



**IDENTIFICACIÓN DE CORREDORES DE VIDA SILVESTRE  
UTILIZANDO EL CONOCIMIENTO LOCAL Y EL MÉTODO  
DE OCUPACIÓN A LO LARGO DE LA CARRETERA DE  
SAN BUENAVENTURA-IXIAMAS, LA PAZ, BOLIVIA**

**IDENTIFICACIÓN DE CORREDORES DE VIDA SILVESTRE  
UTILIZANDO EL CONOCIMIENTO LOCAL Y EL MÉTODO  
DE OCUPACIÓN A LO LARGO DE LA CARRETERA DE  
SAN BUENAVENTURA-IXIAMAS, LA PAZ, BOLIVIA**

---

Agosto 2020

## Créditos

---

**Título:** Identificación de corredores de vida silvestre utilizando el conocimiento local y el método de ocupación a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, La Paz, Bolivia

**Primera edición:** Agosto de 2020

**Autores:**

Robert Wallace –Wildlife Conservation Society  
Guido Ayala –Wildlife Conservation Society  
Nuno Negroes –CESAM and Department of Biology, University of Aveiro  
Timothy O'Brien –Wildlife Conservation Society  
María Viscarra –Wildlife Conservation Society  
Ariel Reinaga –Wildlife Conservation Society  
Robert Márquez –Andean Bear Conservation Alliance y Cornell University  
Samantha Strindberg –Wildlife Conservation Society

**Editor:** Wildlife Conservation Society

**Fotografía de tapa:** Julie Larsen Maher/WCS

**Diseño y diagramación:**

**Citación sugerida:** Wallace, R., G. Ayala, N. Negroes, T. O'Brien, M. Viscarra, A. Reinaga, R. Márquez & S. Strindberg. 2020. Identificación de corredores de vida silvestre utilizando el conocimiento local y el método de ocupación a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, La Paz, Bolivia, 133p.

**ISBN:** 978-99974-925-8-6

**Impreso en Bolivia**

## Agradecimientos

---

Agradecemos a Gordon and Betty Moore Foundation, a MacArthur Foundation, a Blue Moon Fund, a Liz Claibourne & Art Ortenberg Foundation y a Wildlife Conservation Society (WCS), por su colaboración al Programa de Conservación del Gran Paisaje Madidi-Tambopata de WCS y su apoyo financiero para la ejecución del trabajo de campo y el análisis de la ocupación. Estamos especialmente agradecidos con la Dirección General de Biodiversidad y Áreas Protegidas (DGBAP), del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, y con el Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA), por otorgarnos los permisos de investigación y el apoyo logístico. Nuestra gratitud al pueblo Tacana del norte del departamento de La Paz, en Bolivia, por proporcionarnos datos en las entrevistas realizadas sobre los corredores de vida silvestre. Un agradecimiento especial a Fortunato Espinoza, Humberto Gómez, Kantuta Lara, Alfonso Llobet y Guido Miranda, que contribuyeron a la recopilación de datos mediante la aplicación de entrevistas entre 2001 y 2005. También agradecemos a Herminio Ticona, Edson Gonzales, Federico Alípaz, Guido Yarari, Eduardo Gonzales y a John Jackson por su apoyo durante el trabajo de campo.

## Tabla de contenidos

---

• Resumen .....	7
• Introducción .....	8
• Métodos .....	10
• Sitio de estudio .....	10
• Diseño del estudio de ocupación .....	12
• Análisis de datos .....	13
• Resultados .....	14
• Entrevistas .....	14
• Ocupación y uso .....	16
• Discusión .....	37
• Entrevistas y corredores .....	37
• Ocupación y uso del espacio .....	37
• Recomendaciones .....	44
• Bibliografía .....	45
• Anexos .....	51

## Resumen

---

En 2013, se realizó un estudio de referencia sobre la presencia, distribución y ocupación de mamíferos medianos y grandes a lo largo de la carretera San Buenaventura-Ixiamas, paralela al Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Madidi y que atraviesa el territorio indígena Tacana I y varias propiedades privadas. Se estableció un *buffer* de 3 km a cada lado de la carretera, abarcando un área de 865 km<sup>2</sup>, que fue dividido en celdas de 1 km<sup>2</sup>, obteniendo un total de 356 celdas para el muestreo. En cada celda se dispuso una senda de 300 metros, dividida en secciones de 25 m, a lo largo de arroyos (75 % de las celdas) y dentro del bosque (25 % de las celdas), mediante la cual se registró la presencia de rastros, principalmente de huellas, de nueve especies o grupos de especies. Por medio del uso de modelos de ocupación de una temporada, se estimó la ocupación del tapir (*Tapirus terrestris*:  $\Psi = 0,39$ ), del pecarí de collar (*Pecari tajacu*:  $\Psi = 0,5$ ), del venado colorado o huaso (*Mazama americana*:  $\Psi = 0,56$ ), del agutí (*Dasyprocta* spp.:  $\Psi = 0,59$ ), del jochi pintado o paca (*Cuniculus paca*:  $\Psi = 0,56$ ) y de pequeños felinos (*Leopardus* spp.:  $\Psi = 0,33$ ); así como el uso del espacio por el chanco de

tropa (*Tayassu pecari*:  $\Psi = 0,17$ ) y el jaguar (*Panthera onca*:  $\Psi = 0,11$ ). Los resultados de ocupación y uso del espacio por estas especies fueron corroborados a través de entrevistas en las comunidades, que coincidieron con los corredores de vida silvestre identificados entre el Parque Nacional Madidi y su área de influencia. Además, se describieron corredores adicionales, especialmente a lo largo de los numerosos arroyos que cruzan la carretera de San Buenaventura-Ixiamas. Esta conectividad no solo es importante para la vida silvestre, sino también para la seguridad alimentaria de las comunidades indígenas que dependen de la fauna como una fuente importante de proteínas. Los resultados de este estudio serán utilizados para mitigar el impacto producido por las mejoras de la carretera, a través de la identificación de áreas prioritarias para mantener la conectividad entre el área protegida de Madidi y el paisaje circundante.

**Palabras clave:** Madidi, Bolivia, ocupación, monitoreo, ungulados neotropicales, jaguar, jochi colorado, jochi pintado.



Robert Wallace/WCS

## Introducción

---

A medida que la globalización y el desarrollo industrial y agrícola avanzan, la deforestación tropical y la degradación aumentan rápidamente en toda la región de la cuenca del Amazonas, una de las últimas zonas boscosas vírgenes del planeta. En este sentido, existe la necesidad urgente de desarrollar metodologías de seguimiento para evaluar cómo el desarrollo afecta el medio ambiente y diseñar, en consecuencia, estrategias adecuadas de mitigación para analizar, en el largo plazo, si estas estrategias están mitigando con éxito los impactos negativos. Los análisis de deforestación se encuentran fácilmente disponibles a nivel mundial (Hansen *et al.*, 2013), regional (RAISG 2015) y local (Forrest *et al.*, 2008), por lo que nuestra comprensión sobre lo que motiva la deforestación en la Amazonía ha aumentado exponencialmente en los últimos 20 años (Karstensen *et al.*, 2013; Ometto *et al.*, 2014; RAISG, 2015). Los impulsores más importantes de la deforestación en la Amazonía son la construcción de carreteras, la ganadería y la agricultura mecanizada (Laurance *et al.*, 2001). La construcción de carreteras está en expansión y, a menudo, es el precursor de los otros factores de deforestación (Laurance *et al.*, 2009; Barber *et al.*, 2014).

Sin embargo, la medición de la degradación de los bosques o de la alteración de su estructura y de los servicios ambientales, aunque mantengan parte de su cobertura boscosa, es un reto aún más difícil, sobre todo teniendo en cuenta los múltiples elementos que abarca la degradación del medio ambiente. Por ejemplo, la extirpación de la fauna o la reducción de sus poblaciones son determinantes para el futuro ecológico del bosque amazónico (Galetti *et al.*, 2013; Bello *et al.*, 2015; Kurten *et al.*, 2015). La vida silvestre también es crucial para la seguridad alimentaria y, en general, para la economía de subsistencia de millones de personas que viven en las zonas rurales de la Amazonía, especialmente las poblaciones indígenas y ribereñas (Robinson & Redford, 1991; Milner-Gulland *et al.*, 2003). Muchas de las especies de fauna silvestre de mayor importancia ecológica y económica se constituyen también en los símbolos más carismáticos de la Amazonía, que pueden cautivar a una creciente población urbana en América Latina y contribuir a entender mejor la importancia de estos paisajes naturales (Smith *et al.*, 2012).

Estudios recientes ponen de manifiesto que la gestión territorial indígena, en la última década (2005-2014), dio como resultado una reducida deforestación a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, dentro del territorio indígena Tacana, donde las áreas de 5 km ubicadas en torno a la carretera presentaron niveles de deforestación 273 % menores que las áreas situadas fuera del territorio indígena (Painter *et al.*, 2013; Reinaga *et al.*, 2016). La gestión territorial indígena en la Tierra Comunitaria de Origen Tacana, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, es cada vez más reconocida como un punto de referencia regional. De hecho, en 2015, el

Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA) recibió el Premio Ecuatorial por el manejo innovador de los bosques (<http://equatorinitiative.org>).

Los tacanas están comprometidos con la gestión sostenible de los recursos naturales, que se refleja en una visión territorial participativa y de abajo hacia arriba (Lehm, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017), integrada en los planes de gestión y en la zonificación (CIPTA & CIMTA, 2014), y que ha permitido priorizar las iniciativas comunitarias que se están llevando a cabo en las comunidades, varias de las cuales (cacao, lagarto, ecoturismo) han sido reconocidas a nivel nacional e internacional (<https://bolivia.wcs.org/en-us/ITM.aspx>). Estos esfuerzos se basan en el conocimiento local sobre los recursos naturales, incluida la vida silvestre; es el caso de la iniciativa de manejo sostenible del lagarto, que ha sido premiada por sus aportes a la conservación, y de las acciones de monitoreo asociadas como resultado del trabajo conjunto entre la población local y los biólogos (CIPTA & WCS, 2010; Miranda-Chumacero *et al.*, 2010). Por lo tanto, la alianza entre el Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA) y Wildlife Conservation Society (WCS: Painter *et al.*, 2011) reconoce implícitamente los valores fundamentales del conocimiento local (Danielsen *et al.*, 2009; Turvey *et al.*, 2013) en todos los aspectos de la gestión territorial indígena (<https://bolivia.wcs.org/en-us/ITM.aspx>).

Estos resultados son una línea de base importante frente al proyecto actual de mejoramiento vial (2011-2022) por el Gobierno de Bolivia, financiado por el Banco Mundial (<http://www.worldbank.org/projects/P122007/national-roads-airport-infrastructure-project>). Las mejoras en el camino asfaltarán el de tierra existente, lo que ampliará la brecha entre el hábitat boscoso y el riesgo de mortalidad de la fauna por colisión debido al incremento de la velocidad de los vehículos. Además, la reducción de los costos de transporte proporcionará incentivos para el aprovechamiento de muchos de los recursos naturales del bosque, incluida la fauna silvestre, lo que puede conducir a la degradación del hábitat y al aumento de la captura y la caza de animales a lo largo de la carretera.

Monitorear el estado cambiante de la vida silvestre a la luz de los cambios ambientales, en los grandes paisajes boscosos, es un desafío particularmente relevante y requiere contar con recursos importantes. Los métodos de ocupación son un enfoque relativamente nuevo, que utiliza datos de la presencia-ausencia de la fauna para el estudio y seguimiento de las poblaciones de vida silvestre a nivel local (Tobler *et al.*, 2015), regional (Karanth, 2015) e incluso nacional (Karanth *et al.*, 2009). Los datos de ocupación pueden provenir de una variedad de fuentes, de cámaras trampa (Tobler *et al.* 2015), de observaciones y vocalizaciones (Hallam *et al.*, 2015), de huellas y otros rastros de vida silvestre (Gopalaswamy *et al.*,

2012), de entrevistas (Karanth, 2015) o incluso de reportes de los medios de información (Athreya *et al.*, 2015).

Desde una perspectiva de gestión, los modelos de ocupación son especialmente atractivos, ya que proporcionan una medida cuantitativa del grado en el que un espacio está ocupado por una especie silvestre determinada; permite el uso de covariables para establecer su relación con la ocupación de la fauna y también para controlar las imperfecciones de la detección (MacKenzie *et al.*, 2006; Hines, 2014). Desde una perspectiva de gestión y monitoreo, las covariables se pueden dividir en cuatro categorías: covariables de detección, que explican la variación en la probabilidad de detección; covariables biológicas, que ayudan a entender cómo la ocupación varía a través del espacio desde la perspectiva de la biología de las especies; covariables antropogénicas, que comprueban la influencia de las amenazas a la ocupación de una especie; y finalmente, covariables de gestión, que reflejan la respuesta de la vida silvestre a las acciones específicas de gestión en un área de estudio. Con el tiempo, el cambio en los valores de ocupación y la influencia de diferentes covariables podrá evaluarse dentro de un marco de gestión adaptativa (Nichols & Williams, 2013).

Los ejemplos pioneros en los trópicos se han concentrado en Asia, con especies carismáticas, y en peligro, que representan los principales desafíos para el monitoreo de la conservación, incluidos los tigres (*Panthera tigris* - Karanth *et al.*, 2011), los elefantes asiáticos (*Elephas maximus* - Jathanna *et al.*, 2015; Lakshminarayanan *et al.*, 2015), los leopardos (*Panthera pardus* - Athreya *et al.*, 2015), el cuón o perro salvaje asiático (*Cuon alpinus* - Srivathsa *et al.*, 2014)

y los perezosos (*Melursus ursinus* - Puri *et al.*, 2015). Existen asimismo ejemplos de monitoreo de la ocupación de la fauna a nivel de la comunidad (Beaudrot *et al.*, 2016) y también de esfuerzos regionales (Kinnaird & O'Brien, 2012).

Los estudios sobre la ocupación y monitoreo de la fauna en América Latina se encuentran todavía en una etapa inicial, y existen pocos ejemplos publicados disponibles hasta la fecha. Algunos estudios publicados corresponden a los jaguares (*Panthera onca* - Zeller *et al.*, 2011; Arroyo-Arce *et al.*, 2014; Petracca *et al.*, 2014), al tapir de tierras bajas (*Tapirus terrestris* - Cruz *et al.*, 2014), a los venados (*Mazama* spp. - Ferreguetti *et al.*, 2015) y a los grandes mamíferos terrestres de América central y la Amazonía (Tobler *et al.*, 2015).

El objetivo general del presente estudio fue determinar la ocupación y/o uso del espacio derivado de la ocupación de varias especies de mamíferos clave, a lo largo de la carretera entre San Buenaventura e Ixiamas (SBI), para contar con una línea de base que permita monitorear el efecto de la prevista e inminente mejora de la carretera. Este objetivo general planteaba además tres objetivos secundarios:

- i) corroborar los corredores de vida silvestre identificados por las comunidades indígenas entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana;
- ii) destacar la contribución de la gestión territorial indígena a la conservación de la biodiversidad en la región;
- iii) establecer una línea de base amplia para monitorear la fauna silvestre en el futuro ante las mejoras inminentes y significativas de la infraestructura vial.



Robert Wallace/WCS

# Métodos

## Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo a lo largo de los 110 km de la carretera entre San Buenaventura e Ixiamas (SBI), en la provincia Iturralde del departamento de La Paz, al noroeste de Bolivia (Mapa 1), que se encuentra dentro del Gran Paisaje Madidi-Tambopata. La carretera recorre la frontera oriental del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Madidi. Inmediatamente adyacente al parque, y parcialmente superpuesto con éste, se ubica el territorio indígena Tacana (Tierra Comunitaria de Origen Tacana I), atravesado por la carretera en su límite suroeste.

En el momento del estudio, el camino de San Buenaventura-Ixiamas, que se extiende a lo largo de la parte inferior de las últimas estribaciones de los Andes, seguía siendo un camino de tierra construido originalmente en la década de 1980 (Wentzel, 1989). Su pavimentación fue planificada para realizarse entre 2011 y 2022, por el gobierno boliviano, con el financiamiento del Banco Mundial. El asfaltado no comenzará antes de mediados de 2020.

La precipitación anual en la región es de 1.900 a 3.200 mm y la temperatura media anual alcanza los 26 °C (Ibisch *et al.*, 2003). La variabilidad climática es significativa, con una marcada estación seca, entre mayo y octubre (Fuentes, 2005). El área de estudio se ubica en la ecorregión del Bosque Amazónico Subandino (Ibisch *et al.*, 2003). Los detalles de los tipos de hábitat dentro de esta ecorregión se encuentran en otra publicación (Fuentes, 2005). Los bosques tropicales son bosques ribereños y bosques húmedos de tierra firme caracterizados por tener un dosel relativamente alto (30-40 m), con densidades y una diversidad significativa de especies de palmeras.

## Identificación de corredores de vida silvestre

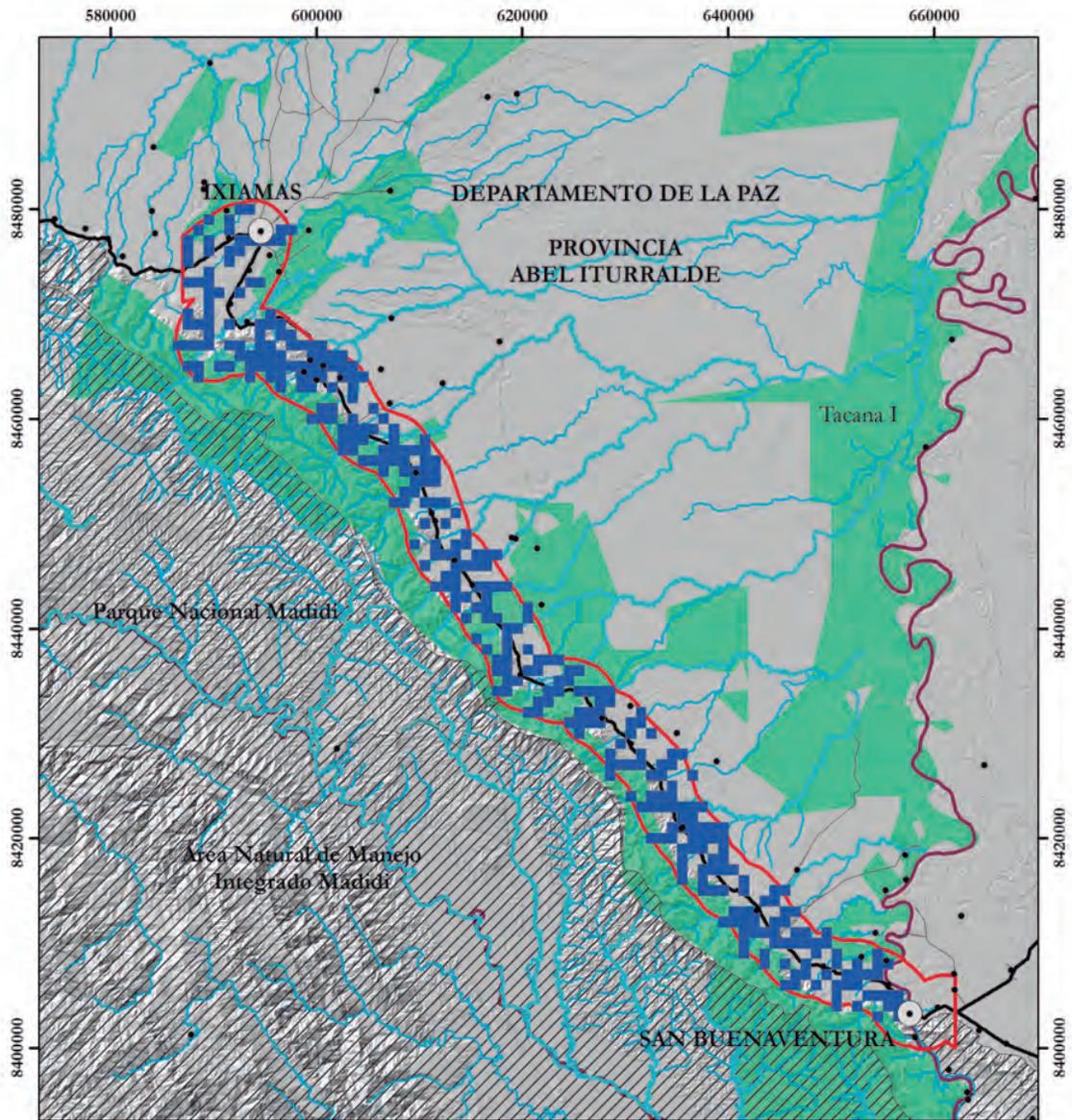
Para identificar la ubicación de los corredores de vida silvestre entre el área protegida de Madidi y el territorio indígena Tacana, se utilizaron en primer lugar los datos no publicados de lugares con presencia de fauna silvestre, recogidos en 2001 mediante entrevistas semiestructuradas a reconocidos cazadores indígenas de subsistencia ( $n = 26$ ) de seis comunidades: Carmen Pecha, Macahua, Santa Fe, San Pedro, Santa Rosa y San Silvestre. Los entrevistados georreferenciaron estos datos utilizando imágenes de satélite, con una cuadrícula superpuesta de 1 km<sup>2</sup>, que se recopiló en el contexto del desarrollo del primer plan de vida del pueblo Tacana (CIPTA y WCS, 2002). Entre 2000 y 2002, un equipo integrado por representantes de CIPTA y WCS hizo varias visitas a las comunidades tacanas para realizar evaluaciones rurales participativas, proporcionar una retroalimentación

sobre el desarrollo del plan de vida e informar regularmente a las organizaciones sobre el proceso de titulación de tierras en curso (Lehm 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017).

En segundo lugar, se llevaron a cabo entrevistas en 2002 dirigidas a conductores del transporte público que utilizan regularmente la carretera ( $n=15$ ), para documentar avistamientos de jaguares (*Panthera onca*, Linnaeus 1758) o chanchos de tropa (*Tayassu pecari*, Link 1795) cruzando la carretera de San Buenaventura-Ixiamas.

En tercer lugar, se utilizaron los corredores identificados en 2005 en los talleres indígenas supracomunales sobre conservación de la fauna dentro del territorio indígena Tacana. Estos corredores fueron reconocidos originalmente durante los talleres sectoriales en los que participaron nueve comunidades situadas a lo largo de la carretera: un taller en el sector Ixiamas, con la participación de 3 personas de Carmen Pecha, 15 de Macahua y una de Santa Fe; otro taller en el sector Tumupasa, con 3 personas de Santa Rosa de Maravilla y 11 de Tumupasa; y otro en el sector San Buenaventura, con una persona de Bella Altura, 3 de Buena Vista, 2 de Capaina y 2 de Tres Hermanos. En estos talleres, realizados con el liderazgo tacana, los representantes seleccionados por las comunidades, por su reconocido conocimiento sobre la fauna silvestre, utilizaron métodos de mapeo participativo para identificar, discutir y acordar corredores de vida silvestre a lo largo del camino. Equipos de representantes tacanas y biólogos verificaron en campo alrededor de la mitad de estos corredores utilizando transectos y registrando huellas. Las propuestas sectoriales fueron revisadas y consensuadas en un taller general del conjunto del territorio, que reunió a 51 participantes tacanas de los cuatro sectores del territorio indígena Tacana, incluidas 10 de las 12 comunidades cercanas a la carretera (CIPTA & WCS, 2006).

Por último, a finales de 2013, se actualizaron estos datos mediante entrevistas a 66 cazadores de diez comunidades locales indígenas tacanas situadas a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, con los siguientes tamaños de muestra: Carmen Pecha (11 personas), Buena Vista (9 personas), Macahua (8 personas), Santa Rosa (8 personas), San Pedro (7 personas), Bella Altura (6 personas), Santa Fe (5 personas), Tumupasa (5 personas), San Silvestre (4 personas) y Capaina (3 personas). Una vez más se emplearon imágenes satelitales para el mapeo participativo, se pidió a los encuestados de cada comunidad identificar corredores importantes de flujo de la vida silvestre, en el contexto del manejo de la caza y de la conservación de la vida silvestre en el territorio indígena.



### GRILLAS DE MUESTREO CARRETERA SAN BUENAVENTURA-IXIAMAS

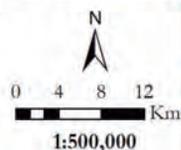
#### LEYENDA

- |                         |                       |                       |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| ● Capitales municipales | — Caminos principales | □ Límite de provincia |
| • Centros poblados      | — Caminos secundarios | ▨ Áreas protegidas    |
| — Ríos principales      | — Caminos vecinales   | ■ Territorio indígena |
| — Ríos secundarios      |                       |                       |

#### Grillas de muestreo

- |  |
|--|
| ■ Grillas muestreadas carretera San Buenaventura-Ixiamas |
| □ Buffer 3km   |

#### INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA



**Mapa 1:** Área de estudio a lo largo de la carretera San Buenaventura-Ixiamas, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, mostrando las celdas de muestreo de 1 km<sup>2</sup> de ocupación/uso del espacio por la vida silvestre.

## Diseño del estudio de ocupación

Se superpuso una cuadrícula de 1 x 1 km a la franja de 3 km a cada lado de los 110 km de la carretera de San Buenaventura-Liximas, obteniendo en total 865 celdas de 1 km<sup>2</sup> (Mapa 1). Se adoptó un diseño de muestreo aleatorio estratificado utilizando dos variables de estratificación: distancia a lo largo de la carretera y distancia desde la carretera, a fin de seleccionar 356 unidades para el muestreo, que representaron el 40 % de las unidades de muestreo potenciales. Este gran tamaño de la muestra fue decidido debido a la:

- i) importancia de contar con una línea de base completa y confiable de la fauna ante la inminente mejora de la infraestructura vial;
- ii) oportunidad de evaluar la intensidad óptima de muestreo para estudios de ocupación de la fauna silvestre;
- iii) importancia estratégica global del método de ocupación para Wildlife Conservation Society como una medida para monitorear el estado de la fauna a una escala de paisaje.

Este diseño de la muestra permite estimaciones de ocupación del hábitat por especies con áreas de distribución pequeñas, como el tapir (*Tapirus terrestris*, Linnaeus 1758), el taitetú (*Pecari tajacu*, Linnaeus 1758), el huaso (*Mazama americana*, Erxleben 1777), y el jochi pintado (*Cuniculus paca*, Linnaeus 1766), así como para los felinos pequeños del género

*Leopardus* y los jochis colorados (*Dasyprocta* spp.) (Wallace *et al.*, 2010). El grupo de especies del género *Leopardus* estuvo compuesto por el ocelote (*L. pardalis*, Linnaeus 1758), el gato montés (*L. wiedii*, Schinz 1821) y posiblemente el tigrillo (*L. tigrinus*, Schreber 1775), cuyas huellas no pueden ser distinguidas de manera consistente en el campo. De manera similar, las especies del género *Dasyprocta* fueron *Dasyprocta variegata*, Thomas 1910 y *Dasyprocta azarae*, Lichtenstein 1823. En el caso de especies con rangos de actividad mayores, como el jaguar (*Panthera onca*) y el chanco de tropa (*Tayassu pecari*), el diseño del estudio, y específicamente el tamaño de la celda de muestreo, solo permite estimar el uso del área de estudio mediante métodos de ocupación. Seleccionamos estas ocho especies/grupos de especies como representativas de la vida silvestre terrestre amazónica desde una perspectiva ecológica y socioeconómica, ya que incluye a carnívoros, ungulados y grandes roedores, y a especies que son el pilar de la caza de subsistencia (Robinson & Redford, 1991).

El trabajo de campo se llevó a cabo entre junio y diciembre de 2013, la mayor parte de los muestreos (75,6 %) fueron completados entre octubre y noviembre de 2013, por tres equipos de estudio de dos personas cada uno. Cada equipo estuvo compuesto por un biólogo y un guía local. Un total de 189 días/persona fueron necesarios para concluir con



Huellas de jaguar-Robert Wallace/WCS

el muestreo de 356 celdas. Cada unidad de muestreo fue examinada empleando transectas de 300 m, divididas en doce segmentos de 25 m, donde se registró la presencia (si/no) del tapir, el chancho de tropa, el pecarí de collar o taitetú, el huaso, el jochi pintado, el jochi colorado (*Dasyprocta* spp.), los pequeños felinos (*Leopardus* spp.) y el jaguar, mediante rastros indirectos (huellas, fecas, pelos, huesos) y observación directa a lo largo de una franja de 1 m de ancho.

Debido a la gran cantidad de arroyos (más de 100) que corren a través de las últimas estribaciones de los Andes y cruzan de manera perpendicular la carretera, supusimos que la probabilidad de detección se incrementaría para muchas de las especies mediante el muestreo de rastros a lo largo de los ríos o lechos de los ríos. Debido a esto, el 78,4 % de las unidades de muestreo seleccionadas ( $n = 279$ ) se distribuyeron en celdas con al menos 300 m de río o arroyo (referidos simplemente como ríos de ahora en adelante), donde el punto de partida para la transecta de 300 m fue aleatorio, sujeto a la condición de que era posible tomar una muestra de 300 m de río. El 21,6 % restante de las unidades de la muestra ( $n = 77$ ) fueron distribuidas en las celdas sin presencia de ríos o arroyos, utilizando dos protocolos de muestreo diferentes para celdas con y sin ríos.

En el primer caso, respecto a las unidades con 300 m de río, los equipos de estudio de dos personas realizaron transectas adyacentes al río o en el lecho de aquellos sin caudal en la estación seca. En el segundo caso, los equipos de estudio seleccionaron al azar una dirección, desde el centro de la unidad, para iniciar la transecta de 300 m en línea recta, con doce segmentos de 25 m, registrando la presencia de especies en cada segmento. Para mejorar la identificación de especies y maximizar las probabilidades de detección, cada vez que la senda de algún animal atravesaba la transecta de la orilla del río o arroyo, se permitió a los equipos de campo seguir su rastro hasta una distancia máxima de 15 m antes de volver al río o arroyo y continuar el recorrido de la transecta. De esta manera, la presencia de especies fue registrada en cada uno de los doce segmentos de 25 m dentro de la transecta de 300 m.

En todas las unidades de muestreo, los equipos de campo también registraron covariables de probabilidad de detección en cada segmento de 25 m de cada transecto de 300 m. Estos incluyeron el tipo de sustrato: arena fina, arena, arcilla, arcilla húmeda, barro, rocas, tierra, tierra fina, tierra húmeda, hierba y hojas; el tipo de unidad de muestreo (arroyo o no arroyo) y el número de días transcurridos desde la última lluvia (en un rango de 1 a 6 días, según lo determinado por las precipitaciones conocidas durante la anterior semana o desconocidas en los casos en que el período de lluvias se extendiera más allá de 6 días).

Se seleccionaron diez covariables de ocupación, que fueron calculadas para las 895 celdas del área de estudio, utilizando una base de datos SIG (WCS Bolivia, datos no publicados). Para este estudio de ocupación de una temporada, se consideraron dos amplias clases de covariables de ocupación.

La primera clase consideró las variables que podrían explicar la historia natural, en gran parte desconocida, de las diferentes especies estudiadas, como por ejemplo la distancia al arroyo-río, la inclinación promedio de la pendiente, la heterogeneidad de los hábitats, el porcentaje de cobertura de bosque primario y el porcentaje de bosque secundario. La segunda clase de covariables analizó las que podrían reflejar las influencias antropogénicas sobre la distribución de la fauna: la distancia a los poblados grandes, la distancia a la comunidad más cercana, la distancia a la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, la distancia a las carreteras secundarias, así como el porcentaje de suelo sin cobertura vegetal. La covariable del porcentaje de suelo sin cobertura vegetal es un indicador de la tasa de transformación del paisaje humano en una celda, dado que el suelo sin cobertura vegetal en el área de estudio se relaciona con la deforestación asociada a las carreteras, los asentamientos humanos y la reciente actividad agrícola intensiva.

Para el cálculo de las variables de distancia, se determinó, en primer lugar, la ubicación del centro de cada celda de la muestra en toda el área de estudio y luego se calcularon las distancias más cortas en línea recta desde el centro de la celda, utilizando ArcGIS ET GeoWizards y la función "Punto Distancia" (ET GeoWizard, ET Spatial Techniques Company, 2004). Los puntos y las distancias entre ejes de cada celda de la muestra se proyectaron utilizando las coordenadas UTM Zona 19 Sur.

## Análisis de datos

---

Para el análisis de los datos, se dividieron los transectos de 300 m en tres segmentos de 100 m cada uno, utilizando segmentos de 25 m de cada uno ellos. Luego de los análisis exploratorios con los modelos de ocupación de una especie-una estación, los modelos de ocupación de correlación espacial (Hines *et al.*, 2010) y los modelos de ocupación de una especie-una estación con afinidad de trampeo para cada sección de 100 m incluida como covariable de detección, los datos de 100 m fueron considerados espacialmente independientes (WCS, datos no publicados). Los valores de las covariables fueron previamente normalizados utilizando PRESENCE; las relaciones de las covariables con la ocupación de cada especie se presentan gráficamente con los valores normalizados.

Para cada especie o grupo de especies, se calculó primero la ocupación *naive* (naive occupation), como la proporción de celdas con rastros presentes de animales. A continuación, utilizando el software PRESENCE (Hines, 2014), se estimó la ocupación del hábitat con un modelo de ocupación de una especie-una estación (MacKenzie *et al.*, 2006). A partir del grupo de covariables de detección y de ocupación, se construyeron hipótesis específicas para cada especie seleccionada, y se redujo el conjunto de modelos generales

para incluir sólo los modelos con covariables específicas de las especies. De cada modelo general por especie, se hizo una prueba de ajuste (MacKenzie & Bailey, 2004) basada en 1.000 iteraciones de arranque en el programa PRESENCE, a fin de evaluar si hubo o no exceso de dispersión de los datos. El modelo se ajusta adecuadamente a los datos si el parámetro estimado de dispersión resultante es  $\hat{c} = 1$  y se produce una mayor variación de los datos de ocupación de lo esperado en el modelo si el parámetro es  $\hat{c} > 1$  (MacKenzie & Bailey, 2004). Cuando los valores de  $\hat{c}$  superaron 1 se tomó en cuenta la sobredispersión en la posterior selección de los mejores modelos para cada especie.

Se excluyeron los modelos que tuvieron problemas numéricos relacionados con la estimación de parámetros. Los modelos restantes fueron clasificados según el valor del Criterio de Información de Akaike (AIC) o cuasi-AIC (QAIC), que da cuenta de la sobredispersión  $\hat{c}$  (Burnham & Anderson, 2002). El modelo con el valor menor de AIC o QAIC fue seleccionado como el mejor modelo.

Por último, se compararon descriptivamente los mejores modelos de ocupación para cada especie con los corredores de vida silvestre identificados por la población local. Para comparar visualmente los resultados entre especies, se desarrollaron representaciones gráficas utilizando cuatro categorías de valores de ocupación: 0 - 0,25, 0,25 - 0,5, 0,5 - 0,75 y 0,75 - 1. También se prepararon distintas versiones con agrupaciones realizadas por el método de "natural breaks": una categorización uniforme entre los valores máximos y mínimos para cada especie, en este caso con cuatro categorías. Con la finalidad de generar un mapa comparativo de los corredores de vida silvestre identificados

por la población local, se seleccionó la categoría que agrupa los valores más significativos (valores próximos a 1) para identificar los corredores que serían más relevantes para las cuatro especies analizadas: *Tayassi pecari*, *Tapirus terrestris*, *Pecari tajacu* y *Leopardus* spp., indicando celdas de 1 km<sup>2</sup> que fueron relevantes para entre 1 y 3 de estas especies objetivo.

## Resultados

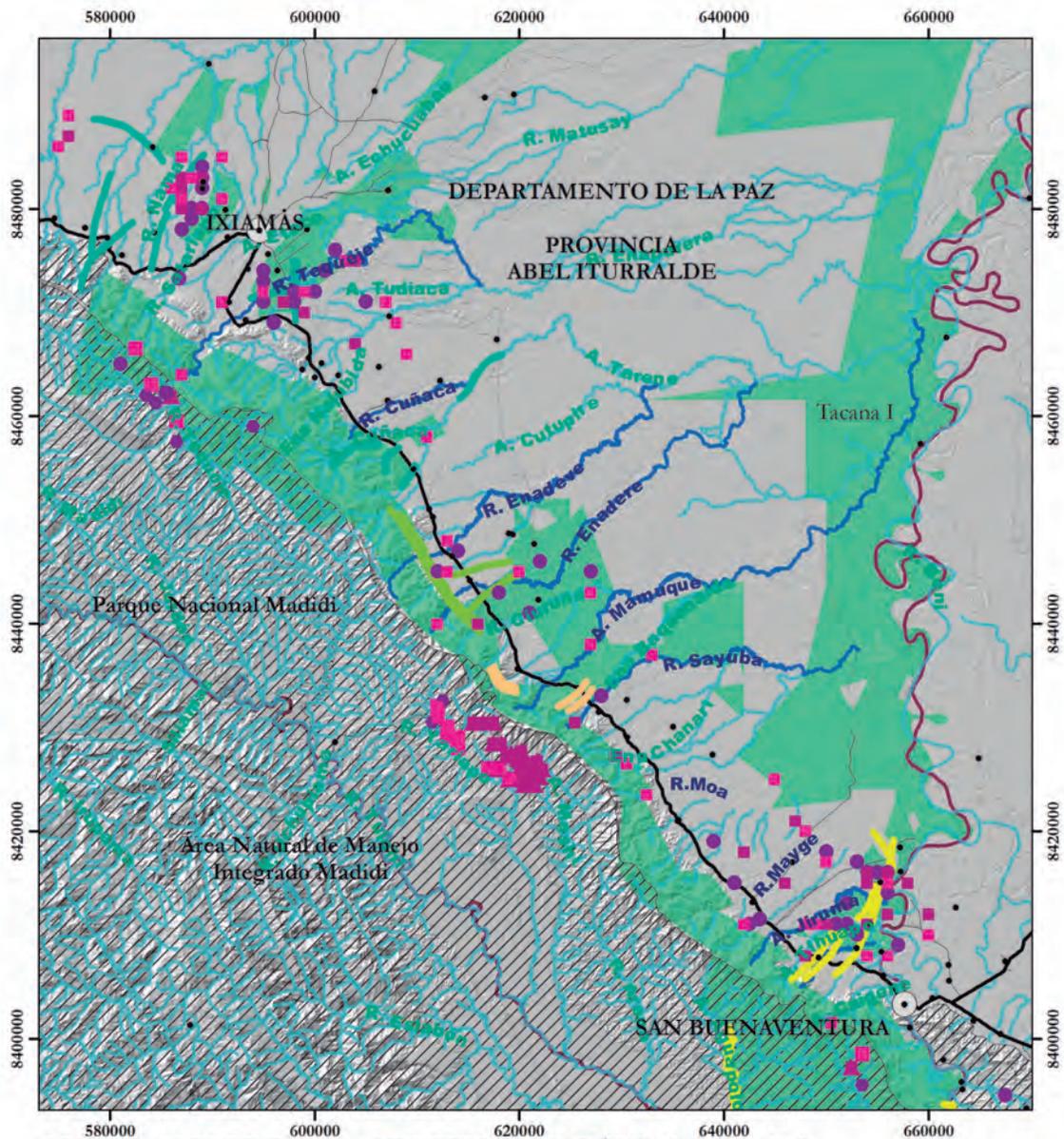
### Entrevistas

En 2001, se realizaron un total de 217 entrevistas individuales a representantes indígenas acerca de sus observaciones de la distribución del jaguar ( $n = 61$ ), del pecarí de collar o taitetú ( $n = 46$ ), del huaso ( $n = 37$ ) y del tapir ( $n = 73$ ) realizadas a 10 km de distancia de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas (Mapa 2).

En 2002, ocho de los quince conductores del transporte público observaron chanchos de tropa y/o jaguares exclusivamente entre los ríos Cuñana y Tequeje, a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas (Mapa 2). Cuatro de los conductores no habían visto chanchos de tropa en 10 años; en cambio, dos de ellos los habían visto entre cuatro meses y cuatro años antes; y otros dos, hacía tres meses. En el caso del jaguar, cuatro conductores no lo habían visto en 10 años; mientras que tres conductores lo habían visto entre 7 meses y un año antes; y uno de ellos, en los últimos seis meses.



Robert Wallace/WCS



### CORREDORES DE FAUNA - TERRITORIO INDÍGENA TACANA I

LEYENDA	
● Capitales municipales	↔ Caminos principales
• Centros poblados	↔ Caminos secundarios
— Ríos principales	↔ Caminos vecinales
◻ Límite de provincia	▨ Áreas protegidas
	■ Territorio indígena

Percepción local	Reporte local
— Entre los ríos Jiruma y Zapata	■ <i>Pantther onca</i>
— Entre los ríos Mamuque y Sayuba	▲ <i>Tapirus terrestris</i>
— Entre los ríos Enadere y Enadere	● <i>Tayassu pecari</i>
— Entre los ríos Cuñaca y Tequeje	● Otras especies

**INFORMACIÓN CARTOGRAFICA**

N

0 3 6 9 Km

1:500,000

**Mapa 2.** Corredores de vida silvestre identificados con base en las entrevistas realizadas a las comunidades indígenas.

En 2005, las entrevistas a representantes de las comunidades permitieron identificar 28 corredores de vida silvestre a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas (Mapa 2). Estos corredores se concentran en cuatro porciones del área de estudio: a) alrededor de las comunidades tacanas ubicadas en las inmediaciones de San Buenaventura; b) alrededor de Tumupasa, la capital cultural tacana, aproximadamente a mitad del camino a Ixiamas; c) a lo largo de la mayor parte de la carretera entre Tumupasa e Ixiamas; y d) alrededor de las comunidades tacanas, en las inmediaciones de Ixiamas. La mayoría de estos corredores se extienden desde el Parque Nacional Madidi hasta el territorio indígena Tacana. Hay una notable ausencia de corredores identificados por las comunidades a lo largo de los 50 km de la carretera entre San Buenaventura y Tumupasa.

Finalmente, en 2013, las entrevistas a 66 cazadores de diez comunidades tacanas establecidas a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, permitieron identificar nueve corredores de vida silvestre. En resumen, algunas observaciones de los chanchos de tropa se efectuaron alrededor de las comunidades tacanas cerca de San

Buenaventura; una gran concentración de éstas se dio alrededor de Tumupasa; otras observaciones fueron hechas alrededor de las comunidades tacanas cerca de Ixiamas; y una otra concentración de observaciones se produjo entre los ríos Cuñana y Tequeje, entre Tumupasa e Ixiamas.

## Ocupación y uso

En total, se registraron 4.140 huellas y 78 diferentes rastros. El programa PRESENCE proporcionó robustos modelos de ocupación de una sola temporada correlacionados con la detección –con covariables que superaron al modelo nulo sin covariables (Tablas 1 y 2)– de tres especies de mamíferos medianos y grandes: *Tapirus terrestris*, *Pecari tajacu* y *Mazama americana*, y dos grupos de especies de mamíferos (*Leopardus* spp. y *Dasyprocta* spp.). Respecto a *Cuniculus paca*, el modelo nulo superó a los modelos con covariables. Las estimaciones de ocupación para estas especies y grupos de especies, utilizando los modelos de mejor desempeño, oscilaron entre 0,31 y 0,59 (Tabla 2).

Especies	Naive	Ocupación Nula de Una Temporada y por Una Especie			
		psi	Err. Est.	LCI	LCS
<i>Tapirus terrestris</i>	0,33	0,38	0,03	0,32	0,45
<i>Pecari tajacu</i>	0,45	0,5	0,03	0,44	0,56
<i>Mazama americana</i>	0,52	0,56	0,03	0,50	0,62
<i>Cuniculus paca</i>	0,52	0,56	0,03	0,50	0,62
<i>Dasyprocta</i> spp.	0,53	0,59	0,03	0,53	0,65
<i>Leopardus</i> spp.	0,18	0,34	0,06	0,23	0,48
<i>Panthera onca</i>	0,09	0,11	0,02	0,08	0,16
<i>Tayassu pecari</i>	0,1	0,11	0,02	0,08	0,16

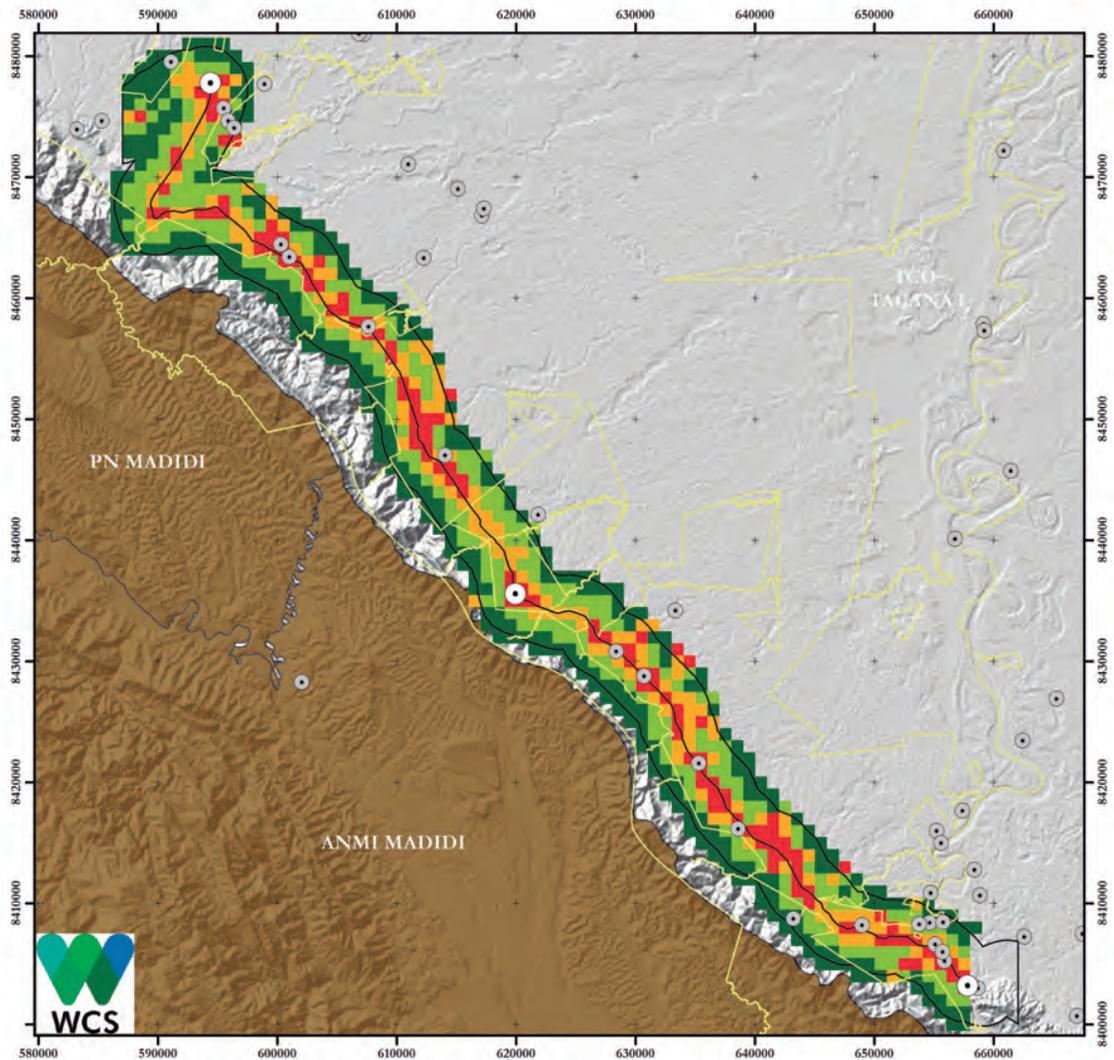
**Tabla 1.** Ocupación *naive* y modelos de ocupación nula de una sola temporada por una especie aplicados a seis especies y dos grupos de especies de la fauna silvestre, a lo largo de la carretera San Buenaventura-Ixiamas. Se muestran las probabilidades estimadas de ocupación (psi) de cada modelo junto con su error estándar (Err. Est.) y los límites de confianza inferior (LCI) y superior (LCS).

Especies	Modelos de ocupación preferidos						Covariables de probabilidad de detección		Covariables de ocupación		
	ĉ	AIC Ps	psi	Err. Est.	ILC	SLC	P	Err. Est.	Covariable	Valor	Err. Est.
<i>Panthera onca</i>	2,77	1	0,11	0,02	0,08	0,16	0,39	0,07			
<i>Leopardus spp.</i>	0,98	0,89	0,33	0,07	0,21	0,48	0,24	0,05	Tiempo desde la última lluvia	-0,2	0,08
<i>Tapirus terrestris</i>	3,96	0,62	0,39	0,05	0,3	0,5	0,45	0,04	Arroyo	0,97	0,36
<i>Pecari tajacu</i>	1,87	0,77	0,5	0,05	0,4	0,61	0,53	0,03			
<i>Tayassu pecari*</i>	1,95	0,22	0,17	0,07	0,1	0,25	0,3	0,18	Tiempo desde la última lluvia	0,49	0,12
<i>Mazama americana</i>	5,06	0,68	0,56	0,04	0,49	0,63	0,59	0,02	Tiempo desde la última lluvia	0,49	0,12
<i>Cuniculus paca</i>	4,88	1	0,56	0,03	0,5	0,62	0,57	0,02	Tiempo desde la última lluvia	0,49	0,12
<i>Dasyprocta spp.*</i>	6,38	0,52	0,59	0,05	0,5	0,68	0,53	0,03			
		0,32							% Bosque secundario	3,39	0,85
									Heterogeneidad del hábitat	0,56	0,13

**Tabla 2.** Los modelos de ocupación con covariables de probabilidad de detección y covariables de ocupación con sus valores beta estimados y errores estándar (Err. Est.) para seis especies y dos grupos de especies de la fauna silvestre, a lo largo del camino de San Buenaventura-Iximias. Se muestran el parámetro de sobredispersión  $\hat{c}$ , el valor AIC de cada modelo, la probabilidad estimada de ocupación (psi), junto con su error estándar y los límites de confianza inferior (ILC) y superior (SLC) y la probabilidad de detección (p) y su error estándar.

Las estimaciones de ocupación de una sola temporada ( $\psi = 0,39 \pm 0,05$ ,  $p = 0,45 \pm 0,04$ ) para el tapir (Mapas 3 y 4) tuvieron límites de confianza razonables (0,3 - 0,5) e identificaron dos covariables de ocupación (Tabla 2) y una covariable de detección. La probabilidad de detección incrementó cuando el

transecto fue realizado a lo largo de un arroyo. La relación más fuerte fue una negativa por el porcentaje de suelo sin cobertura vegetal en una celda dada (Figura 1). Una relación positiva existió considerando la distancia a la carretera principal (Figura 2).



### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Tapirus terrestris*

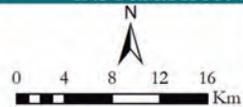
#### LEYENDA

- Capitales municipales
- Centros poblados
- ~ Carretera San Buenaventura - Ixiamas
- PNANMI Madidi
- TCO Tacana I
- Buffer 3 Km

#### VALORES DE PSI

- 0.002 - 0.18
- 0.19 - 0.36
- 0.37 - 0.52
- 0.53 - 0.87

#### INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

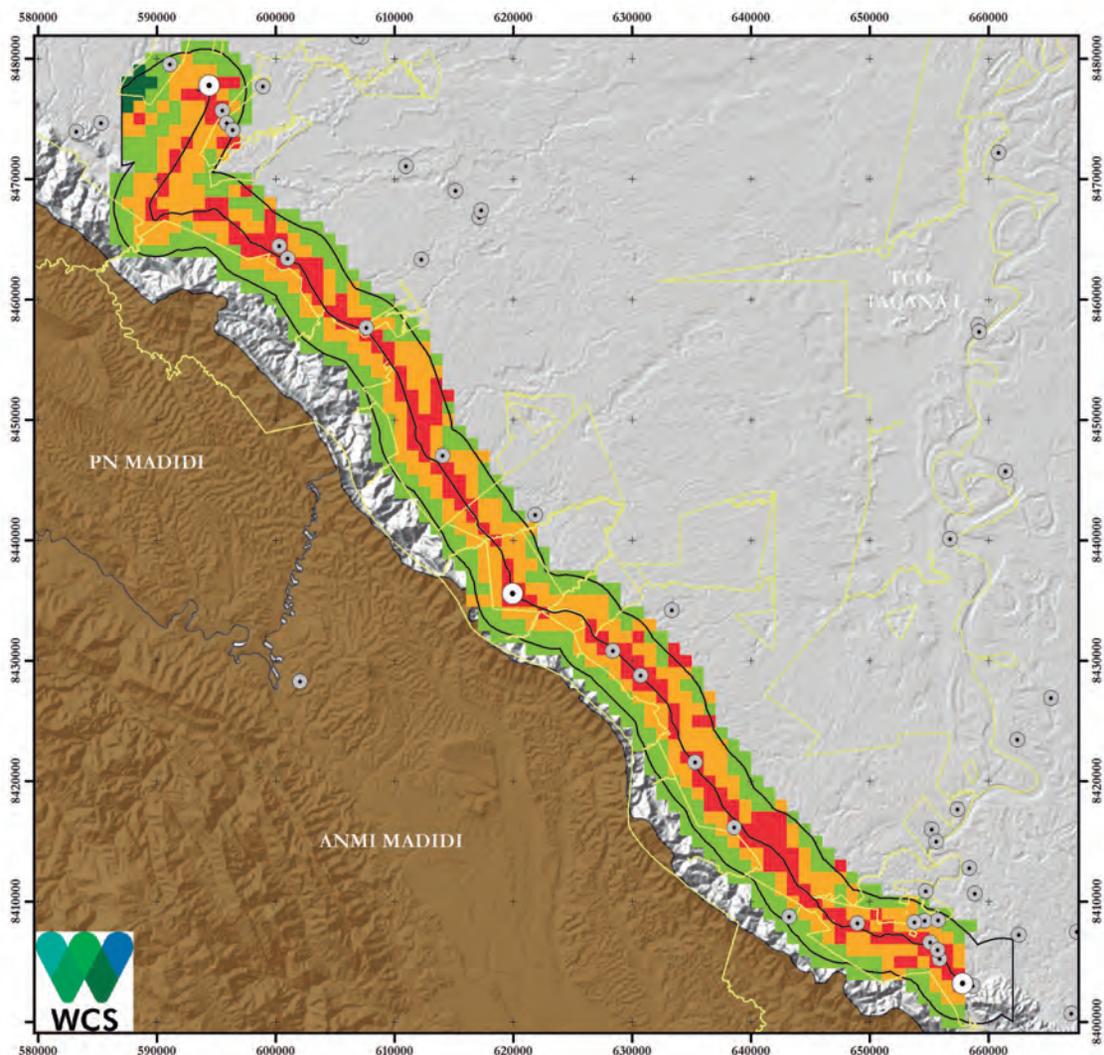


1:410,000

Sistema de Coordenadas:  
 Universal Transversal de Mercator  
 Zona 19 Sur  
 Datum: WGS 84



**Mapa 3.** Ocupación del tapir (*Tapirus terrestris*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando categorías basadas en los valores de ocupación mínimos y máximos.



### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Tapirus terrestris*

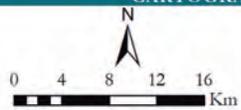
#### LEYENDA

- Capitales municipales
- Centros poblados
- Carretera San Buenaventura - Ixiamas
- PNANMI Madidi
- TCO Tacana I
- Buffer 3 Km

#### VALORES DE PSI

- 0.00 - 0.25
- 0.26 - 0.50
- 0.51 - 0.75
- 0.76 - 1.00

#### CARTOGRAFIA BASE

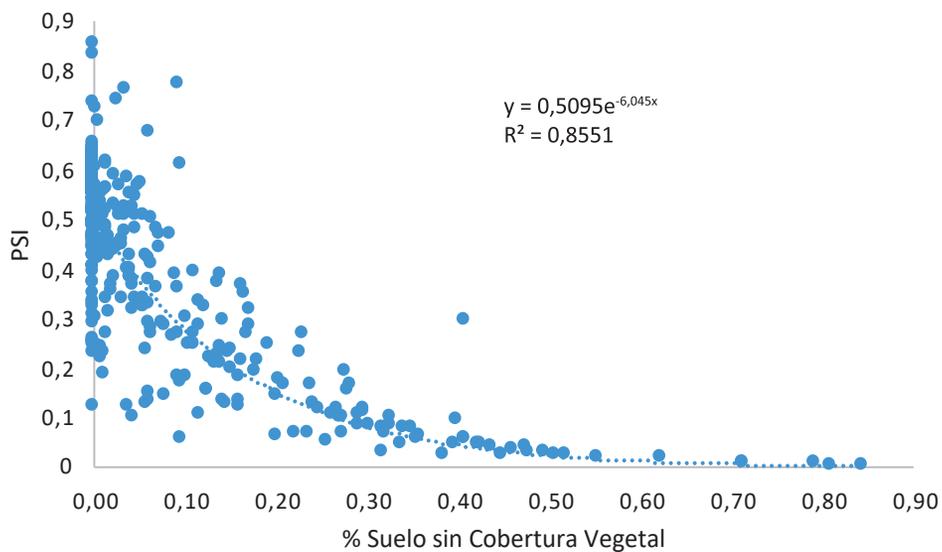


1:410,000

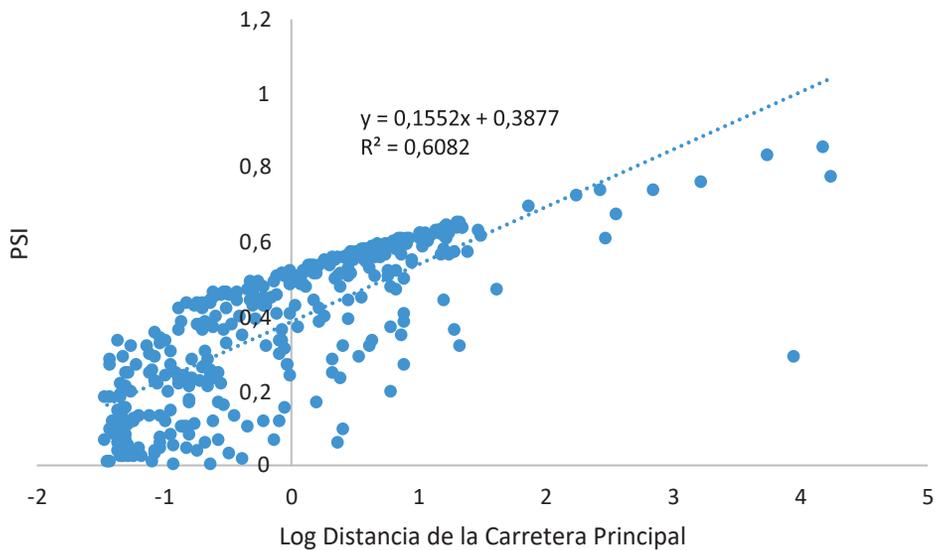
Sistema de Coordenadas:  
 Universal Transversal de Mercator  
 Zona 19 Sur  
 Datum: WGS 84



**Mapa 4.** Ocupación del tapir (*Tapirus terrestris*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando una escala de 0 a 1 con categorías basadas en cuartiles.



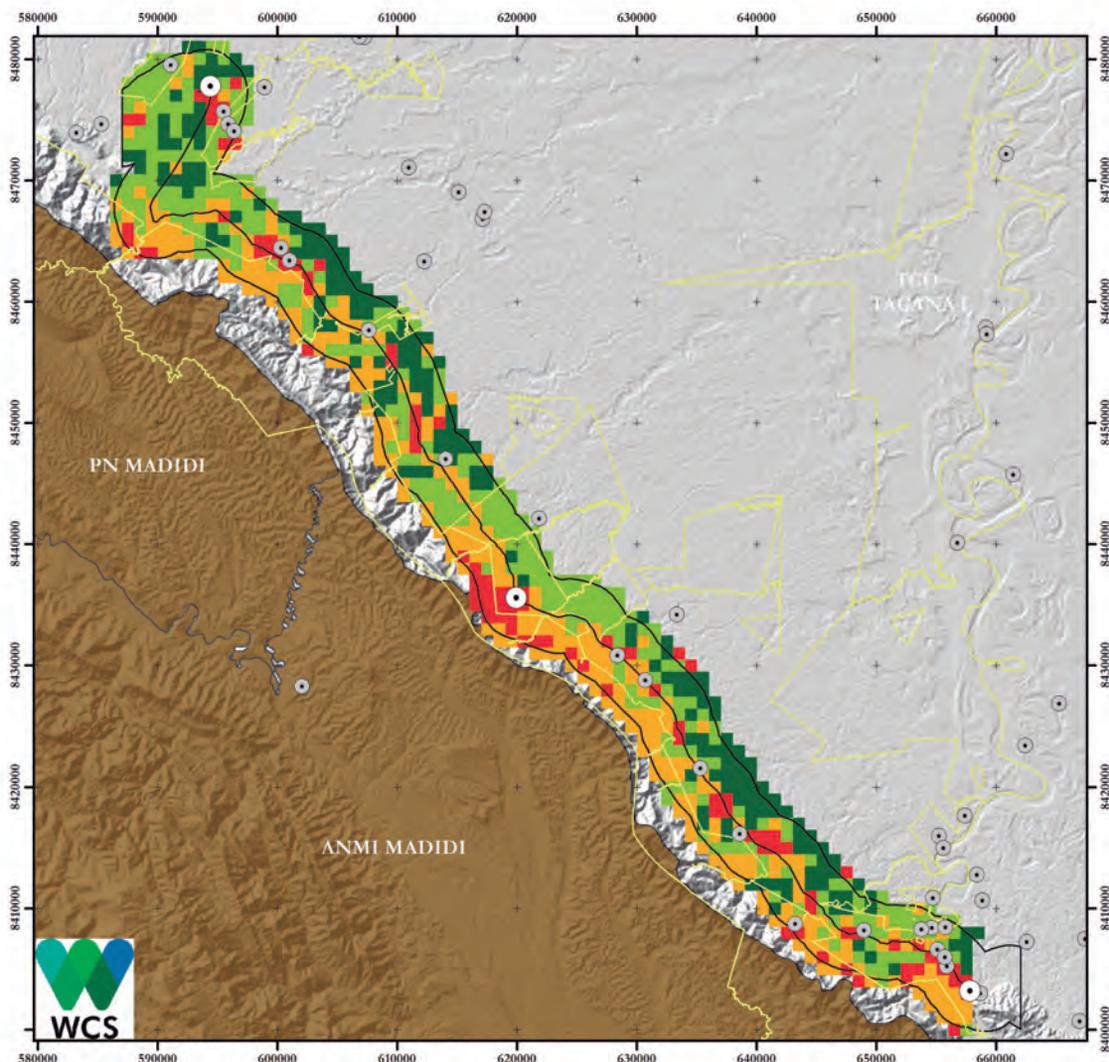
**Figura 1.** Ocupación del tapir (*Tapirus terrestris*) relacionada con la covariable de porcentaje de suelo sin cobertura vegetal.



**Figura 2.** Ocupación del tapir (*Tapirus terrestris*) con la covariable de distancia a la carretera principal.

En el caso de los pecaríes con collar o taitetúes (*Pecari tajacu*), las estimaciones de ocupación de una sola temporada ( $\psi = 0,5 \pm 0,05$ ,  $p = 0,53 \pm 0,03$ ) presentaron límites de confianza razonables (0,4-0,61) sin covariables de detección, pero con tres covariables de ocupación (Mapas 5 y 6, Tabla 2). La

relación más fuerte fue nuevamente negativa con el porcentaje de suelo sin cobertura vegetal en una celda de muestra dada (Figura 3). Una relación negativa más débil también existió con la pendiente (Figura 4), así como una relación positiva con la distancia a los centros poblados grandes (Figura 5).



### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Pecari tajacu*

#### LEYENDA

- Capitales municipales
- Centros poblados
- Carretera San Buenaventura - Ixiamas
- PNANMI Madidi
- TCO Tacana I
- Buffer 3 Km

#### VALORES DE PSI

- 0.02 - 0.28
- 0.29 - 0.48
- 0.49 - 0.65
- 0.66 - 0.89

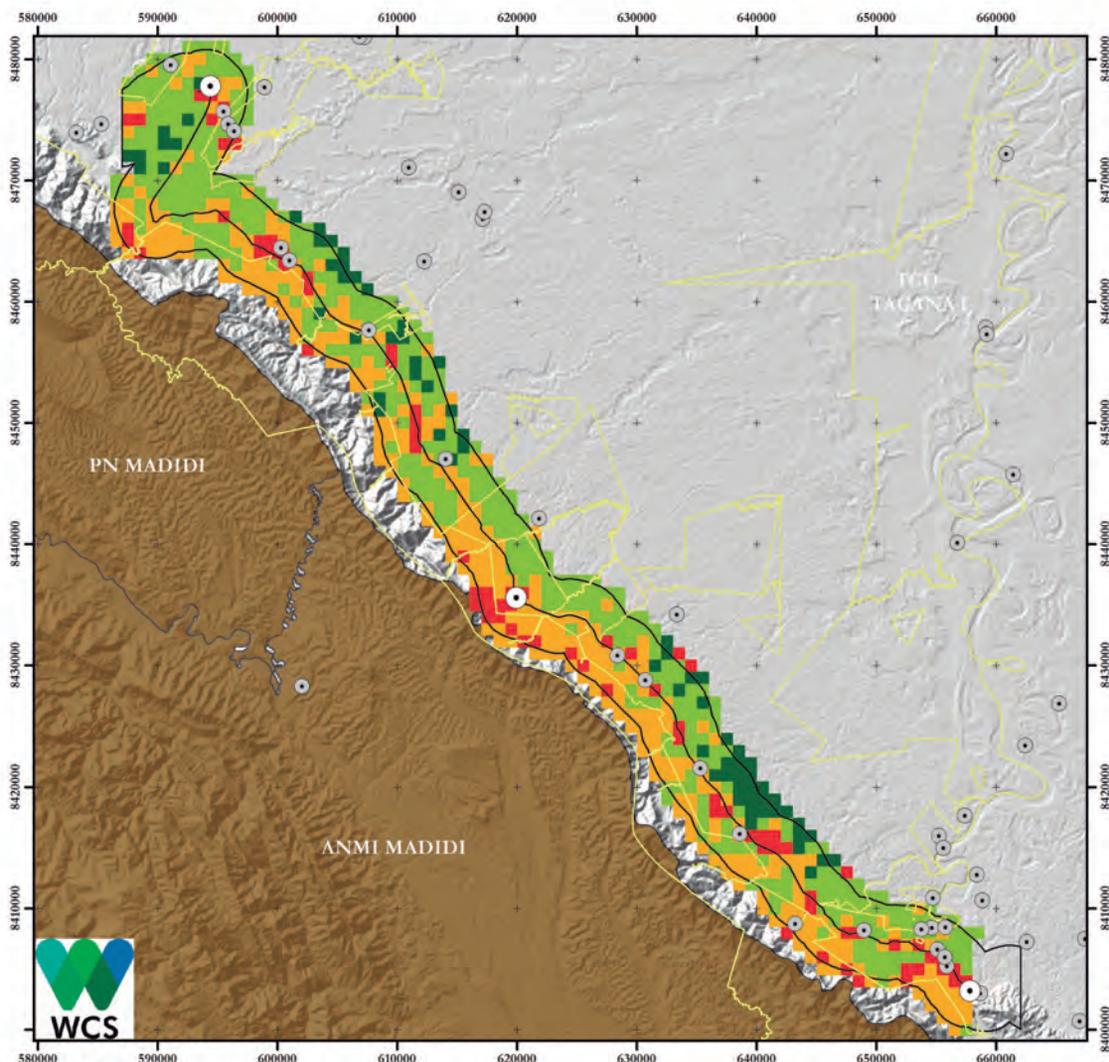
#### INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA



Sistema de Coordenadas:  
 Universal Transversal de Mercator  
 Zona 19 Sur  
 Datum: WGS 84



**Mapa 5.** Ocupación del taitetú (*Pecari tajacu*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando categorías basadas en los valores de ocupación mínimos y máximos.



**ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Pecari tajacu***

**LEYENDA**

- Capitales municipales
- Centros poblados
- ~ Carretera San Buenaventura - Ixiamas
- PNANMI Madidi
- TCO Tacana I
- Buffer 3 Km

**VALORES DE PSI**

- 0.02 - 0.25
- 0.51 - 0.75
- 0.26 - 0.50
- 0.76 - 1.00

**CARTOGRAFIA BASE**

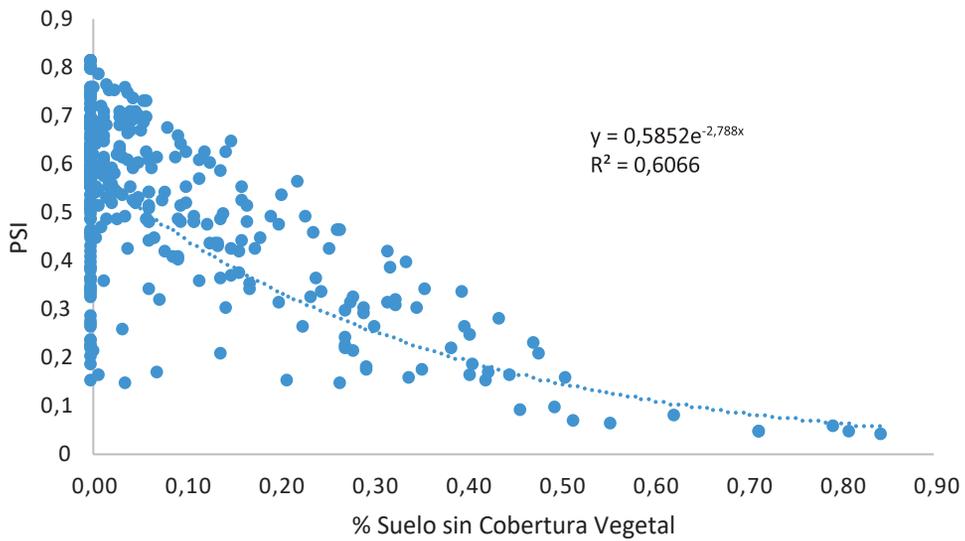
N

0 4 8 12 16 Km

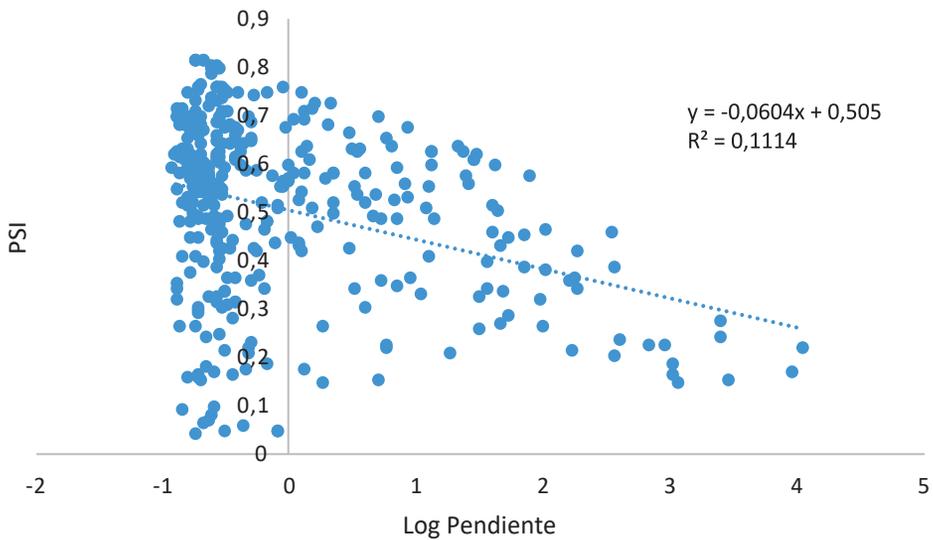
1:410,000

Sistema de Coordenadas:  
 Universal Transversal de Mercator  
 Zona 19 Sur  
 Datum: WGS 84

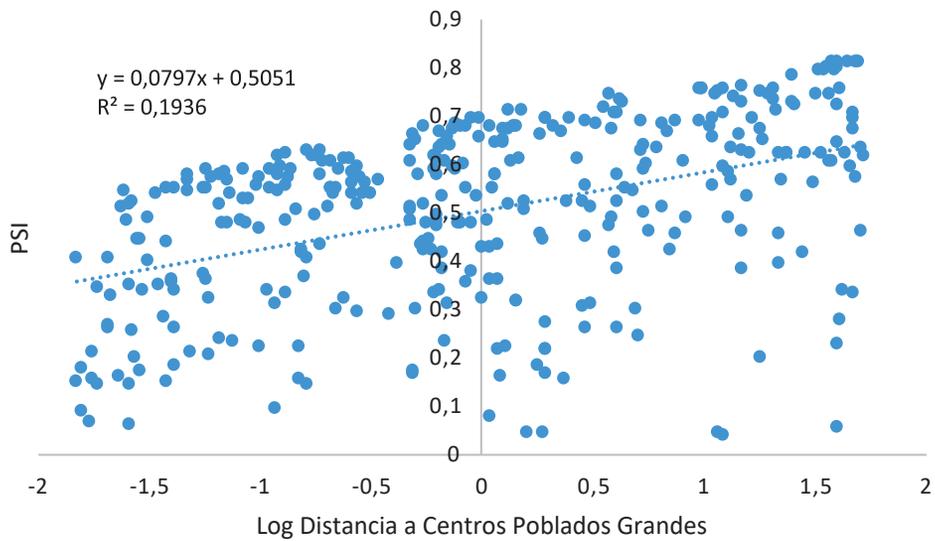
**Mapa 6.** Ocupación del taitetú (*Pecari tajacu*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando una escala de 0 a 1 con categorías basadas en cuartiles.



**Figura 3.** Ocupación del taitetú (*Pecari tajacu*) relacionada con la covariable de porcentaje de suelo sin cobertura vegetal.



**Figura 4.** Ocupación del taitetú (*Pecari tajacu*) relacionada con la covariable de pendiente.



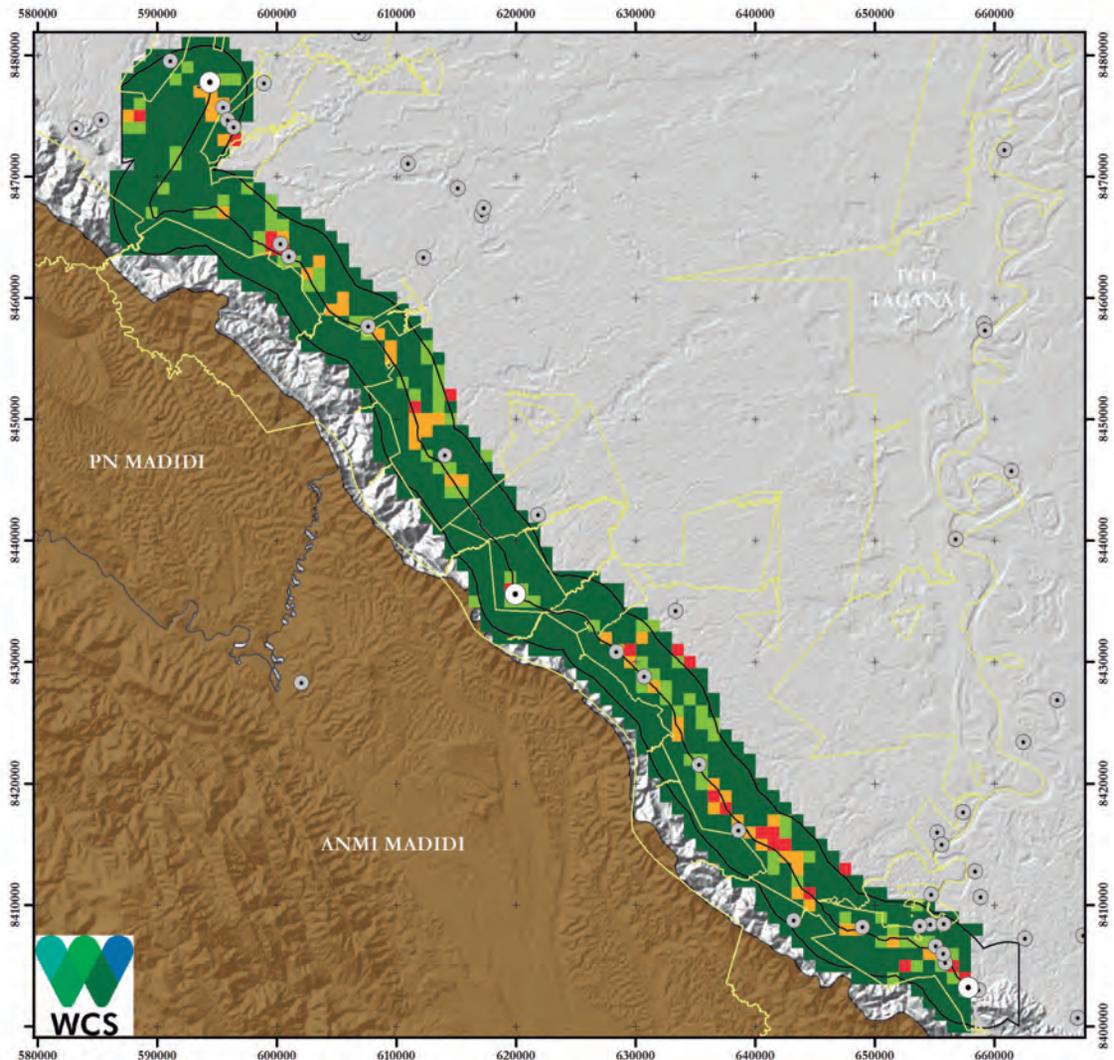
**Figura 5.** Ocupación de taitetú (*Pecari tajacu*) relacionada con la distancia a los centros poblados grandes.

En el caso del huaso (*Mazama americana*), las estimaciones de ocupación de una sola temporada ( $\psi = 0,56 \pm 0,04$ ,  $p = 0,59 \pm 0,02$ ) tuvieron límites de confianza razonables (0,49 - 0,63), sin covariables de detección y con una covariable de

ocupación (Mapas 7 y 8, Tabla 2). La covariable de ocupación fue la relación negativa con el porcentaje de suelo sin cobertura vegetal (Figura 6).



*Mazama americana* - Guido Ayala & María Viscarra/WCS



### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Mazama americana*

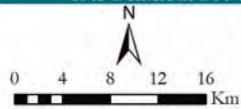
#### LEYENDA

- Capitales municipales
- Centros poblados
- ~ Carretera San Buenaventura - Ixiamas
- PNANMI Madidi
- TCO Tacana I
- Buffer 3 Km

#### VALORES DE PSI

- 0.04 - 0.19
- 0.20 - 0.34
- 0.35 - 0.49
- 0.50 - 0.65

#### INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

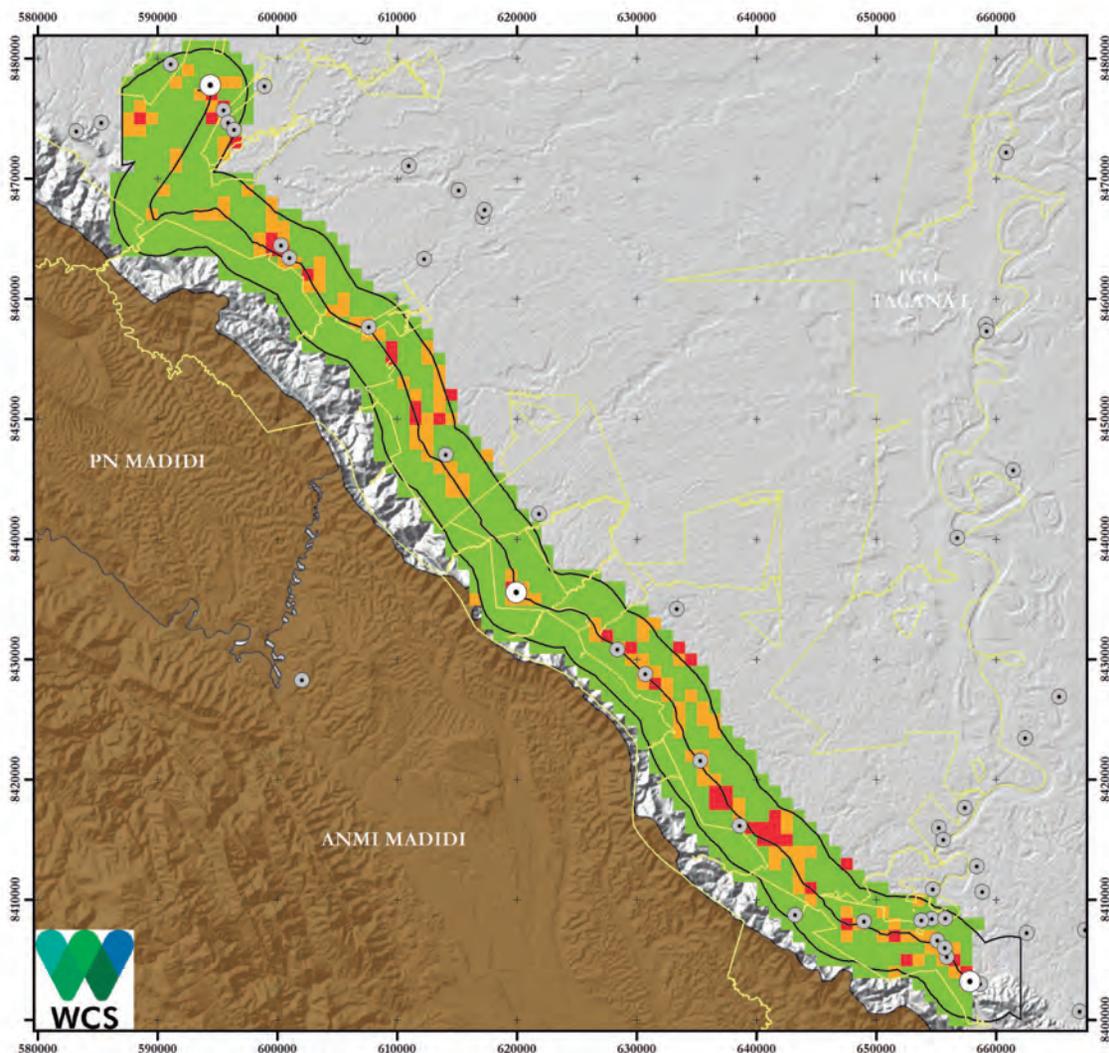


1:410,000

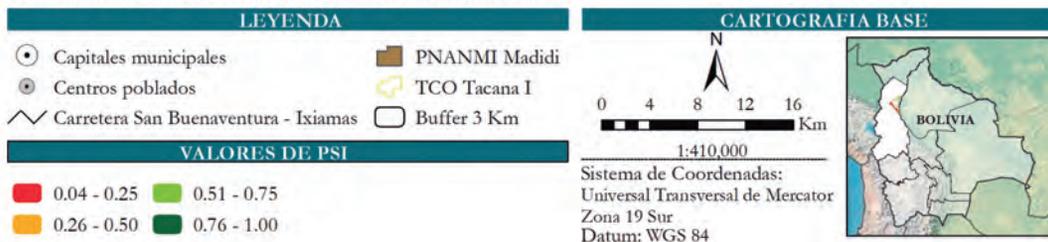
Sistema de Coordenadas:  
Universal Transversal de Mercator  
Zona 19 Sur  
Datum: WGS 84



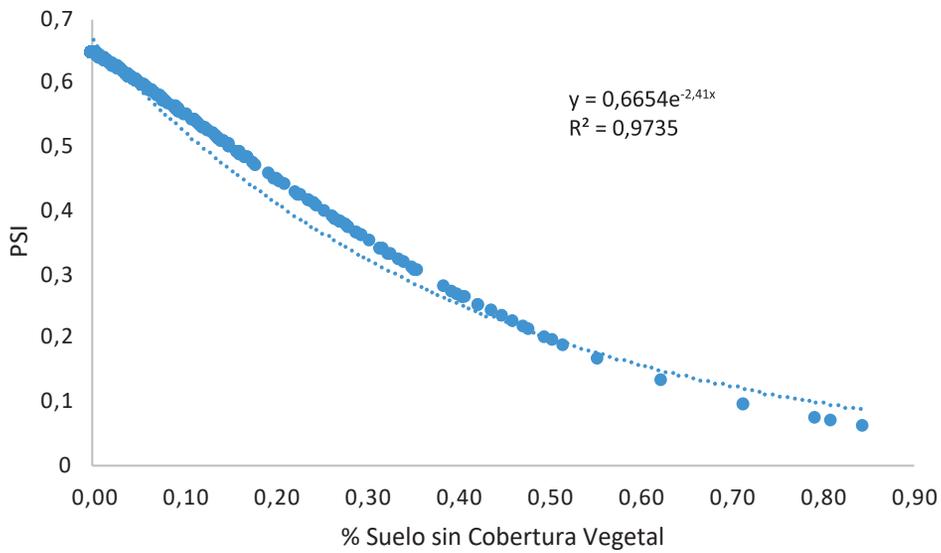
**Mapa 7.** Ocupación del huaso (*Mazama americana*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando categorías basadas en los valores de ocupación mínimos y máximos.



### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Mazama americana*



**Mapa 8.** Ocupación del huaso (*Mazama americana*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando una escala de 0 a 1 con categorías basadas en cuartiles.



**Figura 6.** Ocupación del huasco (*Mazama americana*) relacionada con la covariable de porcentaje de suelo sin cobertura vegetal.

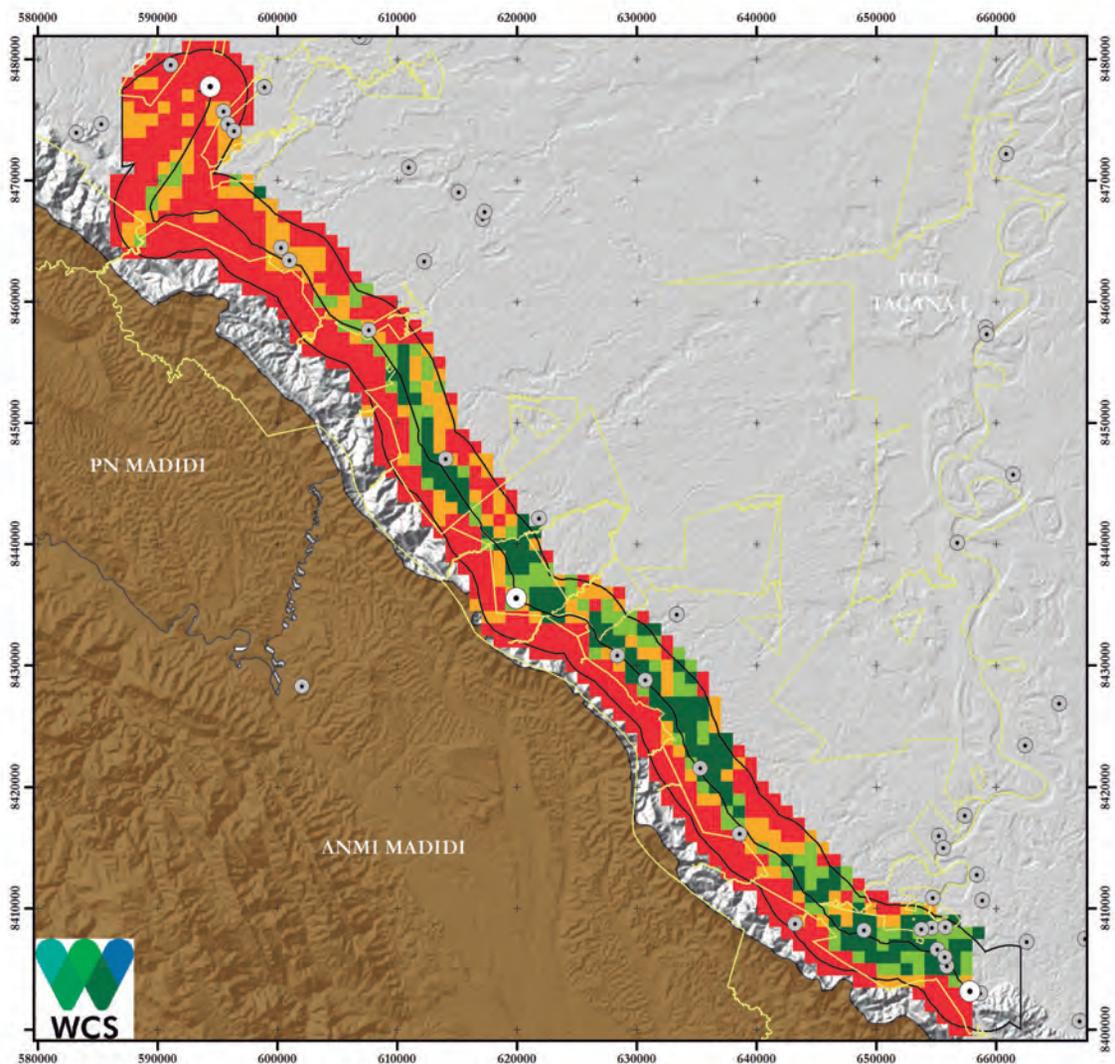
Para el jochi pintado (*Cuniculus paca*), las estimaciones de ocupación de una sola temporada ( $\psi = 0,56 \pm 0,03$ ,  $p = 0,57 \pm 0,02$ ) tuvieron límites de confianza excelentes (0,5 - 0,62), sin covariables de detección o de ocupación (Tabla 2).

Para el grupo de especies de jochis colorados (*Dasyprocta* spp.), las estimaciones de ocupación de una sola temporada promediaron dos modelos competidores ( $\psi = 0,59 \pm 0,05$ ,

$p = 0,53 \pm 0,03$ ; Figura 3d), cada uno con una covariable de ocupación diferente, y con límites de confianza razonables (0,5 - 0,68; Tabla 2). Las dos covariables en los modelos competidores representaban relaciones positivas, principalmente con el porcentaje de bosque secundario (Figura 7) y menos para la heterogeneidad del hábitat en una celda dada.



*Dasyprocta* spp. - Robert Wallace/WCS



### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Dasyprocta* spp.

#### LEYENDA

- Capitales municipales
- Centros poblados
- Carretera San Buenaventura - Ixiamas
- PNANMI Madidi
- TCO Tacana I
- Buffer 3 Km

#### VALORES DE PSI

- 0.46 - 0.52
- 0.53 - 0.63
- 0.64 - 0.77
- 0.78 - 0.93

#### INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

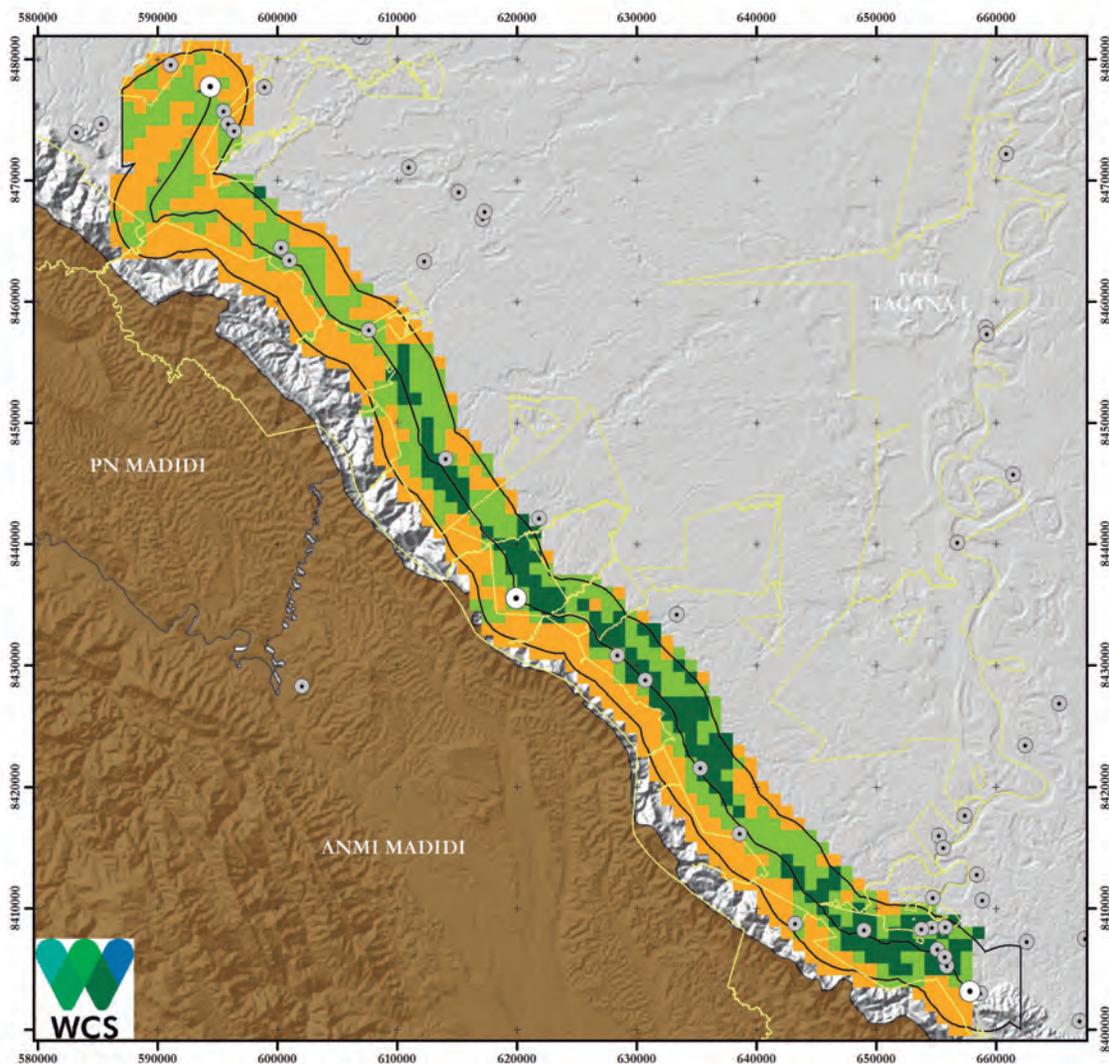


1:410.000

Sistema de Coordenadas:  
 Universal Transversal de Mercator  
 Zona 19 Sur  
 Datum: WGS 84



**Mapa 9.** Ocupación de los jochis colorados (*Dasyprocta* spp.) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando categorías basadas en los valores de ocupación mínimos y máximos.



### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Dasyprocta* spp.

#### LEYENDA

- Capitales municipales
- Centros poblados
- Carretera San Buenaventura - Ixiamas
- PNANMI Madidi
- TCO Tacana I
- Buffer 3 Km

#### VALORES DE PSI

- 0.00 - 0.25
- 0.26 - 0.50
- 0.51 - 0.75
- 0.76 - 1.00

#### INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

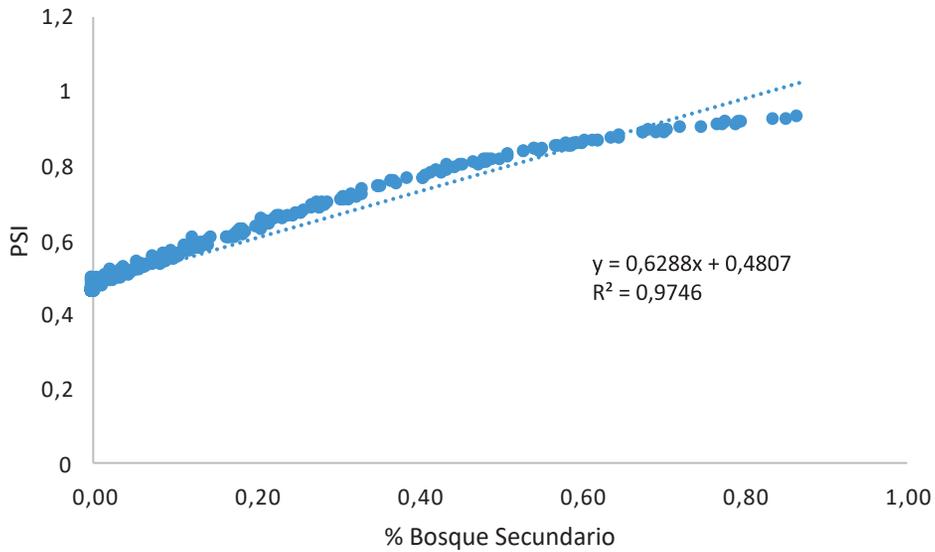


1:410.000

Sistema de Coordenadas:  
 Universal Transversal de Mercator  
 Zona 19 Sur  
 Datum: WGS 84



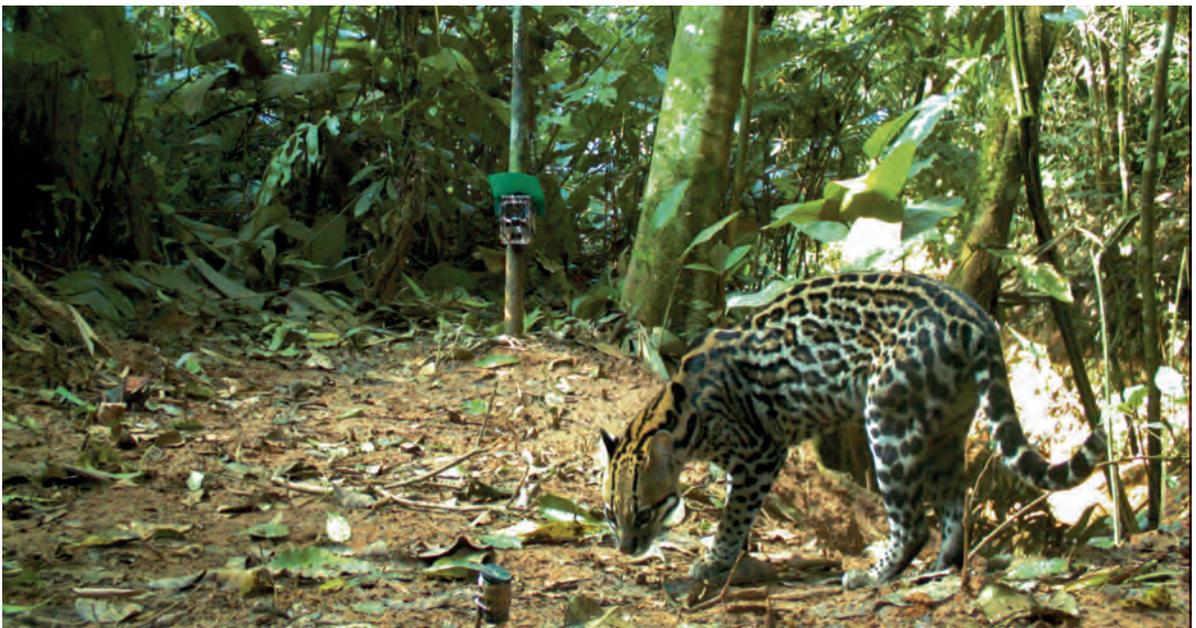
**Mapa 10.** Ocupación de los jochis colorados (*Dasyprocta* spp.) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas usando una escala de 0 a 1 con categorías basadas en cuartiles.



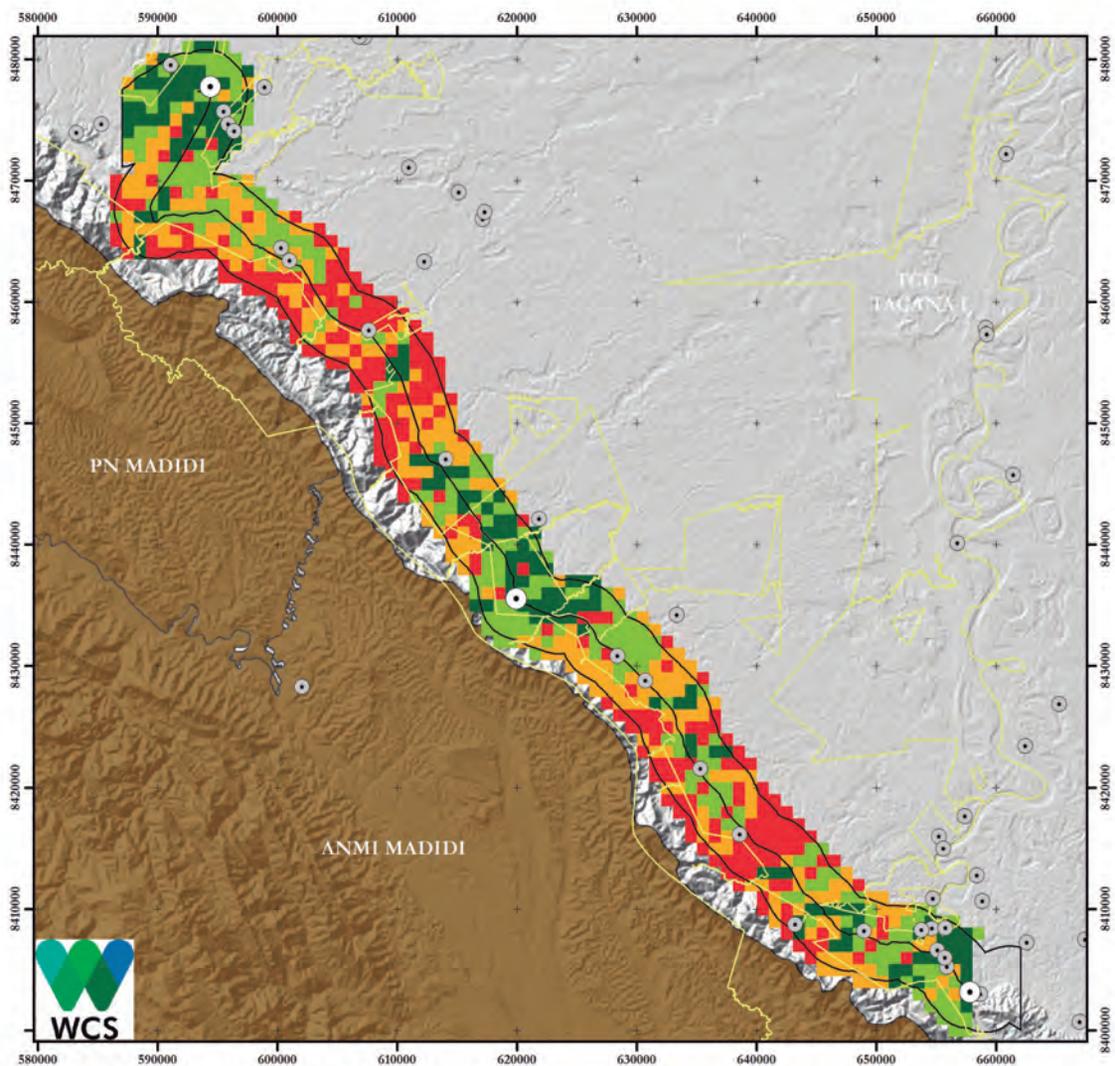
**Figura 7.** Ocupación de los jochis colorados (*Dasyprocta* spp.) relacionada con la covariable de porcentaje de cobertura de bosque secundario.

Para los pequeños felinos (*Leopardus* spp.), las estimaciones de ocupación de una sola temporada ( $\psi = 0,33 \pm 0,07$ ,  $p = 0,24 \pm 0,05$ ) tuvieron límites de confianza más amplios (0,21 - 0,48), con una covariable de detección y dos covariables de ocupación (Mapas 11 y 12, Tabla 2). La probabilidad de detección estuvo influida por el tiempo transcurrido desde la última lluvia, de hecho, las probabilidades más altas se dieron justo después de la lluvia. Las huellas de los carnívoros pequeños son frágiles y

luego de unos días tienden a desaparecer en la mayoría de los sustratos. La probabilidad de que un animal pase por un determinado lugar y deje huellas detectables es también mayor cuando los sustratos son húmedos. Por lo tanto, la detección de felinos pequeños fue mayor inmediatamente después de la lluvia. La covariable de ocupación más fuerte fue una relación negativa con la distancia a los ríos y arroyos (Figura 8). Una relación positiva débil también ocurrió con respecto a la heterogeneidad del hábitat (Figura 9).



*Leopardus pardalis* - Guido Ayala & María Viscarra/WCS



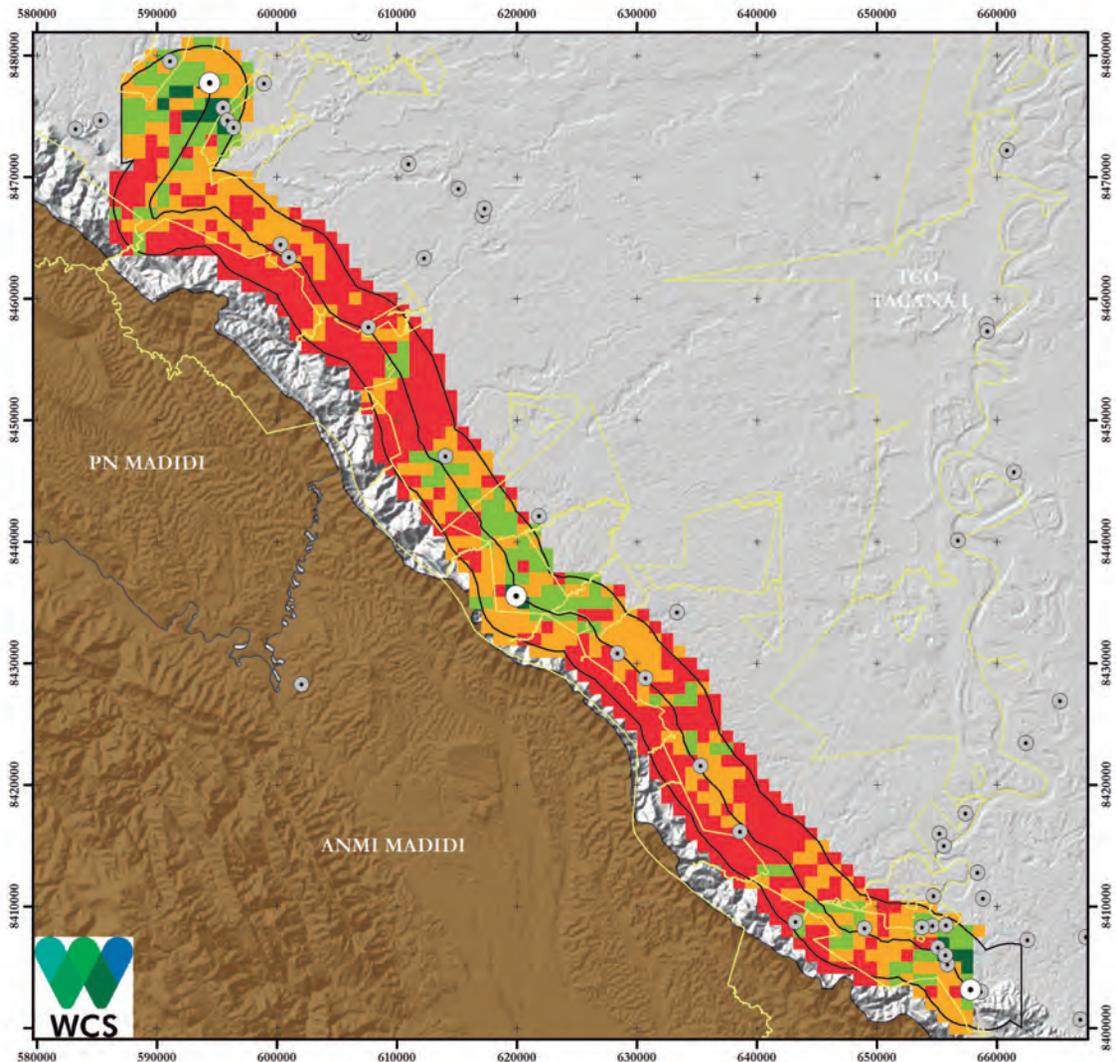
### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Leopardus* spp.

LEYENDA	
●	Capitales municipales
⊙	Centros poblados
—	Carretera San Buenaventura - Ixiamas
■	PNANMI Madidi
□	TCO Tacana I
○	Buffer 3 Km

VALORES DE PSI	
■	0.001 - 0.15
■	0.16 - 0.33
■	0.34 - 0.53
■	0.54 - 0.86

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	
 0 4 8 12 16 Km 1:410.000	
Sistema de Coordenadas: Universal Transversal de Mercator Zona 19 Sur Datum: WGS 84	
	

**Mapa 11.** Ocupación de pequeños felinos (*Leopardus* spp.) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando categorías basadas en los valores de ocupación mínimos y máximos.



**ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Leopardus spp.***

LEYENDA	
●	Capitales municipales
⊙	Centros poblados
—	Carretera San Buenaventura - Ixiamas
■	PNANMI Madidi
⬭	TCO Tacana I
⬭	Buffer 3 Km

VALORES DE PSI	
■	0.00 - 0.25
■	0.26 - 0.50
■	0.51 - 0.75
■	0.76 - 1.00

**CARTOGRAFIA BASE**

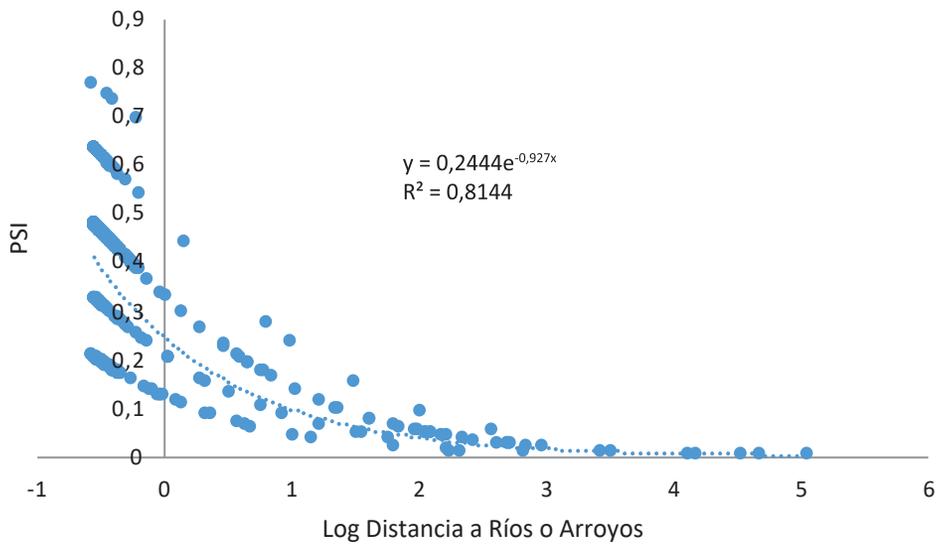
N

0 4 8 12 16 Km

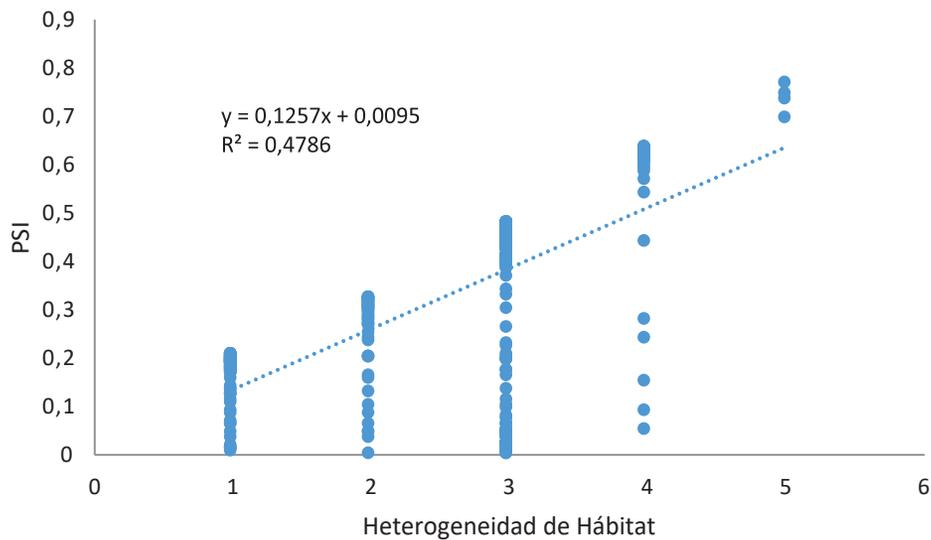
1:410.000

Sistema de Coordenadas:  
 Universal Transversal de Mercator  
 Zona 19 Sur  
 Datum: WGS 84

**Mapa 12.** Ocupación de pequeños felinos (*Leopardus spp.*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando una escala de 0 a 1 con categorías basadas en cuartiles.



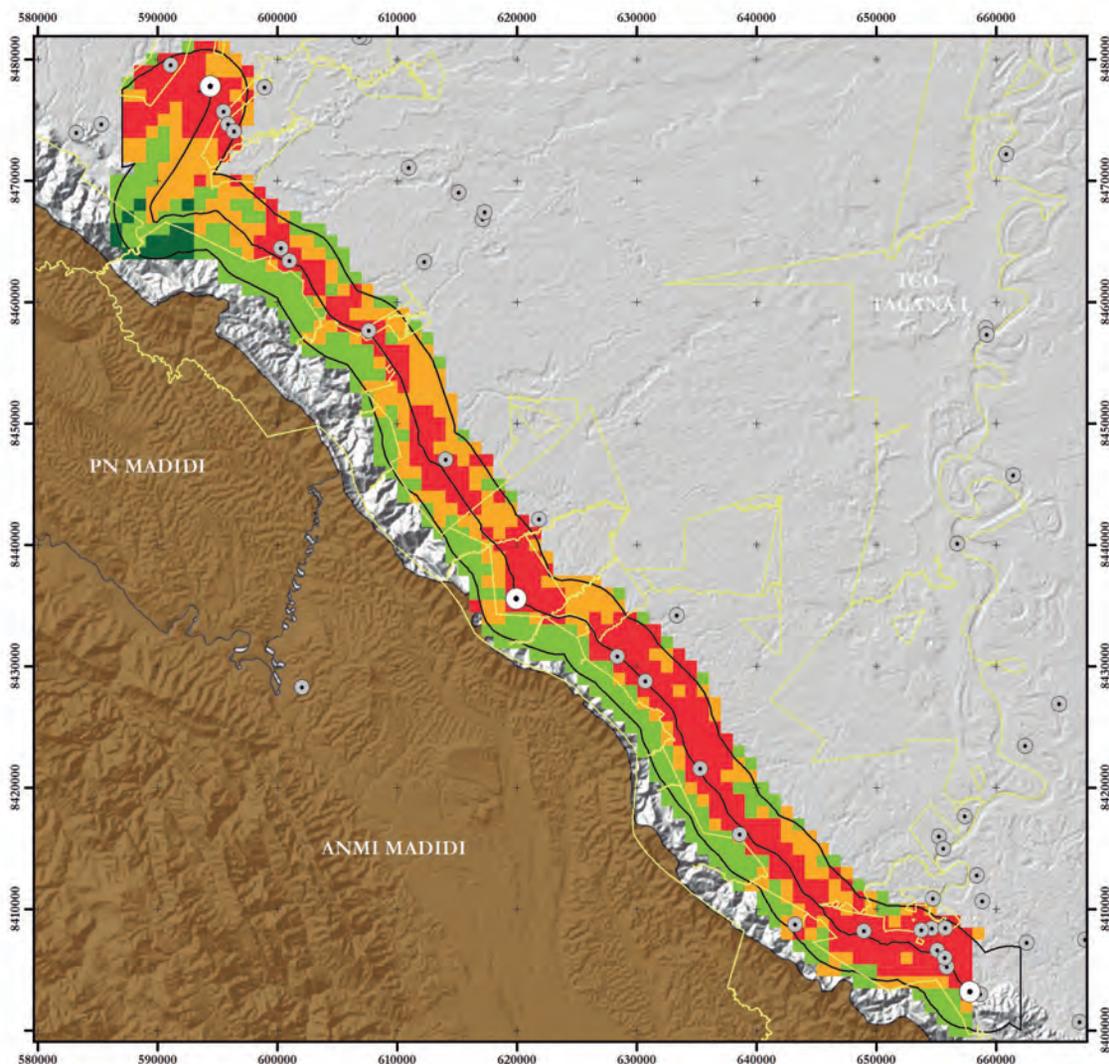
**Figura 8.** Ocupación de pequeños felinos (*Leopardus* spp.) relacionada con la covariable de distancia a los ríos y arroyos.



**Figura 9:** Ocupación de pequeños felinos (*Leopardus* spp.) relacionada con la covariable de heterogeneidad del hábitat.

Para las dos especies con amplias áreas de acción, PRESENCE proporcionó modelos de ocupación robustos; sin embargo, las estimaciones de uso del espacio para el jaguar ( $\psi = 0,11 \pm 0,02$ ,  $p = 0,39 \pm 0,07$ ) y los chanchos de tropa ( $\psi = 0,17 \pm 0,07$ ,  $p =$

$0,3 \pm 0,06$ ) fueron bajas (Mapas 13 & 14, Tabla 2). En el caso del jaguar, el modelo de ocupación de una sola temporada sin covariables de detección o de ocupación.



### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Tayassu pecari*

#### LEYENDA

- Capitales municipales
- Centros poblados
- ∩ Carretera San Buenaventura - Ixiamas
- PNANMI Madidi
- TCO Tacana I
- Buffer 3 Km

#### VALORES DE PSI

- 0.05 - 0.13
- 0.14 - 0.22
- 0.23 - 0.31
- 0.32 - 0.39



#### INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

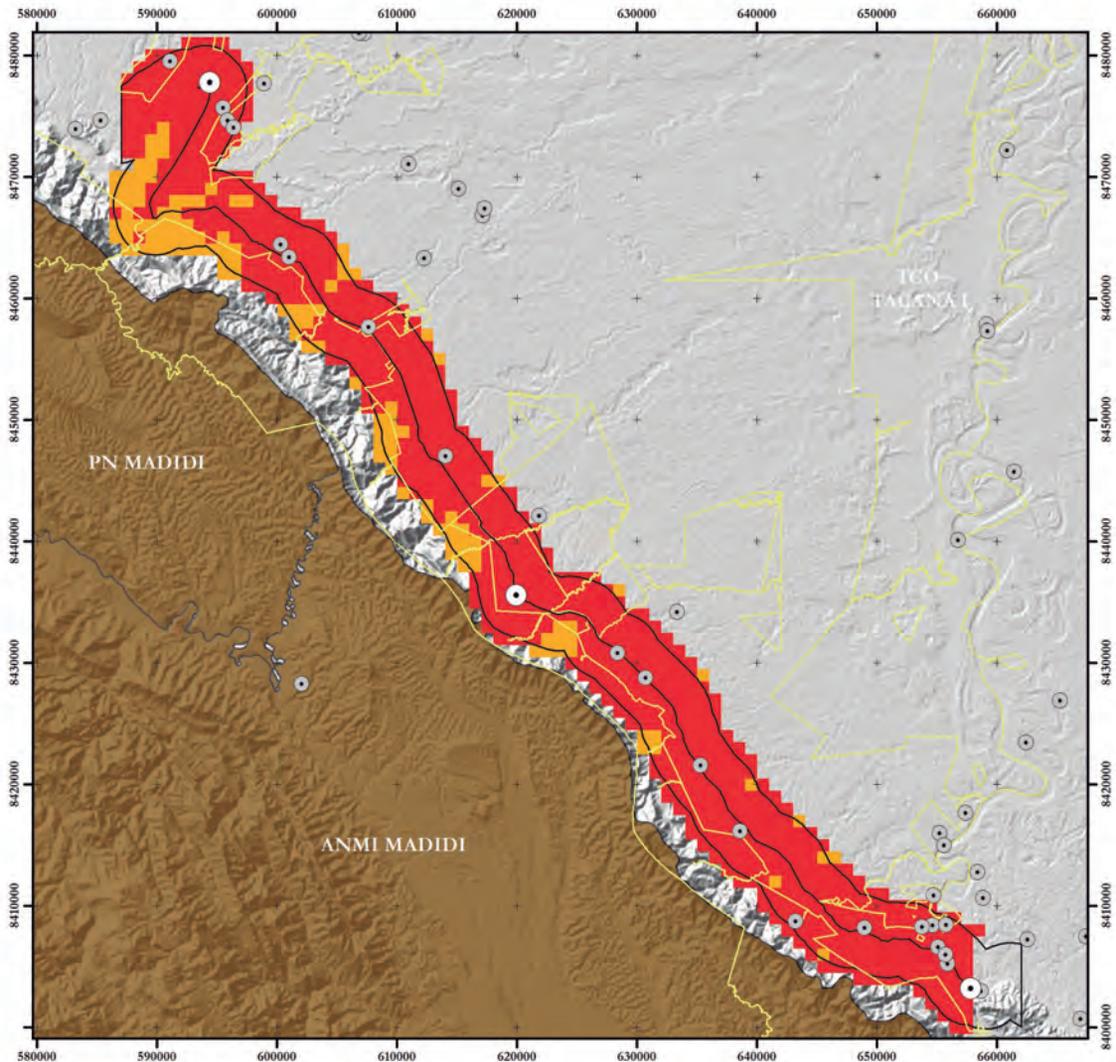


1:410,000

Sistema de Coordenadas:  
 Universal Transversal de Mercator  
 Zona 19 Sur  
 Datum: WGS 84



**Mapa 13.** Estimaciones del uso del espacio por los chanchos de tropa (*Tayassu pecari*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, utilizando categorías estandarizadas basadas en los valores de ocupación mínimos y máximos.



**ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Tayassu pecari***

LEYENDA	
	Capitales municipales
	Centros poblados
	Carretera San Buenaventura - Ixiamas
	PNANMI Madidi
	TCO Tacana I
	Buffer 3 Km

VALORES DE PSI	
	0.05 - 0.25
	0.26 - 0.50
	0.51 - 0.75
	0.76 - 1.00

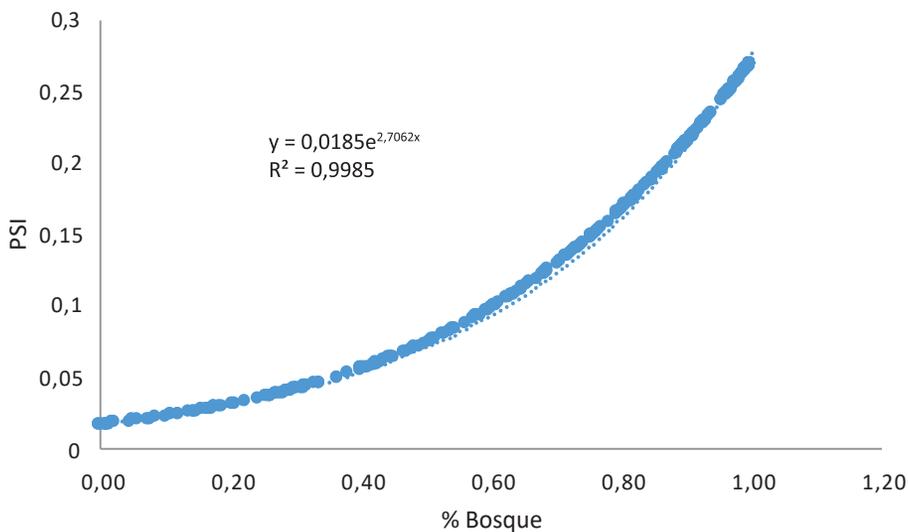


CARTOGRAFIA BASE	
1:410,000	
Sistema de Coordenadas: Universal Transversal de Mercator Zona 19 Sur Datum: WGS 84	

**Mapa 14.** Estimaciones del uso del espacio por los chanchos de tropa (*Tayassu pecari*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, utilizando una escala de 0 a 1 con categorías basadas en cuartiles.

Para el chanco de tropa, la probabilidad de detección estuvo influida por el tiempo desde la última lluvia, y esta probabilidad aumentó con las lluvias. Se promediaron tres modelos competidores, cada uno con una covariable de ocupación además de la covariable de detección. Las tres covariables fueron: porcentaje de bosque (Figura 10), que se

relacionó positivamente con la presencia del chanco de tropa en una celda determinada; heterogeneidad del hábitat, que se relacionó negativamente con la presencia del chanco de tropa; y distancia a las comunidades, que se relacionó positivamente con el registro de huellas del chanco de tropa en una celda de muestreo.



**Figura 10.** Uso del espacio por el chanco de tropa (*Tayassu pecari*) con la covariable de porcentaje de bosque.



*Tayassu pecari* - Guido Ayala & María Viscarra/WCS

# Discusión

---

## Entrevistas y corredores

Las diversas técnicas de entrevistas, y los grupos objetivos, proporcionaron una valiosa información sobre la ubicación de los corredores de vida silvestre a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Lixamas, que en varios casos fueron identificados por cuatro métodos diferentes a lo largo de un período de 12 años. Esto subraya que quizás no es sorprendente que, por medio de entrevistas, la población local con conocimientos de la vida silvestre pueda proporcionar información útil sobre la planificación de la conservación. Sin embargo, dado que la mayoría de los entrevistados (89,9 %) eran miembros de comunidades indígenas tacanas a lo largo de la carretera, las observaciones de la fauna y los corredores identificados durante los Diagnósticos Rurales Participativos (CIPTA & WCS, 2002) se concentraron en áreas cercanas (a menos de 10 km) de esas comunidades. Esto resalta sobre todo por el hecho de que muy pocos corredores fueron identificados en un tramo de 35 km, entre San Buenaventura y Tumupasa, donde no hay comunidades tacanas (Figura 2).

## Ocupación y uso del espacio

Los análisis exploratorios revelaron que subdividir los datos en tres segmentos de 100 m o réplicas espaciales eliminaba el problema de autocorrelación espacial para la mayoría de las especies estudiadas. Estudios futuros deberán explorar la correlación espacial con más profundidad, con el fin de realizar recomendaciones de un diseño de estudio apropiado para especies de mamíferos medianos y grandes de la Amazonía. De todas maneras, respecto a este estudio, una vez que los datos fueron subdivididos, éstos respondieron mejor a los modelos de ocupación simples de una temporada por una especie, superando los modelos de correlación espacial (Hines *et al.*, 2010).

Para mejorar las probabilidades de detección de la ocupación de los grandes carnívoros neotropicales (*Panthera onca*, *Puma concolor* y *Tremarctos ornatus*), así como para precisar mejor las estimaciones de ocupación de la fauna silvestre, en general, recomendamos la definición de tres transectos de 600 m para estudios basados en rastros (Isasi-Catalá *et al.*, 2019; Marquez *et al.*, 2017), a fin de aumentar de manera efectiva el muestreo en la celda por un factor de seis en comparación con el de este estudio.

El diseño del estudio proporcionó resultados de ocupación sólidos para la mayoría de las especies objetivo –incluida la fauna silvestre con baja densidad de población, como el tapir– que a menudo se ven amenazadas en paisajes con una actividad humana significativa (Medici *et al.* 2007; Taber *et al.* 2009). Sin embargo, los resultados de ocupación que describen el uso del espacio por el jaguar ( $\psi = 0,11$ ) y los chanchos de tropa ( $\psi = 0,16$ ), a lo largo de la carretera, están por debajo del rango recomendado para los estudios de ocupación ( $\psi = 0,2 - 0,8$ , MacKenzie *et al.*, 2006). Las estimaciones también tienen errores estándar pequeños y buenas probabilidades de detección, por lo que pueden facilitar el monitoreo de la fauna a largo plazo. El porcentaje de celdas muestreadas en este estudio fue relativamente alto (39,77 %); sin embargo, con el fin de aumentar aún más las probabilidades de detección, se recomienda ampliar el esfuerzo de muestreo en cada celda de muestra seleccionada.

Para las especies con bajos valores de ocupación, los resultados proporcionan ideas sobre las covariables que son importantes de considerar en la planificación de la conservación. Para los chanchos de tropa, la probabilidad de detección aumentó mientras más tiempo pasó desde la última lluvia. Los grupos de chanchos de tropa son grandes, hasta de 300 animales (Aliaga-Rossel & Painter, 2010), y las huellas de una tropa son resistentes y sólo son verdaderamente eliminadas con eventos de lluvia significativos. Por lo tanto, para esta especie el tiempo que pasó desde la última lluvia es equivalente al tiempo total muestreado. Los chanchos de tropa usaron las celdas con un alto porcentaje de bosque, como se esperaba de esta especie especialista en bosques (Aliaga-Rossel & Painter, 2010; Taber *et al.*, 2009).

Respecto a los chanchos de tropa, la probabilidad de detección aumentó mientras más tiempo pasó desde la última lluvia. Los grupos de chanchos de tropa son grandes, hasta de 300 animales (Aliaga-Rossel & Painter, 2010), y las huellas de una tropa son resistentes y sólo son verdaderamente eliminadas con eventos de lluvia significativos. Por lo tanto, para esta especie el tiempo que pasó desde la última lluvia es equivalente al tiempo total muestreado. Los chanchos de tropa usaron las celdas con un alto porcentaje de bosque, como se esperaba de esta especie especialista en bosques (Aliaga-Rossel & Painter, 2010; Taber *et al.*, 2009).

Para las otras especies objetivo, la ocupación fue extremadamente efectiva, con valores de ocupación aceptables y límites de confianza generalmente estrechos del 95 %, lo que sugiere que los esfuerzos de monitoreo con este diseño de muestreo, o incluso con una mayor intensidad de muestreo dentro de cada celda, proporcionará resultados relevantes en el futuro. En conjunto, los resultados de las siete especies y de los dos grupos de especies de la fauna silvestre, con valores de ocupación robustos, revelan una serie de características comunes en términos de covariables de detección y de ocupación relevantes para el área de estudio, así como algunas diferencias esperadas.

En el caso del tapir, la única covariable de detección relevante fue si el muestreo se realizó en un arroyo o no. Las huellas del tapir son las huellas más detectables y resistentes en la Amazonía, pero también se conoce que esta especie prefiere los hábitats que se hallan cerca del agua (Ayala & Wallace, 2010). Por otro lado, el tiempo transcurrido desde la última lluvia fue importante para los pequeños felinos, ya que, a diferencia de los chanchos de tropa, a medida que el tiempo pasaba desde la última lluvia, la probabilidad de detección bajaba debido a la relativa fragilidad de las huellas de los carnívoros de tamaño mediano y pequeño.

En general, la covariable de ocupación más fuerte para el tapir, el taitetú y el huaso fue la medida indirecta del grado de actividad humana intensiva presente en una celda de muestreo (porcentaje de suelo sin cobertura vegetal). Este resultado refleja la reconocida vulnerabilidad de este conjunto de especies a la caza en el Neotrópico (Robinson & Redford, 1991) y subraya la utilidad de esta covariable para explicar los patrones de ocupación de la fauna en el área de estudio.

También se reportaron relaciones más débiles de dos de las otras covariables antropogénicas, con respecto al taitetú y el tapir, que son especies vulnerables a la cacería: la distancia a los centros poblados grandes (taitetú) y la distancia a la carretera principal (tapir). Los centros poblados más grandes del área de estudio comprenden a San Buenaventura (3.416 personas en el censo de 2012), Rurrenabaque (13.446 personas en el censo de 2012) e Ixiamas (3.952 personas en el censo de 2012) (INE, 2012). En consecuencia, no es sorprendente que los valores de ocupación se hayan reducido notablemente en las cercanías a estos poblados, donde la caza, la degradación de los bosques y la destrucción del hábitat, durante la última década de crecimiento de la población humana (crecimiento poblacional 2001-2012: Ixiamas 123 %, Rurrenabaque 59 % y San

Buenaventura 51 %), han generado impactos en la vida silvestre. Los taitetús son una de las especies menos crípticas en el estudio, lo cual explica que con el tiempo su presencia haya sido erradicada de las áreas cercanas a los pueblos grandes. La carretera principal permite el acceso a la caza, a las actividades forestales formales y a la tala ilegal, así como el flujo del transporte público.

La ocupación o uso del hábitat cerca de los arroyos y ríos fue mayor para los felinos pequeños, lo cual refleja su preferencia por la proximidad al agua (Wallace *et al.*, 2010). Mientras que los jochis colorados fueron más frecuentes en las celdas con presencia de bosque secundario. Se sabe que los jochis colorados abundan en bosques fragmentados y secundarios (Jorge, 2008). La heterogeneidad del hábitat en una celda dada aumentó la ocupación de los jochis colorados y de los pequeños felinos.

En general, los valores de ocupación de este estudio fueron ampliamente comparables con estudios previos. En el caso de los tapires, la ocupación a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas ( $\psi = 0,39$ ) fue menor que la observada para *Tapirus bairdii* en Los Chimalapas, México ( $\psi = 0,81$ , Pérez-Irineo & Santos-Moreno, 2016) o para *Tapirus terrestris* en dos áreas protegidas nacionales en el Escudo de la Guayana, en Colombia ( $\psi = 0,56 - 0,68$  Parque Nacional Natural Tuparro y Reserva Natural Nacional Puinawai, Gómez *et al.*, 2016). En el bosque atlántico brasileño, la ocupación del tapir fue mayor en las áreas protegidas (0,83) (Cruz *et al.*, 2014), comparable con el estudio de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, con valores de ocupación de 0,5 en áreas boscosas de protección intermedia y 0,4 en áreas con bajos niveles de protección. En el vecino sur del Perú, los valores de ocupación del tapir de tierras bajas fueron de 0,85 en llanuras de inundación relativamente tranquilas y en bosques de tierra firme (Tobler *et al.*, 2015).

Los estudios previos de ocupación de ciervos (*Mazama* spp.) han sido significativamente altos, entre 0,82 y 1 (Gómez *et al.*, 2016; Licona *et al.*, 2011; Pérez-Irineo & Santos-Moreno, 2016). En un estudio realizado en el bosque atlántico en Brasil, la ocupación de los huasos fue mayor en sitios con una alta densidad de árboles grandes y en áreas con distancias mayores a los 500 m del cuerpo agua (Ferreguetti *et al.*, 2015). En el sureste de México, la ocupación de los huasos aumentó a medida que se incrementaba la distancia a la población humana más cercana, reflejando los resultados obtenidos a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas y tomando en cuenta que en este estudio la covariable de porcentaje de suelo sin cobertura vegetal representó el nivel de la influencia

humana. En el sur del Perú, los niveles de ocupación fueron de 0,67 en bosques de llanuras aluviales y 0,71 en bosques de tierra firme (Tobler *et al.*, 2015).

Del mismo modo, los valores de ocupación publicados para los taitetúes son altos en dos áreas protegidas en el Escudo de la Guayana, en Colombia (0,89 - 0,93; Gómez *et al.*, 2016), así como en la Reserva Nacional Tambopata, en el sur de Perú (0,93; Licona *et al.*, 2011), y 0,68 a 0,7 en estudio más amplio en Madre de Dios (Tobler *et al.*, 2015). Los valores de ocupación de la especie en una zona no protegida del sureste de México (0,59; Pérez-Irineo & Santos-Moreno, 2016) y en un área protegida y sus alrededores en el Cerrado brasileño (0,5; Paolino *et al.*, 2016) fueron comparables con los resultados aquí reportados ( $\psi = 0,5$ ).

El uso derivado de la ocupación de los chanchos de tropa a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas ( $\psi = 0,17$ ) fue considerablemente menor que el de los sitios de estudio mencionados anteriormente en Colombia (0,44 - 0,51; Gómez *et al.*, 2016), México (0,32; Pérez-Irineo & Santos-Moreno, 2016) y en el Madre de Dios en el sur de Perú ( $\psi = 0,64 - 0,93$ ; Tobler *et al.*, 2015), enfatizando el valor de los corredores identificados para mantener la conectividad entre el Parque Nacional Madidi y las tierras bajas circundantes.

Un estudio previo de los jochis colorados (*Dasyprocta azarae*) en el Pantanal brasileño mostró una variación estacional en la ocupación entre 0,39 y 0,83 (Cid *et al.*, 2013), con valores significativamente más bajos observados en la estación seca. Los resultados obtenidos durante la temporada seca boliviana son intermedios ( $\psi = 0,59$ ), lo que sugiere una floreciente población de jochis colorados dentro del sitio de estudio. De hecho, se acercan a los niveles reportados para sitios relativamente protegidos en el sur del Perú (0,66 - 0,73; Tobler *et al.*, 2015). Por otro lado, dentro y en los alrededores de un área protegida en el Cerrado brasileño, además del sur del Perú, la ocupación de *Leopardus* fue más alta ( $\psi = 0,66$ , Paolino *et al.*, 2016;  $\psi = 0,65 - 0,85$ ; Tobler *et al.*, 2015) que a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas ( $\psi = 0,33$ ).

Finalmente, aunque las probabilidades de detección del jaguar derivadas de la ocupación son comparables con estudios previos (Arroyo-Arce *et al.*, 2014; Zeller *et al.*, 2011), los valores reales de ocupación fueron bastante más bajos, lo que refleja los impactos del camino, especialmente si se considera que dentro del Parque Nacional Madidi, contiguo a la carretera, las poblaciones de jaguares son relativamente altas (Silver *et al.*, 2004; Wallace *et al.*, 2003) y que éstas se están recuperando satisfactoriamente (WCS, datos no publicados).



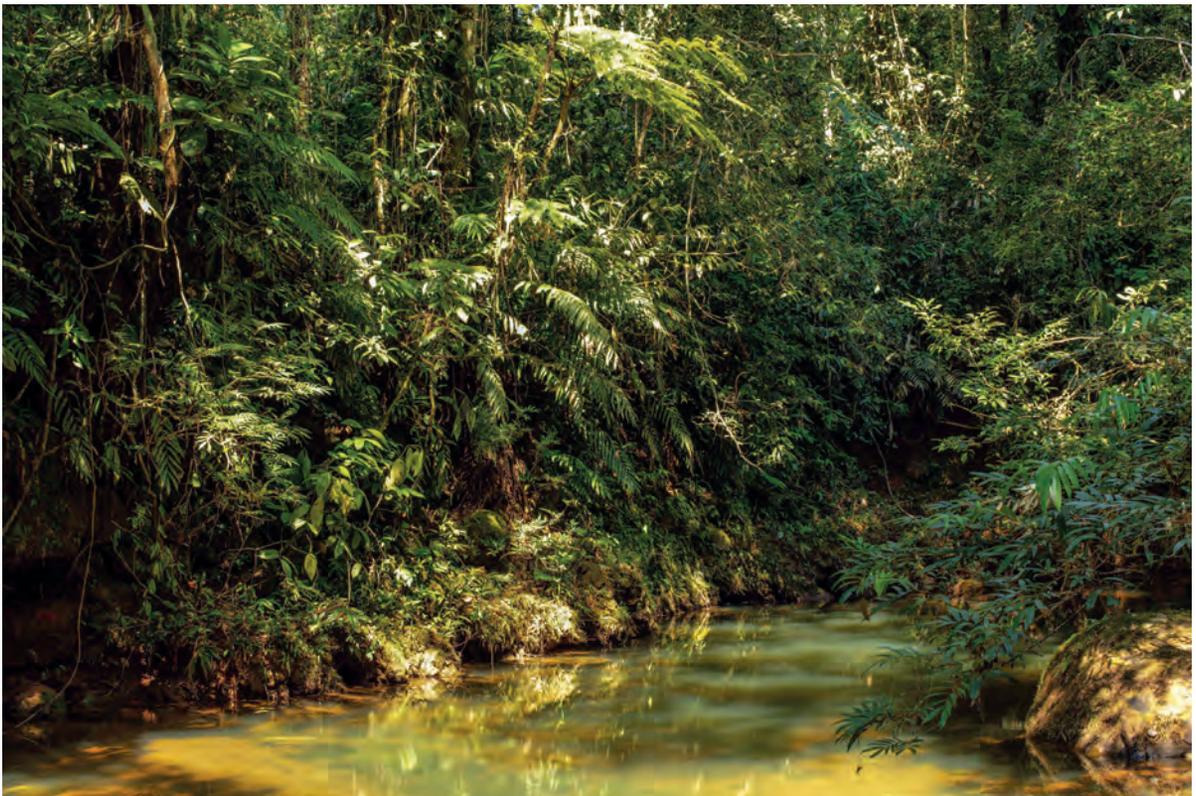
Omar Torrico/WCS

Los datos de la población de la fauna silvestre de los valles del Tuichi y Hondo, dentro del área protegida de Madidi, inmediatamente adyacente al camino, demuestran la recuperación de las poblaciones de varias de las especies de estudio, entre 2001 y 2014, incluidas las del tapir (Wallace *et al.*, 2012) y el jaguar (Ayala *et al.*, sometido). Esta recuperación lograda desde la creación del parque enfatiza la importancia de Madidi como una fuente para muchas especies de la fauna silvestre que son aprovechadas por los cazadores indígenas tradicionales del territorio Tacana. Por lo tanto, el mantenimiento de corredores prioritarios de la fauna silvestre no es solo un paso crucial para la conservación de muchas especies carismáticas y amenazadas en el paisaje, sino que también es crucial para la seguridad alimentaria y el resguardo de las tradiciones culturales del pueblo Tacana del norte de La Paz, en particular, así como de muchos otros pueblos indígenas amazónicos que dependen en gran medida de la vida silvestre como una fuente de proteínas (Townsend *et al.*, 2020). Promover la conservación de los corredores también asegurará una mejor protección de las cuencas hidrográficas, ya que varios de los corredores identificados están asociados a los ríos y arroyos que se originan en las últimas estribaciones de los Andes.

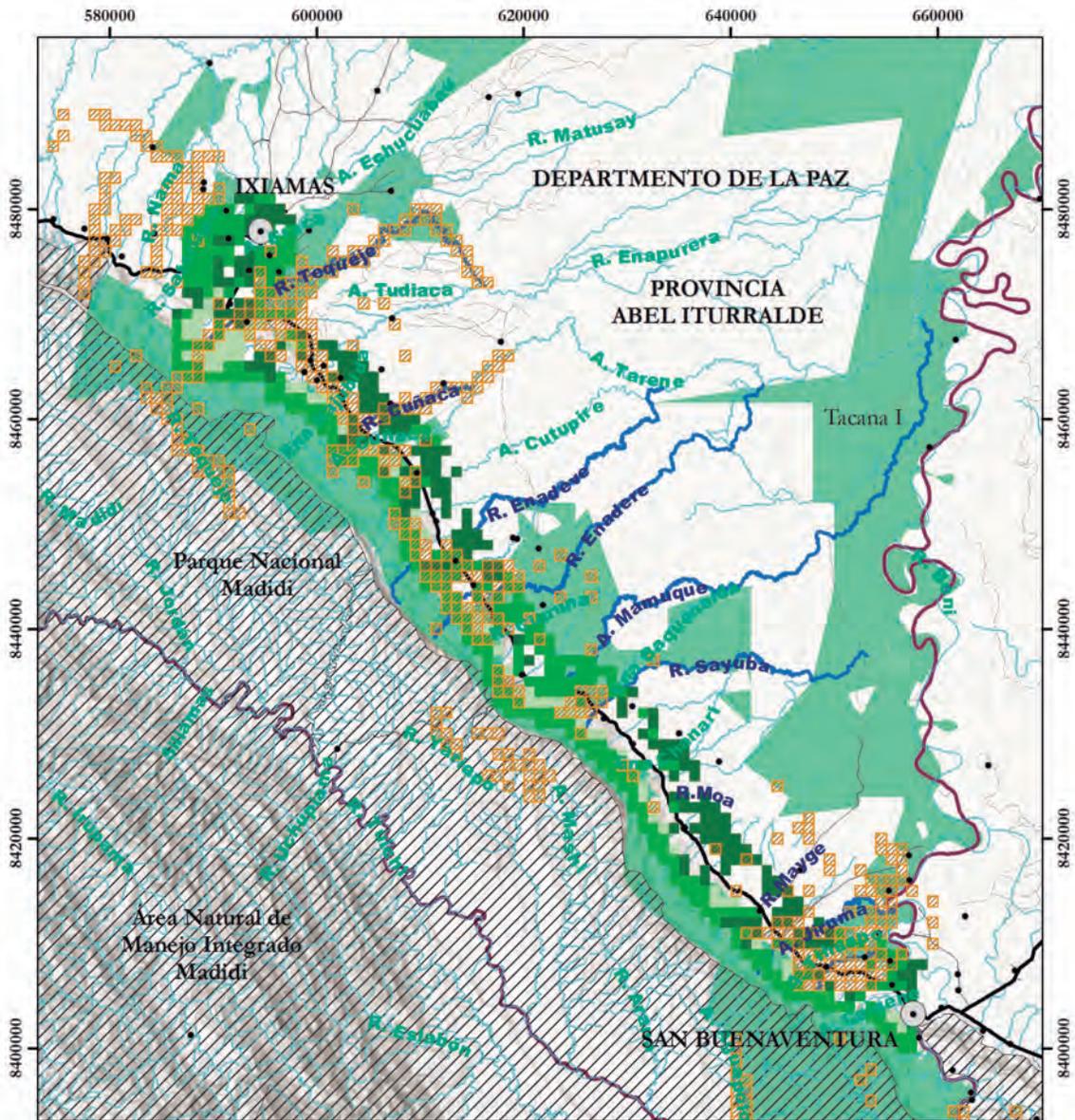
Las entrevistas con la población local resaltan la importancia de los siguientes corredores a lo largo de la carretera (Mapa 2):

- (1) entre los ríos Jiruma y Zapata, cerca de San Buenaventura;
- (2) entre los ríos Mamuque y Sayuba, cerca de Tumupasa;
- (3) entre los ríos Enadere y Enadeve, cerca de Tumupasa;
- (4) y especialmente entre los ríos Cuñaca y Tequeje, entre Tumupasa e Ixiamas.

En conjunto, los resultados de ocupación de cinco especies de mamíferos grandes refuerzan la importancia de estos cuatro corredores y también de un corredor adicional, de quinta prioridad, identificado a lo largo de la carretera (Mapa 15), entre los ríos Mayge y Moa, entre San Buenaventura e Ixiamas. Se recomienda que estos cinco corredores tengan una máxima atención en los esfuerzos de mitigación de impacto durante el proyecto de mejora vial. Otros estudios podrían emplear cámaras trampa para examinar y monitorear la frecuencia del uso de la fauna a lo largo de la carretera (O'Brien, 2016; O'Brien & Kinnaird, 2013).

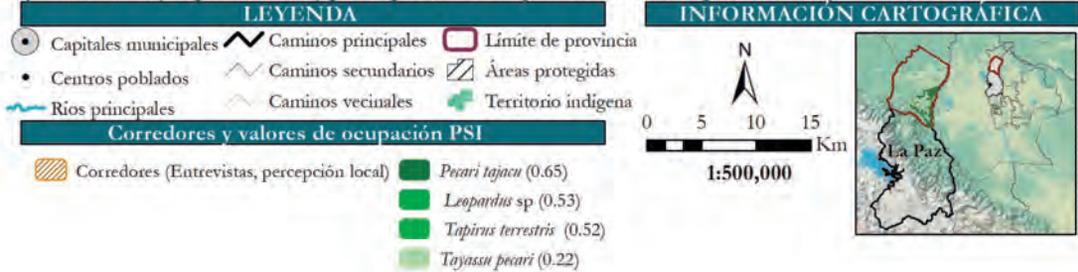


Robert Wallace/WCS



### CORREDORES DE FAUNA

(Entrevistas, reporte local, percepción local y valores de ocupación PSI)



Mapa 15. Corredores identificados por las comunidades y corredores basados en los datos de ocupación a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando cuatro especies de mamíferos.

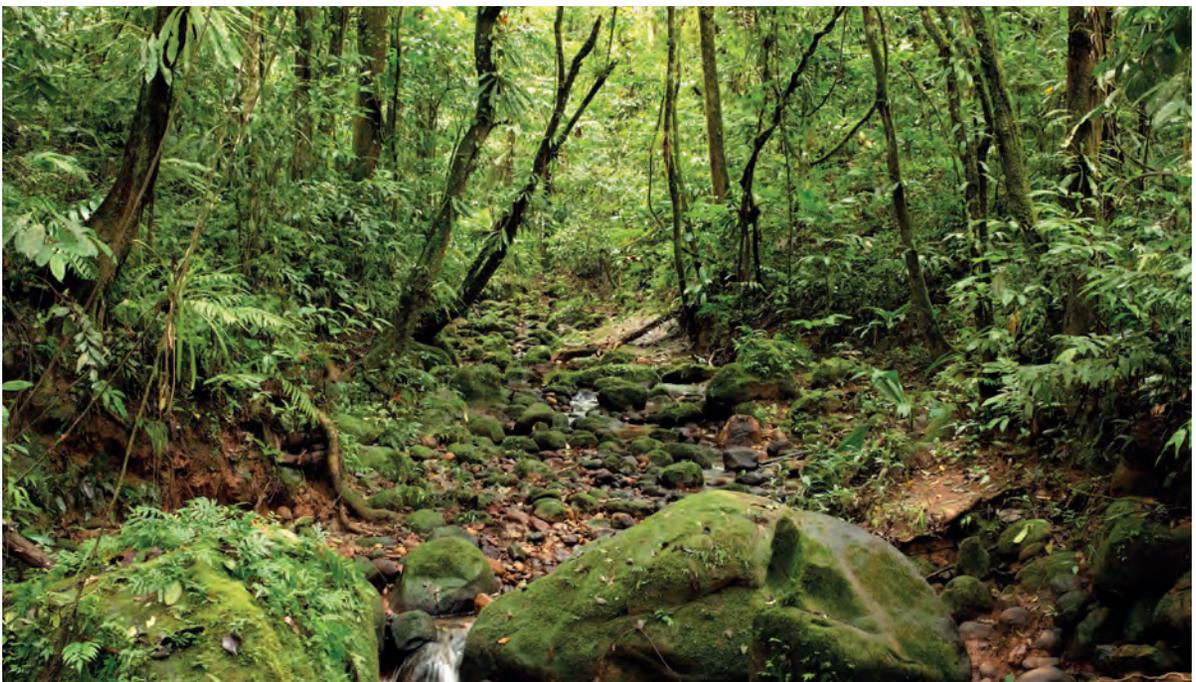
Los métodos combinados utilizados mediante las entrevistas a los cazadores de las comunidades y a otros expertos informantes locales sobre la fauna silvestre y los relevamientos de datos de ocupación basados en rastros, demostraron ser un método extremadamente rentable para identificar y, posteriormente, verificar y localizar de forma independiente otros corredores prioritarios de la fauna silvestre. Las cámaras trampa dentro de los corredores identificados proporcionarían información sobre la frecuencia del uso del hábitat. Reconocemos que el estudio de ocupación mejoraría aún más con un mayor esfuerzo de muestreo dentro de una celda determinada, y que las futuras actividades de monitoreo de la fauna silvestre a lo largo de la carretera se beneficiarán considerando esta recomendación. Sin embargo, los resultados aquí presentados constituyen una línea de base sólida con la cual se puede monitorear la vida silvestre dentro del proyecto de mejoramiento vial de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas.

El potencial del modelamiento de la ocupación para el monitoreo de la fauna, es significativo, dado que, en general, compite favorablemente con otros métodos en términos de costo-efectividad, especialmente desde una perspectiva espacial del tamaño del área que se puede estudiar con relativa rapidez. En este trabajo, se presentaron los resultados de los modelos de ocupación de una sola estación por especie, que proporcionan una adecuada comprensión de cómo la ocupación de la vida silvestre responde al

mundo natural, así como también a las amenazas antropogénicas. A medida que los datos se acumulan, los modelos de ocupación de varias estaciones pueden ser usados para el monitoreo a lo largo del tiempo y proveer insumos para el manejo adaptativo (Nichols & Williams, 2013), lo que permitirá refinar y monitorear las covariables más importantes para cada especie y, a lo largo de varias iteraciones, evaluar la efectividad de las acciones específicas de conservación.

Finalmente, presentamos en los Anexos del 1 al 8 las fichas estándares de monitoreo, según las recomendaciones de Isasi-Catalá y colegas (2019), para cada especie o grupo de especies, que fueron diseñados para apoyar a los actores locales en la interpretación del estudio y en el uso de los datos para definir acciones de conservación, como las comunidades a lo largo del camino, el CIPTA, el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Madidi, los municipios de San Buenaventura e Ixiamas y sobre todo la Administradora Boliviana de Carreteras y las empresas encargadas de la construcción del camino.

Cada ficha resume los resultados de los estudios de ocupación e incluye un análisis de la potencia del monitoreo (Guillera-Arroita & Lahoz-Monfort, 2012), que se presentan en la Tabla 3 y que consideran dos diferentes escenarios de esfuerzo en una propuesta de un segundo muestreo en el futuro.



Robert Wallace/WCS

Especies	p	psi	Escenario 1 Segundo Muestreo			Escenario 2 Segundo Muestreo		
			S	K	1-β	S	K	1-β
<i>Tapirus terrestris</i>	0,45	0,39	356	3	0,84	200	18	0,82
<i>Pecari tajacu</i>	0,53	0,5	356	3	0,97	200	18	0,95
<i>Mazama americana</i>	0,59	0,56	356	3	0,99	200	18	0,98
<i>Cuniculus paca</i>	0,57	0,56	356	3	0,99	200	18	0,98
<i>Dasyprocta spp.</i>	0,53	0,59	356	3	0,99	200	18	0,98
<i>Procyon cancrivorous</i>	0,48	0,38	356	3	0,86	200	18	0,82
<i>Leopardus spp.</i>	0,24	0,33	356	3	0,36	200	18	0,45
<i>Panthera onca</i>	0,39	0,11	356	3	0,31	200	18	0,31
<i>Tayassu pecari</i>	0,3	0,17	356	3	0,3	200	18	0,35

p = probabilidad de detección, psi = ocupación, S = Numero de celdas muestreadas, K = Numero de segmentos de 100 m muestreadas en una celda, 1-β = Potencia.

**Tabla 3.** Análisis de la potencia del monitoreo (la potencia para detectar un cambio en el 30 % en las poblaciones con un nivel de significancia de 0,1) bajo dos escenarios en un segundo muestreo para evaluar la ocupación de la fauna silvestre a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas.

En resumen, la metodología tendría una potencia muy fuerte para detectar cambios en el 30 % de las poblaciones de 4 especies (*Tapirus terrestris*, *Pecari tajacu*, *Mazama americana*, *Cuniculus paca*) y de un grupo de especies (*Dasyprocta spp.*) bajo el primer escenario de un segundo muestreo, con exactamente el mismo diseño del primer muestreo. Aun con un reducido esfuerzo en el segundo escenario, de este segundo muestreo, la potencia se mantiene muy fuerte para las mismas especies, lo cual indica que la ocupación es una herramienta eficaz y eficiente para el monitoreo de la fauna terrestre a lo largo del camino.

Sin embargo, con relación a los felinos pequeños (*Leopardus spp.*), el jaguar (*Panthera onca*) y el chancho de tropa (*Tayassu pecari*), al parecer tendremos que pensar en complementar los métodos con otros enfoques, posiblemente mediante el desarrollo de estudios con cámaras trampa para los felinos. Recientes observaciones en la zona, en 2019, subrayan el hecho de que todavía hay corredores para el chancho de tropa (Robert Cartagena, pers. comm.) a lo largo del camino, aunque al parecer su presencia es esporádica, lo que seguramente influye en sus valores de ocupación.

## Recomendaciones

---

En resumen, frente a los resultados de este estudio y a la amenaza por el mejoramiento planificado del camino entre San Buenaventura y Ixiamas, para garantizar la conectividad de la vida silvestre, recomendamos 5 acciones prioritarias en el futuro próximo:

1. Mantener la cobertura del bosque a lo largo del camino, con énfasis en los corredores identificados en este estudio, tanto a través de las entrevistas realizadas en las comunidades como también a los resultados del estudio de ocupación.
2. Diseñar medidas de mitigación en los corredores identificados para promover la conservación de la fauna silvestre, como por ejemplo el establecimiento de túneles debajo de la carretera y de puentes entre los árboles por encima de la carretera.
3. Consultar nuevamente a las comunidades para identificar y priorizar corredores adicionales y, al mismo tiempo, establecer una señalización a lo largo del camino para promover la conservación de la fauna silvestre.
4. Repetir el muestreo de ocupación para mejorar los modelos de ocupación, la definición de covariables importantes y la identificación de corredores adicionales.
5. Realizar esfuerzos de capacitación sobre la metodología de ocupación y la importancia del monitoreo con los actores locales, incluidas las comunidades a lo largo del camino, el CIPTA, el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Madidi, los municipios de San Buenaventura e Ixiamas y sobre todo la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).



Robert Wallace/WCS

## Bibliografía

---

Aliaga-Rossel, E., & Painter, L. (2010). Tayassuidae y Suidae. In R.B. Wallace, Gómez, H., Porcel, Z.R., & Rumiz, D.I. (Eds.), *Distribución, Ecología y Conservación de los Mamíferos Medianos y Grandes de Bolivia* (pp. 573-596). Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Centro de Ecología Difusión, Fundación Simón Patiño.

Arroyo-Arce, S., Guilder, J., & Salom-Pérez, R. (2014). Habitat features influencing jaguar *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) occupancy in Tortuguero National Park, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 62, 1449-1458.

Athreya, V., Srivathsa, A., Puri, M., Karanth, K.K., Kumar, N.S., & Karanth, K.U. (2015). Spotted in the news: Using media reports to examine leopard distribution, depredation, and management practices outside protected areas in southern India. *PLoS ONE* 10(11): e0142647. doi:10.1371/journal.pone.0142647.

Ayala, G., & Wallace, R.B. (2010). Tapiridae. In R.B. Wallace, Gómez, H., Porcel, Z.R., & Rumiz, D.I. (Eds.), *Distribución, Ecología y Conservación de los Mamíferos Medianos y Grandes de Bolivia* (pp. 551-572). Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Centro de Ecología Difusión, Fundación Simón I. Patiño.

Beaudrot, L., Ahumada, J.A., O'Brien, T., Álvarez-Loayza, P., Boekee, K., Campos-Arceiz, A., Eichberg, D., Espinosa, S., Fegraus, E., Fletcher, C., Gajapersad, K., Hallam, C., Hurtado, J., Jansen, P.A., Kumar, A., Larney, E., Guimarães Moreira Lima, M., Mahony, C., Martin, E.H., McWilliam, A., Mugerwa, B., Ndongou-Hockemba, M., Razafimahaimodison, J.C., Romero-Saltos, H., Rovero, F., Salvador, J., Santos, F., Sheil, D., Spironello, W.R., Willig, M.R., Winarni, N.L., Zvoleff, A., & Andelman, S.J. (2016). Standardized assessment of biodiversity trends in tropical forest protected areas: The end is not in sight. *PLoS Biol* 14(1): e1002357. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002357>.

Bello, C., Galetti, M., Pizo, M.A., Magnago, L.F.S., Rocha, M.F., Lima, R.A.F., Peres, C.A., Ovaskainen, O., & Jordano, P. (2015). Defaunation affects carbon storage in tropical forests. *Science Advances* 1, e1501105.

Burnham, K.P., & Anderson, D.R. (2002). *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. New York: Springer.

Cid, B., Oliveira-Santos, L.G.R., & Mourão, G. (2013). Seasonal habitat use of agoutis (*Dasyprocta azarae*) is driven by the palm *Attalea phalerata* in Brazilian Pantanal. *Biotropica* 45, 380–385.

Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA), & Wildlife Conservation Society (WCS). (2002). *Estrategia de Desarrollo Sostenible de la TCO – Tacana con Base en el Manejo de los Recursos Naturales (2001 – 2005)*. La Paz, Bolivia: Consejo Indígena del Pueblo Tacana & Wildlife Conservation Society.

Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA), & Wildlife Conservation Society (WCS). (2010). *Manejo del Lagarto por el Pueblo Takana*. La Paz, Bolivia. 29pp.

Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA), & Consejo Indígena de Mujeres Tacanas (CIMTA). (2014). *Plan de Gestión Territorial Indígena del Pueblo Tacana, Kema Ejudhes'a Jakuastas'iatí S'aidha Enime 2015-2025*. La Paz, Bolivia: Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA), Consejo Indígena de Mujeres Tacanas (CIMTA), & Wildlife Conservation Society (WCS).

Cruz, P., Paviolo, A., Bó, R.F., Thompson, J.J., & Di Bitetti, M.S. (2014). Daily activity patterns and habitat use of the lowland tapir (*Tapirus terrestris*) in the Atlantic Forest. *Mammalian Biology* 79, 376–383.

Cruz-Rodríguez, C., González-Maya, J.F., Rodríguez-Bolaños, A., Cepeda-Mercado, A.A., Zárrate-Charry, D., & Belant, J.L. (2015). Ocelot *Leopardus pardalis* (Carnivora: Felidae) spatial ecology in a fragmented landscape of Colombia. *Revista Mexicana de Mastozoología* 5, 17-24.

Cullen Junior, L., Sana, D.A., Lima, F., de Abreu, K.C., & Uezu, A. (2013). Selection of habitat by the jaguar, *Panthera onca* (Carnivora: Felidae), in the upper Paraná River, Brazil. *Zoologia* 30, 379–387.

Danielsen, F., Burgess, N.D., Balmford, A., Donald, P.F., Funder, M., Jones, J.P.G., Alviola, P., Balete, D.S., Blomley, T., Brashares, J., Child, B., Enghoff, M., Fjeldsa, J., Holt, S., Hubertz, H., Jensen, A.E., Jensen, P.M., Massao, J., Mendoza, M.M., Ngaga, Y., Poulsen, M.K., Rueda, R., Sam, M., Skielboe, T., Stuart-Hill, G., Topp-Jorgensen, E., & Yonten, D. (2009). Local participation in natural resource monitoring: a characterization of approaches. *Conservation Biology* 23, 31-42.

Ferreguetti, A.C., Tomás, W.M., & Bergallo, H.G. (2015). Density, occupancy, and activity pattern of two sympatric deer (*Mazama*) in the Atlantic Forest, Brazil. *Journal of Mammalogy* doi:10.1093/jmammal/gyv132.

Figuroa-de-León, A., Naranjo, E.J., Perales, H., Santos-Moreno, A., & Lorenzo, C. (2016). Cavity occupancy by lowland paca (*Cuniculus paca*) in the Lacandon Rainforest, Chiapas, Mexico. *Tropical Conservation Science* 9, 246-263.

Forrest, J.L., Sanderson, E.W., Wallace, R., Siles Lazzo, T.M., Gomez Cervero, L.H., & Coppolillo, P. (2008). Patterns of land cover change in and around Madidi National Park, Bolivia. *Biotropica* 40, 285–294.

Fragoso, J.M.V., Levi, T., Oliveira, L.F.B., Luzar, J.B., Overman, H., Read, J.M., & Silviu K.M. (2016). Line transect surveys underdetect terrestrial mammals: Implications for the sustainability of subsistence hunting. *PLoS ONE* 11(4): e0152659. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152659>.

Fuentes, A. (2005). Una introducción a la vegetación de la región de Madidi. *Ecología en Bolivia* 40, 1–31.

Galetti, M., Guevara, R., Côrtes, M.C., Fadini, R., Von Matter, S., Leite, A.B., Labecca, F., Ribeiro, T., Carvalho, C.S., Collevatti, R.G., Pires, M.M., Guimarães Jr., P.R., Brancalion, P.H., Ribeiro, M.C., & Jordano, P. (2013). Functional extinction of birds drives rapid evolutionary changes in seed size. *Science* 340, 1086–1090.

Gómez, B., Montenegro, O., & Sánchez-Palomino, P. (2016). Abundance variation of ungulates in two protected areas of the Colombian Guayana estimated with occupancy models. *Therya* 7, 89-106.

Gopalswamy, A.M., Kumar, N.S., Karanth, K.U., & Macdonald, D.W. (2012). Estimating tropical forest ungulate densities from sign surveys using abundance models of occupancy. *Animal Conservation* doi:10. 1111/j.1469-1795.2012.00565.x

Guillera-Aroita, G., & Lahoz-Monfort, J.J. (2012). Designing studies to detect differences in species occupancy: power analysis under imperfect detection. *Methods in Ecology and Evolution* 3, 860-869.

Hallam, C.D., Johnson, A., O'Kelly, H., Seateun, S., Thamsatith, T., O'Brien, T.G., & Strindberg, S. (2015). Using occupancy-based surveys and multi-model inference to estimate abundance and distribution of crested gibbons (*Nomascus* spp.) in central Laos. *American Journal of Primatology*. doi: 10.1002/ajp.22508.

Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., & Townshend, J.R.G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* 342 (6160), 850-853.

- Hines, J.E. (2014) PRESENCE - Software to Estimate Patch Occupancy and Related Parameters. USGS-PWRC <http://www.mbr-pwrc.usgs.gov/software/presence.html>. Accessed 11 February 2014.
- Hines, J.E., Nichols, J.D., Royle, J.A., MacKenzie, D.I., Gopalaswamy, A.M., Samba Kumar, N., & Karanth, K.U. (2010). Tigers on trails: occupancy modeling for cluster sampling. *Ecological Applications* 20, 1456-1466.
- Ibisch, P.L., Beck, S.G., Gerkmann, B., & Carretero, A. (2003). Ecorregiones y ecosistemas: la diversidad biológica. In P.L. Ibisch, Mérida, G. (Eds.), *Biodiversidad: La Riqueza de Bolivia: Estado de Conocimiento y Conservación* (pp 44–84). Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Isasi-Catalá, E., Wallace, R., Zapata-Ríos, G., Márquez, R., & Goldstein, I. (2019). Formato para la Presentación de los Resultados de Monitoreo de Ocupación de Especies. *Wildlife Conservation Society*, Lima, Perú. 22pp.
- Jathanna, D., Karanth, K.U., Kumar, N.S., Karanth, K.K., & Goswami, V.R. (2015). Patterns and determinants of habitat occupancy by the Asian elephant in the Western Ghats of Karnataka, India. *PLoS ONE*. DOI: 10.1371/journal.pone.0133233.
- Jorge, M.L.S.P. (2008). Effects of forest fragmentation on two sister genera of Amazonian rodents (*Myoprocta acouchy* and *Dasyprocta leporina*). *Biological Conservation* 141, 617-623.
- Karanth, K.K. (2015). Wildlife in the matrix: Spatio-temporal patterns of herbivore occurrence in Karnataka, India. *Environmental Management* doi: 10.1007/s00267-015-0595-9.
- Karanth, K.K., Nichols, J.D., Hines, J.E., Karanth, K.U., & Christensen, N.L. (2009). Patterns and determinants of mammal species occurrence in India. *Journal of Applied Ecology* 46, 1189-1200.
- Karanth, K.U., Gopalaswamy, A.M., Kumar, N.S., Vaidyanathan, S., Nichols, J.D., & MacKenzie, D.I. (2011). Monitoring carnivore populations at the landscape scale: occupancy modeling of tigers from sign surveys. *Journal of Applied Ecology* 48, 1048–1056.
- Karstensen, K., Peters, G.P., & Andrew, R.M. (2013). Attribution of CO2 emissions from Brazilian deforestation to consumers between 1990 and 2010. *Environmental Research Letters* 8: doi:10.1088/1748-9326/8/2/024005.
- Kinnaird, M.F., & O'Brien, T.G. (2012). Effects of private-land use, livestock management, and human tolerance on diversity, distribution, and abundance of large African mammals. *Conservation Biology* 26, 1026-1039.
- Kurten, E.L., Wright, S.J., & Carson, W.P. (2015). Hunting alters seedling functional trait composition in a Neotropical forest. *Ecology* 96, 1923–1932.
- Lakshminarayanan, N., Karanth, K.K., Goswami, V.R., Vaidyanathan, S., & Karanth, K.U. (2015). Determinants of dry season habitat use by Asian elephants in the Western Ghats of India. *Journal of Zoology*. DOI: 10.1111/jzo.12298.
- Laurance, W.F., Cochrane, M.A., Bergen, S., Fearnside, P.M., Delamônica, P., Barber, C., D'Angelo, S., & Fernandes, T. (2001). The future of the Brazilian Amazon. *Science* 291, 438-439.
- Laurance, W.F., Goosem, M. & Laurance, S.G. (2009). Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution* 24, 659-669.
- Lehm, Z. (2016a). Sistematización de la Zonificación de la TCO Tacana I. La Paz, Bolivia: *Wildlife Conservation Society (WCS) & Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA)*. 71pp.

Lehm, Z. (2016b). Sistematización de la Reglamentación del Acceso y Uso de los Recursos Naturales en la TCO Tacana I. Wildlife Conservation Society (WCS) & Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA). La Paz, Bolivia. 78pp.

Lehm, Z. (2016c). Sistematización de la Historia del Gobierno en la Región Tacana. Wildlife Conservation Society (WCS) y Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA). La Paz, Bolivia. 62pp.

Lehm, Z. (2016d). Sistematización de la Demarcación, Control y Vigilancia de la TCO Tacana I. Wildlife Conservation Society (WCS) y Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA). La Paz, Bolivia. 104pp.

Lehm, Z. (2017). Ingresos Económicos en Hogares de la TCO Tacana I. Wildlife Conservation Society (WCS) y Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA). La Paz, Bolivia. 99pp.

Licon, M., McCleery, R., Collier, B., Brightsmith, D.J., & Lopez, R. (2011). Using ungulate occurrence to evaluate community-based conservation within a biosphere reserve model. *Animal Conservation* 14, 206–214. doi:10.1111/j.1469-1795.2010.00416.x.

Mackenzie, D.I., & Bailey, L.L. (2004). Assessing the fit of site-occupancy models. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 9, 300-318.

MacKenzie, D.I., Nichols, J.D., Royle, J.A., Pollock, K.H., Bailey, L.L., Hines, J.E. (2006). *Occupancy Estimation and Modeling - Inferring Patterns and Dynamics of Species Occurrence*. Elsevier Publishing.

Márquez, R., Bianchi, G., Isasi-Catalá, E., Ruiz Gutiérrez, V., & Goldstein, I. (2017). *Guía para el Monitoreo de la Ocupación de Oso Andino*. Andean Bear Conservation Alliance & Wildlife Conservation. Bogotá. 56pp.

Medici, E.P., Desbiez, A.L.J., Gonçalves da Silva, A., Jerusalinsky, L., Chassot, O., Montenegro, O.L., Rodríguez, J.O., Mendoza, A., Quse, V.B., Pedraza, P., Gatti, A., Oliveira-Santos, L.G.R., Tortato, M.A., Ramos Jr, V., Reis, M.L., Landau-Remy, G., Tapia, A., & Morais, A.A. (Eds.). (2007). *Lowland Tapir Conservation Workshop: Final Report*. Brazil: IUCN/SSC Tapir Specialist Group (TSG), IUCN/SSC Conservation Breeding Specialist Group (CBSG).

Milner-Gulland, E.J., Bennett, E.L., & SCB 2002 Annual Meeting Wild Meat Group. (2003). Wild meat: the bigger picture. *Trends in Ecology & Evolution* 18, 351-357.

Miranda-Chumacero, G., Wallace, R., Estívariz, A., & González, F. (2010). Dos años de cosechas de lagarto en la TCO Takana: ¿Qué hemos aprendido? In H. Gómez & A. Llobet (Eds.). *Experiencias de Manejo de Fauna en Bolivia* (pp. 83–106). Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Editorial FAN.

Nichols, J.D., & Williams, B.K. (2013). Adaptive management. *Encyclopedia of Environmetrics*. John Wiley & Sons, Ltd.

O'Brien, T.G. (2016). Camera traps for conservation: monitoring protected area investments. In L.N. Joppa, Baillie, J.E.M., & Robinson, J.G. (Eds.). *Protected Areas: Are they Safeguarding Biodiversity?* (pp 228-241). Wiley-Blackwell.

O'Brien, T.G. & Kinnaird, M.F. (2013). The wildlife picture index: A biodiversity indicator for top trophic levels. In B. Collen, Pettorelli, N., Durant, S., Baillie, J., & Krueger, L. (Eds.). *Biodiversity Monitoring and Conservation: Bridging the Gaps between Global Commitment and Local Action* (pp. 45-70). Blackwell Publishing.

- Ometto, J.P., Aguiar, A., & Martinelli, L.A. (2014). Amazon deforestation in Brazil: effects, drivers and challenges. *Carbon Management* 2, 575-585.
- Painter, R.L.E., Duran, A., & Miro, E. (2011). Indigenous alliances for conservation in Bolivia. *Conservation Biology* 25, 1084–1086.
- Painter, L., Siles, T.M., Reinaga, A., & Wallace, R. (2013). Escenarios de Deforestación en el Gran Paisaje Madidi-Tambopata. La Paz, Bolivia: Wildlife Conservation Society, 41 pp.
- Paolino, R.M., Versiani, N.F., Pasqualotto, N., Rodrigues, T.F., Krepschi, V.G., & Chiarello, A.G. (2016). Buffer zone use by mammals in a Cerrado protected area. *Biota Neotropica* 16: e20140117. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2014-0117>
- Parry, L. (2004). Large Vertebrate Communities of Primary and Secondary Forests in the Brazilian Amazon. Master's thesis. University of East Anglia, Norwich, UK.
- Pérez-Iraneo, G., & Santos-Moreno, A. (2016). Abundance, herd size, activity pattern and occupancy of ungulates in Southeastern Mexico. *Animal Biology* 66, 97–109.
- Petracca, L.S., Ramírez-Bravo, O.E., & Hernández-Santín, L. (2014). Occupancy estimation of jaguar *Panthera onca* to assess the value of east-central Mexico as a jaguar corridor. *Oryx* 48, 133-140.
- Puri, M., Srivathsa, A., Karanth, K.K., Kumar, N.S., & Karanth, K.U. (2015). Multiscale distribution models for conserving widespread species: the case of sloth bear *Melursus ursinus* in India. *Biodiversity Research* 21, 1087-1100.
- RAISG. (2015). Deforestation in the Amazonia (1970-2013). Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada – RAISG. <http://raisg.socioambiental.org>
- Robinson, J.G., & Redford, K.H. (Eds.). (1991). *Neotropical Wildlife Use and Conservation*. University of Chicago Press. Chicago, USA. 537p.
- Royle, J.A., & Nichols, J.D. (2003). Estimating abundance from repeated presence-absence data or point counts. *Ecology* 84, 777-790.
- Silver, S.C., Ostro, L.E.T., Marsh, L.K., Maffei, L., Noss, A.J., Kelly, M.J., Wallace, R.B., Gómez, H., Ayala, G. (2004). The use of camera traps for estimating jaguar (*Panthera onca*) abundance and density using capture/recapture analysis. *Oryx* 38, 145-154.
- Smith, R.J., Veríssimo, D., Isaac, N.J.B., & Jones, K.E. (2012). Identifying Cinderella species: uncovering mammals with conservation flagship appeal. *Conservation Letters* 5, 205–212.
- Srivathsa, A., Karanth, K.K., Jathanna, D., Kumar, N.S., & Karanth, K.U. (2014). On a dhole trail: examining ecological and anthropogenic correlates of dhole habitat occupancy in the Western Ghats of India. *PLoS One*. DOI: 10.1371/journal.pone.0098803 PMID: 24893166.
- Taber, A., Chalukian, S.C., Altrichter, M., Minkowski, K., Lizárraga, L., Sanderson, E., Rumiz, D., Edsel, A.M., de Angelo, C., Antúnez, M., Ayala, G., Beck, H., Bodmer, R., Salvador, B.B., Cartes, J.L., de Bustos, S., Eaton, D., Emmons, L., Estrada, N., Flamarion de Oliveira, L., Fragoso, J., Garcia, R., Gomez, C., Gómez, H., Keuroghlian,

- A., Ledesma, K., Lizcano, D., Lozano, C., Montenegro, O., Neris, N., Noss, A., Palacio Vieira, J.A., Paviolo, A., Perovic, P., Portillo, H., Radachowsky, J., Reyna-Hurtado, R., Rodriguez Ortiz, J., Salas, L., Sarmiento Dueñas, A., Sarria Perea, J.A., Schiaffino, K., de Thoisy, B., Tobler, M., Utreras, V., Varela, D., Wallace, R.B., & Zapata Rios, G. (2009). El Destino de los Arquitectos de los Bosques Neotropicales: Evaluación de la Distribución y el Estado de Conservación de los Pecaríes Labiados y los Tapires de Tierras Bajas. New York: Pigs, Peccaries and Hippos Specialist Group (IUCN/SSC), Tapir Specialist Group (IUCN/SSC), Wildlife Conservation Society, Wildlife Trust, 210p.
- Tobler, M.W., Zuñiga Hartley, A., Carrillo-Percestequi, S.E., & Powell, G.V.N. (2015). Spatiotemporal hierarchical modelling of species richness and occupancy using camera trap data. *Journal of Applied Ecology* 52, 413–421.
- Townsend, W.R., Wallace, R.B., Lara Delgado, K., & Miranda-Chumacero G. (In Press). Importance of primates to Tacana indigenous subsistence hunting in the Bolivian Amazon. In: B. Urbani (Ed.). *Neotropical Ethnoprimatology: Indigenous Peoples' Perceptions of and Interactions with Nonhuman Primates*. Springer Nature, Switzerland.
- Turvey, S.T., Risley, C.L., Moore, J.E., Barrett, L.A., Yujiang, H., Xiujiang, Z., Kaiya, Z., & Ding, W. (2013). Can local ecological knowledge be used to assess status and extinction drivers in a threatened freshwater cetacean? *Biological Conservation* 157, 352-360.
- Wallace, R.B. (2012). Landscape Scale Monitoring for Species and Threats: Jaguars in the Greater Madidi-Tambopata Landscape. Internal Report, Wildlife Conservation Society, New York. 16 pp.
- Wallace, R.B., Gómez, H. Ayala, G. & Espinoza, F. (2003). Camera trapping capture frequencies for jaguar (*Panthera onca*) in the Tuichi valley, Bolivia. *Mastozoología Neotropical* 10, 133-139.
- Wallace, R.B., Gómez, H., Porcel, Z.R., & Rumiz, D.I. (Eds.). (2010). *Distribución, Ecología y Conservación de los Mamíferos Medianos y Grandes de Bolivia*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Centro de Ecología Difusión, Fundación Simón I. Patiño. 906 p.
- Wallace, R.B., Ayala, G., & Viscarra, M. (2012). Lowland tapir (*Tapirus terrestris*) distribution, activity patterns and relative abundance in the Greater Madidi-Tambopata Landscape. *Integrative Zoology* 7, 407-419.
- Wentzel, S. (1989). Tacana and Highland Migrant Land Use, Living Conditions, and Local Organizations in the Bolivian Amazon. PhD Thesis, University of Florida, Gainesville.
- Zeller, K.A., Nijhawan, S., Salom-Pérez, R., Potosme, S.H., & Hines, J.E. (2011). Integrating occupancy modeling and interview data for corridor identification: A case study for jaguars in Nicaragua. *Biological Conservation* 144, 892–901.

## Anexos

---

**Anexo 1.** Resultados del monitoreo de la ocupación del tapir (*Tapirus terrestris*) a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

**Anexo 2.** Resultados del monitoreo de la ocupación del taitetú (*Pecari tajacu*) a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

**Anexo 3.** Resultados del monitoreo de la ocupación del huaso (*Mazama americana*) a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

**Anexo 4.** Resultados del monitoreo de la ocupación del jochi pintado (*Cuniculus paca*) a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

**Anexo 5.** Resultados del monitoreo de la ocupación de los jochis colorados (*Dasyprocta* spp.) a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

**Anexo 6.** Resultados del monitoreo de la ocupación de los felinos pequeños (*Leopardus* spp.) a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

**Anexo 7.** Resultados del monitoreo de la ocupación del jaguar (*Panthera onca*) a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

**Anexo 8.** Resultados del monitoreo de la ocupación del chancho de tropa (*Tayassu pecari*) a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

**RESULTADO DEL MONITOREO DE LA OCUPACIÓN DEL ANTA O TAPIR DE TIERRAS BAJAS (*TAPIRUS TERRESTRIS*) A LO LARGO DE UN DE UN CAMINO COLINDANTE CON EL PARQUE NACIONAL MADIDI, BOLIVIA: 2013**



*Tapirus terrestris* - Robert Wallace/WCS

## Objetivo del monitoreo

---

Estudios recientes subrayan que el manejo territorial indígena, durante la última década (2005-2014), resultó en una reducción de la deforestación a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, dentro del territorio indígena Tacana, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, donde las áreas de 5 km ubicadas en torno a la carretera presentaron niveles de deforestación 273 % menores que las áreas fuera del territorio indígena (Painter et al., 2013). La gestión territorial indígena en la Tierra Comunitaria de Origen Tacana es, por lo tanto, reconocida cada vez más como un punto de referencia regional para la gestión ambiental. De hecho, en 2015, el Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA) recibió el Premio Ecuatorial (<http://equatorinitiative.org>) por el manejo innovador de los bosques en el territorio indígena Tacana.

Los Tacana están evidentemente comprometidos con la gestión sostenible de los recursos naturales, que se refleja en una visión territorial participativa y de abajo hacia arriba (Lehm, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017), integrada en los planes de gestión y en la zonificación (CIPTA y WCS, 2002; CIPTA y CIMTA, 2014), y que ha permitido priorizar las iniciativas económicas en curso basadas en la comunidad, varias de las cuales (cacao, lagarto, ecoturismo) también han sido reconocidas a nivel nacional e internacional (<https://bolivia.wcs.org/en-us/ITM.aspx>). Estos esfuerzos se basan en el conocimiento local sobre los recursos naturales, incluida la fauna silvestre; es el caso de la iniciativa premiada de manejo sostenible del lagarto y de las acciones de monitoreo asociadas como resultado del trabajo conjunto entre la población local y los biólogos (CIPTA y WCS, 2010; Miranda-Chumacero et al., 2010). De esta manera, la alianza entre CIPTA y WCS (Painter et al., 2011) reconoce implícitamente los valores fundamentales del conocimiento local (Danielsen et al., 2009; Turvey et al., 2013) en todos los aspectos de la gestión territorial indígena.

Estos resultados son una línea de base importante frente a un proyecto de mejoramiento vial financiado por el Banco Mundial y el gobierno boliviano. Las mejoras en el camino asfaltarán el de tierra existente, ampliando así la brecha entre el hábitat boscoso y aumentando el riesgo de mortalidad de la fauna por colisión debido al incremento de la velocidad de los vehículos. Además, la reducción de los costos de transporte proporcionará incentivos para la cosecha de muchos de los recursos naturales del bosque, incluida la fauna silvestre, lo que puede conducir a la

degradación del hábitat y al aumento de la captura y la caza de animales a lo largo del camino.

Desde una perspectiva de gestión, los modelos de ocupación son especialmente atractivos como herramientas de monitoreo, ya que proporcionan una medida cuantitativa del grado en que un espacio está ocupado por una especie de vida silvestre determinada, al tiempo que controlan la detección imperfecta (Hines, 2014; MacKenzie et al., 2006). Además, las covariables pueden utilizarse para investigar factores de influencia ambiental o humana que podrían influir en la ocupación o en la detectabilidad. Desde una perspectiva de gestión y monitoreo, las covariables se pueden dividir en cuatro categorías: covariables de detección, que explican la variación en la probabilidad de detección; covariables biológicas, que ayudan a entender cómo la ocupación varía en el espacio desde la perspectiva de la biología de la especie; covariables antropogénicas, que atestiguan la influencia de las amenazas en la ocupación de una especie determinada; y, finalmente, covariables de gestión, que reflejan la respuesta de la vida silvestre a acciones de gestión específicas en un área de estudio. Con el tiempo, el cambio en los valores de ocupación y la influencia de diferentes covariables pueden evaluarse dentro de un marco de gestión adaptativa (Nichols y Williams, 2013).

El objetivo general del presente estudio fue determinar la ocupación del tapir (*Tapirus terrestris*) a lo largo del camino entre San Buenaventura e Ixiamas (SBI). Este amplio objetivo tenía cuatro subobjetivos:

- i) corroborar los corredores de vida silvestre identificados por la comunidad indígena entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana;
- ii) destacar aún más la contribución de la gestión territorial indígena a la conservación de la biodiversidad en la región;
- iii) probar la ocupación como una metodología potencial con la cual monitorear las poblaciones de fauna silvestre a grandes escalas espaciales, y
- iv) establecer una línea de base integral para monitorear la fauna silvestre en el futuro ante las mejoras inminentes y significativas de la infraestructura vial.

## Resutados e implicaciones de manejo

El anta o tapir de tierras bajas (*Tapirus terrestris*) presentó una probabilidad de ocupación promedio de 0,39 en la T0 (2013), lo cual indica que está presente en el 39 % de las áreas a lo largo del camino. Los análisis con covariables revelan un fuerte efecto del camino mismo, ya que el modelo con mejor ajuste es aquel que toma en cuenta tanto el porcentaje de suelo sin cobertura vegetal en la celda como también el de distancia al camino, ambos directamente relacionados con éste. Según el modelo, la probabilidad de ocupación de la especie se eleva a medida que aumenta la distancia al camino y disminuye fuertemente cuando el porcentaje de suelo sin cobertura vegetal se incrementa. Por otra parte, la probabilidad de detección del tapir de tierras bajas estuvo influida por el tipo de muestreo con más probabilidad en transectos realizados a lo largo de los arroyos.

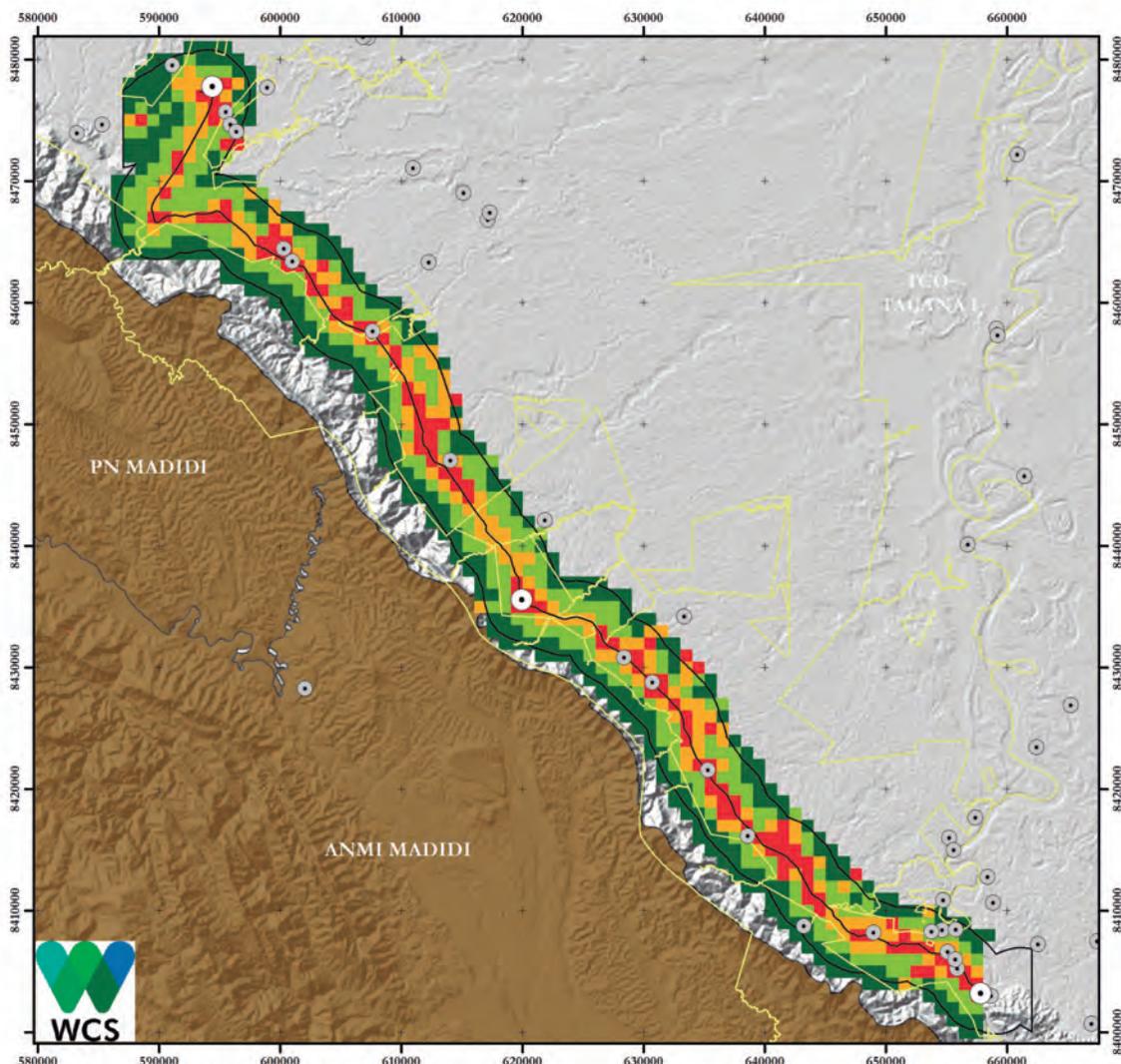
De todas maneras, la Figura 1 demuestra que, según el análisis de ocupación, todavía existen corredores de hábitat relevantes y utilizados por el tapir de tierras bajas a lo largo del camino. Dados estos resultados, podemos concluir que las acciones establecidas para la gestión territorial indígena han sido efectivas

hasta la fecha, pero que el mejoramiento del camino enfatiza la necesidad de preservar los corredores identificados en el estudio. Por tanto:

- Se debe mantener la cobertura de bosque, con prioridad en los corredores identificados con los datos de ocupación de *Tapirus terrestris*, como también con datos de otras especies del estudio (*Pecari tajacu*, *Mazama americana*, *Dasyprocta* spp., *Cuniculus paca*, *Leopardus* spp., *Tayassu pecari* y *Panthera onca*).
- Se debe continuar fortaleciendo el manejo de la cacería y de otros recursos naturales que las comunidades realizan en el territorio indígena Tacana.
- Se debe coordinar con la próxima empresa identificada como actor en el mejoramiento del camino, como también con la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), para asegurar que se toman en cuenta las recomendaciones señaladas y que se incorporan las medidas específicas para la conectividad de la fauna entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana.



Robert Wallace/WCS



### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Tapirus terrestris*

#### LEYENDA

- Capitales municipales
- Centros poblados
- ⚡ Carretera San Buenaventura - Ixiamas
- PNANMI Madidi
- ⬡ TCO Tacana I
- Buffer 3 Km

#### VALORES DE PSI

- 0.002 - 0.18
- 0.19 - 0.36
- 0.37 - 0.52
- 0.53 - 0.87

#### INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

N

0 4 8 12 16 Km

1:410,000

Sistema de Coordenadas:  
 Universal Transversal de Mercator  
 Zona 19 Sur  
 Datum: WGS 84

**Figura 1.** Ocupación del tapir de tierras bajas (*Tapirus terrestris*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando categorías estandarizadas basadas en los valores de ocupación mínimos y máximos.

# Metodología

## Diseño del muestreo

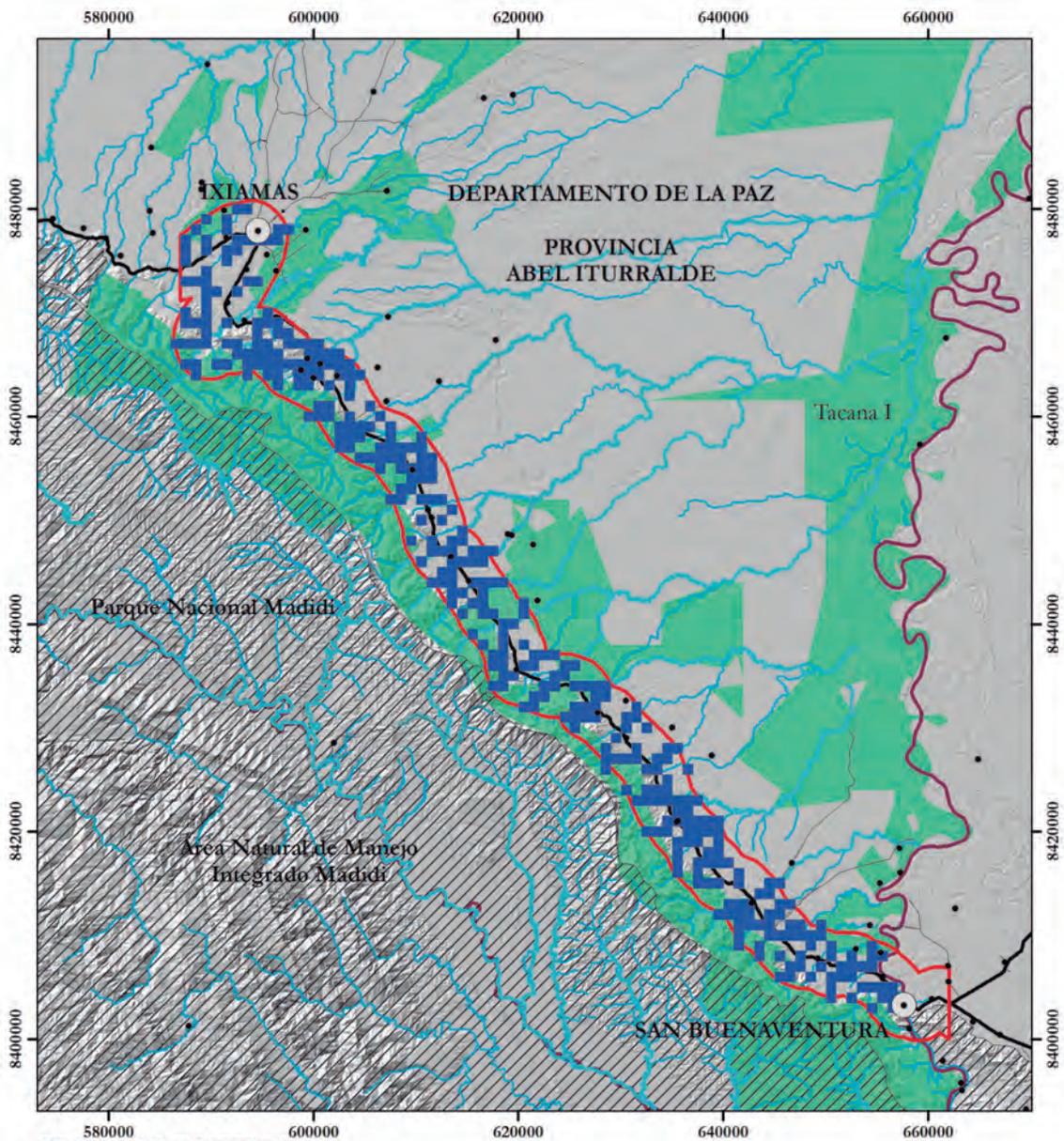
**Tabla 1:** Diseño del muestreo alcanzado para el monitoreo de la ocupación de *Tapirus terrestris* a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013.

Diseño del muestreo		Temporadas (T)		
		T0	T1	Tn
Método		Huellas de <i>Tapirus</i> a lo largo de un transecto	-	-
Esfuerzo de muestreo por sitio	Número de sitios o UM	356 (T0)	- (T1)	- (Tn)
	Tamaño y forma de las UM	1 km <sup>2</sup> (T0)	- (T1)	- (Tn)
Esfuerzo de muestreo por visita	Número de visitas	3:1 transecto de 300m dividido en 3 segmentos (T0)	- (T1)	- (Tn)
	Esfuerzo por visita	100 m (T0)	- (T1)	- (Tn)

UM: Unidades de muestreo o sitios, EM: esfuerzo de muestreo en cada visita

El área de estudio del T0 abarcó 3 km a ambos lados del camino a lo largo del trecho entre San Buenaventura e Ixiamas, en el norte de La Paz. Este camino se encuentra paralelo al límite

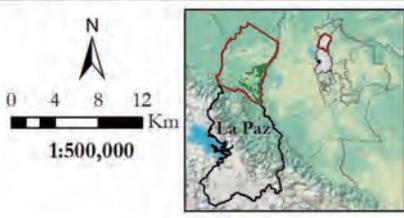
del Parque Nacional Madidi, el área protegida más biodiversa del mundo, y dentro del territorio indígena Tacana (Figura 2).



**GRILLAS DE MUESTREO  
CARRETERA SAN BUENAVENTURA-IXIAMAS**



**INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA**



**Figura 2.** Área de estudio a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, que indica la grilla de muestreo de la ocupación/uso de la vida silvestre (T0).

Las cuadrículas de muestreo corresponden a un sistema de cuadrículas de 1 km<sup>2</sup> establecidas a nivel del Gran Paisaje Madidi-Tambopata. Dentro de cada unidad de muestreo, correspondiente a una celda de 1 km<sup>2</sup>, se dispuso espacialmente un transecto de 300 m, que fue evaluado en una ocasión, aunque los datos fueron tomados en segmentos de 25 m, completando doce segmentos por transecto en cada unidad de muestreo, para la detección del tapir mediante la observación de huellas, heces y otros rastros de la vida silvestre. Posteriormente, se evaluaron los datos en tres segmentos de 100 m cada uno.

### Covarible

Para evaluar el estado de la población del tapir y de otras especies de la fauna silvestre y, en el futuro, la efectividad de las acciones de conservación desarrolladas, entre ellas, la eficiencia de las medidas de mitigación propuestas para el mejoramiento del camino, se incorporaron 10 covariables de sitio vinculadas a la accesibilidad y el estado de las coberturas de vegetación, y a la influencia de las actividades humanas, identificando diferentes tipos de bosque para determinar el efecto de los mismos sobre la ocupación de la especie (Tabla 2), así como otras tres covariables de muestreo relacionadas con la heterogeneidad de las detecciones (Tabla 3).

**Tabla 2.** Covariables de sitio (CovS) utilizadas para modelar la ocupación del tapir (*Tapirus terrestris*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovS	Definición	Temporada
Dist.Arroyo-Río	Distancia (m) a un arroyo o río	TO
Pendiente	Promedio de pendiente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
HeterogeneidadHábitat	Número de hábitats presente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
%BosquePrimario	% área de bosque primario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
%BosqueSecundario	% área de bosque secundario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
Dist.PuebloGrande	Distancia (m) a un pueblo grande	TO
Dist.Comunidad	Distancia (m) a una comunidad	TO
Dist.CaminoSBI	Distancia (m) al camino principal de San Buenaventura-Ixiamas	TO
Dist.CaminoSecundario	Distancia (m) a un camino secundario	TO
%SueloSinCoberturaVegetal	% área de suelo sin vegetación en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO

**Tabla 3.** Covariables de muestreo (CovM) utilizadas para modelar la ocupación del tapir (*Tapirus terrestris*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovM	Definición	Temporada
Tipo de Substrato	Tipo de sustrato (arena fina, arena, arcilla, barro húmedo, barro, piedra, suelo, suelo fino, suelo húmedo, pasto, hojarasca)	TO
Tipo de Muestreo	Tipo de unidad de muestreo (arroyo o no)	TO
Lluvia	Número de días de lluvia (rango 1-6 días)	TO

## Análisis

La estimación de la ocupación y de la detección del tapir a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, se realizó utilizando el Presence 2.12.17 (Proteus Wildlife Research Consultants, <http://www.proteus.co.nz/>). Inicialmente se

ajustaron los modelos exploratorios utilizando las covariables de muestreo o de detección (CovK). Posteriormente, se ajustaron los modelos tomando en cuenta las 10 covariables que pudieran representar la heterogeneidad entre sitios de muestreo (CovS). Para el ajuste de los modelos, se siguieron los siguientes criterios (Tabla 4):

**Tabla 4.** Covariables de muestreo (CovM) utilizadas para modelar la ocupación del tapir (*Tapirus terrestris*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Modelos ajustados: TO

Una especie - Una temporada (Single Species - Single Season)

Parámetros		Pruebas de ajuste y selección de modelos	
S	356	Pb	$\alpha = 0,05$
K	3	C-hat	3,96
CovS	10	Iteraciones	1000
CovK	3	$\Delta AIC$	$\Delta AIC \leq 3$

Efecto de covariables		Prueba de potencia	
Prueba	Test de Wald	Modelo de estimación	Método de Guillera-Arroita y Lahoz-Monfort (2012)
Significancia	$\alpha = 0,05$	Potencia	$1 - \beta = 0,84$
		Significancia	$\alpha = 0,1$
		Umbral de Cambio	30%

## Resultados del modelo de ocupación

### Estado de la ocupación de la especie y cambios temporales en la ocupación

En el caso del tapir, el modelo nulo ajustado a partir de las detecciones de rastros por transectos ( $S = 356$ ,  $K = 3$ ), a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, indica una probabilidad de ocupación de la especie de 0,38 (EE 0,03), es

decir, que se encuentra en más o menos el 38 % de las áreas (Tabla 5). La detectabilidad de la especie es buena (0,49, EE 0,03), lo cual coincide con lo que se sabe de su historia natural y el hecho de que deja huellas grandes y profundas. Estos valores servirán de referencia (línea de base) para las futuras comparaciones de los posibles cambios en la ocupación.

**Tabla 5.** Probabilidad de ocupación y detección estimadas a partir del modelo nulo ( $\psi_i(\cdot)$ ,  $p(\cdot)$ ), utilizado para evaluar los cambios en el estado de las poblaciones del tapir (*Tapirus terrestris*) a través de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Peso del modelo nulo ( $W_i$ )	Ocupación $\psi_i(\cdot)$ , $p(\cdot)$		Detección		Cambio
		$\psi_i$	EE	P	EE	
T0	0,0013	0,38	0,03	0,49	0,03	-
T1						

### Patrones espaciales de la ocupación

Para el tapir, el modelo con covariables que presentó los ajustes más adecuados y que mejor explicó la ocupación de la

especie, a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, fue el siguiente (Tabla 6 y 7):

**Tabla 6.** Modelo ajustado y parametrización utilizada para modelar la ocupación del tapir (*Tapirus terrestris*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Modelo ajustado	Peso del modelo ( $W_i$ )
T0	$\psi_i(\%SueloSinCoberturaVegetal, Dist.CaminoSBI), p(TipoMuestreo)$	0,62
T1		

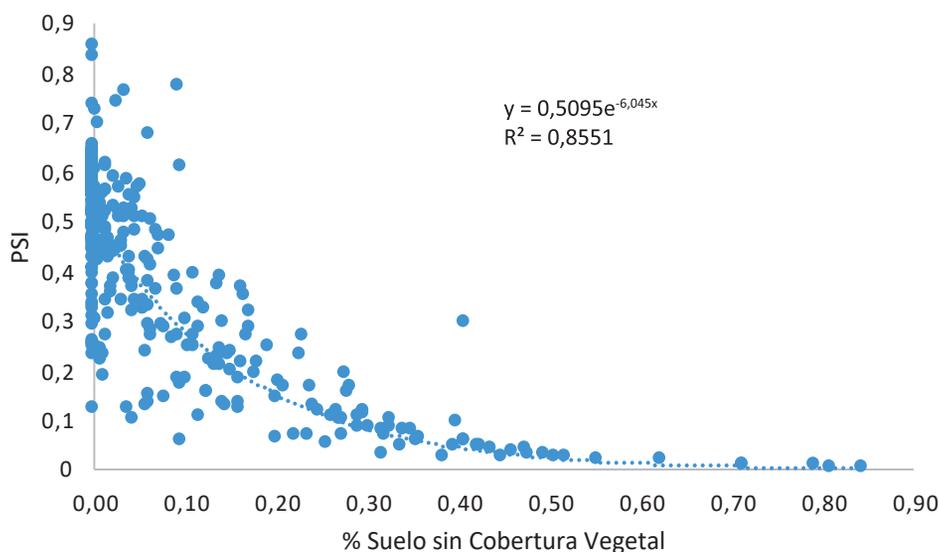
**Tabla 7.** Covariables significativas y ocupación y detección estimadas para el tapir (*Tapirus terrestris*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Ocupación		Detección		Covariables significativas (tipo de efecto)	
	psi	EE (*DE)	p	EE (*DE)	CovS	CovM
T0	0,56	0,04	0,59	0,02	% SueloSinCoberturaVegetal (-Ng) Dist.Camino SBI (+Ps)	TipoMuestreo (+Ps)
T1						

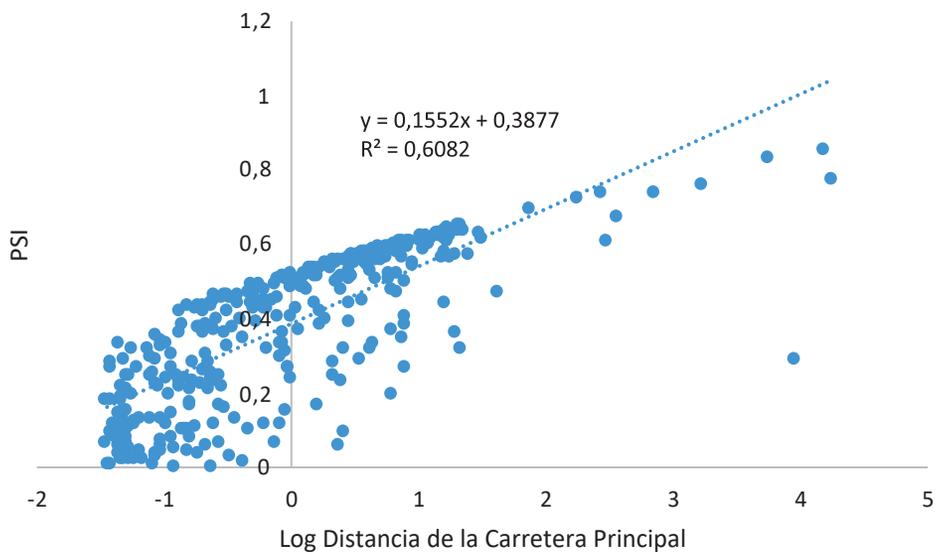
Estos resultados indican que el porcentaje del suelo sin cobertura vegetal en la celda (un proxy a la influencia humana de nivel fuerte) y la distancia al camino principal afectan negativa y positivamente, respectivamente, y de manera significativa, la ocupación de la especie, lo cual tiene lógica

ya que es una especie vulnerable a la presencia humana por la presión de la cacería.

La detectabilidad del tapir fue visiblemente mayor en las celdas con presencia de arroyos y, por ende, en aquellas donde el transecto fue realizado a lo largo del arroyo.



**Figura 3.** Ocupación del tapir (*Tapirus terrestris*) relacionada con la covariable de porcentaje de suelo sin cobertura vegetal.



**Figura 4.** Ocupación del tapir (*Tapirus terrestris*) con la covariable de distancia a la carretera principal.

#### Implicaciones para el diseño del muestreo

Para mejorar las probabilidades de detección de la ocupación de los grandes carnívoros neotropicales (*Panthera onca*, *Puma concolor* y *Tremarctos ornatus*), así como para precisar mejorar las estimaciones de ocupación de la fauna silvestre, en general, recomendamos la definición de tres transectos de 600 m, a fin de aumentar de manera efectiva el muestreo en la celda por un factor de seis en comparación con el de este estudio.

En conjunto, los resultados de la ocupación, tanto del tapir como de otras cuatro especies de mamíferos grandes, refuerzan la importancia de los cuatro corredores identificados anteriormente por las comunidades indígenas, a través de entrevistas, y de un corredor adicional, de quinta prioridad, también identificado por las comunidades a lo largo del camino. Recomendamos que estos cinco corredores tengan una máxima atención en los esfuerzos de mitigación para minimizar los impactos por la interrupción del corredor durante el proyecto de mejora de la carretera.

**RESULTADO DEL MONITOREO DE LA OCUPACIÓN DEL TAITETÚ (*PECARI TAJACU*)  
A LO LARGO DE UN CAMINO COLINDANTE CON EL PARQUE NACIONAL MADIDI,  
BOLIVIA: 2013**



*Pecari tajacu* - Robert Wallace/WCS

## Objetivo del monitoreo

---

Estudios recientes subrayan que el manejo territorial indígena, durante la última década (2005-2014), resultó en una reducción de la deforestación a lo largo de la carretera San Buenaventura-Ixiamas, dentro del territorio Indígena Tacana, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, donde las áreas de 5 km ubicadas en torno a la carretera presentaron niveles de deforestación 273 % menores que las áreas fuera del territorio indígena (Painter *et al.*, 2013). La gestión territorial indígena en la Tierra Comunitaria de Origen Tacana es, por lo tanto, reconocida cada vez más como un punto de referencia regional para la gestión ambiental. De hecho, en 2015, el Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA) recibió el Premio Ecuatorial (<http://equatorinitiative.org>) por el manejo innovador de los bosques en el territorio indígena Tacana.

Los Tacana están evidentemente comprometidos con la gestión sostenible de los recursos naturales, que se refleja en una visión territorial participativa y de abajo hacia arriba (Lehm, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017), integrada en los planes de gestión y en la zonificación (CIPTA y WCS, 2002; CIPTA y CIMTA, 2014), y que ha permitido priorizar las iniciativas económicas en curso basadas en la comunidad, varias de las cuales (cacao, lagarto, ecoturismo) también han sido reconocidas a nivel nacional e internacional (<https://bolivia.wcs.org/en-us/ITM.aspx>). Estos esfuerzos se basan en el conocimiento local sobre los recursos naturales, incluida la fauna silvestre; es el caso de la iniciativa premiada de manejo sostenible del lagarto y de las acciones de monitoreo asociadas como resultado del trabajo conjunto entre la población local y los biólogos (CIPTA y WCS, 2010; Miranda-Chumacero *et al.*, 2010). De esta manera, la alianza entre CIPTA y WCS (Painter *et al.*, 2011) reconoce implícitamente los valores fundamentales del conocimiento local (Danielsen *et al.* 2009; Turvey *et al.*, 2013) en todos los aspectos de la gestión territorial indígena.

Estos resultados son una línea de base importante frente a un proyecto de mejoramiento vial financiado por el Banco Mundial y el gobierno boliviano. Las mejoras en el camino asfaltarán el de tierra existente, ampliando así la brecha entre el hábitat boscoso y aumentando el riesgo de mortalidad de la fauna por colisión debido al incremento de la velocidad de los vehículos. Además, la reducción de los costos de transporte proporcionará incentivos para la cosecha de muchos de los recursos naturales del bosque,

incluida la fauna silvestre, lo que puede conducir a la degradación del hábitat y al aumento de la captura y la caza de animales a lo largo del camino.

Desde una perspectiva de gestión, los modelos de ocupación son especialmente atractivos como herramientas de monitoreo, ya que proporcionan una medida cuantitativa del grado en que un espacio está ocupado por una especie de vida silvestre determinada, al tiempo que controlan la detección imperfecta (Hines, 2014; MacKenzie *et al.*, 2006). Además, las covariables pueden utilizarse para investigar factores de influencia ambiental o humana que podrían influir en la ocupación o en la detectabilidad. Desde una perspectiva de gestión y monitoreo, las covariables se pueden dividir en cuatro categorías: covariables de detección, que explican la variación en la probabilidad de detección; covariables biológicas, que ayudan a entender cómo la ocupación varía en el espacio desde la perspectiva de la biología de la especie; covariables antropogénicas, que atestiguan la influencia de las amenazas en la ocupación de una especie determinada; y, finalmente, covariables de gestión, que reflejan la respuesta de la vida silvestre a acciones de gestión específicas en un área de estudio. Con el tiempo, el cambio en los valores de ocupación y la influencia de diferentes covariables pueden evaluarse dentro de un marco de gestión adaptativa (Nichols y Williams, 2013).

El objetivo general del presente estudio fue determinar la ocupación del taitetú (*Pecari tajacu*) a lo largo del camino entre San Buenaventura e Ixiamas (SBI). Este amplio objetivo tenía cuatro subobjetivos:

- i) corroborar los corredores de vida silvestre identificados por la comunidad indígena entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana;
- ii) destacar aún más la contribución de la gestión territorial indígena a la conservación de la biodiversidad en la región;
- iii) probar la ocupación como una metodología potencial con la cual monitorear las poblaciones de fauna silvestre a grandes escalas espaciales, y
- iv) establecer una línea de base integral para monitorear la fauna silvestre en el futuro ante las mejoras inminentes y significativas de la infraestructura vial.

## Resultados e implicaciones de manejo

---

El taitetú (*Pecari tajacu*) presentó una probabilidad de ocupación promedio de 0,5 en el T0 (2013), lo cual indica que está presente en el 50 % de las áreas a lo largo del camino. Los análisis con covariables revelan un fuerte efecto del camino mismo, ya que el modelo con mejor ajuste es aquel que toma en cuenta el porcentaje de suelo sin cobertura vegetal en la celda, lo cual está directamente relacionado con el camino y, en general, con la influencia humana. Según el modelo, la probabilidad de ocupación de la especie disminuye fuertemente en tanto que el porcentaje de suelo sin cobertura vegetal se incrementa a medida que aumenta la distancia a los pueblos grandes. Finalmente, la pendiente también fue relevante, la ocupación fue disminuyendo mientras la pendiente iba en aumento.

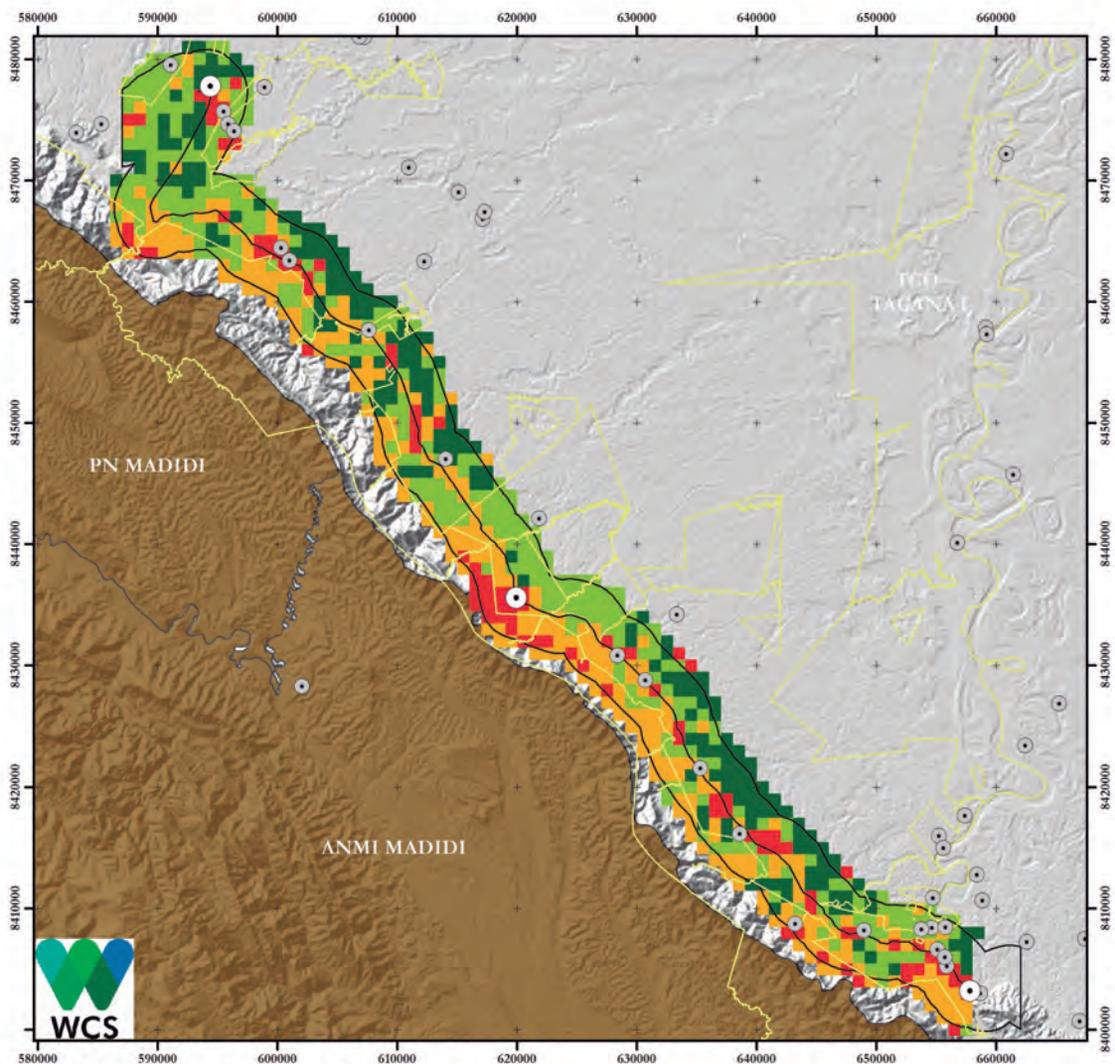
De todas maneras, la Figura 1 demuestra que, según el análisis de ocupación, todavía existen corredores de hábitat relevantes y utilizados por el taitetú a lo largo del camino. Dados estos resultados, podemos concluir que las acciones establecidas para la gestión territorial indígena han sido efectivas hasta la fecha, pero que el mejoramiento del camino

enfatisa la necesidad de preservar los corredores identificados en el estudio. Por tanto:

- Se debe mantener la cobertura de bosque, con prioridad en los corredores identificados con los datos de ocupación de *Pecari tajacu*, como también con datos de otras especies del estudio (*Tapirus terrestris*, *Mazama americana*, *Dasyprocta* spp., *Cuniculus paca*, *Leopardus* spp., *Tayassu pecari* y *Panthera onca*).
- También se debe continuar fortaleciendo el manejo de la cacería y de otros recursos naturales que las comunidades realizan en el territorio indígena Tacana.
- Se debe coordinar con la próxima empresa identificada como actor en el mejoramiento del camino, como también con la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), para asegurar que se toman en cuenta las recomendaciones señaladas y que se incorporan medidas específicas para la conectividad de la fauna entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana.



Robert Wallace/WCS



### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Pecari tajacu*

LEYENDA	
●	Capitales municipales
●	Centros poblados
—	Carretera San Buenaventura - Ixiamas
■	PNANMI Madidi
□	TCO Tacana I
○	Buffer 3 Km

VALORES DE PSI	
■	0.02 - 0.28
■	0.29 - 0.48
■	0.49 - 0.65
■	0.66 - 0.89

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	
1:410,000	
Sistema de Coordenadas: Universal Transversal de Mercator Zona 19 Sur Datum: WGS 84	

**Figura 1.** Ocupación del taitetú (*Pecari tajacu*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando categorías estandarizadas basadas en los valores de ocupación mínimos y máximos.

# Metodología

## Diseño del muestreo

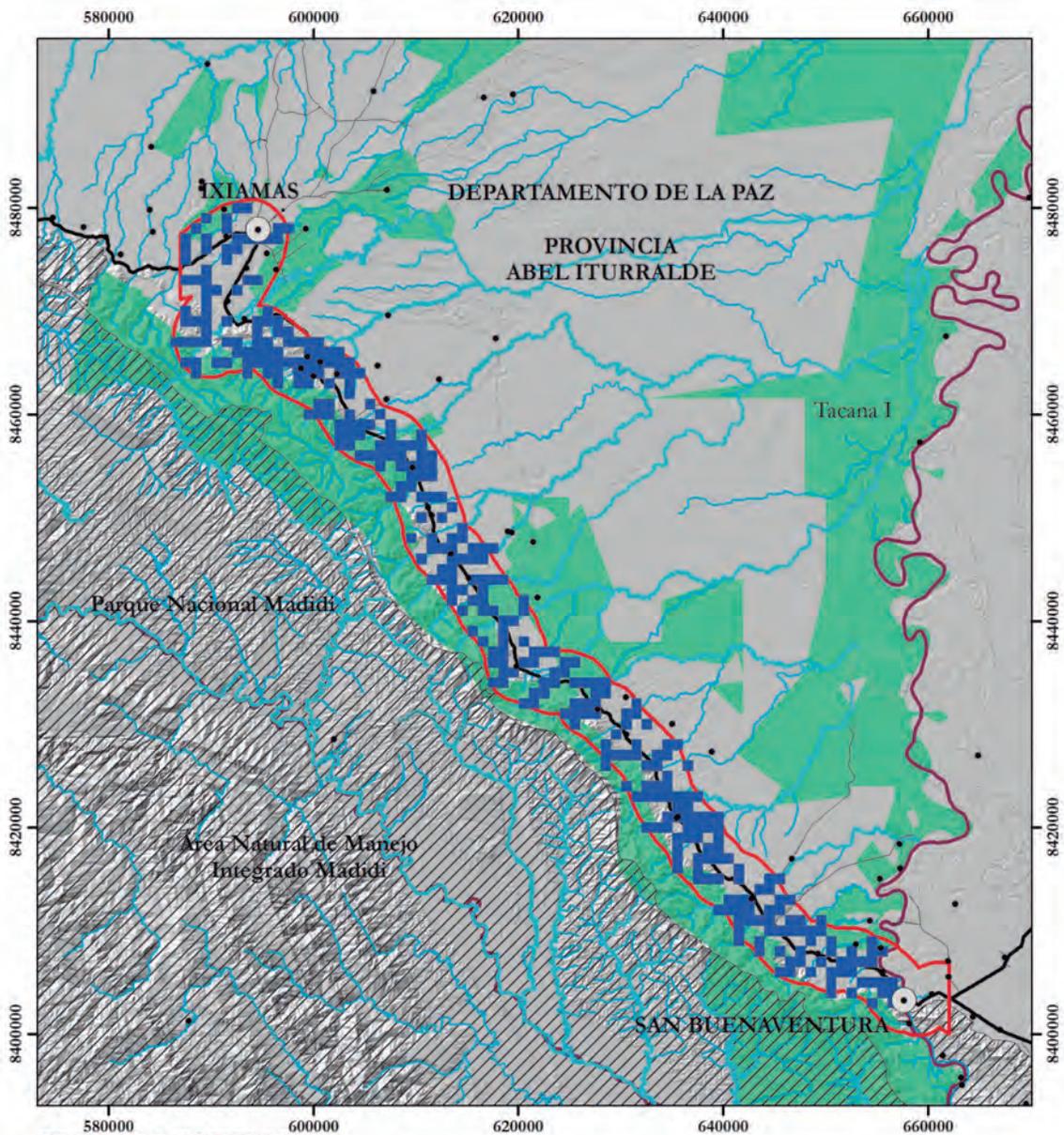
**Tabla 1.** Diseño del muestreo alcanzado para el monitoreo de la ocupación de *Pecari tajacu* a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

Diseño del muestreo		Temporadas (T)		
		T0	T1	Tn
Método		Huellas de <i>Pecari</i> a lo largo de un transecto	-	-
Esfuerzo de muestreo por sitio	Número de sitios o UM	356 (T0)	-(T1)	-(Tn)
	Tamaño y forma de las UM	1 km <sup>2</sup> (T0)	-(T1)	-(Tn)
Esfuerzo de muestreo por visita	Número de visitas	3:1 transecto de 300m dividido en 3 segmentos (T0)	-(T1)	-(Tn)
	Esfuerzo por visita	100 m (T0)	-(T1)	-(Tn)

UM: Unidades de muestreo o sitios, EM: esfuerzo de muestreo en cada visita

El área de estudio del T0 abarcó 3 km a ambos lados del camino a lo largo del trecho entre San Buenaventura e Ixiamas, en el norte de La Paz. Este camino se encuentra paralelo al límite

del Parque Nacional Madidi, el área protegida más biodiversa del mundo, y dentro del territorio indígena Tacana (Figura. 2).



**GRILLAS DE MUESTREO  
CARRETERA SAN BUENAVENTURA-IXIAMAS**



**Figura 2.** Área de estudio a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, que indica la grilla de muestreo de la ocupación/uso de la vida silvestre (T0).

Las cuadrículas de muestreo corresponden a un sistema de cuadrículas de 1 km<sup>2</sup> establecidas a nivel del Gran Paisaje Madidi-Tambopata. Dentro de cada unidad de muestreo, correspondiente a una celda de 1 km<sup>2</sup>, se dispuso espacialmente un transecto de 300 m, que fue evaluado en una ocasión, aunque los datos fueron tomados en segmentos de 25 m, completando doce segmentos por transecto en cada unidad de muestreo, para la detección del taitetú mediante la observación de huellas, heces y otros rastros de la vida silvestre. Posteriormente, se evaluaron los datos en tres segmentos de 100 m cada uno.

## Covarible

Para evaluar el estado de la población del taitetú y de otras especies de la fauna silvestre y, en el futuro, la efectividad de las acciones de conservación desarrolladas, entre ellas, la eficiencia de las medidas de mitigación propuestas para el mejoramiento del camino, se incorporaron 10 covariables de sitio vinculadas a la accesibilidad y el estado de las coberturas de vegetación, y a la influencia de las actividades humanas, identificando diferentes tipos de bosque para determinar el efecto de los mismos sobre la ocupación de la especie (Tabla 2), así como otras tres covariables de muestreo vinculadas a la heterogeneidad de las detecciones (Tabla 3).

**Tabla 2.** Covariables de sitio (CovS) utilizadas para modelar la ocupación del taitetú (*Pecari tajacu*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovS	Definición	Temporada
Dist.Arroyo-Río	Distancia (m) a un arroyo o río	TO
Pendiente	Promedio de pendiente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
HeterogeneidadHábitat	Número de hábitats presente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
%BosquePrimario	% área de bosque primario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
%BosqueSecundario	% área de bosque secundario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
Dist.PuebloGrande	Distancia (m) a un pueblo grande	TO
Dist.Comunidad	Distancia (m) a una comunidad	TO
Dist.CaminoSBI	Distancia (m) al camino principal de San Buenaventura-Ixiamas	TO
Dist.CaminoSecundario	Distancia (m) a un camino secundario	TO
%SueloSinCobertura Vegetal	% área de suelo sin vegetación en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO

**Tabla 3.** Covariables de muestreo (CovM) utilizadas para modelar la ocupación del taitetú (*Pecari tajacu*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovM	Definición	Temporada
Tipo de Substrato	Tipo de substrato (arena fina, arena, arcilla, barro húmedo, barro, piedra, suelo, suelo fino, suelo húmedo, pasto, hojarasca)	TO
Tipo de Muestreo	Tipo de unidad de muestreo (arroyo o no)	TO
Lluvia	Número de días de lluvia (rango 1-6 días)	TO

## Análisis

La estimación de la ocupación y de la detección del taitetú a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, se realizó utilizando el Presence 2.12.17 (Proteus Wildlife Research Consultants, <http://www.proteus.co.nz/>). Inicialmente se

ajustaron los modelos exploratorios utilizando las covariables de muestreo o de detección (CovK). Posteriormente, se ajustaron los modelos tomando en cuenta las 10 covariables que pudieran representar la heterogeneidad entre sitios de muestreo (CovS). Para el ajuste de los modelos, se siguieron los siguientes criterios (Tabla 4):

**Tabla 4.** Modelos ajustados y parametrización utilizada para modelar la ocupación del taitetú (*Pecari tajacu*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Modelos ajustados: TO			
Una especie - Una temporada (Single Species - Single Season)			
Parámetros		Pruebas de ajuste y selección de modelos	
S	356	Pb	$\alpha = 0,05$
K	3	C-hat	1,87
CovS	10	Iteraciones	1000
CovK	3	$\Delta AIC$	$\Delta AIC \leq 3$
Efecto de covariables		Prueba de potencia	
Prueba	Test de Wald	Modelo de estimación	Método de Guillera-Arroita y Lahoz-Monfort (2012)
Significancia	$\alpha = 0,05$	Potencia	$1 - \beta = 0,97$
		Significancia	$\alpha = 0,1$
		Umbral de Cambio	30%

## Resultados del modelo de ocupación

### Estado de la ocupación de la especie y cambios temporales en la ocupación

En el caso del taitetú, el modelo nulo ajustado a partir de las detecciones de rastros por transectos ( $S = 356$ ,  $K = 3$ ), a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, indica una probabilidad de ocupación de la especie de 0,5 (EE 0,05), es

decir, que se encuentra en más o menos el 50 % de las áreas (Tabla 5). La detectabilidad de la especie es buena (0,53, EE 0,03), lo cual coincide con lo que se sabe de su historia natural y el hecho de que deja huellas bastantes evidentes. Estos valores servirán de referencia (línea de base) para las futuras comparaciones de los posibles cambios en la ocupación.

**Tabla 5.** Probabilidad de ocupación y de detección estimadas a partir del modelo nulo ( $\psi(\cdot)$ ,  $p(\cdot)$ ), utilizado para evaluar los cambios en el estado de las poblaciones del taitetú (*Pecari tajacu*) a través de la carretera SBI: 2013 (T0- Línea de base)

Temporada	Peso del modelo nulo ( $W_i$ )	Ocupación $\psi(\cdot)$ , $p(\cdot)$		Detección		Cambio
		$\psi$	EE	P	EE	
T0	0,0001	0,5	0,03	0,53	0,03	-
T1						

### Patrones espaciales de la ocupación

Para el taitetú, el modelo con covariables que presentó los

ajustes más adecuados y que mejor explicó la ocupación de la especie, a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, fue el siguiente (Tabla 6 y 7):

**Tabla 6.** Modelo ajustado y parametrización utilizada para modelar la ocupación del taitetú (*Pecari tajacu*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

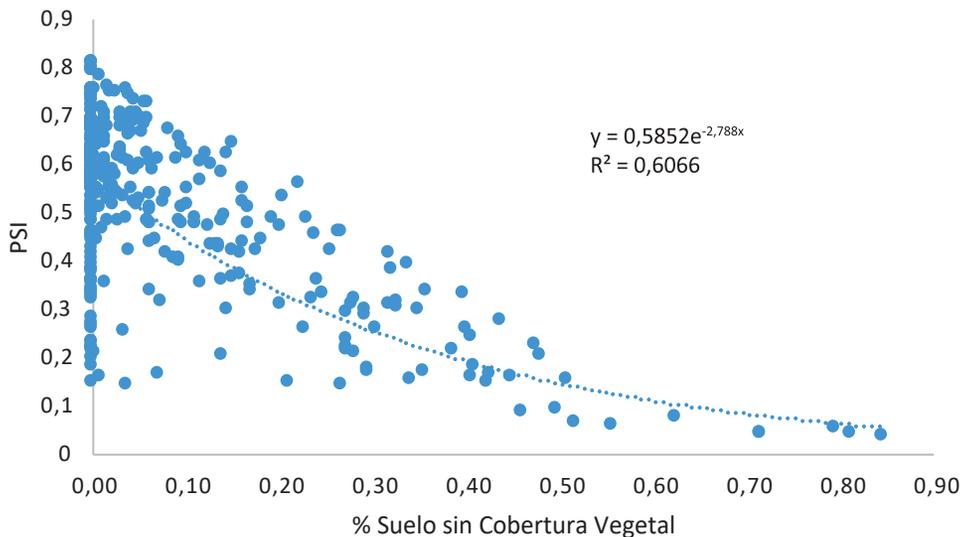
Temporada	Modelo ajustado	Peso del modelo ( $W_i$ )
T0	$\psi(\% \text{SueloSinCoberturaVegetal}, \text{Pendiente}, \text{Dist.PuebloGrande}), p$	0,77
T1		

**Tabla 7.** Covariables significativas y ocupación y detección estimadas para el taitetú (*Pecari tajacu*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

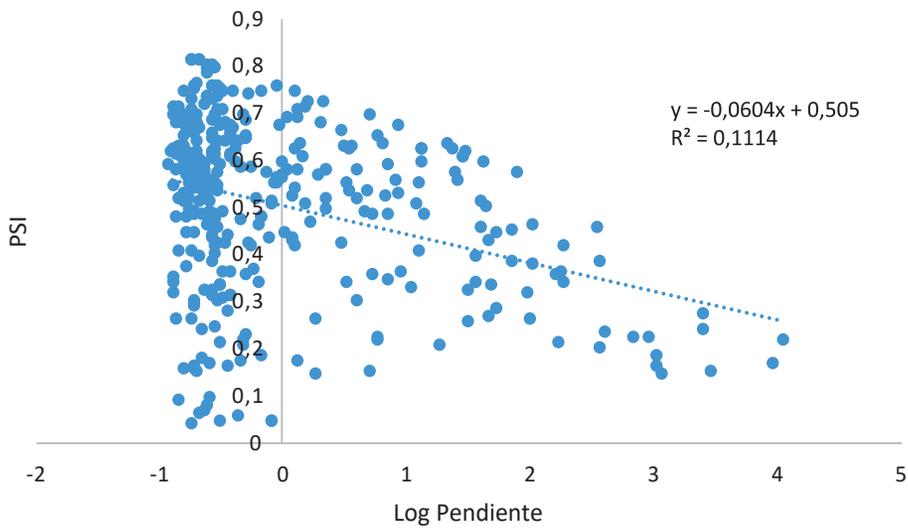
Temporada	Ocupación		Detección		Covariables significativas (tipo de efecto)	
	psi	EE (*DE)	p	EE (*DE)	CovS	CovM
T0	0,5	0,05	0,53	0,03	% SueloSinCoberturaVegetal (-Ng) Pendiente (-Ng) Dist. Pueblo Grande (+Ps)	
T1						

Estos resultados indican que el porcentaje del suelo sin cobertura vegetal en la celda (un proxy a la influencia humana de nivel fuerte) afecta negativamente, y de manera significativa, la ocupación de la especie, lo cual tiene lógica ya que es una especie vulnerable a la presencia humana por la presión de la cacería. De manera similar, la distancia a los

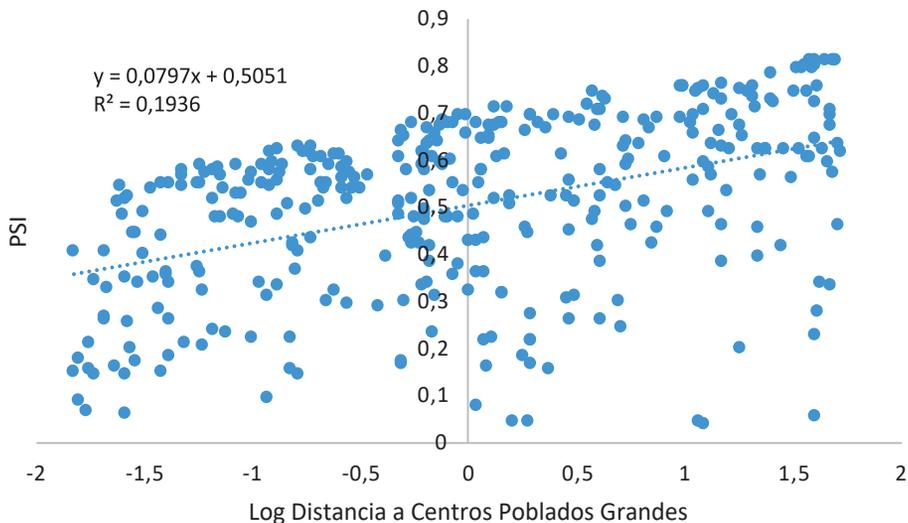
pueblos grandes influyó en la ocupación, ya que ésta fue en aumento mientras se ampliaba la distancia, lo que otra vez puso en evidencia la vulnerabilidad de la especie a la cacería. Finalmente, la ocupación del taitetú disminuyó al mismo tiempo que se produjo un aumento de la pendiente.



**Figura 3.** Ocupación del taitetú (*Pecari tajacu*) relacionada con la covariable de porcentaje de suelo sin cobertura vegetal.



**Figura 4.** Ocupación del taitetú (*Pecari tajacu*) con la covariable de distancia a la carretera principal.



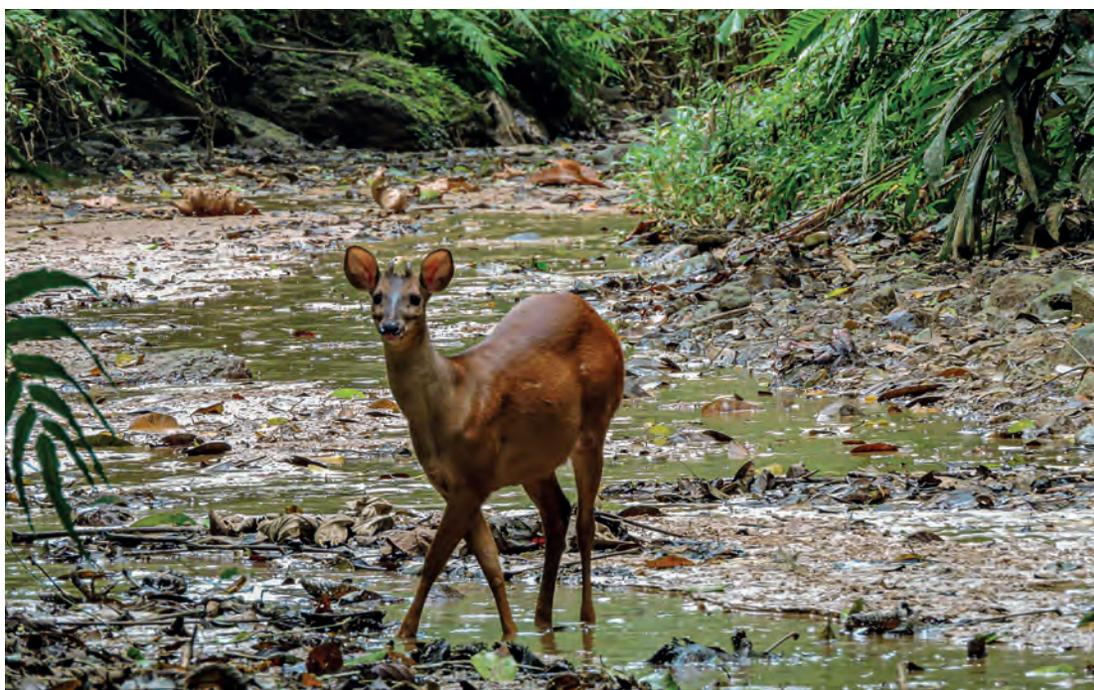
**Figura 5.** Ocupación de taitetú (*Pecari tajacu*) relacionada con la distancia a los centros poblados grandes.

### Implicaciones para el diseño del muestreo

Para mejorar las probabilidades de detección de ocupación de los grandes carnívoros neotropicales (*Panthera onca*, *Puma concolor* y *Tremarctos ornatus*), así como para precisar mejora las estimaciones de ocupación de la vida silvestre, en general, recomendamos la definición de tres transectos de 600 m, a fin de aumentar de manera efectiva el muestreo en la celda por un factor de seis en comparación con el de este estudio.

En conjunto, los resultados de ocupación, tanto del taitetú como de otras cuatro especies de mamíferos grandes, refuerzan la importancia de los cuatro corredores identificados anteriormente por las comunidades indígenas, a través de entrevistas, y de un corredor adicional, de quinta prioridad, también identificado por las comunidades a lo largo del camino. Recomendamos que estos cinco corredores tengan una máxima atención en los esfuerzos de mitigación para minimizar los impactos por la interrupción del corredor durante el proyecto de mejora de la carretera.

**RESULTADO DEL MONITOREO DE LA OCUPACIÓN DEL HUASO (*Mazama AMERICANA*) A LO LARGO DE UN CAMINO COLINDANTE CON EL PARQUE NACIONAL MADIDI, BOLIVIA: 2013**



*Mazama americana* - María Viscarra/WCS

## Objetivo del monitoreo

Estudios recientes subrayan que el manejo territorial indígena, durante la última década (2005-2014), resultó en una reducción de la deforestación a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, dentro del territorio indígena Tacana, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, donde las áreas de 5 km ubicadas en torno a la carretera presentaron niveles de deforestación 273 % menores que las áreas fuera del territorio indígena (Painter *et al.*, 2013). La gestión territorial indígena en la Tierra Comunitaria de Origen Tacana es, por lo tanto, reconocida cada vez más como un punto de referencia regional para la gestión ambiental. De hecho, en 2015, el Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA) recibió el Premio Ecuatorial (<http://equatorinitiative.org>) por el manejo innovador de los bosques en el territorio indígena Tacana.

Los Tacana están evidentemente comprometidos con la gestión sostenible de los recursos naturales, que se refleja en una visión territorial participativa y de abajo hacia arriba (Lehm, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017), integrada en los planes de gestión y en la zonificación (CIPTA y WCS, 2002; CIPTA y CIMTA, 2014), y que ha permitido priorizar las iniciativas económicas en curso basadas en la comunidad, varias de las cuales (cacao, lagarto, ecoturismo) también han sido reconocidas a nivel nacional e internacional (<https://bolivia.wcs.org/en-us/ITM.aspx>). Estos esfuerzos se basan en el conocimiento local sobre los recursos naturales, incluida la fauna silvestre; es el caso de la iniciativa premiada de manejo sostenible del lagarto y de las acciones de monitoreo asociadas como resultado del trabajo conjunto entre la población local y los biólogos (CIPTA y WCS, 2010; Miranda-Chumacero *et al.*, 2010). De esta manera, la alianza entre CIPTA y WCS (Painter *et al.*, 2011) reconoce implícitamente los valores fundamentales del conocimiento local (Danielsen *et al.*, 2009; Turvey *et al.*, 2013) en todos los aspectos de la gestión territorial indígena.

Estos resultados son una línea de base importante frente a un proyecto de mejoramiento vial financiado por el Banco Mundial y el gobierno boliviano. Las mejoras en el camino asfaltarán el de tierra existente, ampliando así la brecha entre el hábitat boscoso y aumentando el riesgo de mortalidad de la fauna por colisión debido al incremento de la velocidad de los vehículos. Además, la reducción de los costos de transporte proporcionará incentivos para la cosecha de muchos de los recursos naturales del bosque, incluida la fauna silvestre, lo que puede conducir a la

degradación del hábitat y al aumento de la captura y la caza de animales a lo largo del camino.

Desde una perspectiva de gestión, los modelos de ocupación son especialmente atractivos como herramientas de monitoreo, ya que proporcionan una medida cuantitativa del grado en que un espacio está ocupado por una especie de vida silvestre determinada, al tiempo que controlan la detección imperfecta (Hines, 2014; MacKenzie *et al.*, 2006). Además, las covariables pueden utilizarse para investigar factores de influencia ambiental o humana que podrían influir en la ocupación o en la detectabilidad. Desde una perspectiva de gestión y monitoreo, las covariables se pueden dividir en cuatro categorías: covariables de detección, que explican la variación en la probabilidad de detección; covariables biológicas, que ayudan a explicar cómo la ocupación varía en el espacio desde la perspectiva de la biología de la especie; covariables antropogénicas, que atestiguan la influencia de las amenazas en la ocupación de una especie determinada; y, finalmente, covariables de gestión, que reflejan la respuesta de la vida silvestre a acciones de gestión específicas en un área de estudio. Con el tiempo, el cambio en los valores de ocupación y la influencia de diferentes covariables pueden evaluarse dentro de un marco de gestión adaptativa (Nichols y Williams, 2013).

El objetivo general del presente estudio fue determinar la ocupación del huaso (*Mazama americana*) a lo largo del camino entre San Buenaventura e Ixiamas (SBI). Este amplio objetivo tenía cuatro subobjetivos:

- i) corroborar los corredores de vida silvestre identificados por la comunidad indígena entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana;
- ii) destacar aún más la contribución de la gestión territorial indígena a la conservación de la biodiversidad en la región;
- iii) probar la ocupación como una metodología potencial con la cual monitorear las poblaciones de fauna silvestre a grandes escalas espaciales, y
- iv) establecer una línea de base integral para monitorear la fauna silvestre en el futuro ante las mejoras inminentes y significativas de la infraestructura vial.

## Resultados e implicaciones de manejo

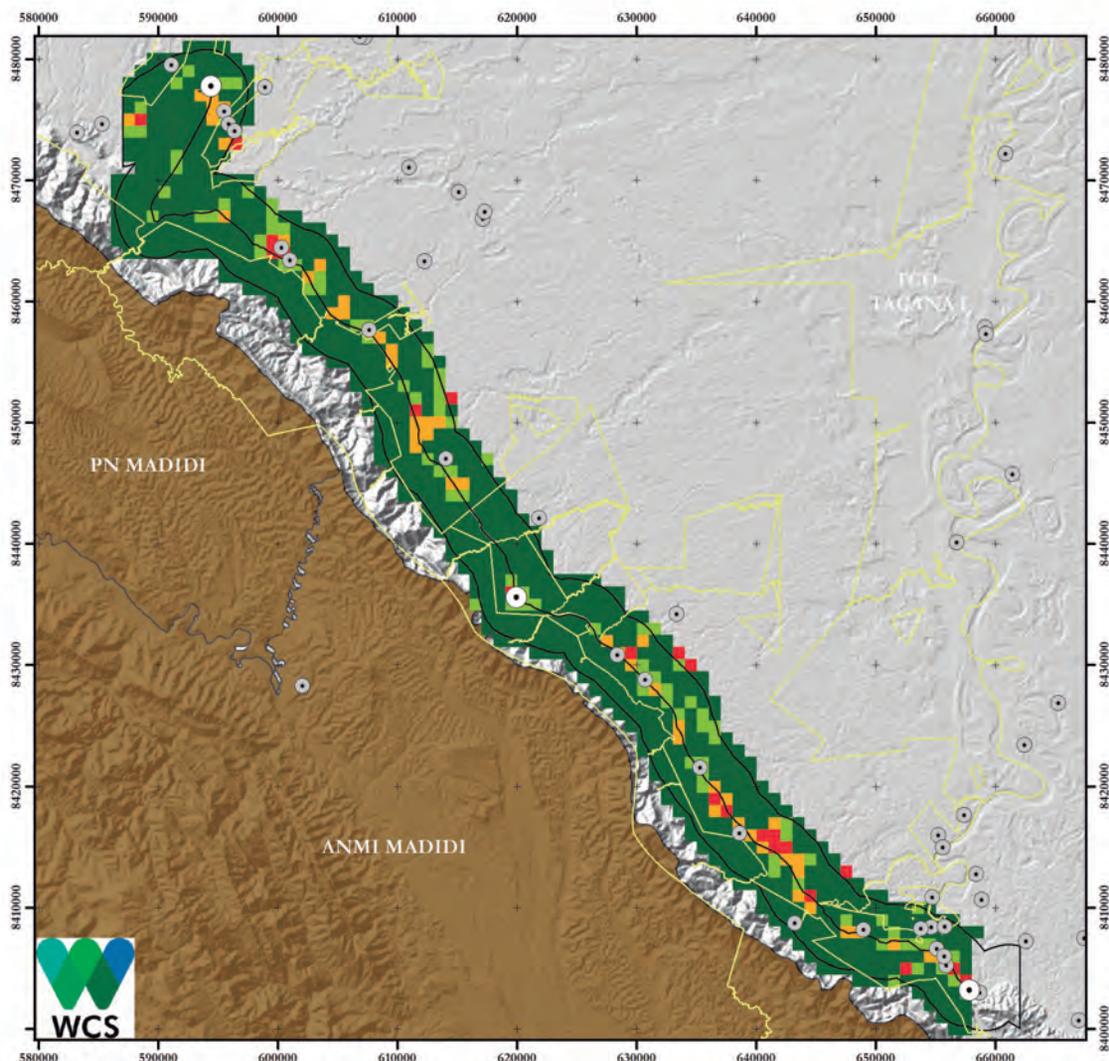
El huaso (*Mazama americana*) presentó una probabilidad de ocupación promedio de 0,56 en el T0 (2013), lo cual indica que está presente en el 56 % de las áreas a lo largo del camino. Los análisis con covariables revelan un fuerte efecto del camino mismo, ya que el modelo con mejor ajuste es aquel que toma en cuenta el porcentaje de suelo sin cobertura vegetal en la celda, lo cual está directamente relacionado con el camino y, en general, con la influencia humana. Según el modelo, la probabilidad de ocupación de la especie disminuye fuertemente cuando el porcentaje de suelo sin cobertura vegetal se incrementa.

De todas maneras, la Figura 1 demuestra que, según el análisis de ocupación, todavía existen corredores de hábitat relevantes y utilizados por el huaso a lo largo del camino. Dados estos resultados, podemos concluir que las acciones establecidas para la gestión territorial indígena han sido efectivas hasta la fecha, pero que el mejoramiento del camino enfatiza la necesidad de preservar los corredores identificados en el estudio. Por tanto:

- Se debe mantener la cobertura de bosque, con prioridad en los corredores identificados con los datos de ocupación de *Mazama americana*, como también con datos de otras especies del estudio (*Tapirus terrestris*, *Pecari tajacu*, *Dasyprocta* spp., *Cuniculus paca*, *Leopardus* spp., *Tayassu pecari* y *Panthera onca*).
- También se debe continuar fortaleciendo el manejo de la cacería y de otros recursos naturales que las comunidades realizan en el territorio indígena Tacana.
- Se debe coordinar con la próxima empresa identificada como actor en el mejoramiento del camino, como también con la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), para asegurar que se toman en cuenta las recomendaciones señaladas y que se incorporan medidas específicas para la conectividad de la fauna entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana.



*Mazama americana* - Guido Ayala & María Viscarra/WCS



**ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Mazama americana***

LEYENDA		INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	
● Capitales municipales	■ PNANMI Madidi		
● Centros poblados	⬡ TCO Tacana I		
⚡ Carretera San Buenaventura - Ixiamas	⊖ Buffer 3 Km	Sistema de Coordenadas: Universal Transversal de Mercator Zona 19 Sur Datum: WGS 84	
VALORES DE PSI			
■ 0.04 - 0.19	■ 0.35 - 0.49		
■ 0.20 - 0.34	■ 0.50 - 0.65		

**Figura 1.** Ocupación del huaso (*Mazama americana*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando categorías estandarizadas basadas en los valores de ocupación mínimos y máximos.

# Metodología

## Diseño del muestreo

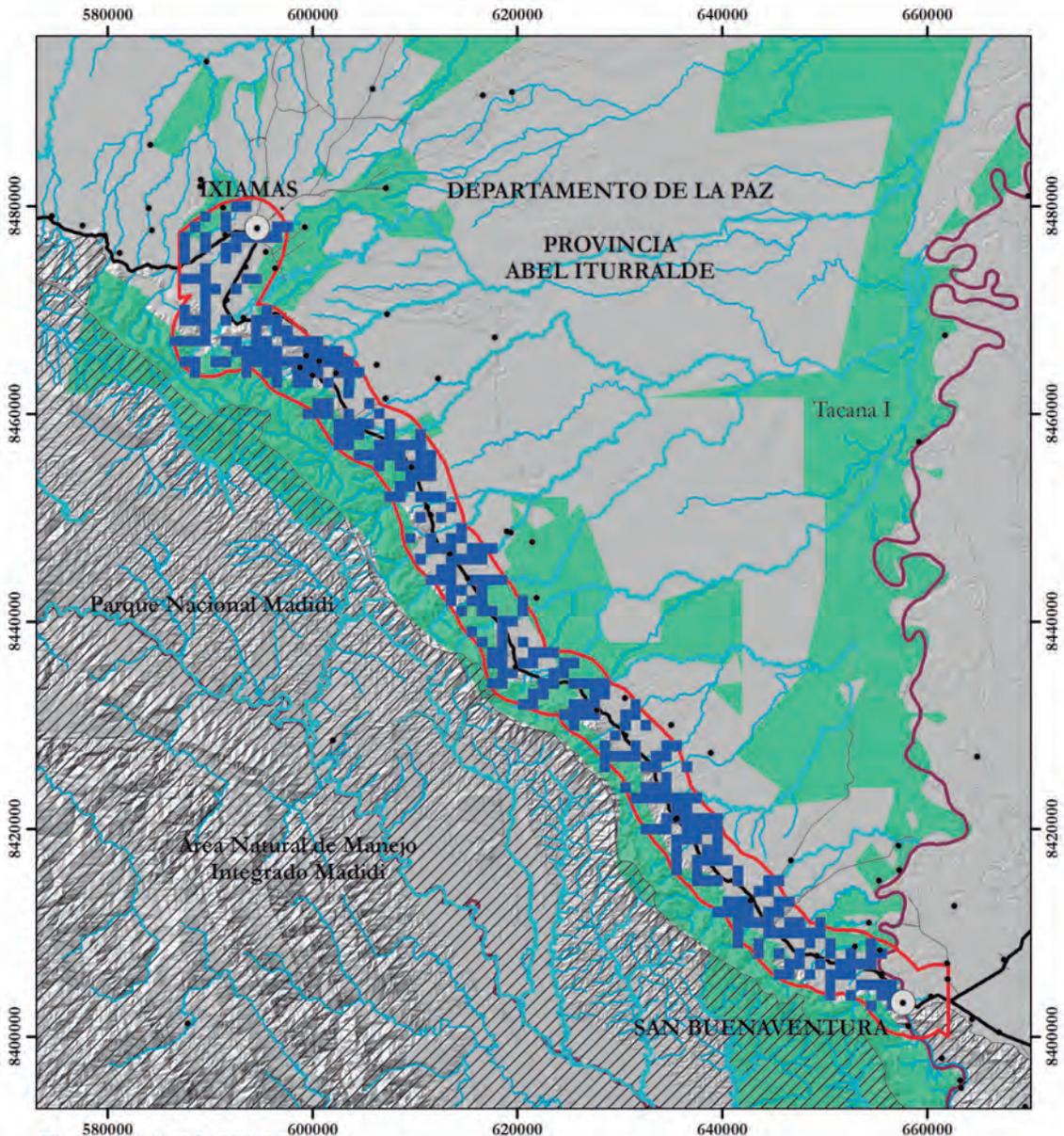
**Tabla 1.** Diseño del muestreo alcanzado para el monitoreo de la ocupación de *Mazama americana* a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

Diseño del muestreo		Temporadas (T)		
		T0	T1	Tn
Método		Huellas de <i>Mazama</i> a lo largo de un transecto	-	-
Esfuerzo de muestreo por sitio	Número de sitios o UM	356 (T0)	- (T1)	- (Tn)
	Tamaño y forma de las UM	1 km <sup>2</sup> (T0)	- (T1)	- (Tn)
Esfuerzo de muestreo por visita	Número de visitas	3:1 transecto de 300m dividido en 3 segmentos (T0)	- (T1)	- (Tn)
	Esfuerzo por visita	100 m (T0)	- (T1)	- (Tn)

UM: Unidades de muestreo o sitios, EM: esfuerzo de muestreo en cada visita

El área de estudio del T0 abarcó 3 km a ambos lados del camino a lo largo del trecho entre San Buenaventura e Ixiamas, en el norte de La Paz. Este camino se encuentra paralelo al límite

del Parque Nacional Madidi, el área protegida más biodiversa del mundo, y dentro del territorio indígena Tacana (Figura. 2).

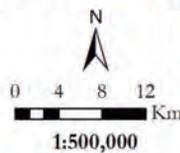


**GRILLAS DE MUESTREO  
CARRETERA SAN BUENAVENTURA-IXIAMAS**

**LEYENDA**

- Capitales municipales
  - Centros poblados
  - Ríos principales
  - Ríos secundarios
  - Caminos principales
  - Caminos secundarios
  - Caminos vecinales
  - Límite de provincia
  - ▨ Áreas protegidas
  - Territorio indígena
- Grillas de muestreo**
- Grillas muestreadas carretera San Buenaventura-Ixiamas
  - Buffer 3km

**INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA**



**Figura 2.** Área de estudio a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, que indica la grilla de muestreo de la ocupación/uso de la vida silvestre (T0).

Las cuadrículas de muestreo corresponden a un sistema de cuadrículas de 1 km<sup>2</sup> establecidas a nivel del Gran Paisaje Madidi-Tambopata. Dentro de cada unidad de muestreo, correspondiente a una celda de 1 km<sup>2</sup>, se dispuso espacialmente un transecto de 300 m, que fue evaluado en una ocasión, aunque los datos fueron tomados en segmentos de 25 m, complementando doce segmentos por transecto en cada unidad de muestreo, para la detección del huaso mediante la observación de huellas, heces y otros rastros de la vida silvestre. Posteriormente, se evaluaron los datos en tres segmentos de 100 m cada uno.

## Covarible

Para evaluar el estado de la población del huaso y de otras especies de la fauna silvestre y, en el futuro, la efectividad de las acciones de conservación desarrolladas, entre ellas, la eficiencia de las medidas de mitigación propuestas para el mejoramiento del camino, se incorporaron 10 covariables de sitio vinculadas a la accesibilidad y el estado de las coberturas de vegetación, y a la influencia de las actividades humanas, identificando diferentes tipos de bosque para determinar el efecto de los mismos sobre la ocupación de la especie (Tabla 2), así como otras tres covariables de muestreo vinculadas a la heterogeneidad de las detecciones (Tabla 3).

**Tabla 2.** Covariables de sitio (CovS) utilizadas para modelar la ocupación del huaso (*Mazama americana*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovS	Definición	Temporada
Dist.Arroyo-Río	Distancia (m) a un arroyo o río	TO
Pendiente	Promedio de pendiente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
HeterogeneidadHábitat	Número de hábitats presente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
%BosquePrimario	% área de bosque primario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
%BosqueSecundario	% área de bosque secundario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
Dist.PuebloGrande	Distancia (m) a un pueblo grande	TO
Dist.Comunidad	Distancia (m) a una comunidad	TO
Dist.CaminoSBI	Distancia (m) al camino principal de San Buenaventura-Ixiamas	TO
Dist.CaminoSecundario	Distancia (m) a un camino secundario	TO
%SueloSinCobertura Vegetal	% área de suelo sin vegetación en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO

**Tabla 3.** Covariables de muestreo (CovM) utilizadas para modelar la ocupación del huaso (*Mazama americana*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovM	Definición	Temporada
Tipo de Substrato	Tipo de substrato (arena fina, arena, arcilla, barro húmedo, barro, piedra, suelo, suelo fino, suelo húmedo, pasto, hojarasca)	TO
Tipo de Muestreo	Tipo de unidad de muestreo (arroyo o no)	TO
Lluvia	Número de días de lluvia (rango 1-6 días)	TO

## Análisis

La estimación de la ocupación y de la detección del huaso a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, se realizó utilizando el Presence 2.12.17 (Proteus Wildlife Research Consultants, <http://www.proteus.co.nz/>). Inicialmente se

ajustaron los modelos exploratorios utilizando las covariables de muestreo o de detección (CovK). Posteriormente, se ajustaron los modelos tomando en cuenta las 10 covariables que pudieran representar la heterogeneidad entre sitios de muestreo (CovS). Para el ajuste de los modelos, se siguieron los siguientes criterios (Tabla 4):

**Tabla 4.** Modelos ajustados y parametrización utilizada para modelar la ocupación del huaso (*Mazama americana*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Modelos ajustados: TO

Una especie - Una temporada (Single Species - Single Season)

Parámetros		Pruebas de ajuste y selección de modelos	
S	356	Pb	$\alpha = 0,05$
K	3	C-hat	5,06
CovS	10	Iteraciones	1000
CovK	3	$\Delta AIC$	$\Delta AIC \leq 3$

Efecto de covariables		Prueba de potencia	
Prueba	Test de Wald	Modelo de estimación	Método de Guillera-Arroita y Lahoz-Monfort (2012)
Significancia	$\alpha = 0,05$	Potencia	$1 - \beta = 0,99$
		Significancia	$\alpha = 0,1$
		Umbral de Cambio	30%

# Resultados del modelo de ocupación

## Estado de la ocupación de la especie y cambios temporales en la ocupación

En el caso del huaso, el modelo nulo ajustado a partir de las detecciones de rastros por transectos ( $S = 356$ ,  $K = 3$ ), a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, indica una

probabilidad de ocupación de la especie de 0,56 (EE 0,03), es decir, que se encuentra en más o menos el 56 % de las áreas (Tabla 5). La detectabilidad de la especie es buena (0,59, EE 0,02), lo cual coincide con lo que se sabe de su historia natural y el hecho de que deja huellas relativamente evidentes. Estos valores servirán de referencia (línea de base) para las futuras comparaciones de los posibles cambios en la ocupación.

**Tabla 5.** Probabilidad de ocupación y de detección estimadas a partir del modelo nulo ( $\psi(\cdot)$ ,  $p(\cdot)$ ), utilizado para evaluar los cambios en el estado de las poblaciones del huaso (*Mazama americana*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Peso del modelo nulo (Wi)	Ocupación $\psi(\cdot)$ , $p(\cdot)$		Detección		Cambio
		$\psi$	EE	P	EE	
T0	0,0001	0,56	0,03	0,59	0,02	-
T1						

**Tabla 6.** Modelo ajustado y parametrización utilizada para modelar la ocupación del huaso (*Mazama americana*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Modelo ajustado	Peso del modelo (Wi)
T0	$\psi(\%SueloSinCoberturaVegetal)$ , $p$	0,68
T1		

## Patrones espaciales de la ocupación

Para el huaso, el modelo con covariables que presentó los ajustes más adecuados y que mejor explicó la ocupación de la

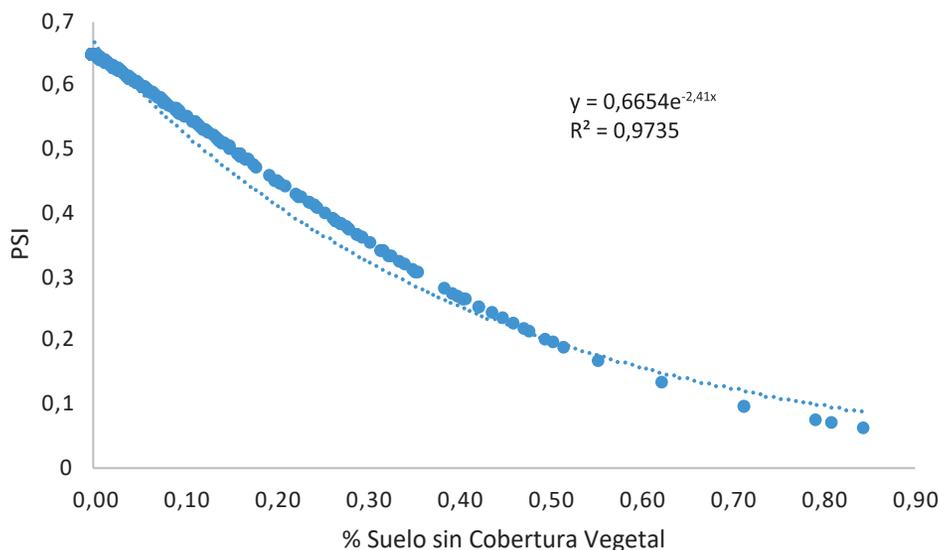
especie, a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, fue el siguiente (Tabla 6 y 7):

**Tabla 7.** Covariables significativas y ocupación y detección estimadas para el huaso (*Mazama americana*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Ocupación		Detección		Covariables significativas (tipo de efecto)	
	psi	EE (*DE)	p	EE (*DE)	CovS	CovM
T0	0,56	0,04	0,59	0,02	% SueloSinCoberturaVegetal (-Ng)	
T1						

Estos resultados indican que el porcentaje del suelo sin vegetación en la celda (un proxy a la influencia humana de nivel fuerte) afecta negativamente, y de manera significativa,

la ocupación de la especie lo cual tiene lógica ya que es una especie vulnerable a la presencia humana por la presión de la cacería.



**Figura 3.** Ocupación del huaso (*Mazama americana*) relacionada con la covariable de porcentaje de suelo sin cobertura vegetal.

### Implicaciones para el diseño del muestreo

Para mejorar las probabilidades de detección de ocupación de los grandes carnívoros neotropicales (*Panthera onca*, *Puma concolor* y *Tremarctos ornatus*), así como para precisar mejora las estimaciones de ocupación de la vida silvestre, en general, recomendamos la definición de tres transectos de 600 m, a fin de aumentar de manera efectiva el muestreo en la celda por un factor de seis en comparación con el de este estudio.

En conjunto, los resultados de ocupación, tanto del taitetú como de otras cuatro especies de mamíferos grandes, refuerzan la importancia de los cuatro corredores identificados anteriormente por las comunidades indígenas, a través de entrevistas, y de un corredor adicional, de quinta prioridad, también identificado por las comunidades a lo largo del camino. Recomendamos que estos cinco corredores tengan una máxima atención en los esfuerzos de mitigación para minimizar los impactos por la interrupción del corredor durante el proyecto de mejora de la carretera.

**RESULTADO DEL MONITOREO DE LA OCUPACIÓN DEL JOCHI PINTADO (*CUNICULUS PACA*) A LO LARGO DE UN CAMINO COLINDANTE CON EL PARQUE NACIONAL MADIDI, BOLIVIA: 2013**



*Cuniculus paca* - Robert Wallace/WCS

## Objetivo del monitoreo

---

Estudios recientes subrayan que el manejo territorial indígena, durante la última década (2005-2014), resultó en una reducción de la deforestación a lo largo de la carretera San Buenaventura-Ixiamas, dentro del Territorio Indígena Tacana, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, donde las áreas de 5 km ubicadas en torno a la carretera presentaron niveles de deforestación 273 % menores que las áreas fuera del territorio indígena (Painter *et al.*, 2013). La gestión territorial indígena en la Tierra Comunitaria de Origen Tacana es, por lo tanto, reconocida cada vez más como un punto de referencia regional para la gestión ambiental. De hecho, en 2015, el Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA) recibió el Premio Ecuatorial (<http://equatorinitiative.org>) por el manejo innovador de los bosques en el territorio indígena Tacana.

Los Tacana están evidentemente comprometidos con la gestión sostenible de los recursos naturales, que se refleja en una visión territorial participativa y de abajo hacia arriba (Lehm, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017), integrada en los planes de gestión y en la zonificación (CIPTA y WCS, 2002; CIPTA y CIMTA, 2014), y que ha permitido priorizar las iniciativas económicas en curso basadas en la comunidad, varias de las cuales (cacao, lagarto, ecoturismo) también han sido reconocidas a nivel nacional e internacional (<https://bolivia.wcs.org/en-us/ITM.aspx>). Estos esfuerzos se basan en el conocimiento local sobre los recursos naturales, incluida la fauna silvestre; es el caso de la iniciativa premiada de manejo sostenible del lagarto y de las acciones de monitoreo asociadas como resultado del trabajo conjunto entre la población local y los biólogos (CIPTA y WCS, 2010; Miranda-Chumacero *et al.*, 2010). De esta manera, la alianza entre CIPTA y WCS (Painter *et al.*, 2011) reconoce implícitamente los valores fundamentales del conocimiento local (Danielsen *et al.*, 2009; Turvey *et al.*, 2013) en todos los aspectos de la gestión territorial indígena.

Estos resultados son una línea de base importante frente a un proyecto de mejoramiento vial financiado por el Banco Mundial y el gobierno boliviano. Las mejoras en el camino asfaltarán el de tierra existente, ampliando así la brecha entre el hábitat boscoso y aumentando el riesgo de mortalidad de la fauna por colisión debido al incremento de la velocidad de los vehículos. Además, la reducción de los costos de transporte proporcionará incentivos para la cosecha de muchos de los recursos naturales del bosque, incluida la fauna silvestre, lo

que puede conducir a la degradación del hábitat y al aumento de la captura y la caza de animales a lo largo del camino.

Desde una perspectiva de gestión, los modelos de ocupación son especialmente atractivos como herramientas de monitoreo, ya que proporcionan una medida cuantitativa del grado en que un espacio está ocupado por una especie de vida silvestre determinada, al tiempo que controlan la detección imperfecta (Hines, 2014; MacKenzie *et al.*, 2006). Además, las covariables pueden utilizarse para investigar factores de influencia ambiental o humana que podrían influir en la ocupación o en la detectabilidad. Desde una perspectiva de gestión y monitoreo, las covariables se pueden dividir en cuatro categorías: covariables de detección, que explican la variación en la probabilidad de detección; covariables biológicas, que ayudan a entender cómo la ocupación varía en el espacio desde la perspectiva de la biología de la especie; covariables antropogénicas, que atestiguan la influencia de las amenazas en la ocupación de una especie determinada; y, finalmente, covariables de gestión, que reflejan la respuesta de la vida silvestre a acciones de gestión específicas en un área de estudio. Con el tiempo, el cambio en los valores de ocupación y la influencia de diferentes covariables pueden evaluarse dentro de un marco de gestión adaptativa (Nichols y Williams, 2013).

El objetivo general del presente estudio fue determinar la ocupación del jochi pintado (*Cuniculus paca*) a lo largo del camino entre San Buenaventura e Ixiamas (SBI). Este amplio objetivo tenía cuatro subobjetivos:

- i) corroborar los corredores de vida silvestre identificados por la comunidad indígena entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana;
- ii) destacar aún más la contribución de la gestión territorial indígena a la conservación de la biodiversidad en la región;
- iii) probar la ocupación como una metodología potencial con la cual monitorear las poblaciones de fauna silvestre a grandes escalas espaciales, y
- iv) establecer una línea de base integral para monitorear la vida silvestre en el futuro ante las mejoras inminentes y significativas de la infraestructura vial.

## Resultados e implicaciones de manejo

---

El jochi pintado (*Cuniculus paca*) presentó una probabilidad de ocupación promedio de 0,56 en el T0 (2013), lo cual indica que está presente en el 56 % de las áreas a lo largo del camino. Los análisis con covariables no revelan ningún efecto significativo para el jochi pintado.

De todas maneras, los resultados de las demás especies incluidas en este estudio demuestran que, según el análisis de ocupación, todavía existen corredores de hábitat relevantes y utilizados por la fauna silvestre a lo largo del camino. Dados estos resultados, podemos concluir que las acciones establecidas para la gestión territorial indígena han sido efectivas hasta la fecha, pero que el mejoramiento del camino enfatiza la necesidad de preservar los corredores identificados en el estudio. Por tanto:

- Se debe mantener la cobertura de bosque, con prioridad

en los corredores identificados con los datos de ocupación de *Cuniculus paca*, como también con datos de otras especies del estudio (*Tapirus terrestris*, *Pecari tajacu*, *Dasyprocta* spp., *Mazama americana*, *Leopardus* spp., *Tayassu pecari* y *Panthera onca*).

- También se debe continuar fortaleciendo el manejo de la cacería y de otros recursos naturales que se realizan en el territorio indígena Tacana.

- Se debe coordinar con la próxima empresa identificada como actor en el mejoramiento del camino, como también con la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), para asegurar que se toman en cuenta las recomendaciones señaladas y que se incorporan medidas específicas para la conectividad de la fauna entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana.



*Cuniculus paca* - Robert Wallace/WCS

# Metodología

## Diseño del muestreo

**Tabla 1.** Diseño del muestreo alcanzado para el monitoreo de la ocupación de *Cuniculus paca* a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

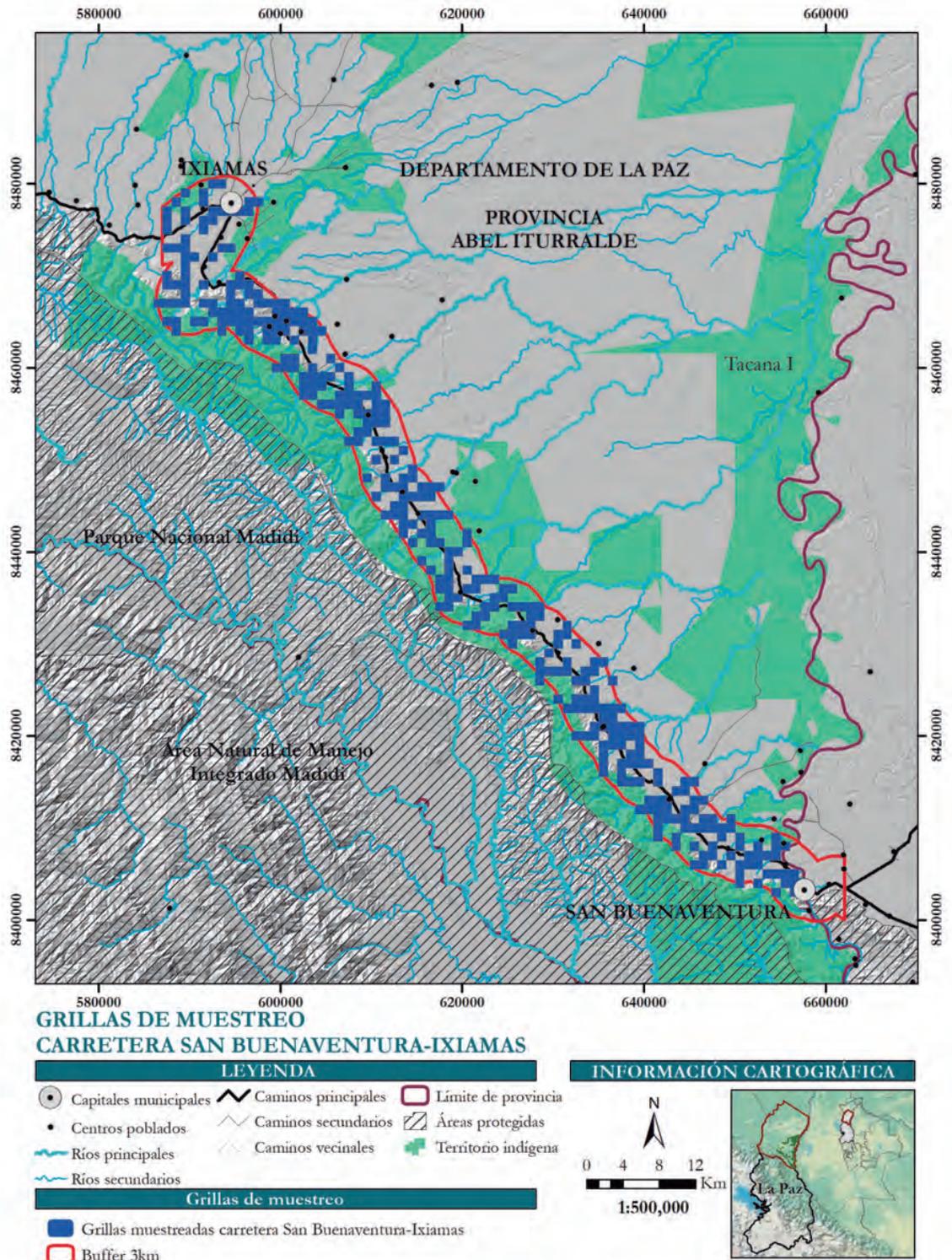
Diseño del muestreo		Temporadas (T)		
		T0	T1	Tn
Método		Huellas de <i>Cuniculus</i> a lo largo de un transecto	-	-
Esfuerzo de muestreo por sitio	Número de sitios o UM	356 (T0)	- (T1)	- (Tn)
	Tamaño y forma de las UM	1 km <sup>2</sup> (T0)	- (T1)	- (Tn)
Esfuerzo de muestreo por visita	Número de visitas	3:1 transecto de 300m dividido en 3 segmentos (T0)	- (T1)	- (Tn)
	Esfuerzo por visita	100 m (T0)	- (T1)	- (Tn)

UM: Unidades de muestreo o sitios, EM: esfuerzo de muestreo en cada visita

El área de estudio del T0 abarcó 3 km a ambos lados del camino a lo largo del trecho entre San Buenaventura e Ixiamas, en el norte de La Paz. Este camino se encuentra paralelo al límite del Parque Nacional Madidi, el área protegida más biodiversa del mundo, y dentro del territorio indígena Tacana (Figura. 1).

Las cuadrículas de muestreo corresponden a un sistema de cuadrículas de 1 km<sup>2</sup> establecidas a nivel del Gran Paisaje Madidi-Tambopata. Dentro de cada unidad de

muestreo, correspondiente a una celda de 1 km<sup>2</sup>, se dispuso espacialmente un transecto de 300 m, que fue evaluado en una ocasión, aunque los datos fueron tomados en segmentos de 25 m, completando doce segmentos por transecto en cada unidad de muestreo, para la detección del jochi pintado mediante la observación de huellas, heces y otros rastros de la vida silvestre. Posteriormente, se evaluaron los datos en tres segmentos de 100 m cada uno.



**Figura 1.** Área de estudio a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, que indica la grilla de muestreo de la ocupación/uso de la vida silvestre (TO).

Las cuadrículas de muestreo corresponden a un sistema de cuadrículas de 1 km<sup>2</sup> establecidas a nivel del Gran Paisaje Madidi-Tambopata. Dentro de cada unidad de muestreo, correspondiente a una celda de 1 km<sup>2</sup>, se dispuso espacialmente un transecto de 300 m, que fue evaluado en una ocasión, aunque los datos fueron tomados en segmentos de 25 m, completando doce segmentos por transecto en cada unidad de muestreo, para la detección del jochi pintado mediante la observación de huellas, heces y otros rastros de la vida silvestre. Posteriormente, se evaluaron los datos en tres segmentos de 100 m cada uno.

## Covariable

Para evaluar el estado de la población del jochi pintado y de otras especies de la fauna silvestre y, en el futuro, la efectividad de las acciones de conservación desarrolladas, entre ellas, la eficiencia de las medidas de mitigación propuestas para el mejoramiento del camino, se incorporaron 10 covariables de sitio vinculadas a la accesibilidad y el estado de las coberturas de vegetación, y a la influencia de las actividades humanas, identificando diferentes tipos de bosque para determinar el efecto de los mismos sobre la ocupación de la especie (Tabla 2), así como otras tres covariables de muestreo vinculadas a la heterogeneidad de las detecciones (Tabla 3).

**Tabla 2.** Covariables de sitio (CovS) utilizadas para modelar la ocupación del jochi pintado (*Cuniculus paca*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovS	Definición	Temporada
Dist.Arroyo-Río	Distancia (m) a un arroyo o río	TO
Pendiente	Promedio de pendiente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
HeterogeneidadHábitat	Número de hábitats presente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
%BosquePrimario	% área de bosque primario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
%BosqueSecundario	% área de bosque secundario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
Dist.PuebloGrande	Distancia (m) a un pueblo grande	TO
Dist.Comunidad	Distancia (m) a una comunidad	TO
Dist.CaminoSBI	Distancia (m) al camino principal de San Buenaventura-Ixiamas	TO
Dist.CaminoSecundario	Distancia (m) a un camino secundario	TO
%SueloSinCoberturaVegetal	% área de suelo sin vegetación en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO

**Tabla 3.** Covariables de muestreo (CovM) utilizadas para modelar la ocupación del jochi pintado (*Cuniculus paca*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovM	Definición	Temporada
Tipo de Substrato	Tipo de sustrato (arena fina, arena, arcilla, barro húmedo, barro, piedra, suelo, suelo fino, suelo húmedo, pasto, hojarasca)	TO
Tipo de Muestreo	Tipo de unidad de muestreo (arroyo o no)	TO
Lluvia	Número de días de lluvia (rango 1-6 días)	TO

## Análisis

La estimación de la ocupación y de la detección del jochi pintado a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, se realizó utilizando el Presence 2.12.17 (Proteus Wildlife Research Consultants, <http://www.proteus.co.nz/>).

Inicialmente se ajustaron los modelos exploratorios utilizando las covariables de muestreo o de detección (CovK). Posteriormente, se ajustaron los modelos tomando en cuenta las 10 covariables que pudieran representar la heterogeneidad entre sitios de muestreo (CovS). Para el ajuste de los modelos, se siguieron los siguientes criterios (Tabla 4):

**Tabla 4.** Modelos ajustados y parametrización utilizada para modelar la ocupación del jochi pintado (*Cuniculus paca*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Modelos ajustados: TO			
Una especie - Una temporada (Single Species - Single Season)			
Parámetros		Pruebas de ajuste y selección de modelos	
S	356	Pb	$\alpha = 0,05$
K	3	C-hat	4,88
CovS	10	Iteraciones	1000
CovK	3	$\Delta AIC$	$\Delta AIC \leq 3$
Efecto de covariables		Prueba de potencia	
Prueba	Test de Wald	Modelo de estimación	Método de Guillera-Arroita y Lahoz-Monfort (2012)
Significancia	$\alpha = 0,05$	Potencia	$1-\beta = 0,99$
		Significancia	$\alpha = 0,1$
		Umbral de Cambio	30%

## Resultados del modelo de ocupación

### Estado de la ocupación de la especie y cambios temporales en la ocupación

En el caso del jochi pintado, el modelo nulo ajustado a partir de las detecciones de rastros por transectos ( $S = 356$ ,  $K = 3$ ), a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, indica una probabilidad de ocupación de la especie de 0,56 (EE

0,03), es decir, que está en más o menos el 56 % de las áreas (Tabla 5). La detectabilidad de la especie es buena (0,57, EE 0,02), lo cual coincide con lo que se sabe de su historia natural y el hecho de que deja huellas relativamente evidentes. Estos valores servirán de referencia (línea de base) para las futuras comparaciones de los posibles cambios en la ocupación.

**Tabla 5.** Probabilidad de ocupación y detección estimadas a partir del modelo nulo ( $\psi(\cdot)$ ,  $p(\cdot)$ ), utilizado para evaluar los cambios en el estado de las poblaciones del jochi pintado (*Cuniculus paca*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Peso del modelo nulo ( $W_i$ )	Ocupación $\psi(\cdot)$ , $p(\cdot)$		Detección		Cambio
		$\psi$	EE	P	EE	
T0	1	0,56	0,03	0,57	0,02	-
T1						

### Patrones espaciales de la ocupación

Para el jochi pintado, el modelo con covariables que presentó los ajustes más adecuados y que mejor explicó la ocupación

de la especie, a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, fue el siguiente (Tabla 6 y 7):

**Tabla 6.** Modelo ajustado y parametrización utilizada para modelar la ocupación del jochi pintado (*Cuniculus paca*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Modelo ajustado	Peso del modelo ( $W_i$ )
T0	$\psi$ , $p$	1
T1		

**Tabla 7.** Covariables significativas y ocupación y detección estimadas para el jochi pintado (*Cuniculus paca*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Ocupación		Detección		Covariables significativas (tipo de efecto)	
	psi	EE (*DE)	p	EE (*DE)	CovS	CovM
T0	0,56	0,03	0,57	0,02		
T1						

Estos resultados indican que la ocupación de la especie no fue influida por ninguna covariable de manera significativa.

### Implicaciones para el diseño del muestreo

Para mejorar las probabilidades de detección de la ocupación de los grandes carnívoros neotropicales (*Panthera onca*, *Puma concolor* y *Tremarctos ornatus*), así como para precisar mejor las estimaciones de ocupación de la vida silvestre, en general, recomendamos la definición de tres transectos de 600 m, a fin de aumentar de manera efectiva el muestreo en la celda por un factor de seis en comparación con el de este estudio.

En conjunto, los resultados de ocupación, tanto del jochi pintado como de otras cuatro especies de mamíferos grandes, refuerzan la importancia de los cuatro corredores identificados anteriormente por las comunidades indígenas, a través de entrevistas, y de un corredor adicional, de quinta prioridad, también identificado por las comunidades a lo largo del camino. Recomendamos que estos cinco corredores tengan una máxima atención en los esfuerzos de mitigación para minimizar los impactos por la interrupción del corredor durante el proyecto de mejora de la carretera.



Robert Wallace/WCS

**RESULTADO DEL MONITOREO DE LA OCUPACIÓN DEL JOCHI COLORADO  
(*DASYPROCTA* spp.) A LO LARGO DE UN CAMINO COLINDANTE CON EL PARQUE  
NACIONAL MADIDI, BOLIVIA: 2013**



*Dasyprocta* spp.-Robert Wallace/WCS

## Objetivo del monitoreo

---

Estudios recientes subrayan que el manejo territorial indígena, durante la última década (2005-2014), resultó en una reducción de la deforestación a lo largo de la carretera San Buenaventura-Ixiamas, dentro del Territorio Indígena Tacana, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, donde las áreas de 5 km ubicadas en torno a la carretera presentaron niveles de deforestación 273 % menores que las áreas fuera del territorio indígena (Painter et al., 2013). La gestión territorial indígena en la Tierra Comunitaria de Origen Tacana es, por lo tanto, reconocida cada vez más como un punto de referencia regional para la gestión ambiental. De hecho, en 2015, el Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA) recibió el Premio Ecuatorial (<http://equatorinitiative.org>) por el manejo innovador de los bosques en el territorio indígena Tacana.

Los Tacana están evidentemente comprometidos con la gestión sostenible de los recursos naturales, que se refleja en una visión territorial participativa y de abajo hacia arriba (Lehm, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017), integrada en los planes de gestión y en la zonificación (CIPTA y WCS, 2002; CIPTA y CIMTA, 2014), y que ha permitido priorizar las iniciativas económicas en curso basadas en la comunidad, varias de las cuales (cacao, lagarto, ecoturismo) también han sido reconocidas a nivel nacional e internacional (<https://bolivia.wcs.org/en-us/ITM.aspx>). Estos esfuerzos se basan en el conocimiento local sobre los recursos naturales, incluida la fauna silvestre; es el caso de la iniciativa premiada de manejo sostenible del lagarto y de las acciones de monitoreo asociadas como resultado del trabajo conjunto entre la población local y los biólogos (CIPTA y WCS, 2010; Miranda-Chumacero et al., 2010). De esta manera, la alianza entre CIPTA y WCS (Painter et al., 2011) reconoce implícitamente los valores fundamentales del conocimiento local (Danielsen et al., 2009; Turvey et al., 2013) en todos los aspectos de la gestión territorial indígena.

Estos resultados son una línea de base importante frente a un proyecto de mejoramiento vial financiado por el Banco Mundial y el gobierno boliviano. Las mejoras en el camino asfaltarán el de tierra existente, ampliando así la brecha entre el hábitat boscoso y aumentando el riesgo de mortalidad de la fauna por colisión debido al incremento de la velocidad de los vehículos. Además, la reducción de los costos de transporte proporcionará incentivos para la cosecha de muchos de los recursos naturales del bosque, incluida la fauna silvestre, lo

que puede conducir a la degradación del hábitat y al aumento de la captura y la caza de animales a lo largo del camino.

Desde una perspectiva de gestión, los modelos de ocupación son especialmente atractivos como herramientas de monitoreo, ya que proporcionan una medida cuantitativa del grado en que un espacio está ocupado por una especie de vida silvestre determinada, al tiempo que controlan la detección imperfecta (Hines, 2014; MacKenzie et al., 2006). Además, las covariables pueden utilizarse para investigar factores de influencia ambiental o humana que podrían influir en la ocupación o la detectabilidad. Desde una perspectiva de gestión y monitoreo, las covariables se pueden dividir en cuatro categorías: covariables de detección, que explican la variación en la probabilidad de detección; covariables biológicas, que ayudan a entender cómo la ocupación varía en el espacio desde la perspectiva de la biología de la especie; covariables antropogénicas, que atestiguan la influencia de las amenazas en la ocupación de una especie determinada; y, finalmente, covariables de gestión, que reflejan la respuesta de la vida silvestre a acciones de gestión específicas en un área de estudio. Con el tiempo, el cambio en los valores de ocupación y la influencia de diferentes covariables pueden evaluarse dentro de un marco de gestión adaptativa (Nichols y Williams, 2013).

El objetivo general del presente estudio fue determinar la ocupación del jochi colorado (*Dasyprocta* spp.) a lo largo del camino entre San Buenaventura e Ixiamas (SBI). Este amplio objetivo tenía cuatro subobjetivos:

- i) corroborar los corredores de vida silvestre identificados por la comunidad indígena entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana;
- ii) destacar aún más la contribución de la gestión territorial indígena a la conservación de la biodiversidad en la región;
- iii) probar la ocupación como una metodología potencial con la cual monitorear las poblaciones de fauna silvestre a grandes escalas espaciales, y
- iv) Establecer una línea de base integral para monitorear la fauna silvestre en el futuro ante las mejoras inminentes y significativas de la infraestructura vial.

## Resultados e implicaciones de manejo

---

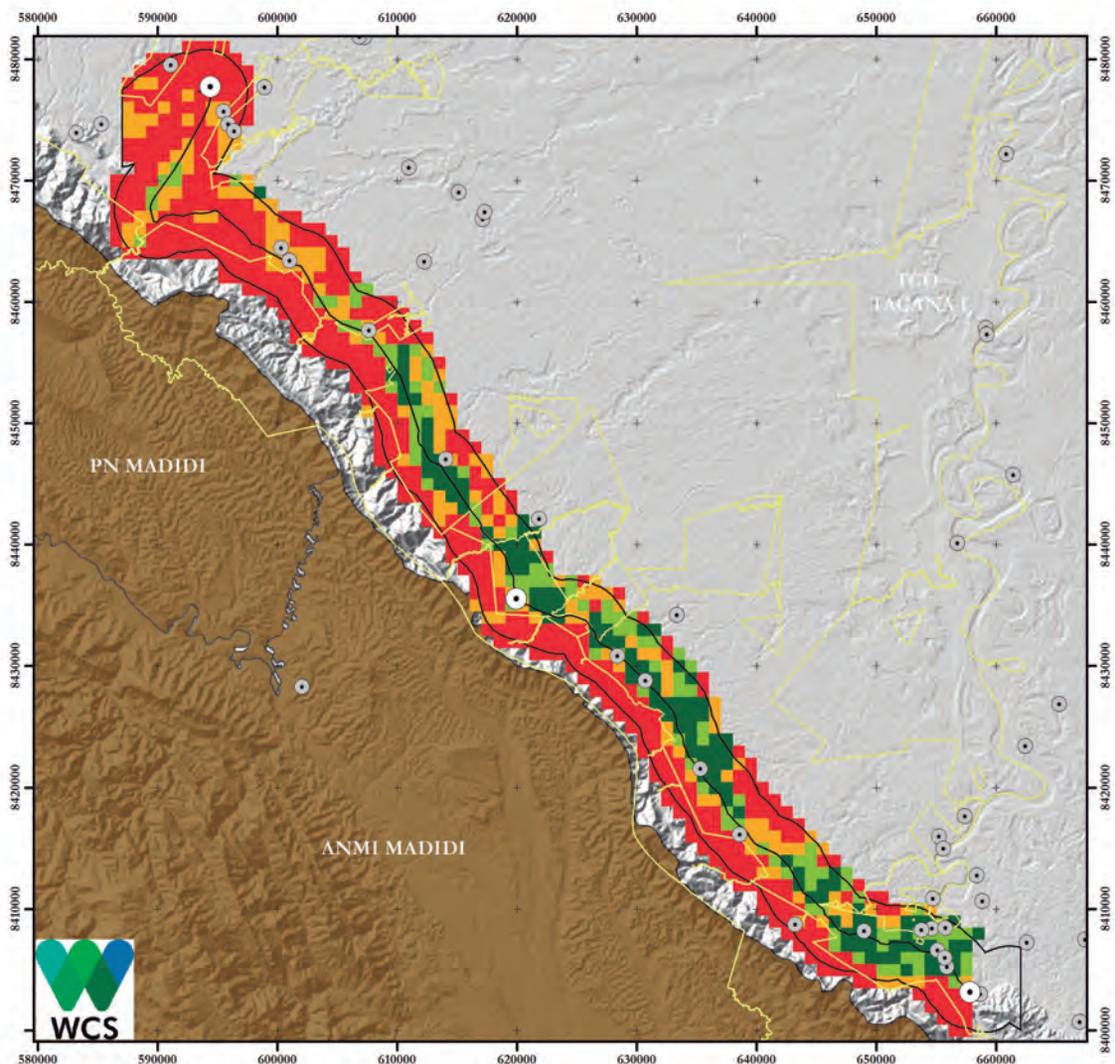
El jochi colorado (*Dasyprocta* spp.) presentó una probabilidad de ocupación promedio de 0,59 en el T0 (2013), lo cual indica que está presente en el 59 % de las áreas a lo largo del camino. Los análisis con covariables demuestran que, utilizando una combinación entre dos modelos competidores, la ocupación se incrementa en cuanto aumenta el porcentaje de bosque secundario en una celda y también la variedad de tipos de hábitat.

De todas maneras, la Figura 1 demuestra que, según el análisis de ocupación, todavía existen corredores de hábitat relevantes y utilizados por el jochi colorado a lo largo del camino. Dados estos resultados, podemos concluir que las acciones establecidas para la gestión territorial indígena han sido efectivas hasta la fecha, pero que el mejoramiento del camino enfatiza la necesidad de preservar los corredores identificadas en el estudio. Por tanto:

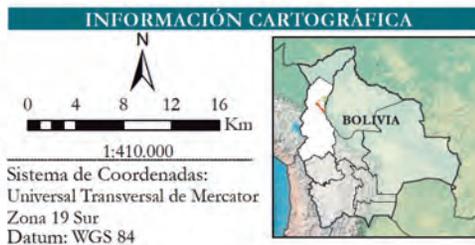
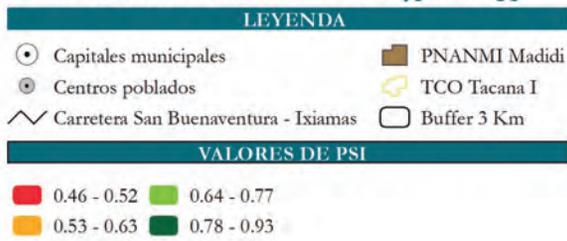
- Se debe mantener la cobertura de bosque, con prioridad en los corredores identificados con los datos de ocupación de *Dasyprocta* spp., como también con datos de otras especies del estudio (*Tapirus terrestris*, *Mazama americana*, *Pecari tajacu*, *Cuniculus paca*, *Leopardus* spp., *Tayassu pecari* y *Panthera onca*).
- También se debe continuar fortaleciendo el manejo de la cacería y de otros recursos naturales que las comunidades realizan en el territorio indígena Tacana.
- Se debe coordinar con la próxima empresa identificada como actor en el mejoramiento del camino, como también con la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), para asegurar que se toman en cuenta las recomendaciones señaladas y que se incorporan medidas específicas para la conectividad de la fauna entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana.



Robert Wallace/WCS



### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Dasyprocta* spp.



**Figura 1.** Ocupación del jochi colorado (*Dasyprocta* spp.) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando categorías estandarizadas basadas en los valores de ocupación mínimos y máximos.

# Metodología

## Diseño del muestreo

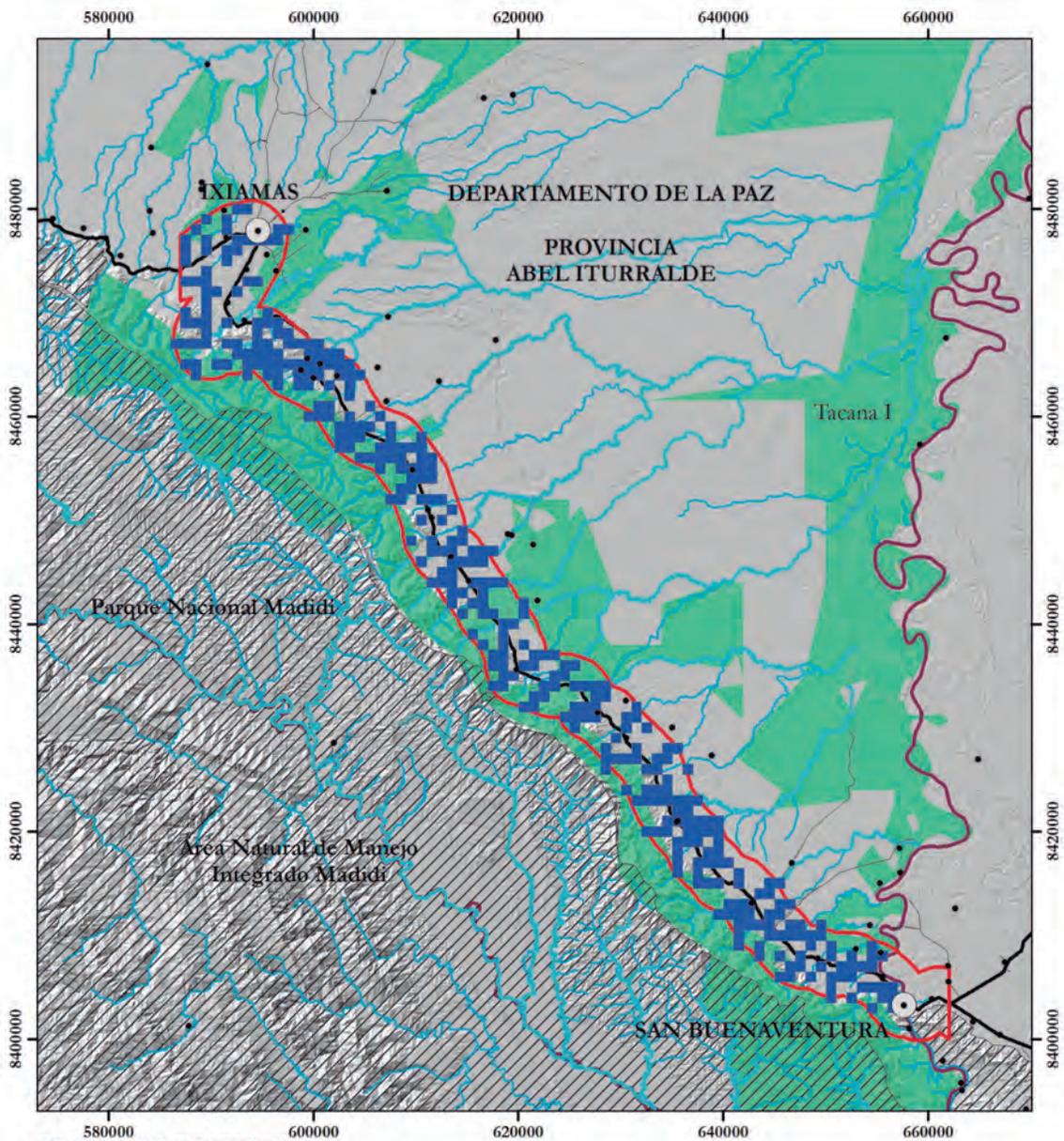
**Tabla 1.** Diseño del muestreo alcanzado para el monitoreo de la ocupación de *Dasyprocta* spp. a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

Diseño del muestreo		Temporadas (T)		
		T0	T1	Tn
Método		Huellas de <i>Dasyprocta</i> a lo largo de un transecto	-	-
Esfuerzo de muestreo por sitio	Número de sitios o UM	356 (T0)	- (T1)	- (Tn)
	Tamaño y forma de las UM	1 km <sup>2</sup> (T0)	- (T1)	- (Tn)
Esfuerzo de muestreo por visita	Número de visitas	3:1 transecto de 300m dividido en 3 segmentos (T0)	- (T1)	- (Tn)
	Esfuerzo por visita	100 m (T0)	- (T1)	- (Tn)

UM: Unidades de muestreo o sitios, EM: esfuerzo de muestreo en cada visita

El área de estudio del T0 abarcó 3 km a ambos lados del camino a lo largo del trecho entre San Buenaventura e Ixiamas, en el norte de La Paz. Este camino se encuentra paralelo al límite

del Parque Nacional Madidi, el área protegida más biodiversa del mundo, y dentro del territorio indígena Tacana (Figura. 2).



**GRILLAS DE MUESTREO  
CARRETERA SAN BUENAVENTURA-IXIAMAS**



**Figura 2.** Área de estudio a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, que indica la grilla de muestreo de la ocupación/uso de la vida silvestre (TO).

Las cuadrículas de muestreo corresponden a un sistema de cuadrículas de 1 km<sup>2</sup> establecidas a nivel del Gran Paisaje Madidi-Tambopata. Dentro de cada unidad de muestreo, correspondiente a una celda de 1 km<sup>2</sup>, se dispuso espacialmente un transecto de 300 m, que fue evaluado en una ocasión, aunque los datos fueron tomados en segmentos de 25 m, completando doce segmentos por transecto en cada unidad de muestreo, para la detección del jochi colorado mediante la observación de huellas, heces y otros rastros de la vida silvestre. Posteriormente, se evaluaron los datos en tres segmentos de 100 m cada uno.

### Covariable

Para evaluar el estado de la población del jochi colorado y de otras especies de la fauna silvestre y, en el futuro, la efectividad de las acciones de conservación desarrolladas, entre ellas, la eficiencia de las medidas de mitigación propuestas para el mejoramiento del camino, se incorporaron 10 covariables de sitio vinculadas a la accesibilidad y el estado de las coberturas de vegetación, y a la influencia de las actividades humanas, identificando diferentes tipos de bosque para determinar el efecto de los mismos sobre la ocupación de la especie (Tabla 2), así como otras tres covariables de muestreo vinculadas a la heterogeneidad de las detecciones (Tabla 3).

**Tabla 2.** Covariables de sitio (CovS) utilizadas para modelar la ocupación del jochi colorado (*Dasyprocta* spp.) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovS	Definición	Temporada
Dist.Arroyo-Río	Distancia (m) a un arroyo o río	TO
Pendiente	Promedio de pendiente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
HeterogeneidadHábitat	Número de hábitats presente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
%BosquePrimario	% área de bosque primario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
%BosqueSecundario	% área de bosque secundario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
Dist.PuebloGrande	Distancia (m) a un pueblo grande	TO
Dist.Comunidad	Distancia (m) a una comunidad	TO
Dist.CaminoSBI	Distancia (m) al camino principal de San Buenaventura-Ixiamas	TO
Dist.CaminoSecundario	Distancia (m) a un camino secundario	TO
%SueloSinCobertura Vegetal	% área de suelo sin vegetación en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO

**Tabla 3.** Covariables de muestreo (CovM) utilizadas para modelar la ocupación del jochi colorado (*Dasyprocta* spp.) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovM	Definición	Temporada
Tipo de Substrato	Tipo de sustrato (arena fina, arena, arcilla, barro húmedo, barro, piedra, suelo, suelo fino, suelo húmedo, pasto, hojarasca)	TO
Tipo de Muestreo	Tipo de unidad de muestreo (arroyo o no)	TO
Lluvia	Número de días de lluvia (rango 1-6 días)	TO

## Análisis

La estimación de la ocupación y de la detección del jochi colorado a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, se realizó utilizando el Presence 2.12.17 (Proteus Wildlife Research Consultants, <http://www.proteus.co.nz/>).

Inicialmente se ajustaron los modelos exploratorios utilizando las covariables de muestreo o de detección (CovK). Posteriormente, se ajustaron los modelos tomando en cuenta las 10 covariables que pudieran representar la heterogeneidad entre sitios de muestreo (CovS). Para el ajuste de los modelos, se siguieron los siguientes criterios (Tabla 4):

**Tabla 4.** Modelos ajustados y parametrización utilizada para modelar la ocupación del jochi colorado (*Dasyprocta* spp.) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea base)

Modelos ajustados: TO

Una especie - Una temporada (Single Species - Single Season)

Parámetros		Pruebas de ajuste y selección de modelos	
S	356	Pb	$\alpha = 0,05$
K	3	C-hat	6,38
CovS	10	Iteraciones	1000
CovK	3	$\Delta AIC$	$\Delta AIC \leq 3$
Efecto de covariables		Prueba de potencia	
Prueba	Test de Wald	Modelo de estimación	Método de Guillera-Arroita y Lahoz-Monfort (2012)
Significancia	$\alpha = 0,05$	Potencia	$1 - \beta = 0,99$
		Significancia	$\alpha = 0,1$
		Umbral de Cambio	30%

# Resultados del modelo de ocupación

## Estado de la ocupación de la especie y cambios temporales en la ocupación

En el caso del jochi colorado, el modelo nulo ajustado a partir de las detecciones de rastros por transectos ( $S = 356$ ,  $K = 3$ ), a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, indica una

probabilidad de ocupación de la especie de 0,59 (EE 0,03), es decir, que está en más o menos el 59 % de las áreas (Tabla 5). La detectabilidad de la especie es buena (0,53, EE 0,03), lo cual coincide con lo que se sabe de su historia natural y el hecho de que deja huellas razonablemente evidentes. Estos valores servirán de referencia (línea de base) para las futuras comparaciones de los posibles cambios en la ocupación.

**Tabla 5.** Probabilidad de ocupación y detección estimadas a partir del modelo nulo ( $\psi(\cdot)$ ,  $p(\cdot)$ ), utilizado para evaluar los cambios en el estado de las poblaciones del jochi colorado (*Dasyprocta* spp.) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Peso del modelo nulo ( $W_i$ )	Ocupación $\psi(\cdot)$ , $p(\cdot)$		Detección		Cambio
		$\psi$	EE	P	EE	
T0	0,0001	0,59	0,03	0,53	0,03	-
T1						

## Patrones espaciales de la ocupación

Para el jochi colorado, los dos modelos con covariables presentaron los ajustes más adecuados y la combinación de

ambos modelos explicaron mejor la ocupación de la especie a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, (Tabla 6 y 7):

**Tabla 6.** Modelos ajustados y parametrización utilizada para modelar la ocupación del jochi colorado (*Dasyprocta* spp.) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

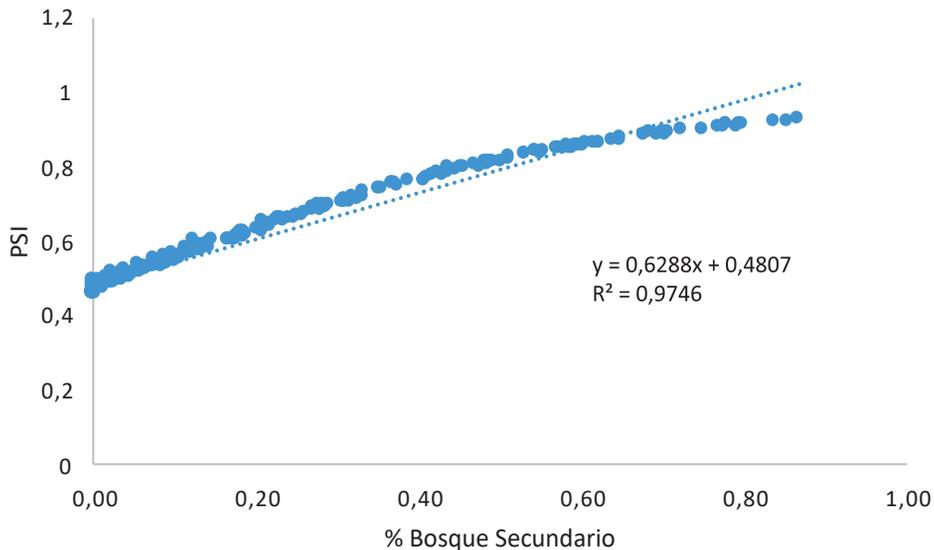
Temporada	Modelo ajustado	Peso del modelo ( $W_i$ )
T0	$\psi(\%BosqueSecundario)$ , $p$ $\psi(\text{HabitatHetero.})$ , $p$	0,52 0,32
T1		

**Tabla 7.** Covariables significativas y ocupación y detección estimadas para el jochi colorado (*Dasyprocta* spp.) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Ocupación		Detección		Covariables significativas (tipo de efecto)	
	psi	EE (*DE)	p	EE (*DE)	CovS	CovM
T0	0,59	0,05	0,53	0,03	% Bosque Secundario (+Ps) Hábitat Heterogeneidad (+Ps)	
T1						

Estos resultados indican que mientras hay más bosque secundario y una variedad de hábitats en una celda, aumenta

la ocupación del jochi colorado (*Dasyprocta* spp.), otra vez respondiendo a la historia natural conocida de la especie.



**Figura 3.** Ocupación del jochi colorado (*Dasyprocta* spp.) relacionada con la covariable de porcentaje de cobertura de bosque secundario.

### Implicaciones para el diseño del muestreo

Para mejorar las probabilidades de detección de ocupación de los grandes carnívoros neotropicales (*Panthera onca*, *Puma concolor* y *Tremarctos ornatus*), así como para precisar mejor las estimaciones de ocupación de la vida silvestre, en general, recomendamos la definición de tres transectos de 600 m, a fin de aumentar de manera efectiva el muestreo en la celda por un factor de seis en comparación con el de este estudio.

En conjunto, los resultados de ocupación, tanto del jochi pintado como de otras cuatro especies de mamíferos grandes, refuerzan la importancia de los cuatro corredores identificados anteriormente por las comunidades indígenas, a través de entrevistas, y de un corredor adicional, de quinta prioridad, también identificado por las comunidades a lo largo del camino. Recomendamos que estos cinco corredores tengan una máxima atención en los esfuerzos de mitigación para minimizar los impactos por la interrupción del corredor durante el proyecto de mejora de la carretera.

**RESULTADOS DEL MONITOREO DE LA OCUPACIÓN DE LOS PEQUEÑOS FELINOS  
(*LEOPARDUS* SPP.) A LO LARGO DE UN CAMINO COLINDANTE CON EL PARQUE  
NACIONAL MADIDI, BOLIVIA: 2013**



*Leopardus pardalis* - Guido Ayala & María Viscarra/WCS

## Objetivo del monitoreo

---

Estudios recientes subrayan que el manejo territorial indígena, durante la última década (2005-2014), resultó en una reducción de la deforestación a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, dentro del territorio indígena Tacana, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, donde las áreas de 5 km ubicadas en torno a la carretera presentaron niveles de deforestación 273 % menores que las áreas fuera del territorio indígena (Painter *et al.*, 2013). La gestión territorial indígena en la Tierra Comunitaria de Origen Tacana es, por lo tanto, reconocida cada vez más como un punto de referencia regional para la gestión ambiental. De hecho, en 2015, el Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA) recibió el Premio Ecuatorial (<http://equatorinitiative.org>) por el manejo innovador de los bosques en el territorio indígena de Tacana.

Los Tacana están evidentemente comprometidos con la gestión sostenible de los recursos naturales, que se refleja en una visión territorial participativa y de abajo hacia arriba (Lehm, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017), integrada en los planes de gestión y en la zonificación (CIPTA y WCS, 2002; CIPTA y CIMTA, 2014), y que ha permitido priorizar las iniciativas económicas en curso basadas en la comunidad, varias de las cuales (cacao, lagarto, ecoturismo) también han sido reconocidas a nivel nacional e internacional (<https://bolivia.wcs.org/en-us/ITM.aspx>). Estos esfuerzos se basan en el conocimiento local sobre los recursos naturales, incluida la fauna silvestre; es el caso de la iniciativa premiada de manejo sostenible del lagarto y de las acciones de monitoreo asociadas como resultado del trabajo conjunto entre la población local y los biólogos (CIPTA y WCS, 2010; Miranda-Chumacero *et al.*, 2010). De esta manera, la alianza entre CIPTA y WCS (Painter *et al.*, 2011) reconoce implícitamente los valores fundamentales del conocimiento local (Danielsen *et al.*, 2009; Turvey *et al.*, 2013) en todos los aspectos de la gestión territorial indígena.

Estos resultados son una línea de base importante frente a un proyecto de mejoramiento vial financiado por el Banco Mundial y el gobierno boliviano. Las mejoras en el camino asfaltarán el de tierra existente, ampliando así la brecha entre el hábitat boscoso y aumentando el riesgo de mortalidad de la fauna por colisión debido al incremento de la velocidad de los vehículos. Además, la reducción de los costos de transporte proporcionará incentivos para la cosecha de muchos de los recursos naturales del bosque, incluida la fauna silvestre, lo

que puede conducir a la degradación del hábitat y al aumento de la captura y la caza de animales a lo largo del camino.

Desde una perspectiva de gestión, los modelos de ocupación son especialmente atractivos como herramientas de monitoreo, ya que proporcionan una medida cuantitativa del grado en que un espacio está ocupado por una especie de vida silvestre determinada, al tiempo que controlan la detección imperfecta (Hines, 2014; MacKenzie *et al.*, 2006). Además, las covariables pueden utilizarse para investigar factores de influencia ambiental o humana que podrían influir en la ocupación o la detectabilidad. Desde una perspectiva de gestión y monitoreo, las covariables se pueden dividir en cuatro categorías: covariables de detección, que explican la variación en la probabilidad de detección; covariables biológicas, que ayudan a entender cómo la ocupación varía en el espacio desde la perspectiva de la biología de la especie; covariables antropogénicas, que atestiguan la influencia de las amenazas en la ocupación de una especie determinada; y, finalmente, covariables de gestión, que reflejan la respuesta de la vida silvestre a acciones de gestión específicas en un área de estudio. Con el tiempo, el cambio en los valores de ocupación y la influencia de diferentes covariables pueden evaluarse dentro de un marco de gestión adaptativa (Nichols y Williams, 2013).

El objetivo general del presente estudio fue determinar la ocupación de los pequeños felinos (*Leopardus* spp.) a lo largo del camino entre San Buenaventura e Ixiamas (SBI). Este amplio objetivo tenía cuatro subobjetivos:

- i) corroborar los corredores de vida silvestre identificados por la comunidad indígena entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana;
- ii) destacar aún más la contribución de la gestión territorial indígena a la conservación de la biodiversidad en la región;
- iii) probar la ocupación como una metodología potencial con la cual monitorear las poblaciones de fauna silvestre a grandes escalas espaciales, y
- iv) establecer una línea de base integral para monitorear la fauna silvestre en el futuro ante las mejoras inminentes y significativas de la infraestructura vial.

## Resultados e implicaciones de manejo

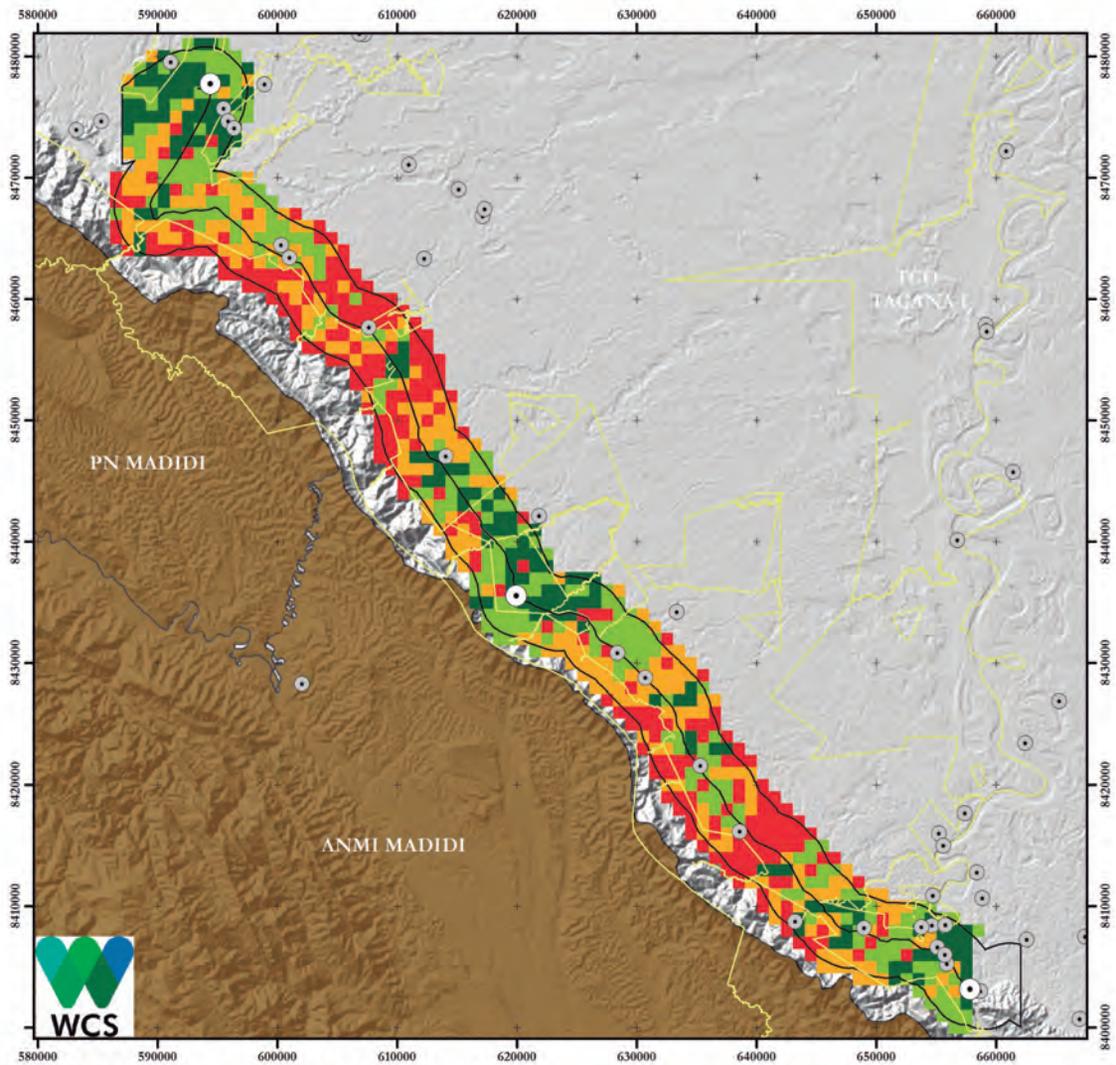
Los pequeños felinos (*Leopardus* spp.) presentaron una probabilidad de ocupación promedio de 0,33 en el T0 (2013), lo cual indica que están presentes en el 33 % de las áreas a lo largo del camino. Los análisis con covariables señalan que los valores de ocupación disminuyen conforme la distancia a un río y arroyo se incrementa; mientras que la variedad de tipos de hábitat en una celda aumenta los valores de ocupación de estas especies.

De todas maneras, la Figura 1 demuestra que, según el análisis de ocupación, todavía existen corredores de hábitat relevantes y utilizados por los pequeños felinos a lo largo del camino. Dados estos resultados, podemos concluir que las acciones establecidas para la gestión territorial indígena han sido efectivas hasta la fecha, pero que el mejoramiento del camino enfatiza la necesidad de preservar los corredores identificados en el estudio. Por tanto:

- Se debe mantener la cobertura de bosque, con prioridad en los corredores identificados con los datos de ocupación de *Leopardus* spp, como también con datos de otras especies del estudio (*Tapirus terrestris*, *Pecari tajacu*, *Mazama americana*, *Dasyprocta* spp., *Cuniculus paca*, *Tayassu pecari* y *Panthera onca*).
- También se debe continuar fortaleciendo el manejo de la cacería y de otros recursos naturales que las comunidades realizan en el territorio indígena Tacana.
- Se debe coordinar con la próxima empresa identificada como actor en el mejoramiento del camino, como también con la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), para asegurar que se toman en cuenta las recomendaciones señaladas y que se incorporan medidas específicas para la conectividad de la fauna entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana.



*Leopardus pardalis* - Guido Ayala & María Viscarra/WCS



**ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Leopardus* spp.**

LEYENDA	
⊙	Capitales municipales
⊙	Centros poblados
—	Carretera San Buenaventura - Ixiamas
■	PNANMI Madidi
⬭	TCO Tacana I
□	Buffer 3 Km

VALORES DE PSI	
■	0.001 - 0.15
■	0.16 - 0.33
■	0.34 - 0.53
■	0.54 - 0.86

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA
  1:410.000 Sistema de Coordenadas: Universal Transversal de Mercator Zona 19 Sur Datum: WGS 84


**Figura 1.** Ocupación de los pequeños felinos (*Leopardus* spp.) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando categorías estandarizadas basadas en los valores de ocupación mínimos y máximos.

# Metodología

## Diseño del muestreo

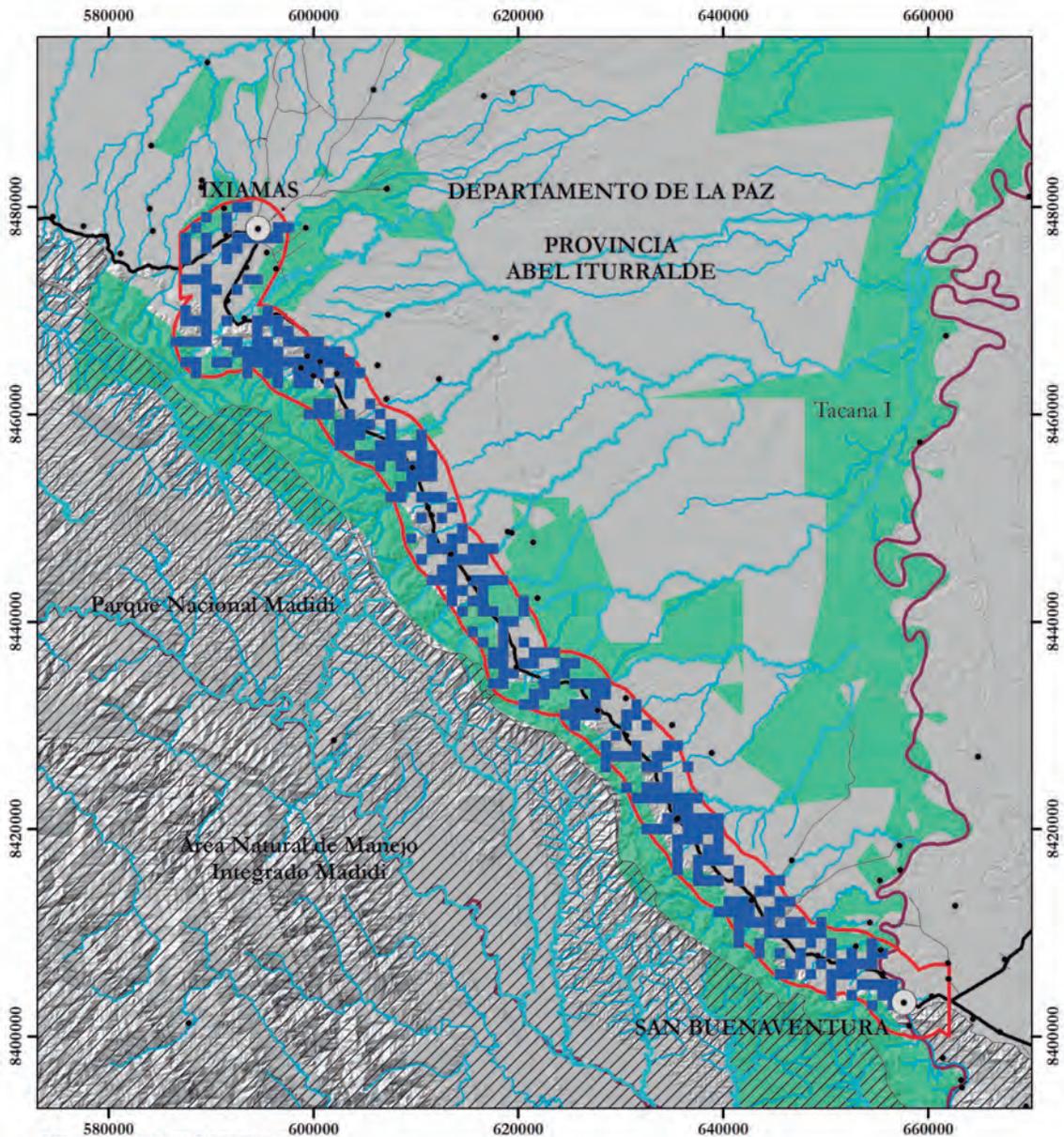
**Tabla 1.** Diseño del muestreo alcanzado para el monitoreo de la ocupación de *Leopardus* spp. a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

Diseño del muestreo		Temporadas (T)		
		T0	T1	Tn
Método		Huellas de <i>Leopardus</i> a lo largo de un transecto	-	-
Esfuerzo de muestreo por sitio	Número de sitios o UM	356 (T0)	-(T1)	-(Tn)
	Tamaño y forma de las UM	1 km <sup>2</sup> (T0)	-(T1)	-(Tn)
Esfuerzo de muestreo por visita	Número de visitas	3:1 transecto de 300m dividido en 3 segmentos (T0)	-(T1)	-(Tn)
	Esfuerzo por visita	100 m (T0)	-(T1)	-(Tn)

UM: Unidades de muestreo o sitios, EM: esfuerzo de muestreo en cada visita

El área de estudio del T0 abarcó 3 km a ambos lados del camino a lo largo del trecho entre San Buenaventura e Ixiamas, en el norte de La Paz. Este camino se encuentra paralelo al límite

del Parque Nacional Madidi, el área protegida más biodiversa del mundo, y dentro del territorio indígena Tacana (Figura. 2).



**GRILLAS DE MUESTREO  
CARRETERA SAN BUENAVENTURA-IXIAMAS**

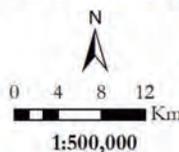
**LEYENDA**

- Capitales municipales
- Centros poblados
- Ríos principales
- Ríos secundarios
- Caminos principales
- Caminos secundarios
- Caminos vecinales
- Límite de provincia
- ▨ Áreas protegidas
- Territorio indígena

**Grillas de muestreo**

- Grillas muestreadas carretera San Buenaventura-Ixiamas
- Buffer 3km

**INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA**



**Figura 2.** Área de estudio a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, que indica la grilla de muestreo de la ocupación/uso de la vida silvestre (T0).

Las cuadrículas de muestreo corresponden a un sistema de cuadrículas de 1 km<sup>2</sup> establecidas a nivel del Gran Paisaje Madidi-Tambopata. Dentro de cada unidad de muestreo, correspondiente a una celda de 1 km<sup>2</sup>, se dispuso espacialmente un transecto de 300 m, que fue evaluado en una ocasión, aunque los datos se tomaron en segmentos de 25 m, completando doce segmentos por transecto en cada unidad de muestreo, para la detección de los pequeños felinos mediante la observación de huellas, heces y otros rastros de la vida silvestre. Posteriormente, se evaluaron los datos en tres segmentos de 100 m cada uno.

### Covarible

Para evaluar el estado de la población de los pequeños felinos y de otras especies de fauna silvestre y, en el futuro, la efectividad de las acciones de conservación desarrolladas, entre ellas, la eficiencia de las medidas de mitigación propuestas para el mejoramiento del camino, se incorporaron 10 covariables de sitio vinculadas a la accesibilidad y el estado de las coberturas, y a la influencia de las actividades humanas, identificando diferentes tipos de bosque para determinar el efecto de los mismos sobre la ocupación de la especie (Tabla 2), así como otras tres covariables de muestreo vinculadas a la heterogeneidad de las detecciones (Tabla 3).

**Tabla 2.** Covariables de sitio (CovS) utilizadas para modelar la ocupación de los pequeños felinos (*Leopardus* spp.) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea base)

CovS	Definición	Temporada
Dist.Arroyo-Río	Distancia (m) a un arroyo o río	TO
Pendiente	Promedio de pendiente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
HeterogeneidadHábitat	Número de hábitats presente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
%BosquePrimario	% área de bosque primario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
%BosqueSecundario	% área de bosque secundario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO
Dist.PuebloGrande	Distancia (m) a un pueblo grande	TO
Dist.Comunidad	Distancia (m) a una comunidad	TO
Dist.CaminoSBI	Distancia (m) al camino principal de San Buenaventura-Ixiamas	TO
Dist.CaminoSecundario	Distancia (m) a un camino secundario	TO
%SueloSinCoberturaVegetal	% área de suelo sin vegetación en la celda de 1 km <sup>2</sup>	TO

**Tabla 3.** Covariables de muestreo (CovM) utilizadas para modelar la ocupación de los pequeños felinos (*Leopardus* spp.) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea base)

CovM	Definición	Temporada
Tipo de Substrato	Tipo de sustrato (arena fina, arena, arcilla, barro húmedo, barro, piedra, suelo, suelo fino, suelo húmedo, pasto, hojarasca)	TO
Tipo de Muestreo	Tipo de unidad de muestreo (arroyo o no)	TO
Lluvia	Número de días de lluvia (rango 1-6 días)	TO

## Análisis

La estimación de la ocupación y de la detección de los pequeños felinos a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, se realizó utilizando el Presence 2.12.17 (Proteus Wildlife Research Consultants, <http://www.proteus.co.nz/>). Inicialmente se ajustaron los modelos exploratorios utilizando las covariables de muestreo o de detección (CovK). Posteriormente, se ajustaron estos modelos tomando en cuenta las 10 covariables que pudieran representar la heterogeneidad entre sitios de muestreo (CovS). Para el ajuste de los modelos, se siguieron los siguientes criterios (Tabla 4):

co.nz/). Inicialmente se ajustaron los modelos exploratorios utilizando las covariables de muestreo o de detección (CovK). Posteriormente, se ajustaron estos modelos tomando en cuenta las 10 covariables que pudieran representar la heterogeneidad entre sitios de muestreo (CovS). Para el ajuste de los modelos, se siguieron los siguientes criterios (Tabla 4):

**Tabla 4.** Modelos ajustados y parametrización utilizada para modelar la ocupación de los pequeños felinos (*Leopardus spp.*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Modelos ajustados: T0	
Una especie - Una temporada (Single Species - Single Season)	
Parámetros	
S	356
K	3
CovS	10
CovK	3
Pruebas de ajuste y selección de modelos	
Pb	$\alpha = 0,05$
C-hat	0,98
Iteraciones	1000
$\Delta AIC$	$\Delta AIC \leq 3$
Efecto de covariables	
Prueba	Test de Wald
Significancia	$\alpha = 0,05$
Prueba de potencia	
Modelo de estimación	Método de Guillera-Aroita y Lahoz-Monfort (2012)
Potencia	$1 - \beta = 0,36$
Significancia	$\alpha = 0,1$
Umbral de Cambio	30%

## Resultados del modelo de ocupación

### Estado de la ocupación de la especie y cambios temporales en la ocupación

En el caso de los pequeños felinos, el modelo nulo ajustado a partir de las detecciones de rastros por transectos ( $S = 356$ ,  $K = 3$ ), a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas,

indica una probabilidad de ocupación de 0,34 (EE 0,06), es decir, que está en más o menos el 34 % de las áreas (Tabla 5). La detectabilidad de la especie es baja (0,22, EE 0,04). Estos valores servirán de referencia (línea de base) para las futuras comparaciones de los posibles cambios en la ocupación.

**Tabla 5.** Probabilidad de ocupación y de detección estimadas a partir del modelo nulo ( $\psi(\cdot)$ ,  $p(\cdot)$ ), utilizado para evaluar los cambios en el estado de las poblaciones de los pequeños felinos (*Leopardus spp.*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Peso del modelo nulo (Wi)	Ocupación $\psi(\cdot)$ , $p(\cdot)$		Detección		Cambio
		$\psi$	EE	P	EE	
T0	0,001	0,34	0,06	0,22	0,04	-
T1						

### Patrones espaciales de la ocupación

Para los pequeños felinos, el modelo con covariables que presentó los ajustes más adecuados y que mejor explicó la

ocupación de este grupo de especies, a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, fue el siguiente (Tabla 6 y 7):

**Tabla 6.** Modelo ajustado y parametrización utilizada para modelar la ocupación de los pequeños felinos (*Leopardus spp.*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

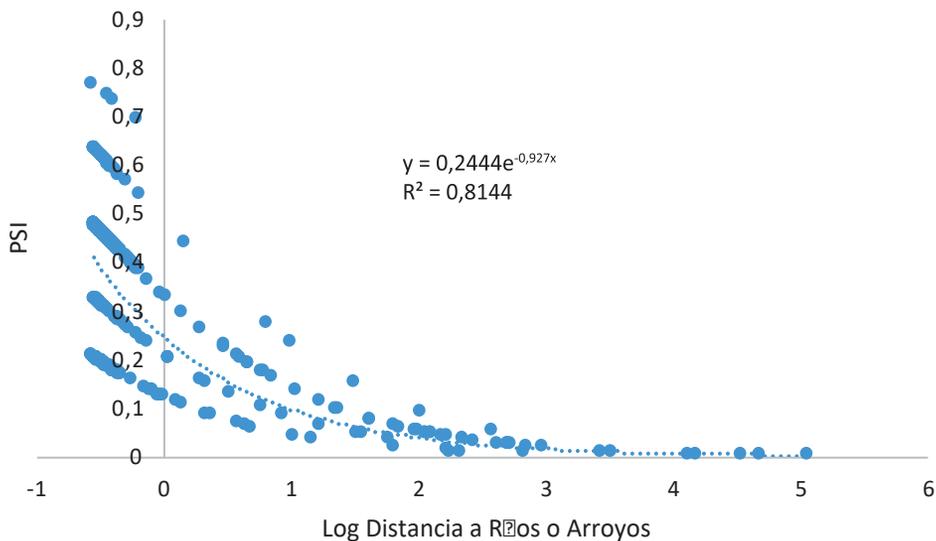
Temporada	Modelo ajustado	Peso del modelo (Wi)
T0	$\psi(\text{Dist.Arroyo}, \text{HabitatHeterogeneidad})$ , $p(\text{TiempoLluvia})$	0,89
T1		

**Tabla 7.** Covariables significativas y ocupación y detección estimadas para los pequeños felinos (*Leopardus* spp.) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

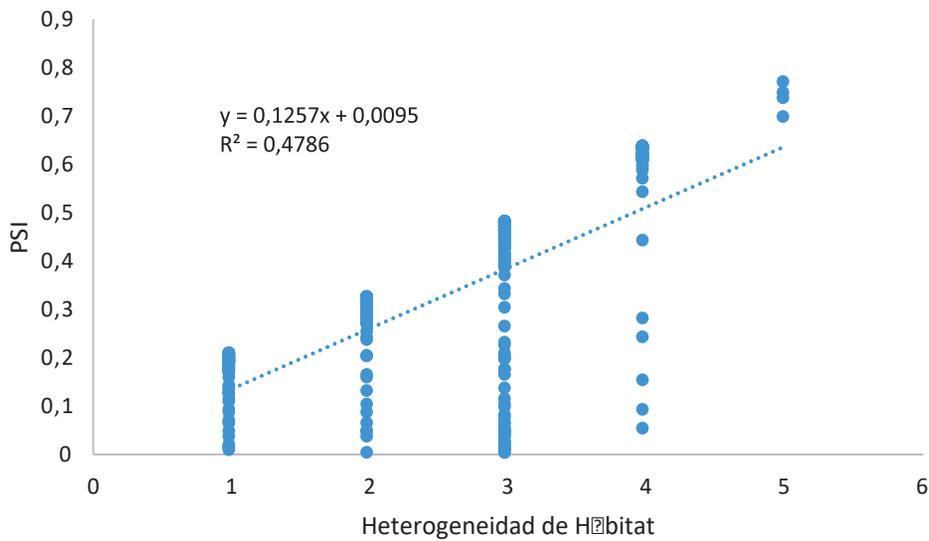
Temporada	Ocupación		Detección		Covariables significativas (tipo de efecto)	
	psi	EE (*DE)	p	EE (*DE)	CovS	CovM
T0	0,33	0,07	0,24	0,05	Dist.Arroyo (-Ng) HábitatHetero. (+Ps)	TiempoLluvia (-Ng)
T1						

Estos resultados indican que los valores de ocupación disminuyen cuando la distancia al arroyo o río aumenta, lo cual es coincidente con la historia natural conocida de los pequeños felinos. Por otro lado, la diversidad de hábitats en una celda también aumenta los valores de ocupación de estas especies.

La detectabilidad de los pequeños felinos fue significativamente mayor inmediatamente después de la lluvia, reflejando que sus huellas son relativamente frágiles y livianas.



**Figura 3.** Ocupación de los pequeños felinos (*Leopardus* spp.) relacionada con la covariable de distancia a los ríos y arroyos.



**Figura 4.** Ocupación de pequeños felinos (*Leopardus* spp.) relacionada con la covariable de heterogeneidad del hábitat.

#### Implicaciones para el diseño del muestreo

Para mejorar las probabilidades de detección de la ocupación de grandes carnívoros neotropicales (*Panthera onca*, *Puma concolor* y *Tremarctos ornatus*), así como para precisar mejor las estimaciones de ocupación de la vida silvestre, en general, recomendamos la definición de tres transectos de 600 m, a fin de aumentar efectivamente el muestreo en la celda por un factor de seis en comparación con el de este estudio.

En conjunto, los resultados de ocupación, tanto del mapache como de otras cuatro especies de mamíferos grandes, refuerza la importancia de los cuatro corredores identificados anteriormente por las comunidades indígenas, a través de entrevistas, y de un corredor adicional, de quinta prioridad, también identificado por las comunidades a lo largo del camino. Recomendamos que estos cinco corredores tengan una máxima atención en los esfuerzos de mitigación para minimizar los impactos por la interrupción del corredor durante el proyecto de mejora de la carretera.

**RESULTADOS DEL MONITOREO DEL USO DEL ESPACIO (OCUPACIÓN) POR EL JAGUAR  
(*PANTHERA ONCA*) A LO LARGO DE UN CAMINO COLINDANTE CON EL PARQUE  
NACIONAL MADIDI, BOLIVIA: 2013**



*Panthera onca*. - Julie Larsen Maher/WCS

## Objetivo del monitoreo

---

Estudios recientes subrayan que el manejo territorial indígena, durante la última década (2005-2014), resultó en una reducción de la deforestación a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, dentro del territorio indígena Tacana, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, donde las áreas de 5 km ubicadas en torno a la carretera presentaron niveles de deforestación 273 % menores que las áreas fuera del territorio indígena (Painter et al., 2013). La gestión territorial indígena en la Tierra Comunitaria de Origen Tacana es, por lo tanto, reconocida cada vez más como un punto de referencia regional para la gestión ambiental. De hecho, en 2015, el Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA) recibió el Premio Ecuatorial (<http://equatorinitiative.org>) por el manejo innovador de los bosques en el territorio indígena de Tacana.

Los Tacana están evidentemente comprometidos con la gestión sostenible de los recursos naturales, que se refleja en una visión territorial participativa y de abajo hacia arriba (Lehm, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017), integrada en los planes de gestión y en la zonificación (CIPTA y WCS, 2002; CIPTA y CIMTA, 2014), y que ha permitido priorizar las iniciativas económicas en curso basadas en la comunidad, varias de las cuales (cacao, lagarto, ecoturismo) también han sido reconocidas a nivel nacional e internacional (<https://bolivia.wcs.org/en-us/ITM.aspx>). Estos esfuerzos se basan en el conocimiento local sobre los recursos naturales, incluida la fauna silvestre; es el caso de la iniciativa premiada de manejo sostenible del lagarto y de las acciones de monitoreo asociadas como resultado del trabajo conjunto entre la población local y los biólogos (CIPTA y WCS, 2010; Miranda-Chumacero et al., 2010). De esta manera, la alianza entre CIPTA y WCS (Painter et al., 2011) reconoce implícitamente los valores fundamentales del conocimiento local (Danielsen et al., 2009; Turvey et al., 2013) en todos los aspectos de la gestión territorial indígena.

Estos resultados son una línea de base importante frente a un proyecto de mejoramiento vial financiado por el Banco Mundial y el gobierno boliviano. Las mejoras en el camino asfaltarán el de tierra existente, ampliando así la brecha entre el hábitat boscoso y aumentando el riesgo de mortalidad de la fauna por colisión debido al incremento de la velocidad de los vehículos. Además, la reducción de los costos de transporte proporcionará incentivos para la cosecha de muchos de los recursos naturales del bosque, incluida la fauna silvestre, lo

que puede conducir a la degradación del hábitat y al aumento de la captura y la caza de animales a lo largo del camino.

Desde una perspectiva de gestión, los modelos de ocupación son especialmente atractivos como herramientas de monitoreo, ya que proporcionan una medida cuantitativa del grado en que un espacio está ocupado por una especie de vida silvestre determinada, al tiempo que controlan la detección imperfecta (Hines, 2014; MacKenzie et al., 2006). Además, las covariables pueden utilizarse para investigar factores de influencia ambiental o humana que podrían influir en la ocupación o la detectabilidad. Desde una perspectiva de gestión y monitoreo, las covariables se pueden dividir en cuatro categorías: covariables de detección, que explican la variación en la probabilidad de detección; covariables biológicas, que ayudan a entender cómo la ocupación varía en el espacio desde la perspectiva de la biología de la especie; covariables antropogénicas, que atestiguan la influencia de las amenazas en la ocupación de una especie determinada; y, finalmente, covariables de gestión, que reflejan la respuesta de la vida silvestre a acciones de gestión específicas en un área de estudio. Con el tiempo, el cambio en los valores de ocupación y la influencia de diferentes covariables pueden evaluarse dentro de un marco de gestión adaptativa (Nichols y Williams, 2013).

El objetivo general del presente estudio fue determinar la ocupación del jaguar (*Panthera onca*) a lo largo del camino entre San Buenaventura e Ixiamas (SBI). Este amplio objetivo tenía cuatro subobjetivos:

- i) corroborar los corredores de vida silvestre identificados por la comunidad indígena entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana;
- ii) destacar aún más la contribución de la gestión territorial indígena a la conservación de la biodiversidad en la región;
- iii) probar la ocupación como una metodología potencial con la cual monitorear las poblaciones de fauna silvestre a grandes escalas espaciales, y
- iv) establecer una línea de base integral para monitorear la fauna silvestre en el futuro ante las mejoras inminentes y significativas de la infraestructura vial.

## Resultados e implicaciones del manejo

---

El jaguar (*Panthera onca*) presentó una probabilidad de uso del espacio (ocupación) promedio de 0,11 en el T0 (2013), lo cual indica que está presente en el 11 % de las áreas a lo largo del camino. Los análisis con covariables no revelan efectos significativamente.

Dados estos resultados, podemos concluir que las acciones establecidas para la gestión territorial indígena han sido efectivas hasta la fecha, pero que el mejoramiento del camino enfatiza la necesidad de preservar los corredores identificadas en el estudio. Por tanto:

- Se debe mantener la cobertura de bosque, con prioridad en los corredores identificados con los datos de ocupación de *Panthera onca*, como también con datos de otras

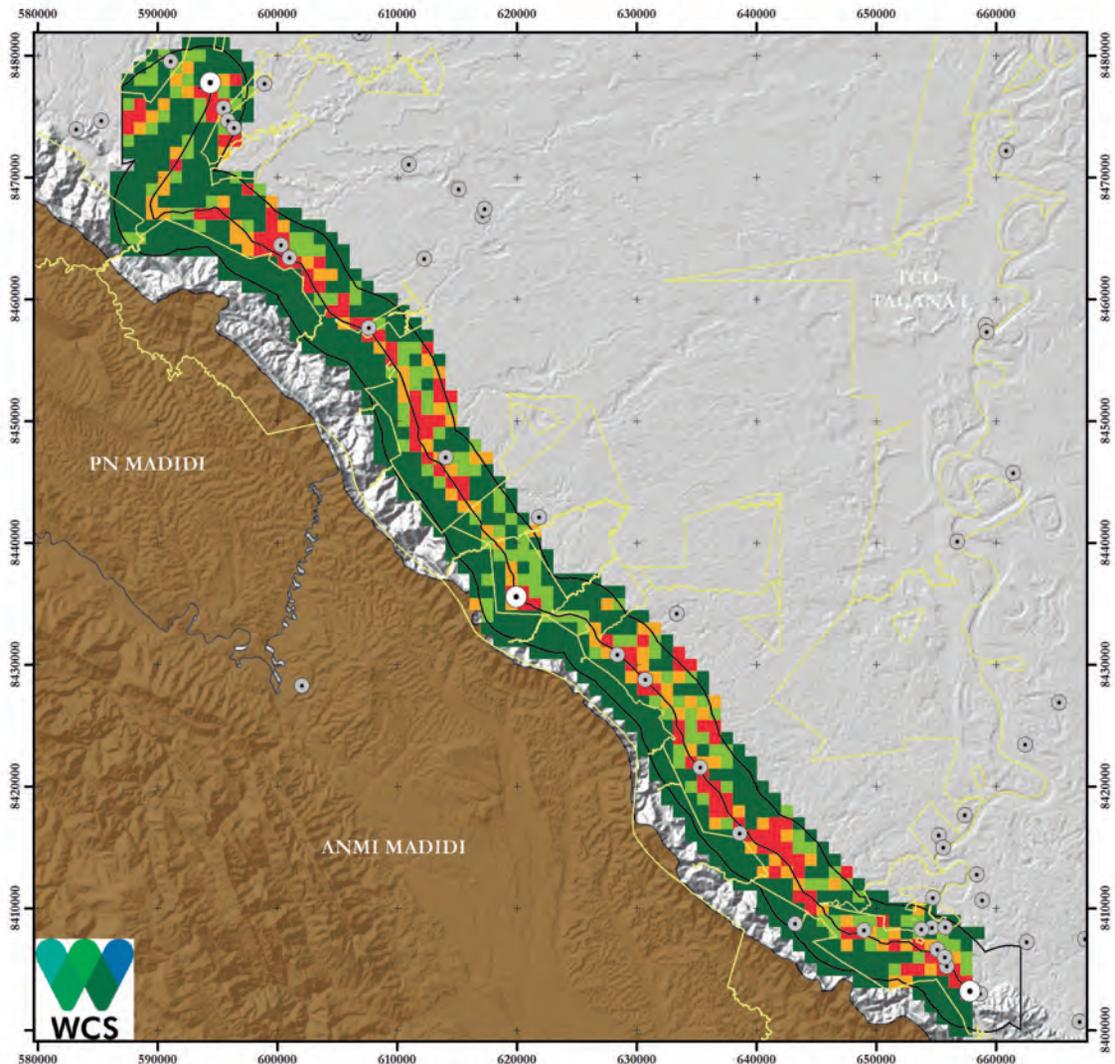
especies del estudio (*Tapirus terrestris*, *Pecari tajacu*, *Dasyprocta* spp., *Cuniculus paca*, *Leopardus* spp., *Tayassu pecari* y *Mazama americana*).

- También se debe continuar fortaleciendo el manejo de la cacería y de otros recursos naturales que las comunidades realizan en el territorio indígena Tacana.

- Se debe coordinar con la próxima empresa identificada como actor en el mejoramiento del camino, como también con la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), para asegurar que se toman en cuenta las recomendaciones señaladas y que se incorporan medidas específicas para la conectividad de la fauna entre el Parque Nacional Madidi y el Territorio Indígena Tacana.



*Panthera onca*. - Julie Larsen Maher/WCS



### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Panthera onca*

#### LEYENDA

- Capitales municipales
- Centros poblados
- ∩ Carretera San Buenaventura - Ixiamas
- PNANMI Madidi
- TCO Tacana I
- Buffer 3 Km

#### VALORES DE PSI

- 0.0004 - 0.04
- 0.05 - 0.09
- 0.10 - 0.13
- 0.14 - 0.15

#### INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

1:410,000
   
 Sistema de Coordenadas:
   
 Universal Transversal de Mercator
   
 Zona 19 Sur
   
 Datum: WGS 84



**Figura 1.** Ocupación del jaguar (*Panthera onca*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando categorías estandarizadas basadas en los valores de ocupación mínimos y máximos.

# Metodología

## Diseño del muestreo

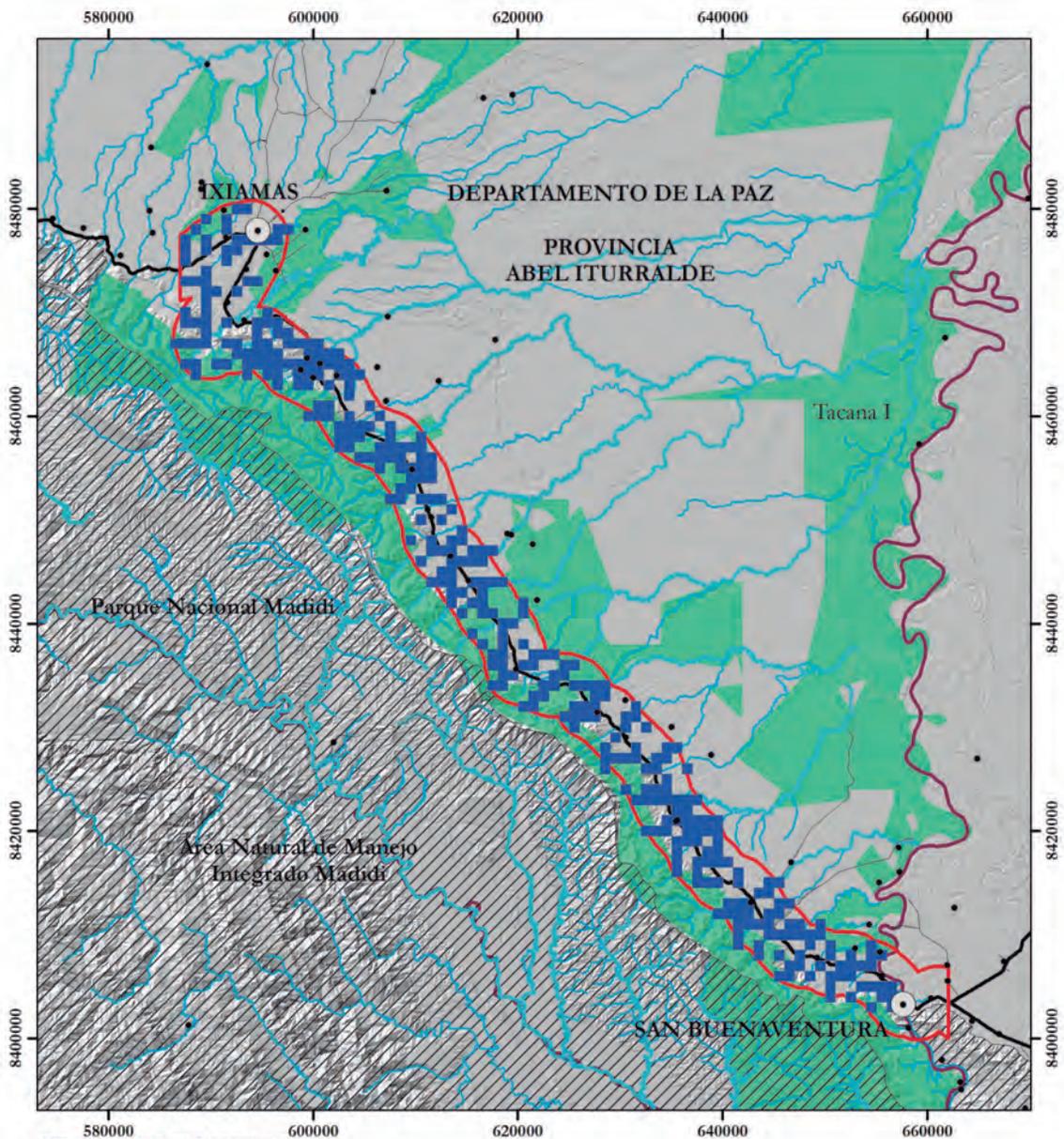
**Tabla 1.** Diseño del muestreo alcanzado para el monitoreo del uso del espacio (ocupación) de *Panthera onca* a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013

Diseño del muestreo		Temporadas (T)		
		T0	T1	Tn
Método		Huellas de <i>Panthera</i> a lo largo de un transecto	-	-
Esfuerzo de muestreo por sitio	Número de sitios o UM	356 (T0)	- (T1)	- (Tn)
	Tamaño y forma de las UM	1 km <sup>2</sup> (T0)	- (T1)	- (Tn)
Esfuerzo de muestreo por visita	Número de visitas	3:1 transecto de 300m dividido en 3 segmentos (T0)	- (T1)	- (Tn)
	Esfuerzo por visita	100 m (T0)	- (T1)	- (Tn)

UM: Unidades de muestreo o sitios, EM: esfuerzo de muestreo en cada visita

El área de estudio del T0 abarcó 3 km a ambos lados del camino a lo largo del trecho entre San Buenaventura e Ixiamas, en el norte de La Paz. Este camino se encuentra paralelo al límite

del Parque Nacional Madidi, el área protegida más biodiversa del mundo, y dentro del territorio indígena Tacana (Figura 2).



**GRILLAS DE MUESTREO  
CARRETERA SAN BUENAVENTURA-IXIAMAS**

LEYENDA		
● (with circle)	Capitales municipales	▬ (thick)
•	Centros poblados	▬ (thin)
— (thick blue)	Ríos principales	▨ (diagonal)
— (thin blue)	Ríos secundarios	▨ (cross-hatch)
▬ (dashed)	Caminos principales	■ (green)
▬ (dotted)	Caminos secundarios	■ (grey)
▬ (dotted)	Caminos vecinales	■ (blue)
▬ (solid red)	Límite de provincia	■ (blue)
▬ (solid red)	Áreas protegidas	■ (red)
▬ (solid red)	Territorio indígena	■ (red)

Grillas de muestreo	
■ (blue)	Grillas muestreadas carretera San Buenaventura-Ixiamas
▬ (red)	Buffer 3km

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	
N	North arrow
0 4 8 12	Scale bar (Km)
1:500,000	Scale

**Figura 2.** Área de estudio a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, que indica la grilla de muestreo de la ocupación/uso de la vida silvestre (T0).

Las cuadrículas de muestreo corresponden a un sistema de cuadrículas de 1 km<sup>2</sup> establecidas a nivel del Gran Paisaje Madidi-Tambopata. Dentro de cada unidad de muestreo, correspondiente a una celda de 1 km<sup>2</sup>, se dispuso espacialmente un transecto de 300 m, que fue evaluado en una ocasión, aunque los datos fueron tomando en segmentos de 25 m, completándose doce segmentos por transecto en cada unidad de muestreo, para la detección del jaguar mediante la observación de huellas, heces y otros rastros de la vida silvestre. Posteriormente, se evaluaron los datos en tres segmentos de 100 m cada uno.

Dado el diseño del estudio, y considerando el tamaño del área de estudio con relación al tamaño del rango de hogar del jaguar, sus resultados muestran, en realidad, el uso del

espacio por la especie a través de los valores de ocupación.

### Covarible

Para evaluar el estado de la población del jaguar y de otras especies de la fauna silvestre y, en el futuro, la efectividad de las acciones de conservación desarrolladas, entre ellas, la eficiencia de las medidas de mitigación propuestas para el mejoramiento del camino, se incorporaron 10 covariables de sitio vinculadas a la accesibilidad y el estado de las coberturas, y a la influencia de las actividades humanas, identificando diferentes tipos de bosque para determinar el efecto de los mismos sobre la ocupación de la especie (Tabla 2), así como de otras tres covariables de muestreo vinculadas a la heterogeneidad de las detecciones (Tabla 3).

**Tabla 2.** Covariables de sitio (CovS) utilizadas para modelar el uso del espacio (ocupación) del jaguar (*Panthera onca*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovS	Definición	Temporada
Dist.Arroyo-Río	Distancia (m) a un arroyo o río	T0
Pendiente	Promedio de pendiente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	T0
HeterogeneidadHábitat	Número de hábitats presente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	T0
%BosquePrimario	% área de bosque primario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	T0
%BosqueSecundario	% área de bosque secundario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	T0
Dist.PuebloGrande	Distancia (m) a un pueblo grande	T0
Dist.Comunidad	Distancia (m) a una comunidad	T0
Dist.CaminoSBI	Distancia (m) al camino principal de San Buenaventura-Ixiamas	T0
Dist.CaminoSecundario	Distancia (m) a un camino secundario	T0
%SueloSinCoberturaVegetal	% área de suelo sin vegetación en la celda de 1 km <sup>2</sup>	T0

**Tabla 3.** Covariables de muestreo (CovM) utilizadas para modelar el uso del espacio (ocupación) del jaguar (*Panthera onca*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovM	Definición	Temporada
Tipo de Substrato	Tipo de substrato (arena fina, arena, arcilla, barro húmedo, barro, piedra, suelo, suelo fino, suelo húmedo, pasto, hojarasca)	TO
Tipo de Muestreo	Tipo de unidad de muestreo (arroyo o no)	TO
Lluvia	Número de días de lluvia (rango 1-6 días)	TO

### Análisis

La estimación del uso del espacio (ocupación) y de la detección del jaguar a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, se realizó utilizando el Presence 2.12.17 (Proteus Wildlife Research Consultants, <http://www.proteus.co.nz/>).

Inicialmente se ajustaron los modelos exploratorios utilizando las covariables de muestreo o de detección (CovK). Posteriormente, se ajustaron los modelos tomando en cuenta las 10 covariables que pudieran representar la heterogeneidad entre sitios de muestreo (CovS). Para el ajuste de los modelos, se siguieron los siguientes criterios (Tabla 4):

**Tabla 4.** Modelos ajustados y parametrización utilizada para modelar el uso del espacio (ocupación) del jaguar (*Panthera onca*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Modelos ajustados: TO			
Una especie - Una temporada (Single Species - Single Season)			
Parámetros		Pruebas de ajuste y selección de modelos	
S	356	Pb	$\alpha = 0,05$
K	3	C-hat	2,77
CovS	10	Iteraciones	1000
CovK	3	$\Delta AIC$	$\Delta AIC \leq 3$
Efecto de covariables		Prueba de potencia	
Prueba	Test de Wald	Modelo de estimación	Método de Guillera-Aroita y Lahoz-Monfort (2012)
Significancia	$\alpha = 0,05$	Potencia	$1 - \beta = 0,31$
		Significancia	$\alpha = 0,1$
		Umbral de Cambio	30%

## Resultados del modelo de ocupación

### Estado de la ocupación de la especie y cambios temporales en la ocupación

En el caso del jaguar, el modelo nulo ajustado a partir de las detecciones de rastros por transectos ( $S = 356$ ,  $K = 3$ ), a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, indica una probabilidad de uso del espacio (ocupación) de la especie de

0,11 (EE 0,02), es decir, que se encuentra en más o menos el 11 % de las áreas (Tabla 5). La detectabilidad de la especie es buena (0,39, EE 0,07), lo cual coincide con lo que se sabe de su historia natural y el hecho de que deja huellas bastantes evidentes. Estos valores servirán de referencia (línea de base) para las futuras comparaciones de los posibles cambios en la ocupación.

**Tabla 5.** Probabilidad de uso del espacio (ocupación) y de detección estimadas a partir del modelo nulo ( $\psi(\cdot)$ ,  $p(\cdot)$ ), utilizado para evaluar los cambios en el estado de las poblaciones del jaguar (*Panthera onca*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Peso del modelo nulo ( $W_i$ )	Ocupación $\psi(\cdot)$ , $p(\cdot)$		Detección		Cambio
		$\psi$	EE	P	EE	
T0	0,0007	0,11	0,02	0,39	0,07	-
T1						

### Patrones espaciales de la ocupación

Para el jaguar, el modelo con covariables que presentó los ajustes más adecuados y que mejor explica el uso del espacio

(ocupación) por la especie, a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, fue el siguiente (Tabla 6 y 7):

**Tabla 6.** Modelo ajustado y parametrización utilizada para modelar el uso del espacio (ocupación) por el jaguar (*Panthera onca*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Modelo ajustado	Peso del modelo ( $W_i$ )
T0	$\psi$ , $p$	1
T1		

**Tabla 7.** Covariables significativas y uso del espacio (ocupación) y detección estimadas para el jaguar (*Panthera onca*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Ocupación		Detección		Covariables significativas (tipo de efecto)	
	psi	EE (*DE)	p	EE (*DE)	CovS	CovM
T0	0,11	0,02	0,39	0,07		
T1						

Estos resultados indican que la ocupación de la especie no fue influida por ninguna covariable de manera significativa.

### Implicaciones para el diseño del muestreo

Para mejorar las probabilidades de detección de la ocupación de los grandes carnívoros neotropicales (*Panthera onca*, *Puma concolor* y *Tremarctos ornatus*), así como para precisar mejor las estimaciones de ocupación para la vida silvestre, en general, recomendamos la definición de tres transectos de 600 m, a fin de aumentar de manera efectiva el muestreo en la celda por un factor de seis en comparación con el de este estudio.

En conjunto, los resultados de ocupación de otras cuatro especies de mamíferos grandes, refuerzan la importancia de los cuatro corredores identificados anteriormente por las comunidades indígenas, a través de entrevistas, y de un corredor adicional, de quinta prioridad, también identificado por las comunidades a lo largo del camino. Recomendamos que estos cinco corredores tengan una máxima atención en los esfuerzos de mitigación para minimizar los impactos por la interrupción del corredor durante el proyecto de mejora de la carretera.



Robert Wallace/WCS

**RESULTADOS DEL MONITOREO DEL USO DEL ESPACIO (OCUPACIÓN) DEL CHANCHO DE TROPA (*TAYASSU PECARI*) A LO LARGO DE UN CAMINO COLINDANTE CON EL PARQUE NACIONAL MADIDI, BOLIVIA: 2013**



*Tayassu pecari* - Guido Ayala & María Viscarra/WCS

## Objetivo del monitoreo

---

Estudios recientes subrayan que el manejo territorial indígena, durante la última década (2005-2014), resultó en una reducción de la deforestación a lo largo de la carretera San Buenaventura-Ixiamas, dentro del territorio indígena Tacana, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, donde las áreas de 5 km ubicadas en torno a la carretera presentaron niveles de deforestación 273 % menores que las áreas fuera del territorio indígena (Painter *et al.*, 2013). La gestión territorial indígena en la Tierra Comunitaria de Origen Tacana es, por lo tanto, reconocida cada vez más como un punto de referencia regional para la gestión ambiental. De hecho, en 2015, el Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA) recibió el Premio Ecuatorial (<http://equatorinitiative.org>) por el manejo innovador de los bosques en el territorio indígena de Tacana.

Los Tacana están evidentemente comprometidos con la gestión sostenible de los recursos naturales, que se refleja en una visión territorial participativa y de abajo hacia arriba (Lehm, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017), integrada en los planes de gestión y en la zonificación (CIPTA y WCS, 2002; CIPTA y CIMTA, 2014), y que ha permitido priorizar las iniciativas económicas en curso basadas en la comunidad, varias de las cuales (cacao, lagarto, ecoturismo) también han sido reconocidas a nivel nacional e internacional (<https://bolivia.wcs.org/en-us/ITM.aspx>). Estos esfuerzos se basan en el conocimiento local sobre los recursos naturales, incluida la fauna silvestre; es el caso de la iniciativa premiada de manejo sostenible del lagarto y de las acciones de monitoreo asociadas, como resultado del trabajo conjunto entre la población local y los biólogos (CIPTA y WCS, 2010; Miranda-Chumacero *et al.*, 2010). De esta manera, la alianza entre CIPTA y WCS (Painter *et al.*, 2011) reconoce implícitamente los valores fundamentales del conocimiento local (Danielsen *et al.*, 2009; Turvey *et al.*, 2013) en todos los aspectos de la gestión territorial indígena.

Estos resultados son una línea de base importante frente a un proyecto de mejoramiento vial financiado por el Banco Mundial y el gobierno boliviano. Las mejoras en el camino asfaltarán el de tierra existente, ampliando así la brecha entre el hábitat boscoso y aumentando el riesgo de mortalidad de la fauna por colisión debido al incremento de la velocidad de los vehículos. Además, la reducción de los costos de transporte proporcionará incentivos para la cosecha de muchos de los recursos naturales del bosque, incluida la fauna silvestre, lo

que puede conducir a la degradación del hábitat y al aumento de la captura y la caza de animales a lo largo del camino.

Desde una perspectiva de gestión, los modelos de ocupación son especialmente atractivos como herramientas de monitoreo, ya que proporcionan una medida cuantitativa del grado en que un espacio está ocupado por una especie de vida silvestre determinada, al tiempo que controlan la detección imperfecta (Hines, 2014; MacKenzie *et al.*, 2006). Además, las covariables pueden utilizarse para investigar factores de influencia ambiental o humana que podrían influir en la ocupación o la detectabilidad. Desde una perspectiva de gestión y monitoreo, las covariables se pueden dividir en cuatro categorías: covariables de detección, que explican la variación en la probabilidad de detección; covariables biológicas, que ayudan a entender cómo la ocupación varía en el espacio desde la perspectiva de la biología de la especie; covariables antropogénicas, que atestiguan la influencia de las amenazas en la ocupación de una especie determinada; y, finalmente, covariables de gestión, que reflejan la respuesta de la vida silvestre a acciones de gestión específicas en un área de estudio. Con el tiempo, el cambio en los valores de ocupación y la influencia de diferentes covariables pueden evaluarse dentro de un marco de gestión adaptativa (Nichols y Williams, 2013).

El objetivo general del presente estudio fue determinar la ocupación del chancho de tropa (*Tayassu pecari*) a lo largo del camino entre San Buenaventura e Ixiamas (SBI). Este amplio objetivo tenía cuatro subobjetivos:

- i) corroborar los corredores de vida silvestre identificados por la comunidad indígena entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana;
- ii) destacar aún más la contribución de la gestión territorial indígena a la conservación de la biodiversidad en la región;
- iii) probar la ocupación como una metodología potencial con la cual monitorear las poblaciones de fauna silvestre a grandes escalas espaciales, y
- iv) establecer una línea de base integral para monitorear la fauna silvestre en el futuro ante las mejoras inminentes y significativas de la infraestructura vial.

## Resultados e implicaciones de manejo

El chanco de tropa (*Tayassu pecari*) presentó una probabilidad de ocupación promedio de 0,17 en el T0 (2013), lo cual indica que está presente en el 17 % de las áreas a lo largo del camino. Los análisis con covariables revelan un fuerte efecto del porcentaje del bosque en la celda respecto a la ocupación de la especie, incrementándose ésta significativamente en la medida en que el porcentaje de bosque aumenta. Relaciones más débiles, pero significativas, fueron detectadas en una heterogeneidad de hábitats (negativa) y en la distancia a las comunidades (positiva). De igual modo, la probabilidad de detección del chanco de tropa se eleva cuando se extiende la época de lluvia, probablemente porque una tropa grande de chanchos de tropa deja muchas huellas que son resistentes en el tiempo.

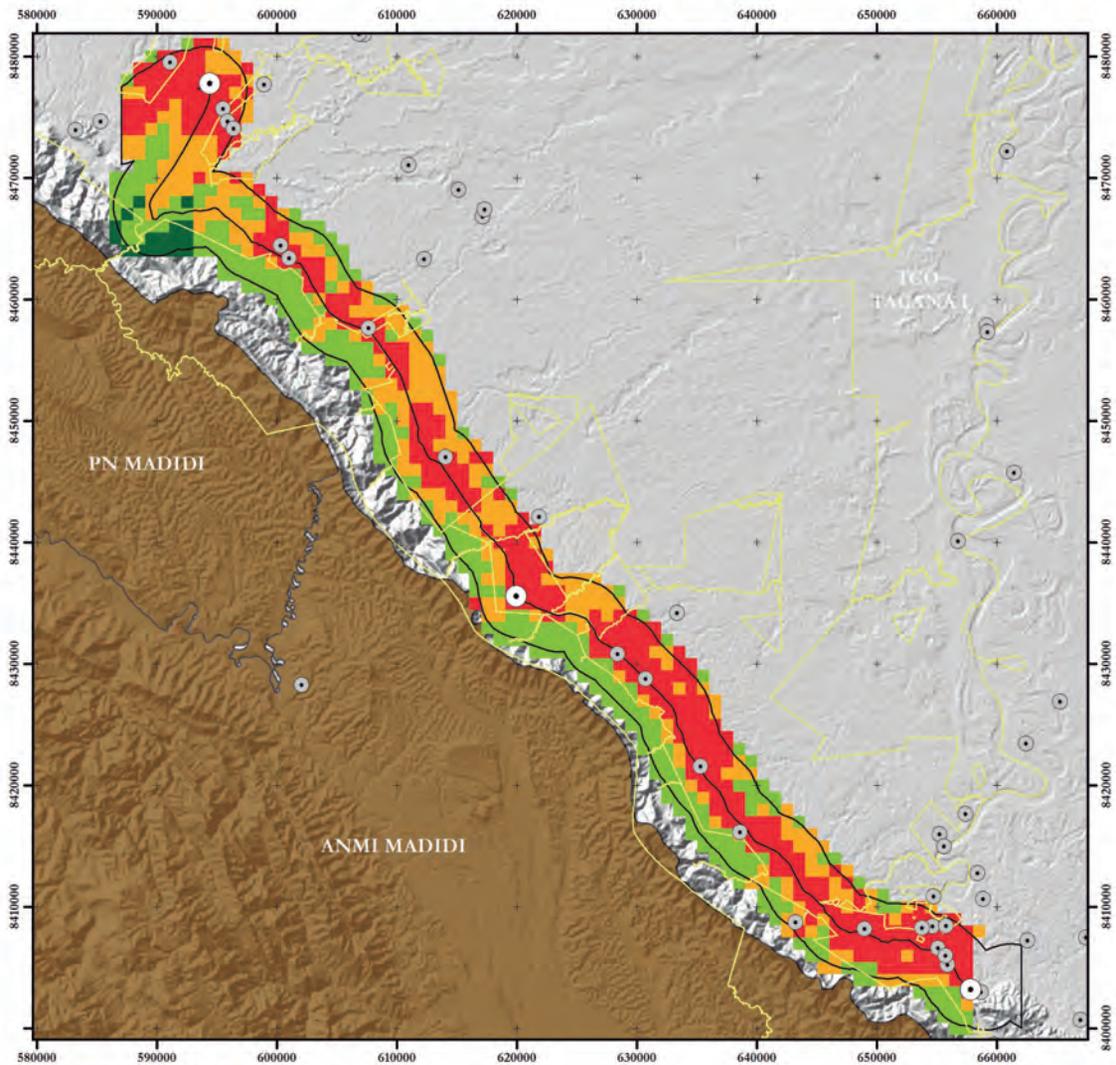
De todas maneras, la Figura 1 demuestra que, según el análisis de ocupación, todavía existen corredores de hábitat relevantes y utilizados por el chanco de tropa a lo largo del camino. Dados estos resultados, podemos concluir que las acciones establecidas para la gestión territorial indígena han sido efectivas hasta la fecha, pero que el mejoramiento del

camino enfatiza la necesidad de preservar los corredores identificados en el estudio. Por tanto:

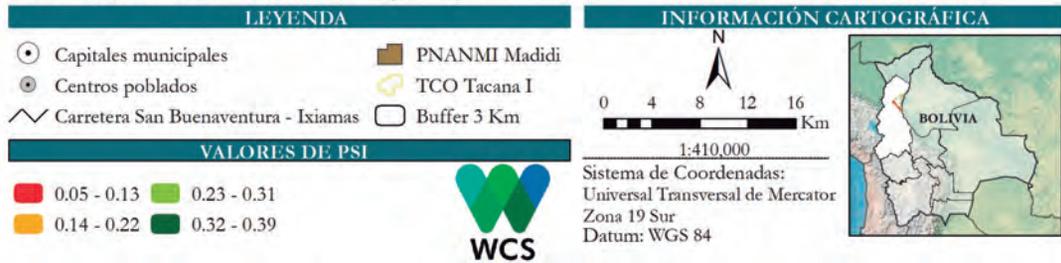
- Se debe mantener la cobertura de bosque, con prioridad en los corredores identificados con los datos de ocupación de *Tayassu pecari*, como también con datos de otras especies del estudio (*Tapirus terrestris*, *Pecari tajacu*, *Dasyprocta* spp., *Cuniculus paca*, *Leopardus* spp., *Panthera onca* y *Mazama americana*).
- También se debe continuar fortaleciendo el manejo de la cacería y de otros recursos naturales que las comunidades realizan en el territorio indígena Tacana.
- Se debe coordinar con la próxima empresa identificada como actor en el mejoramiento del camino, como también con la Administradora Boliviana de Carreteras, para asegurar que se toman en cuenta las recomendaciones señaladas y que se incorporan las medidas específicas para la conectividad de la fauna entre el Parque Nacional Madidi y el territorio indígena Tacana.



*Tayassu pecari* - Guido Ayala & María Viscarra/WCS



### ANÁLISIS DE OCUPACIÓN DE *Tayassu pecari*



**Figura 1.** Ocupación del chancho de tropa (*Tayassu pecari*) a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas utilizando categorías estandarizadas basadas en los valores de ocupación mínimos y máximos.

# Metodología

## Diseño del muestreo

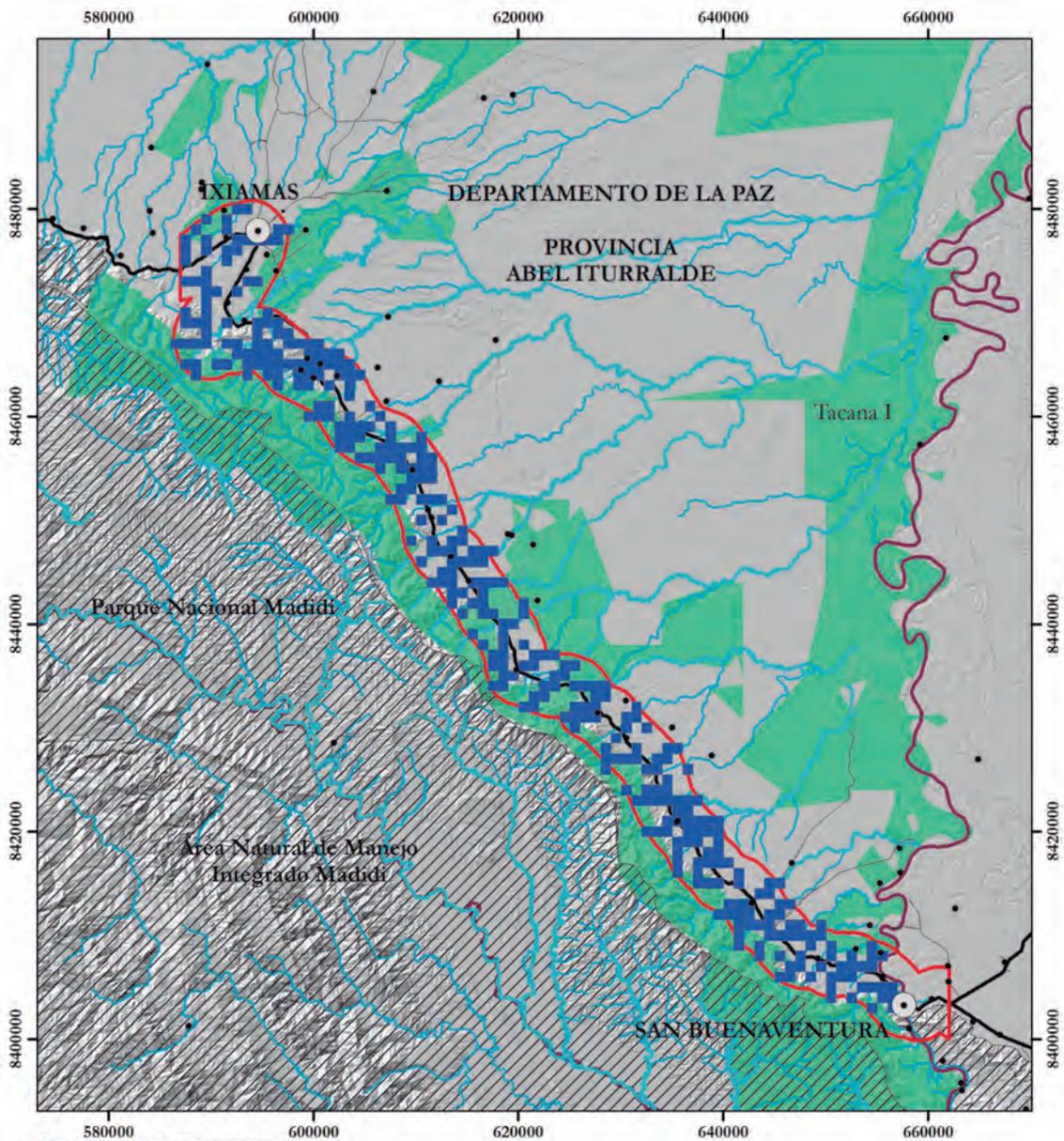
**Tabla 1.** Diseño del muestreo alcanzado para el monitoreo del uso del espacio (ocupación) de *Tayassu pecari* a lo largo de un camino colindante con el Parque Nacional Madidi, Bolivia: 2013.

Diseño del muestreo		Temporadas (T)		
		T0	T1	Tn
Método		Huellas de <i>Tayassu</i> a lo largo de un transecto	-	-
Esfuerzo de muestreo por sitio	Número de sitios o UM	356 (T0)	-(T1)	-(Tn)
	Tamaño y forma de las UM	1 km <sup>2</sup> (T0)	-(T1)	-(Tn)
Esfuerzo de muestreo por visita	Número de visitas	3:1 transecto de 300m dividido en 3 segmentos (T0)	-(T1)	-(Tn)
	Esfuerzo por visita	100 m (T0)	-(T1)	-(Tn)

UM: Unidades de muestreo o sitios, EM: esfuerzo de muestreo en cada visita

El área de estudio del T0 abarcó 3 km a ambos lados del camino a lo largo del trecho entre San Buenaventura e Ixiamas, en el norte de La Paz. Este camino se encuentra paralelo al límite

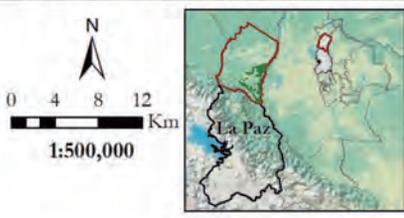
del Parque Nacional Madidi, el área protegida más biodiversa del mundo, y dentro del territorio indígena Tacana (Figura 2).



**GRILLAS DE MUESTREO  
CARRETERA SAN BUENAVENTURA-IXIAMAS**



**INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA**



**Figura 2.** Área de estudio a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, en el norte del departamento de La Paz, Bolivia, que indica la grilla de muestreo de la ocupación/uso de la vida silvestre (TO).

Las cuadrículas de muestreo corresponden a un sistema de cuadrículas de 1 km<sup>2</sup> establecidas a nivel del Gran Paisaje Madiidi-Tambopata. Dentro de cada unidad de muestreo, correspondiente a una celda de 1 km<sup>2</sup>, se dispuso espacialmente un transecto de 300 m, que fue evaluado en una ocasión, aunque los datos fueron tomados en segmentos de 25 m, completándose doce segmentos por transecto en cada unidad de muestreo, para la detección del chanco de tropa mediante la observación de huellas, heces y otros rastros de la vida silvestre. Posteriormente, se evaluaron los datos en tres segmentos de 100 m cada uno.

Dado el diseño del estudio, y considerando el tamaño del área de estudio con relación al tamaño del rango de hogar del chanco de tropa, los resultados muestran, en realidad, el uso del espacio por la especie a través de los valores de ocupación.

## Covarible

Para evaluar el estado de la población del chanco de tropa y de otras especies de la fauna silvestre y, en el futuro, la efectividad de las acciones de conservación desarrolladas, entre ellas la eficiencia de las medidas de mitigación propuestas para el mejoramiento del camino, se incorporaron 10 covariables de sitio vinculadas a la accesibilidad y el estado de las coberturas de bosque, y a la influencia de las actividades humanas, identificando diferentes tipos de bosque para determinar el efecto de los mismos sobre la ocupación de la especie (Tabla 2), así como otras tres covariables de muestreo vinculadas a la heterogeneidad de las detecciones (Tabla 3).

**Tabla 2.** Covariables de sitio (CovS) utilizadas para modelar el uso del espacio (ocupación) del chanco de tropa (*Tayassu pecari*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovS	Definición	Temporada
Dist.Arroyo-Río	Distancia (m) a un arroyo o río	T0
Pendiente	Promedio de pendiente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	T0
HeterogeneidadHábitat	Número de hábitats presente en la celda de 1 km <sup>2</sup>	T0
%BosquePrimario	% área de bosque primario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	T0
%BosqueSecundario	% área de bosque secundario en la celda de 1 km <sup>2</sup>	T0
Dist.PuebloGrande	Distancia (m) a un pueblo grande	T0
Dist.Comunidad	Distancia (m) a una comunidad	T0
Dist.CaminoSBI	Distancia (m) al camino principal de San Buenaventura-Ixiamas	T0
Dist.CaminoSecundario	Distancia (m) a un camino secundario	T0
%SueloSinCoberturaVegetal	% área de suelo sin vegetación en la celda de 1 km <sup>2</sup>	T0

**Tabla 3.** Covariables de muestreo (CovM) utilizadas para modelar el uso del espacio (ocupación) del chancho de tropa (*Tayassu pecari*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

CovM	Definición	Temporada
Tipo de Substrato	Tipo de sustrato (arena fina, arena, arcilla, barro húmedo, barro, piedra, suelo, suelo fino, suelo húmedo, pasto, hojarasca)	TO
Tipo de Muestreo	Tipo de unidad de muestreo (arroyo o no)	TO
Lluvia	Número de días de lluvia (rango 1-6 días)	TO

### Análisis

La estimación del uso del espacio (ocupación) y de la detección del chancho de tropa a lo largo de la carretera de San Buenaventura-Ixiamas, se realizó utilizando el Presence 2.12.17 (Proteus Wildlife Research Consultants, <http://www.proteus.co.nz/>). Inicialmente se ajustaron los

modelos exploratorios utilizando las covariables de muestreo o de detección (CovK). Posteriormente, se ajustaron los modelos tomando en cuenta las 10 covariables que pudieran representar la heterogeneidad entre sitios de muestreo (CovS). Para el ajuste de los modelos, se siguieron los siguientes criterios (Tabla 4):

**Tabla 4.** Modelos ajustados y parametrización utilizada para modelar el uso del espacio (ocupación) del chancho de tropa (*Tayassu pecari*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Modelos ajustados: TO			
Una especie - Una temporada (Single Species - Single Season)			
Parámetros		Pruebas de ajuste y selección de modelos	
S	356	Pb	$\alpha = 0,05$
K	3	C-hat	1,95
CovS	10	Iteraciones	1000
CovK	3	$\Delta AIC$	$\Delta AIC \leq 3$
Efecto de covariables		Prueba de potencia	
Prueba	Test de Wald	Modelo de estimación	Método de Guillera-Arroita y Lahoz-Monfort (2012)
Significancia	$\alpha = 0,05$	Potencia	$1-\beta = 0,3$
		Significancia	$\alpha = 0,1$
		Umbral de Cambio	30%

## Resultados del modelo de ocupación

### Estado de la ocupación de la especie y cambios temporales en la ocupación

En el caso del chanco de tropa, el modelo nulo ajustado a partir de las detecciones de rastros por transectos ( $S = 356$ ,  $K = 3$ ), a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, indica una probabilidad de uso del espacio (ocupación) por la

especie de 0,11 (EE 0,02), es decir, que se encuentra en más o menos el 11 % de las áreas (Tabla 5). La detectabilidad de la especie es buena (0,49, EE 0,06), lo cual coincide con lo que se sabe de su historia natural y el hecho de que deja huellas bastantes evidentes. Estos valores servirán de referencia (línea de base) para las futuras comparaciones de los posibles cambios en la ocupación.

**Tabla 5.** Probabilidad del uso del espacio (ocupación) y de detección estimadas a partir de modelo nulo ( $\psi(\cdot)$ ,  $p(\cdot)$ ), utilizado para evaluar los cambios en el estado de las poblaciones del chanco de tropa (*Tayassu pecari*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

Temporada	Peso del modelo nulo ( $W_i$ )	Ocupación $\psi(\cdot)$ , $p(\cdot)$		Detección		Cambio
		$\psi$	EE	P	EE	
T0	0,0001	0,11	0,02	0,49	0,06	-
T1						

### Patrones espaciales de la ocupación

Para el chanco de tropa, tres modelos con covariables presentaron los ajustes más adecuados y que mejor explicaron

el uso del espacio (ocupación) por la especie, a lo largo del camino de San Buenaventura-Ixiamas, fue el siguiente (Tabla 6 y 7):

**Tabla 6.** Modelos ajustados competidores y parametrización utilizada para modelar el uso del espacio (ocupación) por el chanco de tropa (*Tayassu pecari*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea de base)

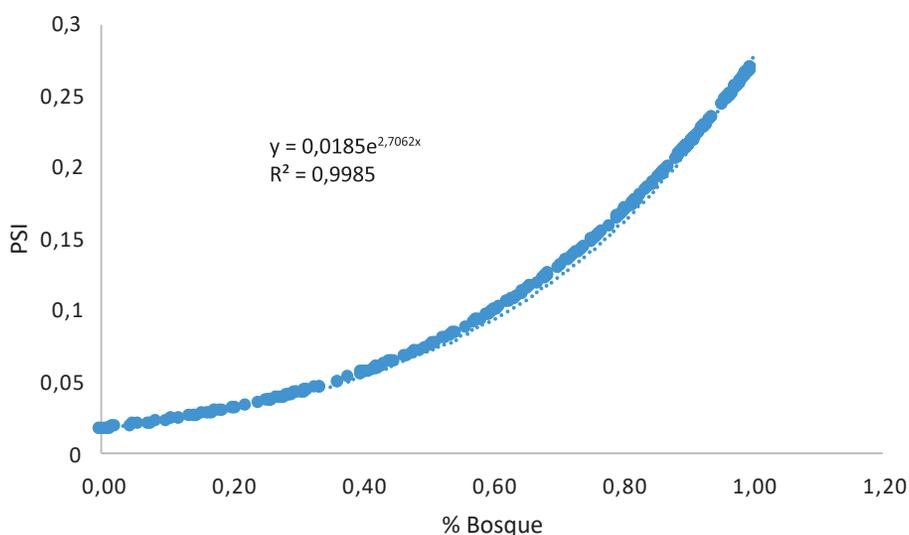
Temporada	Modelo ajustado	Peso del modelo ( $W_i$ )
T0	$\psi(\%Bosque)$ , $p(TiempoLluvia)$	0,35
	$\psi(HeterogeneidadHabitat)$ , $p(TiempoLluvia)$	0,22
	$\psi(DistanciaComunidad)$ , $p(TiempoLluvia)$	0,18
T1		

**Tabla 7.** Covariables significativas y uso del espacio (ocupación) y de detección estimadas para el chancho de tropa (*Tayassu pecari*) a lo largo de la carretera SBI: 2013 (T0-Línea base)

Temporada	Ocupación		Detección		Covariables significativas (tipo de efecto)	
	psi	EE (*DE)	p	EE (*DE)	CovS	CovM
T0	0,17	0,07	0,03	0,18	% Bosque (+Ps) HetHabitat (-Ng) DistComunidad (+Ps)	TiempoLluvia (+Ps)
T1						

Estos resultados indican que el porcentaje de bosque en la celda influye positivamente, y de manera significativa, en el uso del espacio (ocupación) por el chancho de tropa, lo cual tiene lógica ya que es una especie especialista del bosque. También indican que la heterogeneidad de hábitats influye en

la ocupación negativamente y la distancia a las comunidades, positivamente. Por otro lado, la covariable de detección relacionada con el tiempo de lluvia afecta los valores de ocupación de esta especie.



**Figura 3.** Uso del espacio por el chancho de tropa (*Tayassu pecari*) con la covariable de porcentaje de cobertura vegetal

### Implicaciones para el diseño del muestreo

Para mejorar las probabilidades de detección de la ocupación de los grandes carnívoros neotropicales (*Panthera onca*, *Puma concolor* y *Tremarctos ornatus*), así como para precisar mejor las estimaciones de ocupación de la vida silvestre, en general, recomendamos la definición de tres transectos de 600 m, a fin de aumentar de manera efectiva el muestreo en la celda por un factor de seis en comparación con el de este estudio.

En conjunto, los resultados de ocupación, tanto del chancho de tropa como de otras cuatro especies de mamíferos, refuerzan la importancia de los cuatro corredores identificados anteriormente por las comunidades indígenas, a través de entrevistas, y de un corredor adicional, de quinta prioridad, también identificado por las comunidades a lo largo del camino. Recomendamos que estos cinco corredores tengan una máxima atención en los esfuerzos de mitigación para minimizar los impactos por la interrupción del corredor durante el proyecto de mejora de la carretera.



