada caso hicimos subdivisiones de las categorías siguiendo el mismo criterio sugerido por estos autores (Hirzel *et al.*, 2006; De Angelo *et al.*, 2013). El índice continuo de Boyce es útil tanto para la categorización de los modelos como para evaluar su capacidad predictiva (Hirzel *et al.*, 2006), porque permite obtener un valor de correlación entre los valores de aptitud del hábitat y la relación entre la ubicación de las localizaciones de presencia y lo esperado por azar. Por este motivo, también reportamos este valor como parámetro del ajuste de los modelos, donde valores cercanos a 0,5 indican un modelo igual a un modelo aleatorio, mientras que valores de índice de Boyce cercanos a 1 indican un modelo con buena capacidad predictiva (Hirzel *et al.*, 2006).

Modelo de disponibilidad de recursos y condiciones del paisaje (MDR)

El modelo seleccionado para representar la disponibilidad de recursos (MDR) para el yaguareté en la región fue aquel que incluyó las variables de “porcentaje de bosque en un radio de 11 kilómetros” (75,8% de importancia promedio), el “porcentaje de cultivos en un radio de 11 kilómetros” (15,5% de importancia promedio), y la “distancia a los ríos principales de la región” (8,7% de importancia promedio)(Tabla 1). Este modelo tuvo un AUC de entrenamiento promedio de 0,644 (desvío estándar o DS = 0,037), y el AUC de testeo promedio de 0,623 (DS = 0,022), con un índice de Boyce promedio de 0,847 (DS = 0,043). En relación con la respuesta de cada una de las variables, el bosque presentó una respuesta positiva (mayor probabilidad de presencia de yaguareté en lugares con altos porcentajes de cobertura boscosa) mientras las otras dos mostraron una respuesta negativa, es decir, mayor probabilidad de presencia de yaguareté en lugares con menor proporción de cultivos y en sitios cercanos a los ríos (Figura 3). Más detalles sobre la conformación de este modelo pueden encontrarse en el Apéndice II.

Tabla 1. Variables predictoras seleccionadas para el modelado de disponibilidad de recursos y condiciones del paisaje para el jaguar en el Chaco Argentino (MDR).

Variable	Descripción	Fuente	Resolución temporal	Efecto	Explicación	Referencias bibliográficas
for2020	% bosque alrededor de la celda objetivo en radio de 11 km	MapBiomass Chaco v1 y v2	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	+	Proporciona recursos para alimentación, reproducción y refugio para el yaguareté.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
cro2020	% tierras de cultivo alrededor de la celda objetivo en radio de 11 km	MapBiomass Chaco v1 y v2	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	-	Indica la falta de recursos para los depredadores por la modificación del hábitat.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
dist_riospp	Distancia euclídea a ríos principales y Bañados de la Estrella	Open Street Map	Una misma variable para todos los períodos	-	Indica la accesibilidad al agua, que es un recurso muy importante para la especie y sus presas, y otros recursos disponibles en los ambientes de ribera.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)

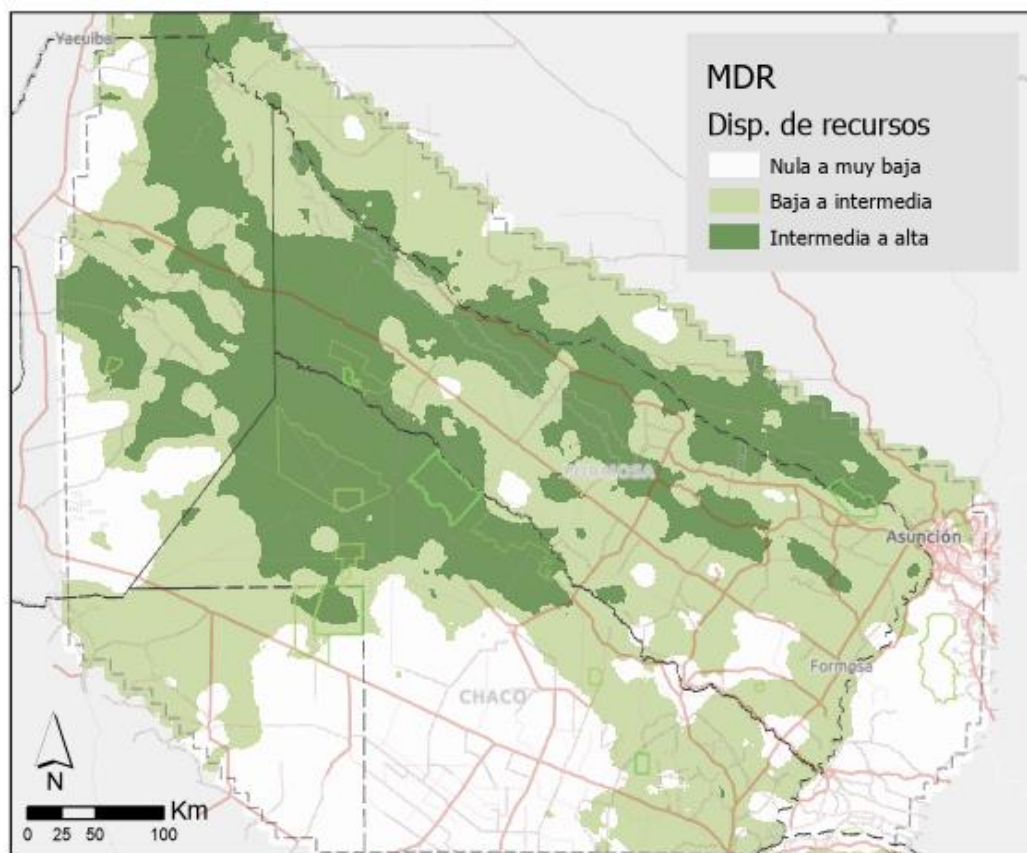


Figura 3. Modelo de disponibilidad de recursos y condiciones del paisaje para el yaguareté en la Región Chaqueña Argentina.

Como resultado, solo un 28% del área de estudio (8.520.033 ha) aún mantienen condiciones de disponibilidad de recursos intermedias o altas para el yaguareté, principalmente sostenidas por el mantenimiento de la cobertura boscosa. Estas áreas se concentran en la región noroeste de la provincia del Chaco, noreste de Santiago del Estero, este y norte de Salta y centro, norte y oeste de Formosa. El sostenimiento y conservación de estos bosques es prioritario para la conservación de la especie. Por otro lado, el 43% del área (13.003.938 ha) está representada por condiciones de intermedia a baja disponibilidad de recursos, donde en general aún se sostiene cobertura boscosa, pero con alta degradación, lo cual reduce las condiciones para la supervivencia de la especie. La recuperación y restauración de estos bosques tendría un impacto altamente positivo en consolidar, sostener y conectar las áreas con presencia de la especie, y favorecer la recuperación de su población.

Otra forma de evaluar el ajuste del modelo es observar dónde ocurren las localizaciones donde fue detectada la especie en las diferentes categorías de hábitat. Para nuestro caso utilizamos parte de los puntos de presencia usados para generar el modelo (solo incluyendo los registros entre 2018 y 2021, ya que el modelo apunta a predecir la situación del hábitat para el año 2020 de acuerdo con las variables utilizadas), y por otro lado registros independientes que fueron colectados de presencia de yaguareté colectados por nuestro equipo entre 2021 y 2023, y que no los utilizamos para el modelado (Corrales *et al.* datos sin publicar). De los registros de presencia del yaguareté para el período más reciente usados para generar el modelo, el 73,1% de las presencias ocurre en zonas de intermedia a alta disponibilidad de recursos (Figura 4.A) y ningún registro en áreas de nula o muy baja disponibilidad de recursos, indicando buena capacidad predictiva del modelo. De manera similar, un 58,9% de los registros independientes ocurren en áreas de intermedia o alta disponibilidad de recursos, y solo un 6,9% en áreas de nula o muy baja disponibilidad (Figura 4.B).

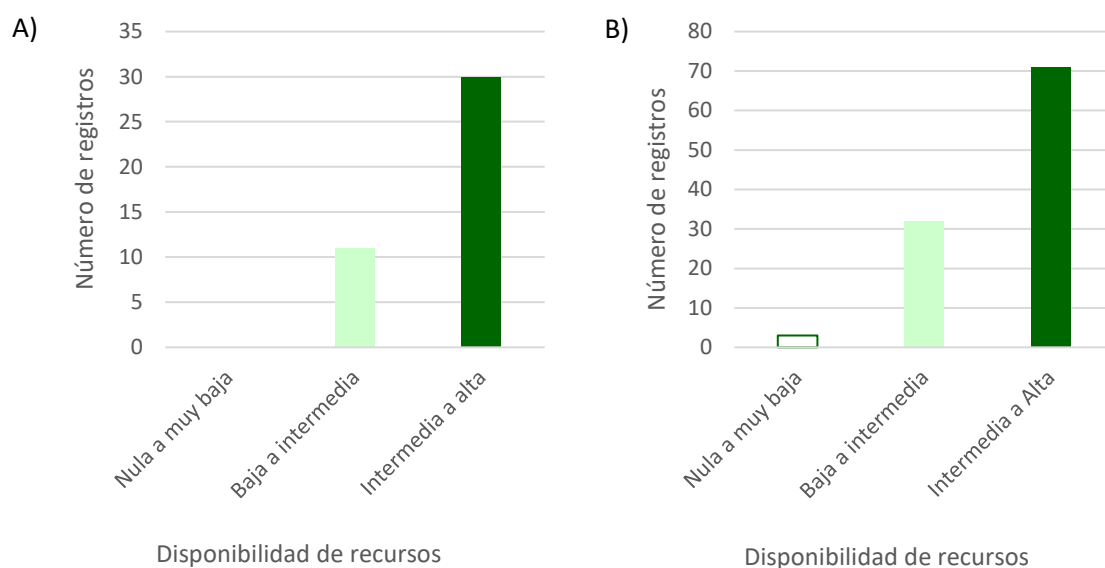


Figura 4. Frecuencia de registros de yaguareté para cada categoría del modelo de disponibilidad de recursos. A) Registros de presencia del yaguareté para el período más reciente usados para generar el modelo (2018-2021). B) Registros independientes obtenidos entre 2021 y 2023 por nuestro equipo para el área de estudio (Corrales *et al.* datos sin publicar).

Modelo de amenaza de caza (MAC)

El mejor modelo de amenaza de caza para el yaguareté fue aquel que incluyó como variable al “porcentaje de áreas protegidas en un radio de 11 km”, con un 53,7% promedio de contribución, remarcando la vital importancia de estas áreas para la subsistencia de la especie en la región (Tabla 2). El “porcentaje de áreas ganaderas en un radio de 11 km” (26,8% de contribución promedio) y la “densidad de rutas” ponderada por su importancia (19,5% de contribución promedio), fueron las otras

variables que constituyeron este modelo (Tabla 2). Estas últimas variables mostraron un fuerte efecto negativo en la presencia de la especie, decayendo la aptitud del hábitat ante el aumento del porcentaje de áreas ganaderas y de la densidad de rutas. Este modelo tuvo un buen nivel de ajuste tanto en su evaluación con los datos de entrenamiento como en los de testeo (AUC de entrenamiento = 0,704, DS = 0,026; AUC de testeo promedio = 0,715 DS = 0,054; Índice de Boyce promedio = 0.912, DS = 0,025). Más detalles sobre la conformación de este modelo pueden encontrarse en el Apéndice II.

Tabla 2. Variables predictoras seleccionadas para la modelización de amenaza de caza para el yaguareté en el Chaco Argentino (MAC).

Variable	Descripción	Fuente	Resolución temporal	Efecto	Explicación	Referencias bibliográficas
pcAP11k (*)	Porcentaje de áreas protegidas en un radio de 11 km ponderado por el nivel de protección	SIB, IGN, elaboración propia	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	+	Indica el nivel de protección del área y su área de influencia en 11 km	Elaboración propia
gra2020	% de cobertura de pasturas alrededor de la celda objetivo (descartamos zonas de pasturas o pastizal dentro de áreas protegidas)	MapBiomias v1 y v2	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	-	Indica la probabilidad de persecución del yaguareté asociada a los potenciales conflictos con el ganado	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
wt_roads_20	Densidad de rutas y caminos en un radio de 30 km, pero ponderando el peso relativo de cada ruta a través del tiempo en función de su importancia (ej. las rutas asfaltadas pesaron 6 veces más en la densidad que las calles y senderos menores)	Open Street Map, IGN, elaboración propia	Cada cinco años incorporando los cambios en la pavimentación de rutas principales y secundarias (2000, 2005, 2010, 2015, 2020; simulando también un aumento gradual de presión proporcional a la densidad poblacional humana)	-	Indica la concentración de caminos, asociado a la accesibilidad, presencia humana, riesgo de caza del yaguareté.	(Modificado y adaptado de Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)

El mapa resultante de este modelo expresa la situación crítica para la especie en la región, donde solo unas áreas muy limitadas y aisladas mantienen niveles de amenaza moderados o bajos (Figura 5). El 95% del área de estudio mostró niveles de amenaza altos (71.9%) o muy altos (23.1%), lo cual se condice con el alto riesgo de extinción que presenta la especie y la urgente necesidad de creación de nuevas áreas protegidas de buen tamaño y alta implementación, para la Región Chaqueña. Solo un 5% del área presentó niveles de amenaza intermedios o bajos, sumando 1.5 millones de hectáreas, pero distribuidos en más de una docena de parches de pequeño o mediano tamaño coincidiendo principalmente con las principales áreas protegidas y su entorno.

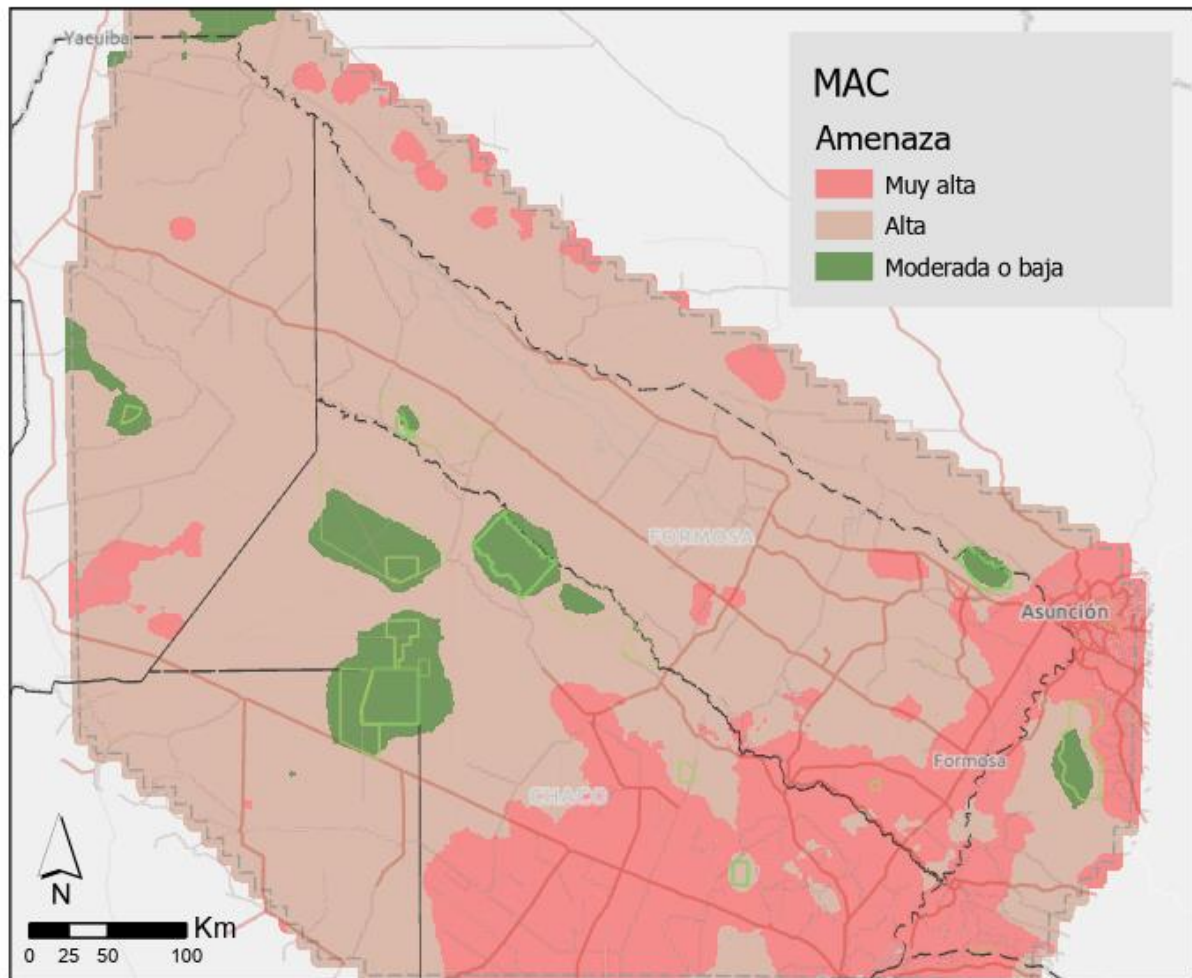


Figura 5. Modelo de amenaza de caza (MAC) para el yaguareté en la Región Chaqueña Argentina.

De los registros de presencia del yaguareté para el período más reciente (2018-2021), usados para generar el modelo, ningún registro ocurrió en áreas de muy alta amenaza predicho por el modelo, sino que el 70,7% de las presencias ocurre en zonas de altas amenazas y el 29,3% en áreas de amenazas moderadas a bajas (Figura 6.A). De manera similar, solo un 5,9% de los registros independientes de yaguareté obtenidos entre 2021 y 2023 ocurren en áreas de muy altas amenazas, y el 70,3% en áreas de amenazas altas, más un 23,8% en áreas con amenazas moderadas o bajas (Figura 6.B). Dado que las áreas con altas amenazas son las que ocupan la mayor parte de la superficie del área de estudio y que las áreas con moderadas a bajas amenazas son las menos frecuentes (solo el 5%), la ocurrencia de entre el 20 y el 30% de los registros en áreas con bajas amenazas muestra su mayor importancia relativa.

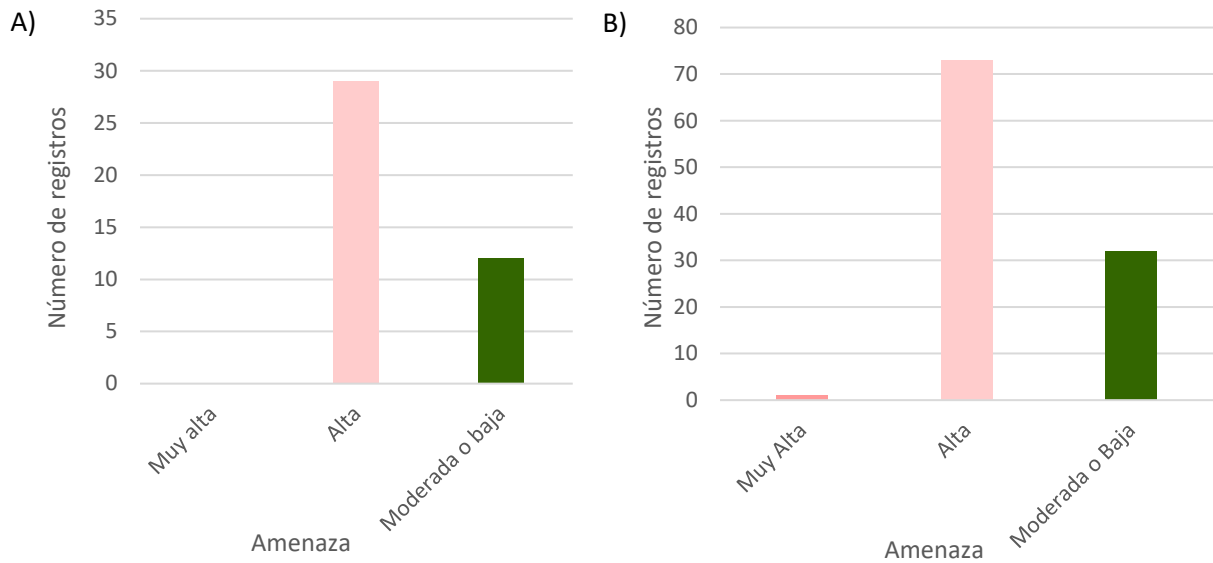


Figura 6. Frecuencia de registros de yaguareté para cada categoría del modelo de disponibilidad de recursos. A) Registros de presencia del yaguareté para el período más reciente usados para generar el modelo (2018-2021). B) Registros independientes obtenidos entre 2021 y 2023 por nuestro equipo para el área de estudio (Corrales et al. datos sin publicar).

Modelo combinado de dos dimensiones

Los mejores modelos seleccionados en cada una de las dimensiones (disponibilidad de recursos y amenaza de caza) fueron combinados en un modelo bidimensional para definir las áreas núcleo (áreas con las mejores características en ambas dimensiones) (Figura 7), diferenciadas de aquellas áreas que puedan estar funcionando como potenciales sumideros o sumideros atractivos, refugios y sumideros para la especie (Naves *et al.*, 2003; De Angelo, 2009; De Angelo *et al.*, 2013; Romero-Muñoz *et al.*, 2019).

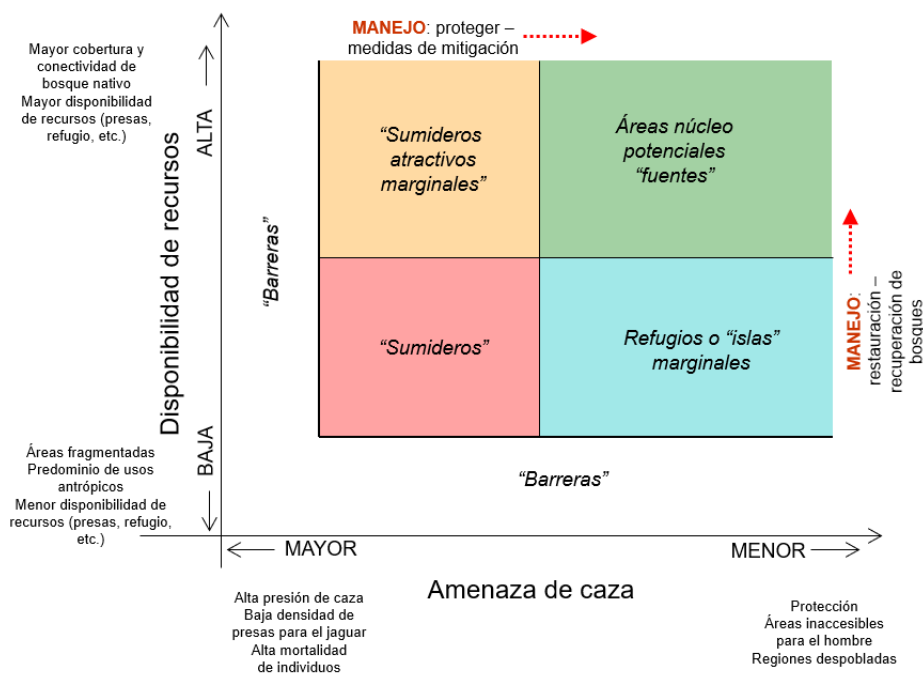


Figura 7. Esquema que representa la combinación del modelo de dos dimensiones para generar un modelo aplicado al manejo y conservación de la especie (De Angelo, 2009).

Utilizando las categorías y puntos de corte establecidos para cada modelo, se obtuvo un mapa de la aptitud del hábitat representada por la combinación de ambas dimensiones (disponibilidad de recursos y amenazas) (Figura 8). El modelo muestra que, tal como se observaba en cada dimensión o modelo por separado, solo unas pocas regiones del área de estudio (3,3%) podrían considerarse actualmente áreas núcleo para el yaguareté según la combinación de modelos (Figura 8 y Figura 9), con intermedia o alta disponibilidad de recursos y bajas amenazas. En general, éstas están representadas o asociadas a las principales áreas protegidas de la región o a sitios con categorías de uso y manejo de los recursos diferentes a los tradicionales, como la Reserva Grande Aborígen de Chaco, llegando a sumar en conjunto el millón de hectáreas, pero separadas por grandes extensiones de sumideros atractivos o sumideros. Las barreras o áreas de muy baja aptitud cubren la mayor superficie del área de estudio (38,2%), mientras que un 32,6% lo constituyen sumideros (áreas con baja disponibilidad de recursos y alto riesgo para la especie), o sumideros atractivos (24,7% - áreas con cierta disponibilidad de recursos, pero altos niveles de amenaza), y solo un 1% lo constituyen refugios (áreas degradadas a nivel de paisaje o de disponibilidad de recursos pero que cuentan con bajos niveles de amenazas). Se pueden observar más detalles sobre el modelo bidimensional y sobre cómo se distribuyen las áreas protegidas de la región en las diferentes categorías de hábitat en el Apéndice III.

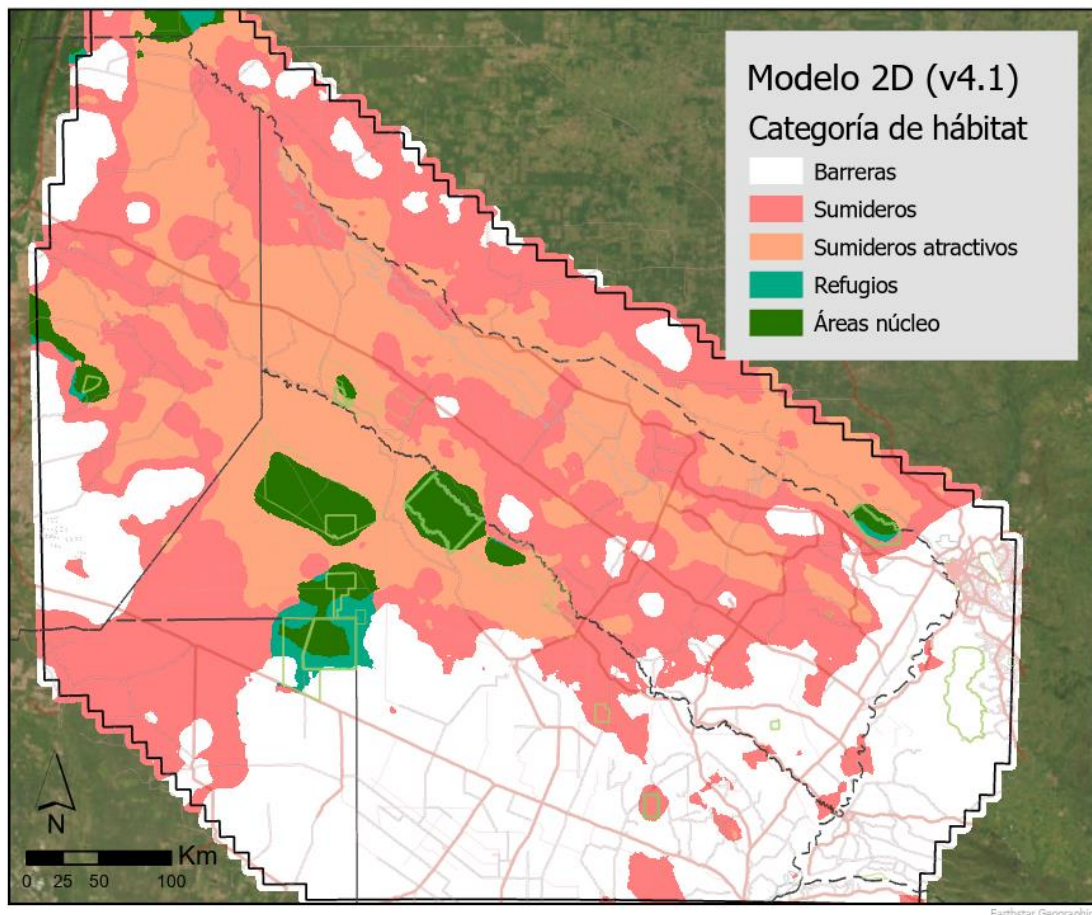


Figura 8. Representación del modelo de dos dimensiones sobre la aptitud del hábitat del yaguareté para la Región Chaqueña Argentina.

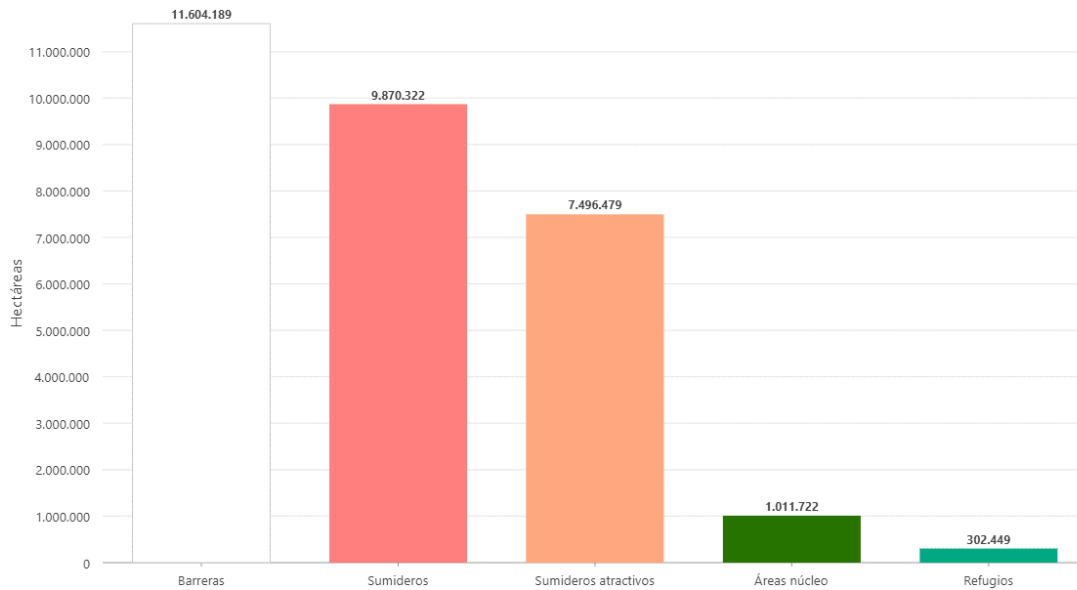


Figura 9. Superficie estimada para las diferentes categorías de hábitat para el yaguareté en la Región Chaqueña Argentina, obtenidas del modelado en dos dimensiones.

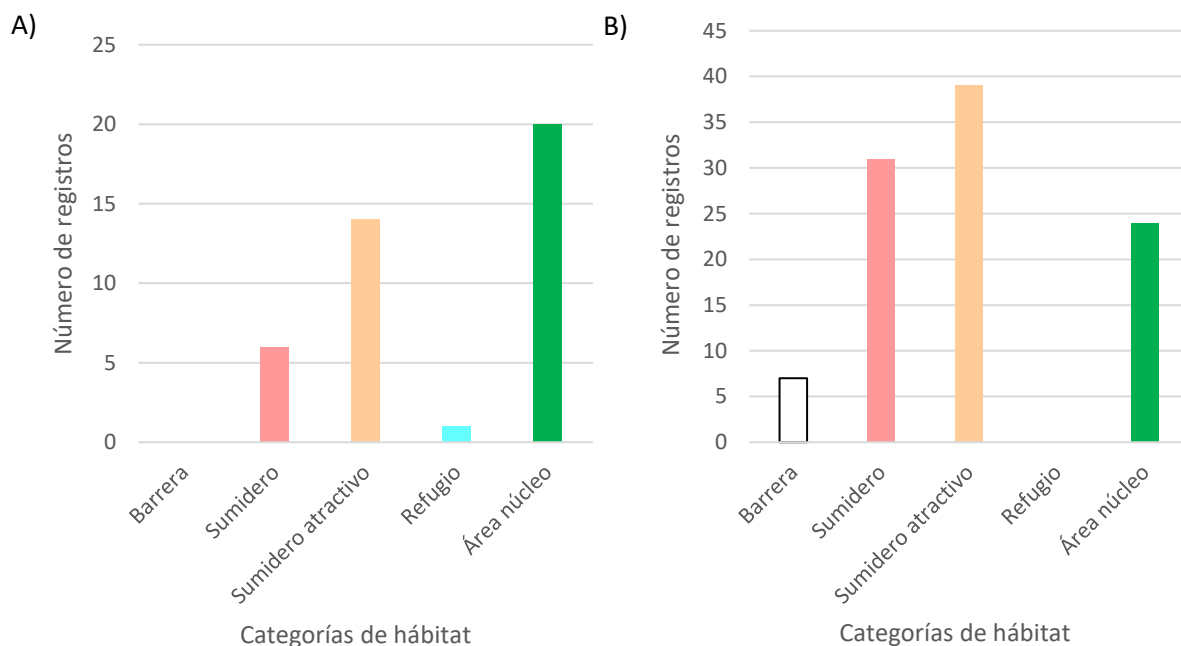


Figura 10. Frecuencia de registros de yaguareté para cada categoría del modelo de disponibilidad de recursos. A) Registros de presencia del yaguareté para el período más reciente usados para generar el modelo (2018-2021). B) Registros independientes obtenidos entre 2021 y 2023 por nuestro equipo para el área de estudio (Corrales *et al.* datos sin publicar).

Al validar los modelos con los registros de presencia más recientes usados para generar el modelo (2018-2021), casi el 50% ocurrieron en las áreas definidas como posibles áreas núcleo, y el 34% en los sumideros atractivos donde aún persisten recursos para la especie, pero las amenazas son altas (Figura 10). Los registros independientes colectados en los años más recientes (2021-2023) ocurren con mayor frecuencia en los sumideros atractivos (38,6%), detectando incluso algunos registros en áreas que los modelos predicen como barreras (6,9%, Figura 10). Estos registros están ubicados principalmente en zonas de conservación privadas en el Chaco Húmedo, que por el manejo que hacen

del área podrían estar funcionando como áreas protegidas y podría ser una condición importante para mapear e incorporar a los modelos en el futuro para detectar este tipo de áreas.

Hacia el desarrollo del POCY Chaco: Conclusiones iniciales

La situación del hábitat del yaguareté para la Región Chaqueña Argentina es crítica, donde solo un 3% del área analizada tiene actualmente condiciones de buena disponibilidad de recursos y bajos niveles de amenazas. El detalle sobre las implicancias ecológicas y de conservación de esta situación se discutirá en el siguiente informe, pero aquí se destacan algunos puntos esenciales:

- Los bosques nativos demostraron ser un recurso crítico para el yaguareté en la región, constituyendo la principal variable que predice las condiciones del hábitat y la disponibilidad de recursos para la especie.
- Del mismo modo, el desarrollo de grandes áreas de cultivos (en general asociadas a cultivos intensivos de pasturas exóticas para ganadería a gran escala) que implican desmontes totales o parciales del bosque, mostró una clara relación negativa con la presencia de la especie y sus recursos, lo cual demuestra la gran importancia de la planificación en el desarrollo de estas actividades, orientándolas hacia las regiones de menor importancia relativa para la conservación actual de esta especie.
- Nuestros análisis refuerzan también que los ríos principales de la región juegan un rol primordial en el mantenimiento de recursos para el yaguareté, por lo que el mantenimiento de áreas naturales alrededor de los mismos y su promoción como corredores de biodiversidad son herramientas fundamentales para la preservación y recuperación de la especie.
- Por otra parte, nuestros resultados realzan el inmenso valor que tienen las áreas protegidas de la Región Chaqueña como núcleos de conservación del yaguareté, y la fuerte necesidad de fortalecer y crear nuevas áreas protegidas en la región
- La existencia de áreas ganaderas, con sus desmontes asociados, implican una potencial fuente de amenaza para el yaguareté en la región.
- De manera similar, la presencia de rutas constituye otro indicador importante de amenazas para la especie, por lo que en áreas donde regiones de alto valor de conservación del POCY coincidan con la presencia de rutas principales o alta densidad de picadas principales, se deberá concentrar el trabajo para mitigar las amenazas para la especie.

El análisis de estos factores nos permitió en este informe sentar la base de un modelo bidimensional que permitirá delimitar las principales áreas de conservación para el yaguareté en la región chaqueña argentina y sus prioridades de conservación (De Angelo *et al.*, 2013; De Angelo, 2020). **En el siguiente informe, analizaremos cada una de las áreas delimitadas en este modelo, trabajaremos en un modelo de conectividad entre las áreas principales, y lo transformaremos en una herramienta de trabajo que llamaremos Paisaje Óptimo de Conservación del Yaguareté en la Región Chaqueña Argentina: POCY Chaco.**

Referencias

- Baumann, M., I. Gasparri, M. Piquer-Rodríguez, G. Gavier Pizarro, P. Griffiths, P. Hostert y T. Kuemmerle. 2017. Carbon emissions from agricultural expansion and intensification in the Chaco. *Global Change Biology* 23 (5):1902-1916.
- Cirignoli, S. 2017. *Grupo de Colaboradores para la Conservación del Yaguareté en la Región Chaqueña. Creación y primer año de implementación*. Centro de Investigaciones del Bosque Atlántico (CelBA). Puerto Iguazú, Argentina. pp 44.
- Cruz, M. P., V. Quiroga, A. Paviolo, C. De Angelo, S. Cirignoli y S. Benito Santamaría. 2017. *Monitoreo participativo y conservación del Monumento Natural Yaguareté en el Chaco Argentino y la Selva Paranaense*. Centro de Investigaciones del Bosque Atlántico (CelBA) en el marco del Programa Extinción Cero del Ministerio de Ambiente de la Nación. Puerto Iguazú, Argentina. pp 67.
- De Angelo, C. 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*). PhD Thesis, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. pp 252.
- De Angelo, C. 2020. *Actualización del Paisaje Óptimo para la Conservación del Yaguareté en Corredor Verde de Misiones - Parte 1 - Desarrollo del POCY 2020*. Proyecto Yaguareté - Instituto de Ciencias de la Tierra, Biodiversidad y Ambiente (ICBIA, UNRC-CONICET) - Asoc. Civil Centro de Investigaciones del Bosque Atlántico (CelBA). Río Cuarto, Argentina.
- De Angelo, C., A. Paviolo, T. Wiegand, R. Kanagaraj y M. S. Di Bitetti. 2013. Understanding species persistence for defining conservation actions: A management landscape for jaguars in the Atlantic Forest. *Biological Conservation* 159:422-433.
- Di Bitetti, M. S., C. De Angelo, V. Quiroga, M. Altrichter, A. Paviolo, E. Cuyckens y P. Perovic. 2016. Estado de conservación del jaguar en la Argentina. En: *El jaguar en el siglo XXI: La perspectiva Continental*, editado por R. A. Medellín, A. de la Torre, H. Zarza, C. Chávez y G. Ceballos. Ediciones Científicas Universitarias, Universidad Nacional Autónoma de México. DF, México. pp 447-478.
- Elith, J., S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y. E. Chee y C. J. Yates. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17 (1):43-57.
- Hirzel, A. H., G. L. Lay, V. Helfer, C. Randin y A. Guisan. 2006. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. *Ecological Modelling* 199 (2):142-152.
- Ley 26.331. 2007. *Presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos*. Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina. Buenos Aires, Argentina.
- Martínez Pardo, J., A. Paviolo, S. Saura Martínez de Toda y C. De Angelo. 2017. Halting the isolation of jaguars: where to act locally to sustain connectivity in their southernmost population. *Animal Conservation* 20 (6):543-554.
- Merow, C., J. M. Allen, M. Aiello-Lammens y J. A. Silander. 2016. Improving niche and range estimates with Maxent and point process models by integrating spatially explicit information. *Global Ecology and Biogeography* 25 (8):1022-1036.
- Merow, C., M. J. Smith y J. A. Silander. 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36 (10):1058-1069.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2023. *Reporte 2. Estado del Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Presidencia de la Nación Argentina. Buenos Aires, Argentina. pp 11.
- Morello, J., S. D. Matteucci y A. F. S. Rodríguez. 2012. *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Ediciones FADU. Buenos Aires, Argentina. pp 719.
- Naves, J., E. Revilla, M. Delibes y T. Wiegand. 2003. Endangered species constrained by natural and human factors: the case of brown bears in Northern Spain. *Conservation Biology* 17:1276-1289.
- Palacios, R., ed. 2017. *Plan de Emergencia para la Conservación del Yaguareté en el Gran Chaco Argentino*. Administración de Parques Nacionales, Delegación Regional NEA. Puerto Iguazú, Argentina. pp 70.
- Paviolo, A., C. De Angelo, S. de Bustos, P. G. Perovic, V. A. Quiroga, N. Lodeiro Ocampo, L. Lizárraga, D. Varela y J. I. Reppucci. 2019. *Panthera onca. Versión digital: <http://doi.org/10.31687/SaremLR.19.151>*. En *Categorización 2019 de los mamíferos de Argentina según su riesgo de extinción. Lista Roja de los mamíferos de Argentina.*, edited by SAyDS-SAREM. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación - Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos. Buenos Aires, Argentina.
- Paviolo, A., C. De Angelo, K. M. P. M. B. Ferraz, R. G. Morato, J. Martínez Pardo, A. C. Srbeek-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, et al. 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, M. Dudík, R. E. Schapire y M. E. Blair. 2017. Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography* 40 (7):887-893.
- Phillips, S. J. y M. Dudík. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31 (2):161-175.
- Piquer-Rodríguez, M., S. Torella, G. Gavier-Pizarro, J. Volante, D. Somma, R. Ginzburg y T. Kuemmerle. 2015. Effects of past and future land conversions on forest connectivity in the Argentine Chaco. *Landscape Ecology* 30 (5):817-833.
- Quiroga, V., S. Benito Santamaría, C. De Angelo, M. P. Cruz, A. Paviolo, F. Robino, E. Vanderhoeven y E. Pizzio. 2018. *Alerta temprana y asistencia para la reducción de conflictos y eventos de caza del monumento natural yaguareté en el chaco argentino y el bosque atlántico de misiones*. Asoc. Civil Centro de Investigaciones del Bosque Atlántico. Puerto Iguazú, Argentina. pp 40.
- Quiroga, V. A. 2013. Ecología y conservación del yaguareté (*Panthera onca*) y el puma (*Puma concolor*) en el Chaco Semiárido Argentino: su relación con la disponibilidad de presas y la presencia humana en la región. PhD Thesis, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. pp 197.
- Quiroga, V. A., G. I. Boaglio, A. J. Noss y M. S. Di Bitetti. 2014. Critical population status of the jaguar *Panthera onca* in the Argentine Chaco: camera-trap surveys suggest recent collapse and imminent regional extinction. *Oryx* 48 (1):141-148.
- Quiroga, V. A., G. I. Boaglio, A. Paviolo, S. Cirignoli, F. Robino, S. Benito, C. De Angelo, L. Juber, E. Crosta, C. G. Aguer, Y. E. Di Blanco, M. E. Periago, F. Miñarro, P. Perovic, M. S. Di Bitetti, M. Tardón, C. Spagarino, S. De Bustos, S. Zalazar, J. Reppucci, et al. 2019. El predador tope del Chaco en peligro crítico de extinción: la detección y monitoreo de especies amenazadas mediante monitoreos participativos. Trabajo presentado en XXXII Jornadas Argentinas de Mastozoología, Puerto Madryn, Argentina.
- R Development Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en www.R-project.org (Fecha de acceso 20 Jan 2022).
- Romero-Muñoz, A., R. Torres, A. J. Noss, A. J. Giordano, V. Quiroga, J. J. Thompson, M. Baumann, M. Altrichter, R. McBride, M. Veillia, R. Arispe y T. Kuemmerle. 2019. Habitat loss and overhunting synergistically drive the extirpation of jaguars from the Gran Chaco. *Diversity and Distributions* 25:176-190.
- Schiaffino, K., C. De Angelo, M. Di Bitetti, A. Paviolo, M. Jaramillo, M. Rinas, A.-S. Bertrand, G. Gil y Carbó y P. Cichero, eds. 2011. *Plan de Acción para la Conservación de la Población de Yaguareté (Panthera onca) del Corredor Verde de Misiones. Subcomisión Selva Paranaense*. Ministerio de Ecología y Recursos Renovables de Misiones- Administración de Parques



Nacionales- Instituto de Biología Subtropical- Fundación Vida Silvestre Argentina. Puerto Iguazú, Argentina. pp 86.

Apéndices

Apéndice I

Listado de variables elaboradas y probadas en el ajuste de los modelos

Tabla 3. Listado completo de variables puestas a prueba para el modelado de disponibilidad de recursos y condiciones del paisaje. Continúa en página siguiente.

Variable	Descripción	Fuente	Resolución temporal	Efecto esperado	Explicación	Referencias bibliográficas
for2020	% bosque alrededor de la celda objetivo en radio de 11 km	MapBiomass Chaco v1 y v2	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	+	Proporciona recursos para alimentación, reproducción y refugio para el yaguareté.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
cro2020	% tierras de cultivo alrededor de la celda objetivo en un radio de 11 km	MapBiomass Chaco v1 y v2	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	-	Indica la falta de recursos para los depredadores en una modificación de hábitat.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
dist_riospp	Distancia euclídea a ríos principales y Bañados de la Estrella	Open Street Map	Una misma variable para todos los períodos	-	Indica la accesibilidad al agua, que es un recurso muy importante para la especie y sus presas, y otros recursos disponibles en los ambientes de ribera.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
dieurios	Distancia euclídea a ríos	Open Street Map	Misma variable para todos los períodos	-	Indica la accesibilidad al agua, que es un recurso muy importante para la especie y sus presas.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
int_b20(*)	Interacción entre el % de bosque en radio de 1 km con el % de bosque en radio de 11 km	MapBiomass Chaco v1 y v2	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	+	Se basa en % de bosque solo que busca aumentar la resolución espacial combinando la disponibilidad de bosque a nivel local (1 km) y de paisaje (11 km).	Elaboración propia (basado en De Angelo <i>et al.</i> , 2013; Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
tpa	Temperatura media anual.	WorldClim (www.worldclim.org)	Promedio del periodo	-	La temperatura es un factor físico limitante para varios elementos de la biodiversidad, que pueden incluir recursos para el yaguareté, y varía ampliamente en el Chaco Argentino.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)

Tabla 3 (Continuación). Listado completo de variables puestas a prueba para el modelado de disponibilidad de recursos y condiciones del paisaje.

Variable	Descripción	Fuente	Resolución temporal	Efecto esperado	Explicación	Referencias bibliográficas
% Edge_For	Porcentaje de borde en diferentes radios	MapBiomass Chaco v1 y v2, elaboración propia	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	-	Indica la disponibilidad potencial de recursos por debajo del nivel óptimo debido a los efectos del borde.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
pc2020	Porcentaje de pastizal y cultivo en conjunto en un radio de 11 km	MapBiomass Chaco v1 y v2, elaboración propia	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	-	Indica la combinación de falta de recursos para los depredadores en una modificación de hábitat y la probabilidad de persecución del yaguareté asociada a los potenciales conflictos con el ganado.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)

Tabla 4. Listado completo de variables puestas a prueba para el modelado de las amenazas de caza (MAC). Continúa en página siguiente.

Variable	Descripción	Fuente	Resolución Temporal	Efecto esperado	Explicación	Referencias bibliográficas
gra2020	% de cobertura de pasturas alrededor de la celda objetivo (descartamos zonas de pasturas o pastizal dentro de áreas protegidas)	MapBiomas Chaco v1 y v2	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	-	Indica la probabilidad de persecución del yaguareté asociada a los potenciales conflictos con el ganado.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
dens_roads20	Densidad de rutas y caminos en un radio de 30 km	Open Street Map, IGN, elaboración propia	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020; simulando un aumento gradual de presión proporcional a la densidad poblacional humana)	-	Indica la concentración de caminos, lo que indica la accesibilidad a áreas remotas.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
wt_roads_20	Densidad de rutas y caminos en un radio de 30 km, pero ponderando el peso relativo de cada ruta a través del tiempo en función de su importancia (ej. las rutas asfaltadas pesaron 6 veces más en la densidad que las calles y senderos menores)	Open Street Map, IGN, elaboración propia	Cada cinco años incorporando los cambios en la pavimentación de rutas principales y secundarias (2000, 2005, 2010, 2015, 2020; simulando también un aumento gradual de presión proporcional a la densidad poblacional humana)	-	Indica la concentración de caminos, asociado a la accesibilidad, presencia humana, riesgo de caza del yaguareté.	(modificado y adaptado de Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
Dist_ANP (*)	Distancia a las Áreas Protegidas de protección efectiva	SIB, IGN, elaboración propia	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	-	Indica el nivel de protección del área y su área de influencia.	Elaboración propia (basado en De Angelo <i>et al.</i> , 2013; Paviolo <i>et al.</i> , 2016; Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
pcAP11k (*)	Porcentaje de áreas protegidas en un radio de 11 km ponderado por el nivel de protección	SIB, IGN, elaboración propia	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	+	Indica el nivel de protección del área y su área de influencia en 11 km.	Elaboración propia (basado en De Angelo <i>et al.</i> , 2013; Paviolo <i>et al.</i> , 2016; Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)

Tabla 4 (Continuación). Listado completo de variables puestas a prueba para el modelado de las amenazas de caza (MAC).

Variable	Descripción	Fuente	Resolución Temporal	Efecto esperado	Explicación	Referencias bibliográficas
dist_for_borde	Distancia al borde del bosque	MapBiomias Chaco v1 y v2, elaboración propia	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	+	Indica tanto la accesibilidad al bosque por parte de los cazadores desde el exterior como la probabilidad de contacto de los depredadores con los humanos a medida que los depredadores se acercan al borde del bosque	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
d_p_2020	Distancia euclídea a las áreas de pasturas	MapBiomias Chaco v1 y v2, elaboración propia	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	+	Indica la accesibilidad de un mayor número de personas al hábitat de los depredadores circundantes, principalmente en potencial conflicto con áreas ganaderas.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
Dist_rt2	Distancia euclidiana a rutas secundarias	Open Street Map, IGN, elaboración propia	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	+	Indica la accesibilidad a áreas relativamente remotas por parte de los cazadores, pero las carreteras secundarias también son utilizadas por los jaguares para desplazarse, lo que puede aumentar su detectabilidad.	(Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
ca_ciu, ca_cipue, ca_cipupa	Costo de acceso desde parajes, localidades y ciudades principales	Open Street Map, IGN, elaboración propia	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	+	Indica el costo de acceso a áreas relativamente remotas por parte de los cazadores, pero las carreteras secundarias también son utilizadas por los jaguares para desplazarse, lo que puede aumentar su detectabilidad.	Elaboración propia (basado en De Angelo <i>et al.</i> , 2013; Paviolo <i>et al.</i> , 2016; Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
Pc2020	Porcentaje de pastizal y cultivo en conjunto en un radio de 11 km	MapBiomias Chaco v1 y v2, elaboración propia	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	-	Indica la combinación de falta de recursos para los depredadores en una modificación de hábitat y la probabilidad de persecución del yaguareté asociada a los potenciales conflictos con el ganado.	Elaboración propia (basado en De Angelo <i>et al.</i> , 2013; Paviolo <i>et al.</i> , 2016; Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
Puestd10_d02k, puestd10_d05k, puestd10_d10k	Densidad de actividad humana mapeando signos de actividad humana en diferentes radios (2 km, 5 km y 10 km)	Open Street Map, IGN, elaboración propia	Cada 10 años (antes de 2010 y después de 2010)	-	Indica la presencia e intensidad de la actividad humana en un área.	Elaboración propia (basado en De Angelo <i>et al.</i> , 2013; Paviolo <i>et al.</i> , 2016; Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)
Indsc_mdn	Densidad de actividad humana y rutas en otras escalas	Oak Ridge National Laboratory (https://lands.can.ornl.gov)	Cada cinco años (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)	-	Indica la presencia e intensidad de la actividad humana en un área.	Elaboración propia (basado en De Angelo <i>et al.</i> , 2013; Paviolo <i>et al.</i> , 2016; Romero-Muñoz <i>et al.</i> , 2019)

Apéndice II

Detalle de los resultados del modelo de disponibilidad de recursos seleccionado

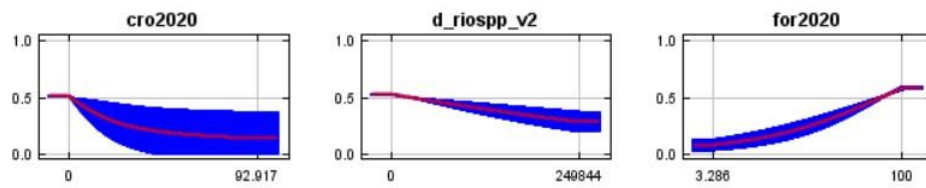


Figura 11. Relación observada entre las variables seleccionadas para el modelo MDR y la probabilidad de presencia del yaguareté expresada por Maxent. Las curvas muestran la respuesta media de las 20 series replicadas de Maxent (rojo) y la media +/- una desviación estándar (azul, dos tonos para variables categóricas). Cro2020 (% de cultivo en un radio de 11km); d_riospp_v2 (distancia euclídea a ríos principales) y for2020 (% de bosque en un radio de 11km).

Tabla 5. Contribución promedio de las variables seleccionadas para el modelo MDR en porcentaje y su importancia en su permutación en el modelo (i.e. entrada y salida de la variable).

Variable	Descripción	% contribución	DS contribución	Permutación importancia	DS permutación
for2020	% de bosque en un radio de 11km	75.8	14.18	74.1	14.93
cro2020	% de cultivo en un radio de 11km	15.5	14.98	8.5	12.05
d_riospp_v2	distancia euclídea a ríos principales	8.7	7.05	17.4	12.6

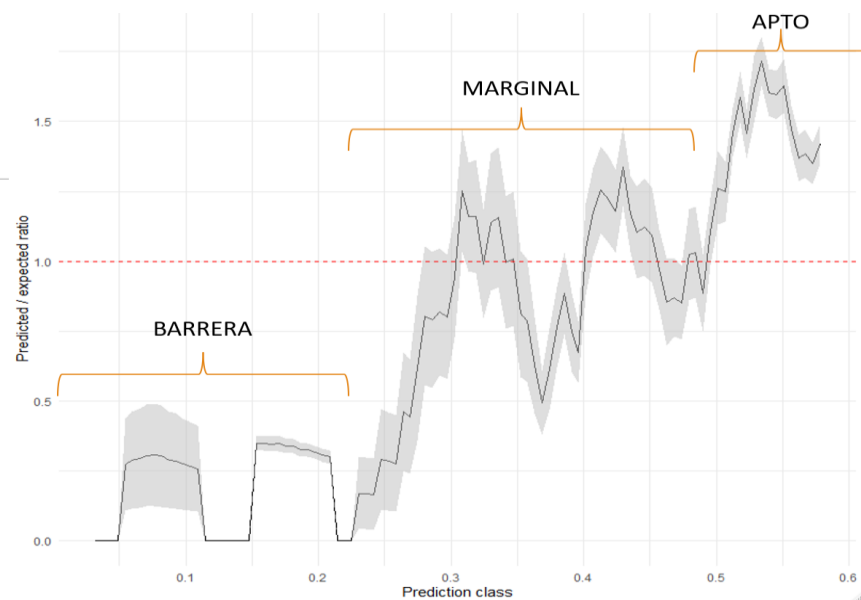


Figura 12. Curva de ajuste del modelo MDR mediante el índice continuo de Boyce (Hirzel *et al.*, 2006)). La línea continua muestra la proporción promedio de valores predichos por el modelo y lo esperado por azar, en relación con lo disponible para las clases de predicción o condiciones del hábitat (*prediction class*). El área gris representa el intervalo de confianza del cálculo con 20 repeticiones. La línea roja indica la curva esperada para un modelo aleatorio. Se detallan las categorías establecidas para las condiciones del hábitat según el modelo (Hirzel *et al.*, 2006; De Angelo, 2009; De Angelo *et al.*, 2013).

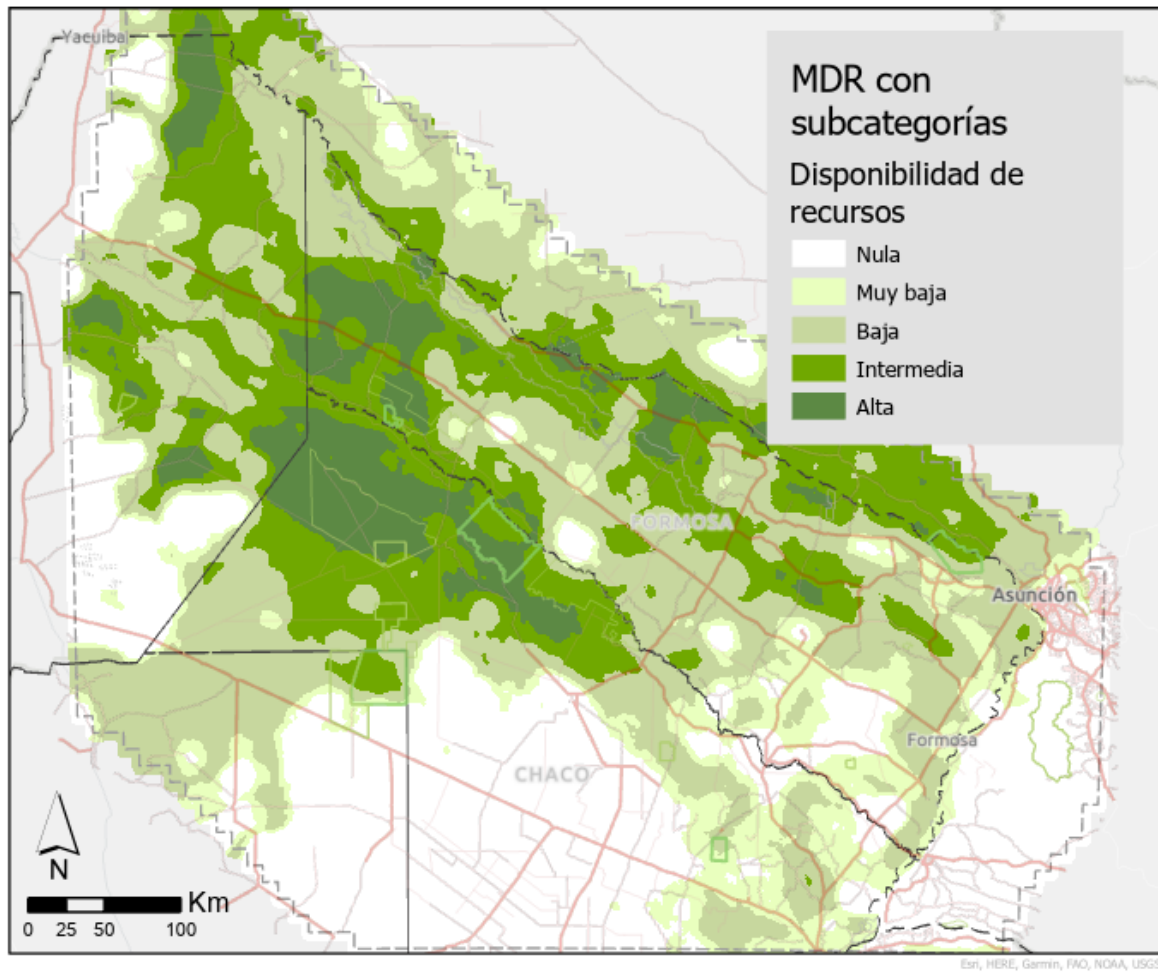


Figura 13. Modelo de disponibilidad de recursos y condiciones del paisaje para el yaguareté en la Región Chaqueña argentina con subcategorías.

Detalle de los resultados del modelo de amenaza de caza seleccionado

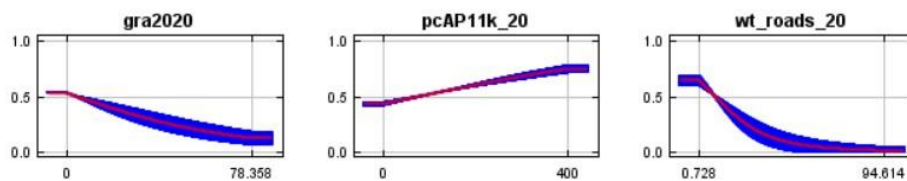


Figura 14. Relación observada entre las variables seleccionadas para el modelo MAC y la probabilidad de presencia del yaguareté. Las curvas muestran la respuesta media de las 20 series replicadas de Maxent (rojo) y la media +/- una desviación estándar (azul, dos tonos para variables categóricas). Gra2020 (% de pastizal en un radio de 11 km), pcAP11k_20 (% de áreas protegidas ponderadas por su nivel de protección en un radio de 11 km) y wt_roads_20 (densidad de rutas ponderadas por su importancia en un radio de 30 km).

Tabla 6. Contribución promedio de las variables seleccionadas para el modelo MAC en porcentaje y su importancia en su permutación en el modelo (i.e. entrada y salida de la variable).

Variable	Descripción	% contribución	DS contribución	Permutación importancia	DS permutación
pcAP11k_20	% de áreas protegidas en un radio de 11km	53.7	11.16	27.1	11.34
gra2020	% de pastizal en un radio de 11km	26.8	10.12	32.5	14.13
wt_road_s_20	densidad de rutas en un radio de 30km	19.5	11.91	40.4	16.99

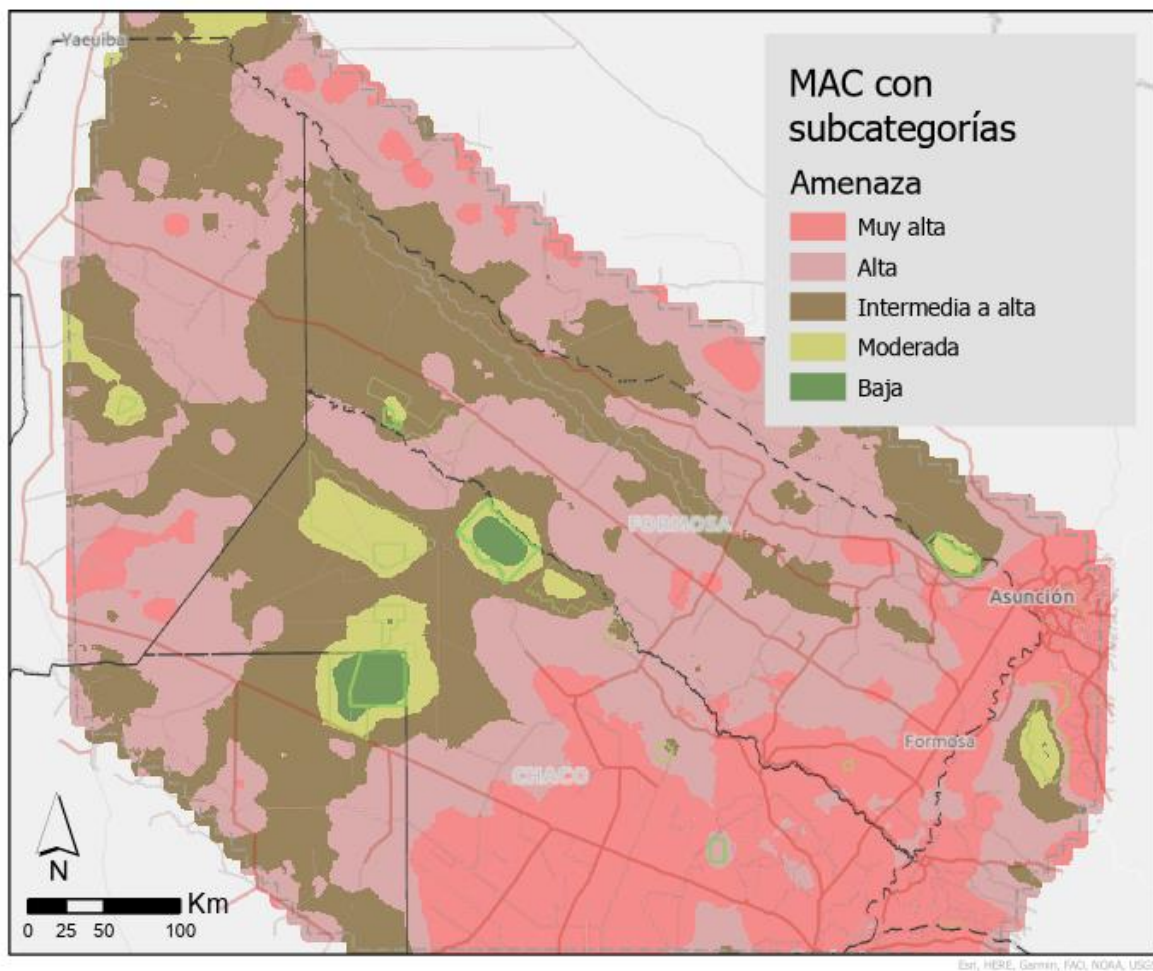


Figura 15. Modelo de amenaza de caza y condiciones del paisaje para el yaguareté en la Región Chaqueña argentina con subcategorías.

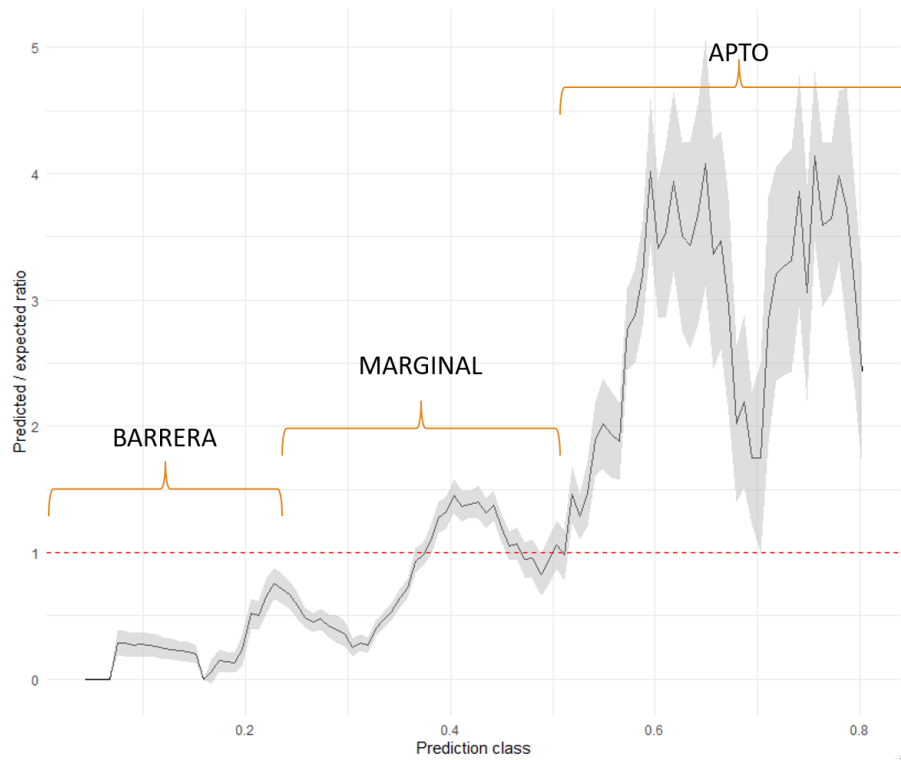


Figura 16. Curva de ajuste del modelo MAC mediante el índice continuo de Boyce (Hirzel *et al.*, 2006). La línea continua muestra la proporción promedio de valores predichos por el modelo y lo esperado por azar en relación con lo disponible para las clases de predicción o condiciones del hábitat (*prediction class*). El área gris representa el intervalo de confianza del cálculo con 20 repeticiones. La línea roja indica la curva esperada para un modelo aleatorio. Se detallan las categorías establecidas para las condiciones del hábitat según el modelo (Hirzel *et al.*, 2006; De Angelo, 2009; De Angelo *et al.*, 2013).

Apéndice III

Áreas protegidas en relación las categorías del hábitat para el yaguareté en la Región Chaqueña

Categoría de hábitat	Áreas protegidas
Barrera (muy baja disponibilidad de recursos o muy alto riesgo de mortalidad)	Reserva Arroyo Ramírez, Reserva de pesca Boca Rio Bermejo, Reserva ecológica El Bagual, Reserva Lotes 32 y 33 Porción W, Reserva Privada Inversora Juramento, Reserva Provincial Isla del Cerrito
<u>Sumideros</u> (alta presión humana y baja disponibilidad de recursos)	Parque Nacional Chaco, Parque Provincial Pampa del Indio, Reserva Mguexogochi, Reserva Boca De La Laguna Herradura, Reserva Laguna Hu y Reserva Riacho Teuquito.
<u>Sumideros atractivos</u> (alta presión antrópica y buena disponibilidad de recursos)	Reserva Privada Bañados De La Estrella, Reserva Mguexogochi, Reserva Agua Dulce y Reserva Riacho Teuquito.
<u>Refugios</u> (menor presión antrópica y baja disponibilidad de recursos)	Reserva Mguexogochi, Parque Provincial y Reserva Provincial Copo, y la Reserva Provincial La Pirámide.
<u>Áreas núcleo</u> y <u>potenciales áreas núcleo</u> (baja presión antrópica y alta disponibilidad de recursos)	Parque Nacional El Impenetrable, Parque Nacional Copo, Parque Nacional Pilcomayo, Reserva Nacional Formosa, Parque Provincial Fuerte Esperanza, Parque Provincial Loro Hablador, Parque Provincial y Reserva Provincial Copo, Reserva Mguexogochi, Reserva Provincial Los Palmares, Reserva Riacho Teuquito y la Reserva Aborigen.