



**ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL JAGUAR
(*Panthera onca*) EN COSTA RICA A TRAVÉS DE LA
INTEGRACIÓN DE DATOS DE REGISTRO DE LA
ESPECIE Y MODELAJE DEL HABITAT IDÓNEO.**

Febrero 2018





ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL JAGUAR (*Panthera onca*) EN COSTA RICA A TRAVÉS DE LA INTEGRACIÓN DE DATOS DE REGISTRO DE LA ESPECIE Y MODELAJE DEL HABITAT IDÓNEO.



Febrero 2018

CITAR COMO:

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). 2018. Estado de conservación del jaguar (*Panthera onca*) en Costa Rica a través de la integración de datos de registros de la especie y modelaje del hábitat idóneo. Proyecto MAPCOBIO-SINAC-JICA-Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.

Autor

Sistema Nacional de Áreas de Conservación de Costa Rica

Coordinación técnica

Dr. Luis Alberto Rojas B.

Administrador, MAPCOBIO-SINAC

MSc. Masaki Osawa

Asesor Principal, Proyecto MAPCOBIO

MSc. Johanna Hurtado A.

Consultora Proyecto MAPCOBIO

Análisis de datos

Manuel Spínola, ICOMVIS-UNA

Elaboración de Mapas y Medición de Covariables

Carlomagno Soto, Universidad EARTH

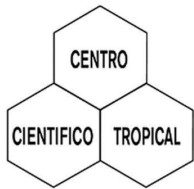
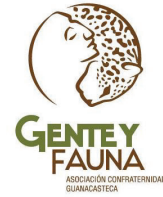
Créditos de fotografías

Coastal Jaguar Conservation, Proyecto TEAM-Costa Rica, Organización Panthera, UACfel y Javier Carazo.

Este es un producto del Proyecto para la Promoción del Manejo Participativo para la Conservación de la Biodiversidad (MAPCOBIO) ejecutado por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), con la colaboración de investigadores de Jaguar en Costa Rica.

Colaboradores

Nombre	Cargo	Institución / Proyecto
Orrego, Carlos Mario	Coordinador CITES	Secretaría Ejecutiva
Ramírez, Shirley	Asesora Viceministerio de Ambiente	MINAE
González, Jorge A.	Funcionario SINAC – Enlace MAP	Área de Conservación Amistad Caribe
Mory, Stephanie	Funcionario SINAC	Área de Conservación Osa
Bonilla, Sebastián	Funcionario SINAC – Enlace MAP	Área de Conservación Tortuguero
Vargas, Joaquín	Funcionario SINAC – Enlace MAP	Área de Conservación Tortuguero
Ramos, Rolando	Funcionario SINAC	Área de Conservación Guanacaste
Gutiérrez, Gabriela	Funcionario SINAC – Enlace MAP	Área de Conservación Guanacaste
Quirós, Jose	Funcionario SINAC – Enlace MAP	Área de Conservación Arenal Huetar Norte
Michael Rodríguez	Funcionario SINAC – Enlace MAP	Área de Conservación Tempisque
Miguel Jiménez Salas	Funcionario SINAC – Enlace MAP	Área de Conservación Arenal Tempisque
Enzo Vargas	Funcionario SINAC – Enlace MAP	Área de Conservación Amistad Pacifico
Saborio, Guido	Funcionario SINAC	Área de Conservación Osa
Amit, Ronit	Investigadora	Programa Gente y Fauna
Araya, Daniela	Investigadora	ONG Panthera
Arroyo, Stephanny	Investigadora	Coastal Jaguar Conservation
Artavia, Adolfo	Investigador y Oficial de Conservación	Asociación Costa Rica por Siempre
Barrantes, Mariano	Investigador independiente	
Brenes-Mora, Esteban	Investigador	Nai Conservation
Carazo, Javier	Investigador independiente	
Corrales-Gutiérrez, Daniel	Investigador	ONG Panthera
Cruz, Juan Carlos	Investigador	ONG Conservación OSA
Escobar, Sergio	Investigador	UNA-ICOMVIS
Espinoza, Deiver	Investigador	ONG Panthera
Fonseca, Luis	Investigador independiente	
Gómez, Diego A.	Investigador	ProCAT – Sierra to Sea Institute
González-Maya, Jose F.	Investigador	ProCAT – Sierra to Sea Institute
Gutiérrez, Gustavo	Investigador	UCR
Haroutiounian, Tico	Fotógrafo	
Mattey, Alejandro	Investigador	Ecovida – Refugio Lapa Verde
Mattey, David	Investigador independiente	
Molnar, Peter	Investigador independiente	University of Toronto
Méndez, Yoryineth	Directora científica	Centro Científico Tropical
Mooring, Mike	Investigador	QERC
Olson, Erick	Investigador independiente	Northland College
Pomareda, Esther	Investigadora	Centro de Rescate Las Pumas
Powell, Jennifer	Investigadora	Cloudforest
Rojas, Jorge	Investigador	Nai Conservation
Sauma, Alvaro	Investigador independiente	
Salom-Pérez, Roberto	Investigador	ONG Panthera
Soto, Sofía	Investigadora	UCR
Spínola, Manuel	Profesor – Investigador	UNA – ICOMVIS
Thomson, Ian	Investigador	Coastal Jaguar Conservation
Urbina, Ever	Asistente de campo	
Valverde, Natalia	Investigadora	Programa Gente y Fauna
Vargas, Juan S.	Investigador independiente	
Villalobos, Max	Investigador	ONG Conservación OSA
Yaap, Betsy	Investigadora independiente	



Agradecimientos

El Sistema Nacional de Áreas de Conservación, agradece especialmente a todos los participantes y firmantes del Acuerdo Nacional de Jaguares (SINAC-DE-1133) pertenecientes a organizaciones no gubernamentales e instituciones públicas y privadas, por su gran disposición para colaborar con esta iniciativa y quienes compartieron información específica y sensible sobre registros de jaguar, siendo el insumo clave para el estudio presente.

Este producto hace parte de un trabajo participativo desarrollado a través de diferentes talleres en el que participaron activamente investigadores, funcionarios del SINAC y el proyecto MAPCOBIO. Sus aportes en la revisión y validación de la información enriquecieron sustantivamente todo el proceso hasta la elaboración del presente informe.

Se agradece el valioso tiempo invertido por el profesor Manuel Spínola, del Instituto Para La Conservación y Manejo de la Vida Silvestre (ICOMVIS) de la Universidad Nacional, quien llevo a cabo la aplicación de los modelos, así como la dirección y continuo apoyo en la interpretación de los resultados. Un agradecimiento muy especial a los investigadores: Natalia Valverde, Stephany Arroyo, Roberto Salom, Diego A. Gómez, Adolfo Artavia, Javier Carazo, Jorge Rojas, Juan Carlos Cruz y Juan Vargas S., por su constancia en la asistencia a los talleres realizados y valiosos aportes en todo el proceso lo cual fue vital para el éxito de esta iniciativa. De igual forma a Yoryineth Mendez, Erick Olson, Mike Mooring y Peter Molnar por su continua participación vía internet. Igualmente a los enlaces MAP por ser los gestores de esta iniciativa. A los funcionarios del SINAC, especialmente a Carlos Mario Orrego, Zaida Trejos, Eugenia Arguedas y a Shirley Ramírez del MINAE, quienes fueron claves en los lineamientos y ajustes necesarios para llevar a cabalidad todo el proceso. Se agradece al Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) por el procesamiento y suministro de los datos censales en los lugares de registros de presencia del jaguar.

Johanna Hurtado quien colabora como parte del equipo consultor del Proyecto MAPCOBIO agradece la confianza depositada por los investigadores para manejar y ser la responsable de los datos suministrados. Se agradece a Carlomagno Soto quién elaboró los mapas de este documento y colaboró ampliamente en los talleres realizados.

Se agradece al Proyecto para la Promoción del Manejo Participativo en la Conservación de la Biodiversidad (MAPCOBIO) del Sistema Nacional de Áreas de Conservación SINAC y a la Agencia de Cooperación Internacional de Japón JICA por el apoyo técnico y financiero y por liderar esta iniciativa a través de la conceptualización y diseño del estudio, compilación de la información, procesamiento, resultados y escritura del documento.

Los datos del Parque Nacional Braulio Carrillo y la Estación Biológica La Selva fueron proveídos por el Proyecto TEAM – Volcán Barva, como parte de Tropical Ecology Assessment & Monitoring Network y con fondos obtenidos por Betty Moore Foundation y Hewlett Packard.

Los datos proveídos por ProCAT Internacional / Sierra to Sea Institute Costa Rica corresponden a proyectos financiados por Las Alturas del Bosque Verde, Phoenix Zoo / Arizona Center for Nature Conservation, y Mikelberg Family Foundation.

El proyecto “Coastal Jaguar Conservation” agradece a The Rufford Small Grants Foundation, Idea Wild, U.S. Fish and Wildlife Service, Liz Claiborne Art Ortenberg Jaguar Research Grant Program, Pacuare Nature Reserve, la Estación Biológica El Zota, la Reserva Biológica Cerro Coronel y a todas aquellas personas y comunidades que les han apoyado a lo largo de los años. Un especial agradecimiento a todo el personal y voluntarios de Global Vision International por todo su apoyo durante la ejecución de este proyecto en el Parque Nacional Tortuguero. También se agradece al Área de Conservación Tortuguero (ACTo-) por el permiso para trabajar en el área y por todo su apoyo logístico.

La Organización Panthera agradece el apoyo de todos los propietarios de las áreas donde se colocaron cámaras trampa, en especial a los del Subcorredor Barbilla-Destierro y del Corredor Biológico San Juan-La Selva. También agradece el financiamiento y colaboración otorgada por el Banco Interamericano de Desarrollo, Sitka Foundation, el Small Cats Action Fund y el Instituto Costarricense de Electricidad. Finalmente brinda un profundo agradecimiento a todos los asistentes de campo y voluntarios que participaron en las diferentes investigaciones de Panthera que son parte de este documento.

El proyecto “Genética de Felinos Silvestres” de la Organización Panthera-Costa Rica agradece a todos aquellos involucrados en la colecta de muestras en Costa Rica. Un agradecimiento especial a Adolfo Artavia, Alcides Parajeles, Alturas Wildlife Sanctuary, Centro de Rescate Las Pumas, Centro de Rescate Tranquility, Coastal Jaguar Conservation, Estación Biológica Las Alturas de Cotón, Fundación Jaguar, FundaZoo, Global Vision International, Hablemos de Perros, Hospital de Especies Menores y Silvestres-UNA, ICE, La Paz Waterfall Gardens Nature Park, Museo Nacional de Costa Rica, Museo de la Salle, Nai Conservation, Panthera, Programa Gente y Fauna, QERC-PLNU (Quetzal Education Research Center-Point Loma Nazarene University), Rara Avis Reserve, Reserva Ecológica Bijagual, perro detector de heces Google, Tree of Life Wildlife Rescue Center, UACFel (Unidad de Atención de Conflictos con Felinos-Panthera/), Universidad EARTH, Yaguará. Los análisis genéticos se realizaron en LabGenCon (Laboratorio de Genética de la Conservación) de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica, American Museum of Natural History y CENIBiot (Centro Nacional de Innovaciones Biotecnológicas). Gracias a (Sistema Nacional de Áreas de Conservación) por facilitarnos el permiso de investigación en Costa Rica.

La Unidad de Atención de Conflictos con Felinos (UACFEL) agradece a todos los ganaderos y comunidades que nos han permitido ingresar y trabajar conjuntamente en sus fincas. También a todos los funcionarios del integrantes de la UACFel (que junto a los ganaderos, son los principales protagonistas de este proyecto) y demás funcionarios del como José Joaquín Calvo, Yocelin Ríos, Vicente Meza y Carlos Mario Orrego, así como también al Ministerio de Ambiente y Energía por el apoyo. Especial agradecimiento merecen también aquellos quienes trabajaron y trabajan en Panthera Costa Rica (en especial a Mónica Chávez, Deiver Espinoza, Ever Urbina), lo mismo para el Director Ejecutivo de Panthera, Alan Rabinowitz, al Director Ejecutivo del Programa Jaguar y Puma de Panthera, Howard Quigley, al Director de Panthera Costa Rica, Roberto Salom Pérez y

al Coordinador del Proyecto Convivencia Felinos-Ganado de Panthera Costa Rica y Coordinador Operativo de la UACFel, Daniel Corrales. Finalmente un agradecimiento a quienes han hecho sostenible este proyecto: Panthera, , ganaderos, Liz Claiborne Art Ortenberg Foundation, Wildlife Without Borders-USFWS, MacFarland, Sitka Foundation, y Woodland Park Zoo.

La Organización Conservación Osa agradece el apoyo de Larry y Jeremy Regan por su apoyo a la investigación de jaguar en la Península de Osa así como a la ONG “Danta” (Association for Conservation of the Tropics) que ha hecho posible la generación de esta información.

El grupo Nai Conservation agradece a la Zoological Society of London (ZSL), American Society of Mammalogists (ASM) y a la British Linnean Society por su apoyo económico para la toma de datos. Además a todos los miembros de las comunidades locales del Macizo de la Muerte y funcionarios del (ACC, ACLAP y ACOPAC) que participaron en la toma de datos y el proceso de investigación.

Los datos facilitados por el Programa Gente y Fauna de la Asociación Confraternidad Guanacasteca corresponden a proyectos financiados y apoyados por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (USFWS), el Departamento del Interior (DOI), el Tropical Conservation and Development Program (TCD), el Programa PINN del Ministerio de Ciencia y Tecnología, Corporación Panthera, el Zoológico de Chester, el Zoológico de Cleveland Metroparks, e Idea Wild. También agradecen el apoyo de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica, el Centro de Rescate Las Pumas, así como la Unidad de Atención de Conflictos con Felinos (UACFel) del Sistema Nacional de Áreas de Conservación y al Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).

Tabla de Contenido

RESUMEN.....	12
ANTECEDENTES Y CONTEXTO GENERAL.....	13
EL JAGUAR (<i>Panthera onca</i>) como especie focal del estudio.....	15
Información biológica generada sobre la especie jaguar relevante a este estudio.....	17
OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	20
MÉTODOS Y ETAPAS DEL PROCESO.....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
Ubicación espacial de la especie (Mapa de registros de presencia)	41
Esfuerzos de Investigación con Cámaras trampa.....	44
Modelos aplicados y mapas predictivos arrojados de hábitat idóneo para el jaguar.....	46
Modelos seleccionados	50
Modelo mixto.....	53
Implicaciones del modelo mixto.....	54
Identificación de áreas focales de acuerdo a los resultados del modelo.....	54
Conectividad dentro las áreas focales identificadas.....	56
Conectividad entre las áreas focales identificadas.....	57
Sitios prioritarios para fortalecer estudios.....	60
Registros de depredación al ganado y presencia en caminos (amenazas y potencialidades).....	60
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES.....	64
Prioridad 1. Mantenimiento de las Áreas Silvestres Protegidas localizadas dentro de las Áreas Focales identificadas.....	65
Prioridad 2. Esfuerzos de conservación dentro de las Áreas Focales identificadas.....	65
Prioridad 3. Esfuerzos de conectividad entre las Áreas focales identificadas.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica de la variable densidad de poblados (# poblados por celda de 4kmX4km).....	26
Figura 2. Representación gráfica de la variable Porcentaje de cobertura boscosa (# pixeles de bosque por celda de 4kmX4km).....	27
Figura 3. Representación gráfica de la variable Km de distancia recorridos de caminos asfaltados por celda de 4x4 km.....	28
Figura 4. Representación gráfica de la variable Km de distancia recorridos de caminos no asfaltados por celda de 4kmX4km.....	28
Figura 5. Representación gráfica de la variable Distancia al límite de Área Silvestre Protegida más cercana.....	29
Figura 6. Representación gráfica de la variable Promedio de la elevación por celda de 4kmX4 km.....	30
Figura 7. Representación gráfica de la variable Promedio de la pendiente por celda de 4kmX4 km.....	31
Figura 8. Representación gráfica de la variable Km de distancia recorridos de ríos con caudal alto y medio por celda de 4kmX4km.....	32
Figura 9. Representación gráfica de la variable Km de distancia recorridos de ríos con caudal bajo por celda de 4kmX4 km.....	32
Figura 10. Representación gráfica de la variable Promedio anual de precipitación por celda de 4kmX4km.....	33
Figura 11. Representación gráfica de la variable Promedio anual de temperatura por celda de 4kmX4km.....	34
Figura 12. Esquema metodológico del estudio.....	37
Figura 13. Registros de presencia de jaguar recopilados y provenientes de diversas fuentes durante el periodo 2012-2017.....	38
Figura 14. Descripción de los datos de registros de jaguar, provenientes de estudios con cámaras trampa.....	40
Figura 15. Mapa con la ubicación espacial de los registros de presencia de la especie en la grilla cuadrículada superpuesta de 4x4 km.....	42

Figura 16. Mapa con la ubicación de todas las celdas 4x4 km donde han sido instaladas estaciones de trampeo de todos los estudios con cámaras trampa y donde se ha registrado jaguar (presencias – celdas rojas) durante el periodo comprendido entre enero 2012 a julio 2017	45
Figura 17. Mapa predicho de hábitat idóneo arrojado por el modelo Maxlike.....	51
Figura 18. Mapa predicho de hábitat idóneo arrojado por el modelo Random Forest.....	52
Figura 19. Mapa predictivo arrojado por el modelo mixto resultante del promedio de cada celda de 4kmX4km de los modelos 9 y 7 (Maxlike y Random Forest).....	53
Figura 20. Mapa del hábitat idóneo predicho para el jaguar en Costa Rica (modelo mixto) con las Áreas Silvestres Protegidas, áreas focales identificadas delineadas como polígonos.....	55
Figura 21. Mapa del hábitat idóneo predicho (probabilidades medias y altas) con las Áreas Silvestres Protegidas, áreas focales identificadas, corredores biológicos propuestos y registros de presencia de la especie	58
Figura 22. Registros de depredación al ganado (triángulos naranja), presencia en caminos (puntos morados) y otros registros de presencia Fuera de ASP, superpuestos en el mapa del hábitat idóneo predicho con las Áreas Silvestres Protegidas, Áreas Focales identificadas y Corredores Biológicos propuestos.....	62
Figura 23. Esquema de prioridades de la estrategia de conservación para el jaguar.....	68

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Formato estandarizado de Excel para la recopilación de registros de jaguar en Costa Rica.....	69
ANEXO 2. Modelos aplicados y mapas de hábitat idóneo predicho.....	71
ANEXO 3. Sitios y periodos de muestreo de estudios llevados a cabo con cámaras trampa desde 2012 a 2017.....	72
ANEXO 4. Peso de las Covariables para explicar el modelo.....	74

RESUMEN

El esfuerzo en conjunto entre el Sistema Nacional de Áreas de Conservación e investigadores nacionales, permitieron la consolidación, ordenamiento y análisis de un conjunto de datos actualizado y de alta calidad sobre registros del jaguar (*Panthera onca*) a nivel nacional. Los datos de registros de jaguar recopilados por diversos proyectos de renombre a nivel nacional e internacional, así como por investigadores de distintas disciplinas, provienen de diversos estudios en su mayoría de fototrampeo llevados a cabo a lo largo de todo el rango de distribución actual de la especie en Costa Rica, y otro tipo de registros como huellas, excretas, presencia en caminos, avistamientos, registros de depredación al ganado y a tortugas marinas, localizaciones de estudios con radio collar y material genético proveniente de excretas.

La creación de una base de datos ordenada de todos los registros existentes desde 2012 hasta 2017 y el ajuste de estos registros a una grilla nacional con cuadrículas de 4kmX4km, permitieron describir la ubicación espacial actual de la especie y modelar las condiciones idóneas de hábitat, lo cual establece lineamientos para determinar prioridades de conservación de esta especie amenazada.

La ubicación espacial de los registros de presencia de la especie, sugieren que el jaguar se encuentra actualmente distribuido mayormente dentro de las Áreas Silvestres Protegidas (ASP), aunque su presencia también va más allá de los límites de las ASP. Se seleccionaron 2 modelos que predicen el hábitat idóneo para la especie y que comúnmente son llamados de Selección de hábitat: (1) Maxlike, y (2) Random Forest, así como la combinación de ambos modelos en el que se basaron los resultados. La probabilidad del hábitat idóneo para el jaguar se modeló en función de covariables (variables predictoras) generales de hábitat, antropogénicas y climáticas, que fueron calculadas para las 3517 celdas de 4X4 km dispuestas a través de todo el territorio continental de Costa Rica.

Se identificaron las zonas con mejores condiciones de hábitat para el jaguar, denominadas áreas focales, siendo el propósito principal, evaluar de manera general la disponibilidad y características actuales de los corredores biológicos existentes y la Unidad de Conservación del jaguar a nivel nacional, para lograr conectar estas áreas. Las áreas focales identificadas, es decir con probabilidades más altas de hábitat idóneo predicho para la especie se localizan mayormente en la región Talamanca-Caribe y Amistad-Pacífico, Caribe-Norte, Osa, Cordillera de Guanacaste y Cordillera Volcánica.

La información generada en este estudio representa el conocimiento más reciente sobre la distribución de la especie y el hábitat idóneo, basado en registros de presencia/ausencia, contando con la participación y evaluación de expertos nacionales e internacionales trabajando con la especie y monitoreo en el país. El acercamiento entre diferentes investigadores de la especie y entre investigadores y el , representa una iniciativa sin precedentes en Costa Rica y constituye el punto de partida para desarrollar una estrategia que permita articular y priorizar esfuerzos de conservación a mediano plazo, en aras de obtener una mejor y más eficiente respuesta a las necesidades de conservación de la especie, basado en información biológica y científicamente sustentada.

ANTECEDENTES Y CONTEXTO GENERAL

El Sistema Nacional de Áreas de Conservación de Costa Rica (SINAC), ha buscado desde hace varios años, apoyarse en iniciativas de cooperación internacional a través de diversos mecanismos, en aras de fortalecer los esfuerzos de conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos. Estos mecanismos también se han implementado como estrategia para cumplir su compromiso de reducción de la tasa de pérdida de biodiversidad al 2020, una de las metas de conservación declarada por la Convención de Diversidad Biológica (SINAC, 2014).

El Proyecto para la Promoción del Manejo Participativo en la Conservación de la Biodiversidad (en adelante Proyecto MAPCOBIO) es un mecanismo de cooperación técnica bilateral entre el gobierno de Costa Rica y el de Japón. Este proyecto es ejecutado por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) y la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), con el objetivo de “establecer mecanismos para compartir los conocimientos de la conservación participativa de la biodiversidad dentro y fuera de Costa Rica.”

A través del proyecto MAPCOBIO, el SINAC ha consolidado varias iniciativas de Manejo Participativo de la Biodiversidad y desde sus inicios visualizó la potencialidad de los datos de fototrampeo existentes a nivel nacional. Es así como en el 2015, realizó un diagnóstico sobre los estudios de fototrampeo llevados a cabo en el país, cuyos resultados permitieron identificar 139 estudios llevados a cabo con cámaras trampa que contaban con valiosa información sobre mamíferos y aves terrestres, generada por más de dos décadas (Artavia, 2015). Seguidamente, el proyecto MAPCOBIO, implementó una iniciativa de Monitoreo Ambiental Participativo (MAP) cuyo objetivo fue desarrollar una investigación participativa para el monitoreo de vertebrados terrestres a través del uso de cámaras trampa. Se desarrolló esta iniciativa a través de una serie de capacitaciones para los funcionarios de las 11 Áreas de Conservación del SINAC y diversos actores clave, con la meta principal de aumentar el interés de la población local en la conservación de la biodiversidad en su entorno cotidiano y además lograr que la información colectada a través de esta actividad, contribuyera al análisis biológico, al monitoreo de la biodiversidad y a la toma de decisiones de manejo y conservación.

Como resultado de la primera ronda del Monitoreo Participativo, 45 funcionarios y 130 actores locales estuvieron involucrados. Treinta sitios de estudio distribuidos en todo el país fueron muestreados, en lugares dentro y alrededor de las Áreas Silvestres Protegidas. Se registraron un total de 36 especies de mamíferos terrestres, incluyendo las 6 especies de felinos existentes en Costa Rica, en el caso del jaguar (*Panthera onca*), especie registrada en 6 de las 10 Áreas de Conservación.

El proyecto MAPCOBIO siempre ha tenido presente que la implementación y ejecución de actividades de conservación y manejo requieren de un gran recurso humano y financiero y por ende, es importante no duplicar los esfuerzos, más bien es necesario integrar la información existente de investigaciones llevadas a cabo en este tema, así como involucrar a los actores locales en este tipo de actividades, para lograr conocer el estado de conservación de los mamíferos terrestres y proponer acciones de conservación y manejo efectivas. Paralelamente, el tiene la necesidad

de implementar una gestión responsable con una participación conjunta, y crear alianzas entre diferentes actores para conocer mejor la biodiversidad a fin de ser más efectivos en su protección.

De esta forma el proyecto MAPCOBIO promovió la participación a un nivel macro en el MAP, en el que los investigadores fuesen quienes cooperaran con su propia información generada y que en sinergia con el SINAC formaran parte del monitoreo nacional. Así pues, siguiendo con los lineamientos para integrar información y unir esfuerzos de investigación y conservación, se realizó un segundo encuentro de investigadores con cámaras trampa a finales del 2016. En el encuentro se les aplicó una encuesta sobre la disposición a compartir información derivada de sus estudios. Basado en las respuestas de los participantes se evidenció que en el pasado ha habido escasa comunicación y articulación entre investigadores interesados en el tema de conservación de vida silvestre y su hábitat, por lo que la mayoría reflejaron la necesidad de realizar este tipo de alianzas. La mayoría de los investigadores también reflejaron que estarían dispuestos a compartir información, siempre y cuando existiese consenso y responsabilidad mediante convenios o acuerdos. Un común denominador también fue el interés de iniciar esfuerzos de conservación en conjunto para la conservación de las especies de felinos con el objetivo de abordar de mejor manera la problemática que enfrentan las poblaciones de este grupo.

De esta manera, el proyecto MAPCOBIO inició la primera experiencia para compartir información, escogiendo el jaguar como especie clave, dada su categoría de amenaza y necesidad de conocer su estado de conservación actual. Un criterio importante para escoger esta especie fue que varias iniciativas lideradas por ONG's, programas e investigadores han estado realizando estudios a lo largo de los años con el objetivo de tomar decisiones importantes en cuanto al manejo y la conservación del jaguar. Por ejemplo, en marzo de 2009, se realizó un taller de análisis de población y hábitat del jaguar en donde participaron 31 instituciones y organizaciones (Salom-Pérez et al. 2009). Este taller contó con la presentación de proyectos que trabajaban con felinos, un análisis de sensibilidad y variabilidad poblacional y conocimiento actual del jaguar en el país. Parte de los resultados del taller fue la discusión de la problemática que tienen las poblaciones de jaguares para su conservación y el análisis de los retos a futuro. La validación del taller fue la creación de grupos de trabajo para la investigación, políticas, hábitat, educación ambiental y la interacción humanos-felinos. Igualmente se hizo énfasis en cinco zonas en las que se encuentra las poblaciones de la especie, incluyendo el Corredor Indio Maíz, Barra del Colorado y Tortuguero, Cordillera de Guanacaste, Cordillera Volcánica Central, Cordillera de Talamanca y Península de Osa.

Para el 2014, varios investigadores en conjunto con el SINAC, realizaron otro taller en donde se validó una estrategia de conservación de felinos 2015-2020 para asegurar la coexistencia con el ser humano. En esta estrategia se desarrolla un plan de acción en la que se articula y conforman grupos cuyos planes operativos consistieron en la descripción de las actividades de manejo para cada una de las amenazas y problemáticas identificadas.

Cabe resaltar que una de las actividades mencionadas en este taller es la recopilación de investigaciones y reportes de felinos a lo largo de los años, como insumo importante para la estrategia nacional de investigación del SINAC. De igual forma, en el libro publicado sobre el Jaguar en el Siglo XXI: la Perspectiva Continental (Medellín et al. 2016), de nuevo se retoma la

importancia de conocer el estado de conservación y prioridades para el jaguar en Costa Rica y se resalta la organización de datos de presencia confirmada o localidades con estudios poblacionales de manera independiente y georeferenciados.

Así pues, en marzo de 2017, el proyecto MAPCOBIO realizó un taller sobre jaguares con el objetivo de desarrollar una estrategia de articulación y una alianza consensuada entre investigadores, organizaciones no gubernamentales, instituciones públicas y privadas, sector privado y SINAC el como cooperantes de la conservación del jaguar. Se les propone a los investigadores compartir su información existente sobre registros de ocurrencia del jaguar derivados de estudios de fototrampeo y otras fuentes, para integrar y analizar la información ya generada y poder contar con un criterio técnico generado por investigación científica para el desarrollo de un informe país sobre el estado de conservación actual del jaguar como línea base para el desarrollo de un protocolo de monitoreo de la especie. El primer asunto importante a tratar en esta alianza fue el manejo de la información sensible como insumo indispensable para el cumplimiento del objetivo para lo cual se redactó un acuerdo borrador y finalmente en julio de 2017 se firmó el Acuerdo Nacional para la recopilación y análisis de registros de la especie (*Panthera onca*), entre investigadores, organizaciones no gubernamentales, instituciones públicas y privadas, sector privado, SINAC y MINAE, para la elaboración del informe país sobre el estado de conservación del jaguar (llamado de ahora en adelante Acuerdo Nacional de Jaguares).

Una vez firmado el Acuerdo Nacional de Jaguares, se inició la conceptualización y diseño del estudio, en el que se compilaron los registros de la especie (*Panthera onca*), colectados desde Enero 2012 hasta Julio de 2017. Los datos compilados podrían provenir de estudios de fototrampeo y radio collar, no necesariamente diseñados para el monitoreo de la especie y registros de otras fuentes como avistamientos (videos, fotografías), estudios de genética, huellas, eventos de depredación y presencia en caminos.

EL JAGUAR (*Panthera onca*) como especie focal del estudio

El jaguar (*Panthera onca*), es ampliamente reconocido como una especie **carismática y emblemática** en muchos programas e iniciativas de conservación de Latinoamérica, y proyectos a gran escala como el programa de conservación del Corredor Biológico Mesoamericano, conocido originalmente como el “Paseo Pantera” el cual ha buscado interconectar áreas protegidas de Centroamérica con el fin de establecer un puente de conservación entre Norte y Sur América (Lambert y Carr, 1998; Caro et al. 2004; Ceballos et al. 2002). Es así como Costa Rica juega un rol fundamental en la conservación



de las poblaciones de jaguar a nivel mesoamericano, al ser un sitio clave para la distribución y conectividad de las poblaciones.

El jaguar también ha sido propuesto como especie **sombrilla** para la selección y diseño de áreas protegidas por sus amplios requisitos espaciales y de tipo de hábitat (Noss et al. 1996; Caro y O'Doherty, 1999; Hitt y Frissell, 2004). Al requerir para su subsistencia grandes extensiones de hábitat en buen estado de conservación; el garantizar su protección, pudiera implicar la protección de poblaciones de otras especies simpátricas de su mismo gremio con las que coexisten, especies de menor nivel trófico, o una sección apreciable del ecosistema (Caro y O'Doherty, 1999; Andelman y Fagan 2000; Redford et al. 2004; Thorton et al. 2016).

Su papel como depredador superior también lo convierte en una especie **clave o ingeniera**, por la influencia o efecto que pueden generar sobre las especies con las que coexiste, así como en los procesos y la estructura de los ecosistemas que habitan (Noss, 1990; Landres et al. 1988; Simberloff, 1998; Andelman y Fagan, 2000; Carignan y Villard, 2002; Sergio et al. 2006). Al tener el potencial de controlar la abundancia de poblaciones de carnívoros de mediano tamaño hace que en su ausencia, estos mesodepredadores puedan explotar a una mayor tasa las poblaciones de sus presas. Del mismo modo, los jaguares controlan las poblaciones de algunos herbívoros generalistas, evitando de esta manera que sus poblaciones crezcan demasiado y sobreexploten los recursos del hábitat (Johnson et al. 2007). Por consiguiente, cambios en su abundancia pudieran reflejar fluctuaciones en las poblaciones de sus presas y de su competidor o permitir la persistencia de competidores más frágiles en las comunidades de presas (Ray, 2005).

Por otra parte, la actividad depredadora de los jaguares sobre las tortugas marinas, hace que los restos de tortugas queden disponibles para diversas especies de carroñeros. Dichas especies se benefician indirectamente de las relaciones tróficas entre el jaguar y las tortugas marinas. Este es un argumento más para reconocer que el valor ecológico del jaguar no solo es como depredador superior, sino también como una especie proveedora de alimento para una gran variedad de carroñeros terrestres (Escobar et al., 2016).

A pesar de su importancia ecológica en el rol de especie clave, carismática, bandera y sombrilla, esta especie tiene la particularidad de estar al mismo tiempo clasificada como una especie casi amenazada (NT); es decir, en peligro de extinción en el futuro cercano, de acuerdo a la lista roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el apéndice I de CITES y como en peligro de extinción en la Ley de Conservación de Vida Silvestre de Costa Rica No. 7317, debido a las continuas y crecientes amenazas (pérdida de hábitat, disminución de sus presas, presión de cacería por la interacción y posible conflicto entre felinos-ser humano) (Quigley et al. 2017).

Previos esfuerzos para evaluar el estado de conservación del jaguar a escala regional y continental han concluido que la especie está declinando en todo su rango de distribución en el que se estima que entre el 50% y el 70% de su área de distribución original se ha perdido (Sanderson et al. 2002, Medellín et al. 2016, Quigley et al. 2017). Las amenazas a las que se enfrentan los jaguares en Costa Rica, no difieren a las de otros países como la pérdida de hábitat, presión de cacería y disminución de sus presas las cuales están llevando al borde de la extinción a la especie (Chaves

y Ceballos, 2006). Hace más de dos décadas, Costa Rica experimentó una pérdida rápida de áreas de bosque convertidas en terrenos para la agricultura, ganadería, plantaciones forestales y asentamientos humanos. El producto de este aumento en la fragmentación del hábitat, pudo haber afectado las poblaciones de jaguar (Sáenz y Carrillo 2002). Gracias a los esfuerzos y políticas de conservación gubernamental y no gubernamental existentes en la actualidad, Costa Rica muestra una recuperación neta de la cobertura boscosa por lo que el panorama parece más alentador en este sentido.

No obstante, la cacería de sus presas naturales y de la cacería furtiva de la especie como trofeo, explotación de su piel, garras y colmillos ha contribuido también a que el jaguar hoy en día este catalogado en Costa Rica como en peligro de extinción (Ley de Conservación de la Vida Silvestre, Ley 7317, de 1992 - MINAE-SINAC,1997). Varios esfuerzos significativos de investigación y conservación han sido desarrollados en Costa Rica desde hace unas dos décadas y atribuyen de igual manera que la constante deforestación y por ende el incremento en la fragmentación y reducción del hábitat es una de las principales amenazas para las poblaciones de jaguares en Costa Rica. No obstante, es posible que el factor de mortalidad más trascendental en la actualidad se deba a que representan una amenaza para los animales domésticos como el ganado y perros; lo que hace que exista una continua amenaza de cacería o persecución humana a causa de la interacción y posible conflicto entre felinos-ser humano (Sáenz y Carrillo 2002, Sanderson et al. 2002; Salom-Pérez et al. 2007; Zarco-González et al. 2009; Corrales-Gutiérrez et al. 2016).

En vista de toda esta problemática y por la importancia ecológica en su rol de especie clave, sombrilla, carismática y bandera; el jaguar constituye una prioridad de conservación de la biodiversidad terrestre de Costa Rica. Es por esto que el jaguar y los hábitats donde ocurre han sido considerados elementos focales de manejo en varios esfuerzos de conservación gubernamental y no gubernamental. Por consiguiente, conocer el estado de conservación de esta especie de gran tamaño que requiere de áreas extensas para sobrevivir, puede ser de gran ayuda a la hora de evaluar el estado de las áreas protegidas, como un posible indicador del buen estado natural en las que se encuentran. De la misma manera, al contar con un criterio técnico-científico se podrá mantener, modificar, direccionar y priorizar los esfuerzos de conservación en el ámbito político, social, económico y ambiental.

Información biológica generada sobre la especie jaguar relevante a este estudio

El jaguar (*Panthera onca*) conocido como la especie de felino más grande del Neotrópico, se distribuye actualmente a lo largo de América abarcando desde el norte de México (algunos individuos alcanzando Nuevo México y Arizona) hasta el norte de Argentina (Seymour 1989, Sanderson et al. 2002). A través de este rango, los individuos ocupan una gran diversidad de tipos de hábitat y elementos del paisaje que incluyen bosques tropicales, selvas lluviosas, manglares, humedales, arbustos, plantaciones forestales, playas y potreros. Aunque el jaguar ha sido registrado en una gran variedad de coberturas, parece preferir coberturas forestales con áreas de dosel cerrado debajo de los 1200 m.s.n.m. (tierras bajas), en lugar de áreas abiertas como praderas, pastizales y potreros (Grigione et al. 2007, Rabinowitz y Zeller 2010). Sin embargo, la continua pérdida de

hábitat hace que los jaguares actualmente se encuentren usando cada vez más, otros tipos de hábitat fuera de áreas silvestres protegidas posiblemente para sus requerimientos esenciales de recursos (Cardillo et al. 2005, Borrvall y Ebenman 2006).



El jaguar se caracteriza generalmente por ser solitario, elusivo, primariamente nocturno/crepuscular y usualmente ocurre en bajas densidades. Su dieta carnívora incluye más de 80 especies, gracias a su habilidad para escalar, arrastrarse y nadar. Entre las principales presas del jaguar en Costa Rica, se encuentran los chanchos de monte, saínos, venados, cabro de monte, tepezcuintes, perezosos, tortugas marinas, entre otros. La relación depredador-presa entre jaguares y tortugas marinas en sus playas de anidación, es ampliamente conocido en Costa Rica. (Carrillo

et al. 1994, Veríssimo et al. 2012, Arroyo-Arce et al. 2014, Arroyo-Arce y Salom-Pérez 2015, Guilder et al. 2015, Escobar-Lasso et al. 2017; Arroyo-Arce et al. 2018). Los estudios indican que esta relación trófica no afecta negativamente la población de tortugas marinas (Escobar-Lasso et al. 2017). El resultado de esta interacción ha sido de gran interés también para los estudios relacionados con la ecología trófica del carroñeo debido a que la depredación por parte de los jaguares, facilita los restos de tortugas marinas a las especies carroñeras y al mismo tiempo la competencia entre ambas especies (Escobar-Lasso et al. 2017).

Con respecto al ámbito de hogar de la especie, existe una gran heterogeneidad en los estimados debido a que esta variable está dictada por el tamaño corporal, disponibilidad de presas, tamaño, tipo y calidad del hábitat, y la interacción entre especies del mismo gremio trófico (Carrillo et al. 2009, Conde et al 2010). Los rangos de hogar reportados van desde 10 a 125 km² para hembras y 25 a 625 km² en machos (Rabinowitzs 1986, Ceballos 2002, Azevedo & Murray 2007, Calvancanti & Gese, 2009).

Los rangos de hogar reportados con radio collar difieren también para machos y hembras, presentando las hembras un rango de hogar de menor extensión (10 -181.4 km² ; Crawshaw y Quingsley 2002, Chávez et al. 2005) que el de los machos (6.57 - 390 km²; Salom-Pérez et al. 2007, Domínguez 2011).

En Costa Rica, la mayoría de indicadores para medir el rango de hogar así como el estado de las poblaciones del jaguar provienen de datos primarios colectados a partir de datos de fototrampeo, y otros estudios sistemáticos de campo como conteos indirectos a través de huellas/rastros, estudios de captura/recaptura y la opinión de expertos de la especie. La radio telemetría y collares con GPS se han empleado poco en Costa Rica para estudios de uso de hábitat del jaguar, por lo

que existe información imitada sobre su rango de hogar actual. Los estudios existentes estimaron entre 6.57 y 40 km² con traslape sustancial entre machos y hembras (Salom-Pérez et al. 2007, Carrillo et al. 2009, Alfaro et al. 2016, Escobar-Lasso, 2017). El rango de hogar reportado en el Parque Nacional Corcovado (6,57 km²) es considerado el más pequeño registrado en jaguares (Salom-Pérez et al. 2007).

A pesar de décadas de estudios en Costa Rica, y que un gran número de éstos han documentado la presencia de la especie, una de las grandes limitantes es la escasa información sobre estimados de densidad poblacional del jaguar, por lo que en la mayoría de los hábitats permanece incierto. Esto se debe a los pocos estudios, varios de ellos realizados en poco tiempo y poca área representada para lograr estimados de densidad robustos (Maffei et al. 2011; Tobler et al. 2013). Se sabe que la variable abundancia es posiblemente la más difícil de medir, dado los amplios y estrictos requerimientos en cuanto a diseño espacial. Los estimados de tamaño poblacional disponibles varían considerablemente entre sitios de acuerdo a lo reportado por Díaz-Santos (2016). En la región de Tortuguero junto con la Reserva Indio Maíz ubicada en Nicaragua se reportó un tamaño de la subpoblación promedio de 127 individuos (101-152), mientras que González-Maya et al. (2016) reportaron 47 individuos (25-69) para la región de Talamanca y Salom-Pérez et al. (2007) 30 individuos para el Parque Nacional Corcovado.

INTRODUCCIÓN

El Plan Estratégico de Biodiversidad del SINAC contempla como una de sus metas, el asegurar la protección de las especies y sus hábitats a largo plazo. Para lograr alcanzar este compromiso, el SINAC requiere como primer paso, indicadores que midan la abundancia y distribución de las especies, como variables primarias para evaluar el estado de conservación, riesgo de extinción y la efectividad de las áreas protegidas.

Costa Rica juega un rol fundamental en la conservación de las poblaciones de jaguar a nivel mesoamericano al ser un sitio clave para la distribución y conectividad de sus poblaciones. Para poder garantizar la viabilidad de esta especie a largo plazo, es necesario comprender la dinámica geográfica reciente y los factores ambientales que la afectan y se convierten en amenazas para las poblaciones.

Así, la compilación de registros de jaguar ya existentes representa un gran reto para investigar y entender la ecología espacial de esta especie de forma que se pueda conocer donde ocurre el jaguar actualmente (e.g. Medellín et al. 2016), las características de hábitat ocupadas, sus preferencias de hábitat y el uso de corredores (e.g. Gil-Fernández et al. 2017), su organización espacial en las diferentes Áreas de Conservación (e.g. Artavia, 2015); muchas preguntas de gran importancia para la conservación de la especie que pueden ser respondidas a través de esta información recolectada.

Los modelos de distribución de especies, basados en un Sistema de Información Geográfica, son herramientas útiles para predecir la distribución potencial de las especies y ayudar a tomar

decisiones en la conservación. Estos brindan predicciones espaciales continuas sobre el hábitat idóneo de las especies y la posibilidad de generar información relevante sobre la distribución de especies raras, elusivas, amenazadas y con bajas probabilidades de detección como es el caso particular del jaguar (Franklin, 2010; Moreno-Amat, 2017; Wisz et al., 2008). De aquí la particular importancia de modelar también la probabilidad de que las condiciones de hábitat sean idóneas para la ocurrencia de la especie, a través del uso de covariables que podrían influenciar este parámetro (Kissling et al. 2017). Así, estos registros de jaguar se convierten en datos eficientes, útiles y únicos como datos primarios derivados en su mayoría de estudios de fototrampeo y de otras fuentes confirmadas que cuentan con su respectiva evidencia.

Conocer la distribución potencial actual del jaguar en Costa Rica y entender los factores que podrían afectar el hábitat adecuado de la especie en determinados sitios, permitirá identificar zonas esenciales para la supervivencia de la especie, requerimientos de hábitat y amenazas, con el fin último de integrarlas en la planificación estratégica de gestión de la biodiversidad a través de la implementación de planes efectivos de manejo y conservación para la especie.

El jaguar (*Panthera onca*) es una especie rara cuyas probabilidades de captura son bajas y cuya accesibilidad a los datos es bastante difícil. Gracias a la disposición de varios investigadores de la especie a compartir su información este estudio representa una oportunidad ideal para evaluar y entender las necesidades ecológicas y de conservación de la especie.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El propósito principal del estudio fue evaluar el estado de conservación actual del jaguar (*Panthera onca*) a través de la integración de datos de registros de la especie que fueron compartidos por investigadores y expertos de jaguar en el país.

Los objetivos específicos del estudio fueron: **(1)** Recopilar y sistematizar datos disponibles sobre registros de jaguar durante el periodo comprendido entre enero de 2012 a julio de 2017 a través de una base de datos estandarizada, **(2)** describir los datos recopilados sobre registros de jaguar, **(3)** describir la ubicación espacial actual del jaguar a través de un mapa de registros de la especie, **(4)** Identificar los esfuerzos de fototrampeo para evaluar vacíos de información, **(5)** Implementar modelos y mapas predictivos de las condiciones de hábitat potencial/idóneo natural para la ocurrencia de la especie, **(6)** Evaluar y discutir las implicaciones de los resultados del modelo para la conservación y protección de la especie con la ayuda del criterio de experto basado en conocimiento previo sobre la especie, sus poblaciones y actuales amenazas, **(7)** Identificar corredores biológicos existentes prioritarios para la conservación de la especie, **(8)** Incorporar al jaguar como especie objeto de conservación dentro de la estrategia de conservación del Sistema Nacional de Áreas de Conservación y el Programa Nacional de Monitoreo Ecológico, **(9)** Lograr la participación y motivación de los investigadores para continuar esfuerzos en conjunto con el a favor de la conservación de la especie.

MÉTODOS Y ETAPAS DEL PROCESO

Recopilación de datos sobre registros de jaguar existentes

Una vez firmado el Acuerdo Nacional de Jaguares, se solicitó a los investigadores los registros de la especie (*Panthera onca*), provenientes de estudios llevados a cabo durante el periodo comprendido entre enero 2012 hasta julio de 2017. Los datos solicitados podían provenir de estudios de fototrampeo, no necesariamente diseñados para el monitoreo de la especie y registros de otras fuentes como avistamientos, estudios de genética, estudios de telemetría, huellas, eventos de depredación, presencia en caminos y datos de cautiverio con sus respectivos registros del lugar de origen.

Se les facilitó a los investigadores colaboradores del estudio, un archivo maestro de Excel para recopilar la información de manera estandarizada. Para la compilación de registros provenientes de fototrampeo, se solicitó la siguiente información: coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo (con y sin registros de jaguar) desde enero 2012 hasta julio de 2017, fecha de inicio y final de muestreo de cada estación de muestreo (día, mes y año), fechas de inactividad durante las fechas de muestreo de cada estación ya sea por daño de la cámara, retiro, etc), fecha de registros de jaguar por estación de muestreo (día, mes y año). Para la compilación de registros de otras fuentes diferentes a fototrampeo, se solicitó la siguiente información: coordenada del registro del jaguar, fecha del registro del jaguar, tipo de registro y evidencia (Anexo 1 – Formato de Excel estandarizado para registro de jaguares nacional).

Procesamiento de datos recopilados

Los datos recopilados sobre registros de jaguar (datos de presencia y ausencia¹) provenientes de diversos estudios llevados a cabo en todo el rango de distribución de la especie en el país, fueron condensados en la base de datos de Excel a través del formato estandarizado enviado a los investigadores y posteriormente ordenados

en formato de análisis en otro archivo maestro de Excel en el que cada columna correspondió a cada uno de los insumos solicitados y las variables medidas posteriormente.

Se llevó a cabo un estricto control de calidad de los datos suministrados. De esta forma, para los registros que no provenían de estudios de fototrampeo, era indispensable contar con la respectiva evidencia y/o confirmación del experto de forma que pudieran ser incluidos en los análisis, esto con el fin de evitar sesgo en el estudio al incluir registros no confirmados.

¹ Ausencia se refiere a la no detección de la especie a pesar del esfuerzo de muestreo realizado con estudios de fototrampeo.

Análisis de datos

Unidad espacial de muestreo

Como primer paso de análisis en este estudio, se definió como unidad de muestreo, una grilla cuadrículada compuesta de celdas de 4x4 km (16km²) y superpuesta sobre el límite continental de Costa Rica. Se utilizó la proyección oficial de Costa Rica CRTM05 (EPSG: 5367). La cuadrícula se enmarca en las siguientes coordenadas: Xmin 280000, Ymin 888000, Xmax 660000 y Ymax 1244000. Esta unidad espacial estandarizada se consideró importante para la implementación de los modelos al poder ser conducidos a una resolución espacial específica, y también para el monitoreo a futuro. La grilla cuadrículada permite muestrear a múltiples resoluciones o escalas además de favorecer el análisis con diversas capas de datos raster.

En este sentido, los datos de registros de jaguar existentes se ajustan a una unidad de muestreo a través de cuadrículas en todo el país. Esto significa que para los modelos no se utiliza una coordenada específica para representar el registro de jaguar o de las estaciones de trampeo sino una celda de 4kmX4km (16km²). El ajuste de los datos a una grilla cuadrículada de 4x4 km como unidad de muestreo, en el que se agrupan varios registros en una celda, permitió también reducir el sesgo en los resultados del modelo atribuible a la posible influencia de sitios extensivamente estudiados, o sitios con un mayor número de registros de jaguar.

El área definida de la celda se basó en los valores disponibles de varias publicaciones sobre el rango de hogar del jaguar para Costa Rica y para otros lugares con la misma o similar área, en donde se estiman en promedio un rango de hogar mínimo para hembra de jaguar de 10 km² y para machos de 25 km² (Rabinowitz, 1986, Kelly, 2003; Silver et al., 2004, Silveira et al., 2010). El área de la celda fue seleccionado basado en el valor más cercano al promedio de los rangos mínimos reportados para hembras y machos.

La grilla elaborada a nivel nacional se compone de un total de 3517 unidades de muestreo (celdas de 4 x 4 km). De este total, 82 celdas corresponden a registros de presencias únicos de jaguar y 213 celdas a registros de ausencias únicos. Estas celdas también representan la base para la homogenización de las covariables para la realización de los análisis y de los registros de jaguar en la implementación de los modelos.

Análisis descriptivos

Se describieron y cuantificaron los datos recopilados de registros de jaguar provenientes de las diversas fuentes. Seguidamente, se evaluó el esfuerzo de muestreo a nivel nacional de estudios con cámaras trampa.

A partir de los registros de la presencia de la especie proveniente de las diversas fuentes, se creó un mapa para conocer la ubicación espacial del jaguar en el periodo que abarcaron estos estudios y se analizaron como un reflejo de la distribución de la especie en el país. Para los

análisis se incluyó información de las Unidades de Conservación del Jaguar (Rabinowitz & Zeller, 2010). Esto además permitió evaluar el estado de conservación de la especie así como realizar recomendaciones tendientes a priorizar acciones de manejo.

Igualmente, con los datos provenientes de estudios de cámaras trampa se crearon mapas para mostrar el esfuerzo de muestreo llevado a cabo con esta técnica a nivel del rango de distribución de la especie y evaluar posibles vacíos de información y limitantes. Las localizaciones de la especie fueron usadas posteriormente para ser sobrepuestas en los mapas predictivos resultantes de los análisis propuestos a continuación.

Modelos estadísticos propuestos

Modelos para predecir hábitat idóneo para el jaguar.

Se predijo la probabilidad de hábitat idóneo para que el jaguar ocurra a través de la implementación de modelos denominados comúnmente de selección de hábitat o de distribución de especies. Estos modelos predicen donde se encuentran las mejores condiciones para la ocurrencia del jaguar de acuerdo a las covariables de hábitat, climáticas y antropogénicas seleccionadas.

Los modelos se definen como una representación parcial de la realidad que refleja algunas de sus propiedades. Los modelos de distribución de especies son por tanto representaciones cartográficas de la idoneidad de un espacio para la presencia de una especie en función de las variables empleadas para generar dicha representación. Es decir, la idoneidad no es más que la relación matemática o estadística entre la distribución real conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores (Guisan & Zimmermann 2000). Para una mejor comprensión sobre los modelos de hábitat idóneo refiérase al Anexo 2.

Debido a la naturaleza de la especie jaguar, como especie rara, elusiva y con bajas probabilidades de fotocaptura y de detección, fue elemental el contar con datos de registros de jaguar, provenientes de diversas fuentes y colectados en un periodo de tiempo de cinco años y medio. En este caso, los datos abarcan principalmente el período comprendido entre 2012 y 2017 y por esta razón las estimaciones representan el hábitat idóneo para la especie durante ese lapso de tiempo. Los datos de depredación de ganado y presencia en caminos fueron excluidos de los análisis de modelaje debido a que estos pueden ayudar a responder otro tipo de pregunta no relacionada con las condiciones de hábitat idóneo natural para el jaguar.

Los pasos para la aplicación de modelos de hábitat idóneo fueron los siguientes:

a. Selección y medición de covariables disponibles a nivel de país para los modelos de probabilidad de hábitat idóneo.

La probabilidad del hábitat idóneo para el jaguar se modeló en función de covariables (variables predictoras) generales de hábitat, antropogénicas y climáticas, que fueron calculadas para las

3517 celdas de 4kmX4km dispuestas a través de todo el territorio continental de Costa Rica. Las variables continuas fueron estandarizadas a la misma unidad espacial para facilitar el uso de optimización del algoritmo numérico y prevenir fallas en la estimación del parámetro (Donovan & Hines, 2007).

Estas variables generales fueron seleccionadas en categorías relacionadas con procesos influyentes, como por ejemplo, se asume que las condiciones de hábitat para la ocurrencia del jaguar pueden verse afectadas de manera negativa o positiva por variables que reflejan actividades humanas; y por ende mayor perturbación o presión de cacería. También por características del hábitat como calidad, fragmentación, conectividad, topografía, barreras geográficas y grado de protección, entre otras. (Niedballa et al. 2015).

Con base en la información proveniente de diversos estudios publicados y documentos existentes derivados de talleres previos sobre amenazas y estado de conservación de la especie, se creó inicialmente una lista de variables posibles a utilizar. Posteriormente se presentaron estas covariables en un grupo de trabajo con algunos de los expertos y se evaluó la factibilidad de uso de estas covariables preseleccionadas en términos de la existencia y/o disponibilidad de información para todo el país. Por ejemplo, variables que se consideran importantes como presión de cacería, disponibilidad de presas, cambios en uso del suelo y conectividad no fueron posibles de incluir por la falta de disponibilidad de capas o cartografía a escala nacional. Cabe aclarar también que las variables a escoger debían ser generales para que pudieran ser aplicadas a todo el país, teniendo en cuenta que la heterogeneidad de ecosistemas presentes en Costa Rica es muy alta, y cada uno de estos tendrá posiblemente variables específicas de sitio que expliquen mejor el modelo.

Finalmente, se consideraron 11 covariables que podrían ser potencialmente influyentes en las condiciones de hábitat del jaguar. Para la cuantificación de covariables de las celdas de 4x4 dentro de la grilla establecida en todo el país, se utilizó el programa QuantumGIS (QGIS) versión 2.18 (QGIS Development Team, 2017); con este programa se accedió a los datos oficiales a escala nacional disponibles en los diferentes nodos del geoportal del Sistema Nacional de Información Territorial (www.snit.go.cr) y mediante la utilización de diversas operaciones de geoprocetamiento de datos, las once covariables seleccionadas fueron extraídas. Otras covariables fueron el resultado de datos geoespaciales obtenidos de proyectos de escala mundial tales como WorldClim (www.worldclim.org), así como el Global PALSAR-2/PALSAR/JERS-1 Mosaic and Forest/Non-Forest map (<http://www.eorc.jaxa.jp>). Este procedimiento asignó a cada una de las celdas los diferentes valores correspondientes a cada una de las capas geoespaciales con características antropogénicas, de hábitat y climáticas.

Para la medición de la covariable densidad de poblados (POB), se usaron los datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) correspondientes a topónimos, adicionalmente se utilizó la capa de áreas exclusivas densamente pobladas (IGN) e información del Censo Poblacional del 2013 (INEC). Estos datos en conjunto se utilizaron para realizar una clasificación a tres categorías (poco denso, denso y muy denso). La variable utilizada corresponde al número de puntos que representan los poblados por celda haciendo una ponderación para las tres categorías en una escala 1, 3, 5 (poco denso, denso y muy denso). La categoría poco denso corresponde a poblados; la categoría denso incluye a cabeceras de Distrito (fuera de las áreas exclusivas del IGN), barrios y urbanizaciones. Por último, la categoría muy denso corresponde a cabeceras de Provincia, Cantón y Distrito dentro de las áreas exclusivas del IGN.

La covariable Distancia a Áreas Silvestres Protegidas (DIST), se derivó de los datos de Áreas Silvestres Protegidas (ASP) del Centro Nacional de Información Geoambiental (CENIGA), para esta covariable se incluyen solamente las categorías IA y II de la UICN correspondientes a protección estricta como Parques Nacionales y Reservas Biológicas. Debido a la cercanía y al área significativa que representa la Reserva Biológica Indio Maíz esta fue también incluida en el cálculo de la covariable DIST, la delimitación de esta Reserva fue obtenida de World Database on Protected Areas de UICN (www.iucn.org). Las demás categorías de ASP con categorías de manejo como reservas forestales, refugios de vida silvestre mixtos y privados, zonas protectoras y humedales fueron desestimadas para los análisis por ser categorías de manejo que podrían contar con asentamientos humanos y actividades extractivas, estas se excluyeron para poder evaluar características de hábitat más apropiados para el jaguar. Para determinar esta covariable se midió la distancia desde el centro de la celda hasta el límite más cercano del ASP. Adicionalmente se consideró la distancia igual a cero en aquellas celdas que compartían al menos una porción del ASP.

La covariable porcentaje de cobertura forestal (BOS) se derivó del mapa de tipos de bosque creado para el Inventario Nacional Forestal de 2012 (INF) del Sistema de Información de los Recursos Forestales de Costa Rica (SIREFOR), donde los tipos de bosque se basan en las siguientes categorías: bosque de palmas, bosque decíduo, bosque maduro, bosque secundario, manglar y plantación forestal. Para solventar la información no disponible por la presencia de nubes en el mapa del INF, se utilizó la clasificación de uso del suelo realizada por la Agencia Espacial Japonesa (JAXA) generada utilizando imágenes de RADAR (<http://www.eorc.jaxa.jp>).

Para el cálculo de las covariables elevación (ELEV) y pendiente (PEND) se utilizó el modelo digital del terreno derivado de la misión NASA Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) (srtm.csi.cgiar.org). El valor calculado para la celda de 4x4 km fue el resultado promedio de los píxeles del SRTM en la celda.


Las covariables Kilómetros de distancia recorridos por caminos asfaltados (CAMG) y no asfaltados (CAMP) se derivan de las capas del IGN sobre la Infraestructura Vial 1 a escala 1:25000. Se agruparon las categorías Autopistas y Caminos pavimentados de una y dos vías para generar la covariable CAMG, de igual manera se agruparon caminos de tierra y carreteras sin pavimento o lastre para la covariable CAMP.

Para las covariables Kilómetros de distancia recorridos por ríos grandes (RIOG) y ríos pequeños (RIOP) se utilizaron las capas del proyecto HydroSHED de WWF (<https://hydrosheds.cr.usgs.gov>) para generarlas. Para la covariable RIOG se agruparon los ríos grandes de alto y medio caudal y para conformar RIOP, de igual manera los ríos pequeños y de bajo caudal fueron agrupados. Esta categorización se hizo basado en el atributo correspondiente a la máxima acumulación de flujo de cada río (Lehner, 2013).

Las dos covariables climáticas Precipitación (PREC) y Temperatura (TEMP) se derivaron de los datos de WorldClim (www.worldclim.org). El valor calculado fue el promedio anual en las celdas de 4x4 km. En el caso de las covariables TEM y ELE presentaron un muy alta correlación o colinealidad ($r^2=0.98$), por ende, se descartó la variable elevación por contar para los análisis con una variable asociada, la pendiente.

Detalles sobre la descripción de la variable, su relación o influencia biológica, la característica de la variable a medir, fuente de información disponible para cada una de ellas y su representación gráfica se describen a continuación:

COVARIABLES GENERALES SELECCIONADAS PARA UTILIZAR EN EL MODELO DE HÁBITAT IDÓNEO PARA EL JAGUAR

COVARIABLE SELECCIONADA	FACTOR/INFLUENCIA	VARIABLE A MEDIR	FUENTE DISPONIBLE DE INFORMACIÓN
<p>1. Densidad de poblados (POB)</p> 	<p>Antropogénico Relación negativa: se asume a > densidad de poblados > presión de cacería y < disponibilidad de presas, por ende condiciones de hábitat no idóneas para la ocurrencia del jaguar.</p>	<p># poblados total /celda. Se ponderan las tres categorías del INEC. Para muy denso una escala de 6 Basado en la visualización de la capa de topónimos del SNIT, se dio un valor de 6 para muy denso, un valor de 3 para denso y un valor de 1 para poco denso.</p>	<p>INEC: Información del censo poblacional 2013 que describe las categorías: urbano, urbano periférico (muy denso), rural concentrado (denso) y rural disperso (poco denso).</p> <p>IGN: Capa de áreas específicas densamente pobladas.</p> <p>SNIT: Capa de Topónimos que incluye las categorías de poblados: cabeceras de cantón, provincia, distritos, pueblos, urbanizaciones y barrios.</p>

Densidad de poblados ponderados (POB)

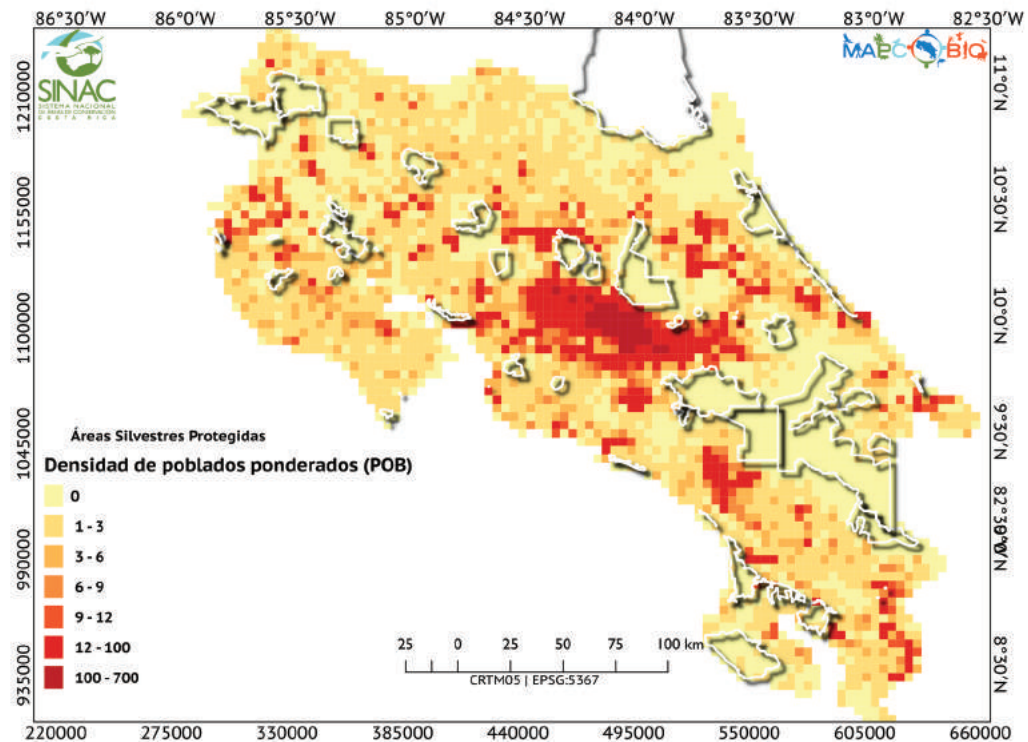



Figura 1. Representación gráfica de la variable densidad de poblados (# poblados por celda de 4kmX4km)

COVARIABLE SELECCIONADA	FACTOR/INFLUENCIA	VARIABLE A MEDIR	FUENTE DISPONIBLE DE INFORMACIÓN
2. Porcentaje de cobertura boscosa (BOS) 	Hábitat Relación positiva: a > cobertura boscosa > condiciones de hábitat idóneas para el jaguar.	Numero de pixeles de bosque/celda (%).	Inventario Forestal 2012 – SIREFOR (se incluyen todas las categorías plantación forestal, pastos y área agrícola).

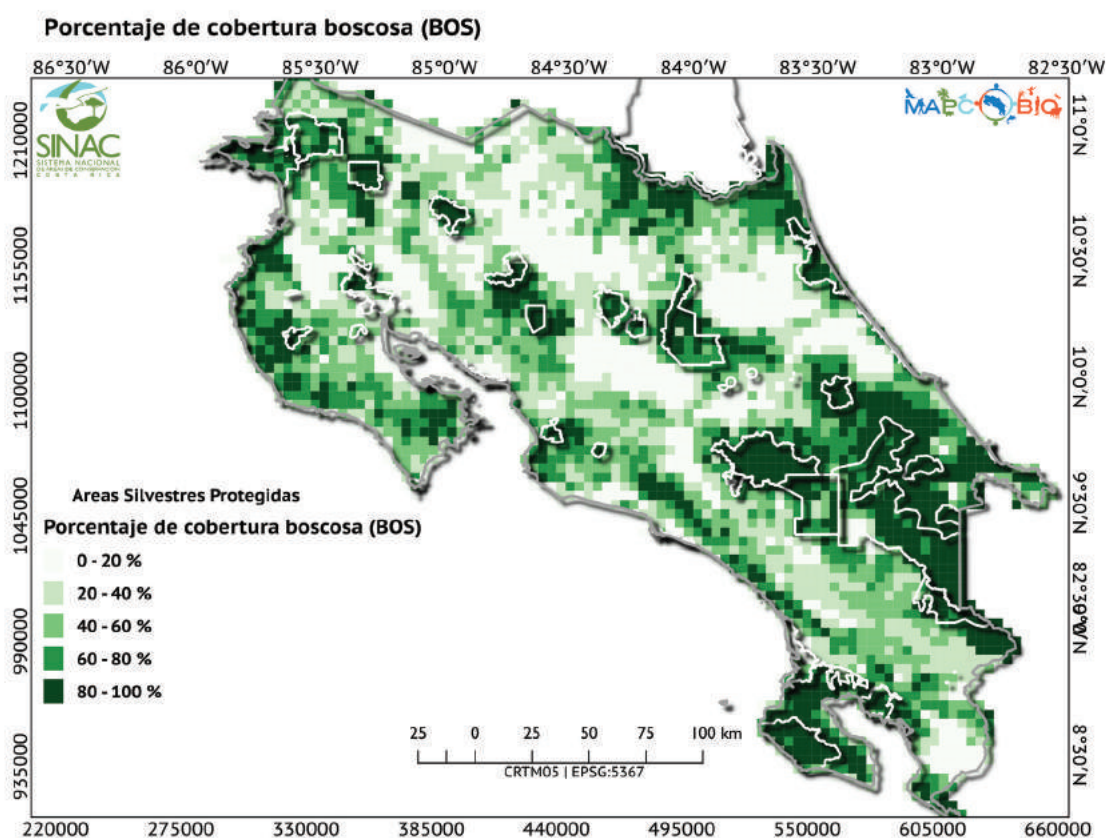



Figura 2. Representación gráfica de la variable Porcentaje de cobertura boscosa (# pixeles de bosque por celda de 4kmX4km).

COVARIABLE SELECCIONADA	FACTOR/INFLUENCIA	VARIABLE A MEDIR	FUENTE DISPONIBLE DE INFORMACIÓN
3. Km de distancia de caminos asfaltados (pavimentados) (CAMG) 	Antropogénico-Desarrollo asociado Relación negativa: a > km de distancia de caminos asfaltados > perturbación > barreras.	Numero de pixeles de bosque/celda (%).	SNIT: Capa de Infraestructura vial que incluye las categorías caminos asfaltados de 1 y 2 vías y autopistas.

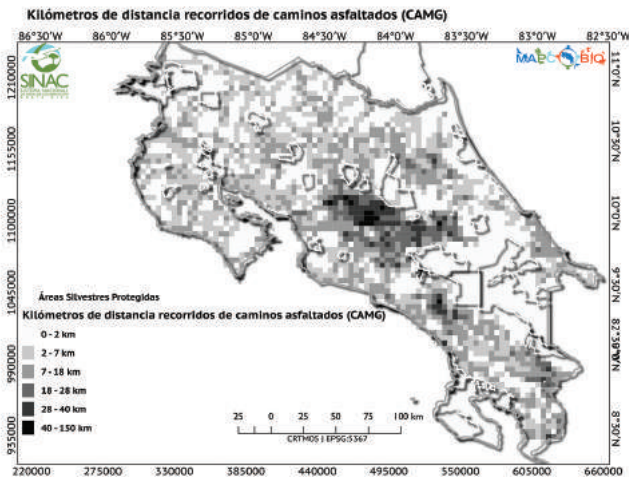


Figura 3. Representación gráfica de la variable Km de distancia recorridos de caminos asfaltados por celda de 4x4 km.

4. Km de distancia de caminos no asfaltados (CAMP).	Relación negativa: a > km de distancia de caminos asfaltados > perturbación > barreras y > presión de cacería.	4. Km de distancia recorrida de caminos no asfaltados por celda.	SNIT: Capa de Infraestructura vial que incluye las categorías caminos no asfaltados de lastre y tierra.
--	--	--	--

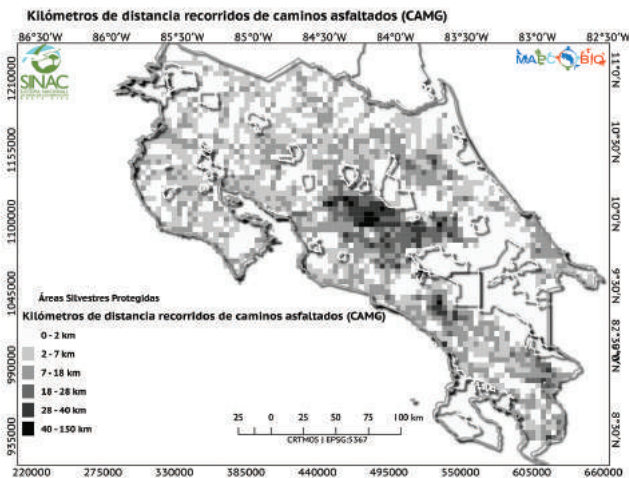



Figura 4. Representación gráfica de la variable Km de distancia recorridos de caminos no asfaltados por celda de 4kmX4km

COVARIABLE SELECCIONADA	FACTOR/INFLUENCIA	VARIABLE A MEDIR	FUENTE DISPONIBLE DE INFORMACIÓN
<p>5. Distancia a Área Silvestre Protegida más cercana (DASP).</p> 	<p>Hábitat</p> <p>Relación positiva: Entre más cerca de un ASP > hábitat disponible o mejores condiciones de hábitat para el jaguar.</p>	<p>Distancia lineal en Km al límite más cercano del ASP tomando el centro de la celda como punto de inicio y tomando como valor cero aquellas celdas con ASP dentro de estas.</p>	<p>CENIGA (se incluyen solo las áreas de protección estricta considerando las categorías I y II de la UICN). Para el caso de Costa Rica sería Parques Nacionales y Reservas Biológicas.</p>

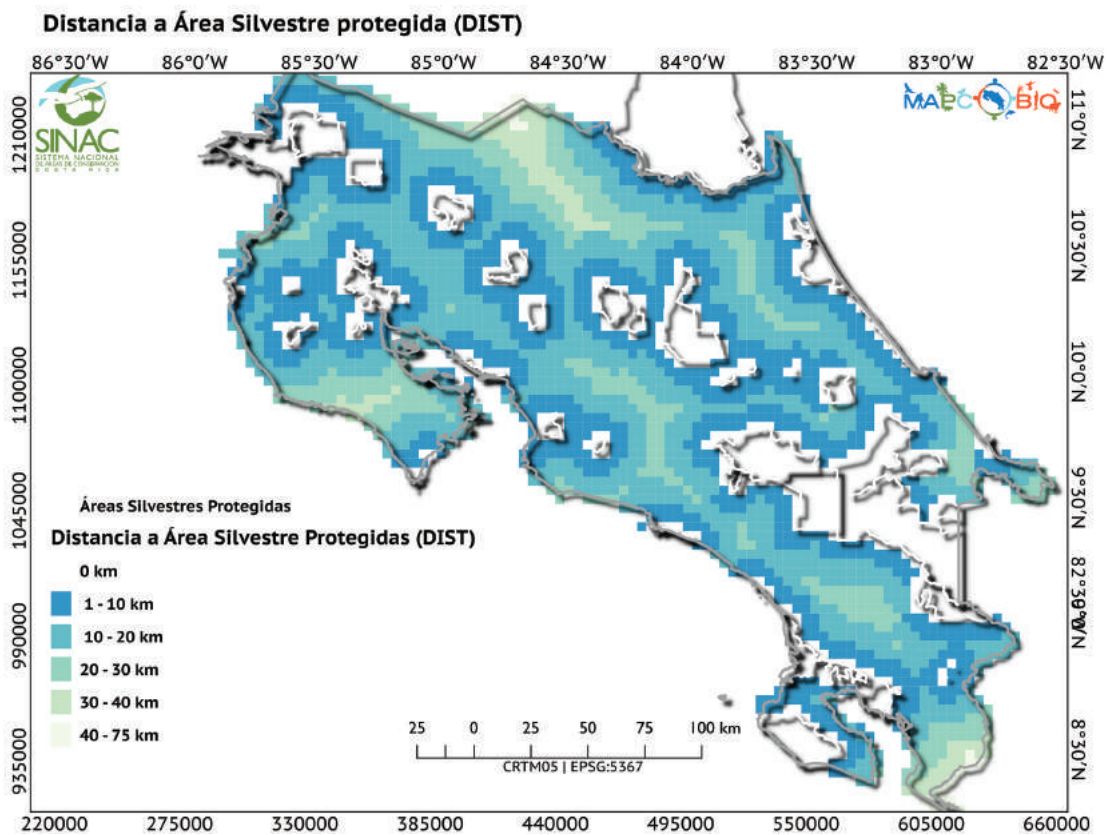


Figura 5. Representación gráfica de la variable Distancia al límite de Área Silvestre Protegida más cercana.

COVARIABLE SELECCIONADA	FACTOR/INFLUENCIA	VARIABLE A MEDIR	FUENTE DISPONIBLE DE INFORMACIÓN
-------------------------	-------------------	------------------	----------------------------------

6. Elevación (ELEV).



Hábitat
 Relación negativa:
 a > elevación <
 disponibilidad de presas
 < condiciones de hábitat
 idóneas para el jaguar.

Promedio de la elevación/celda.

SRTM.CSI.CGIAR.ORG

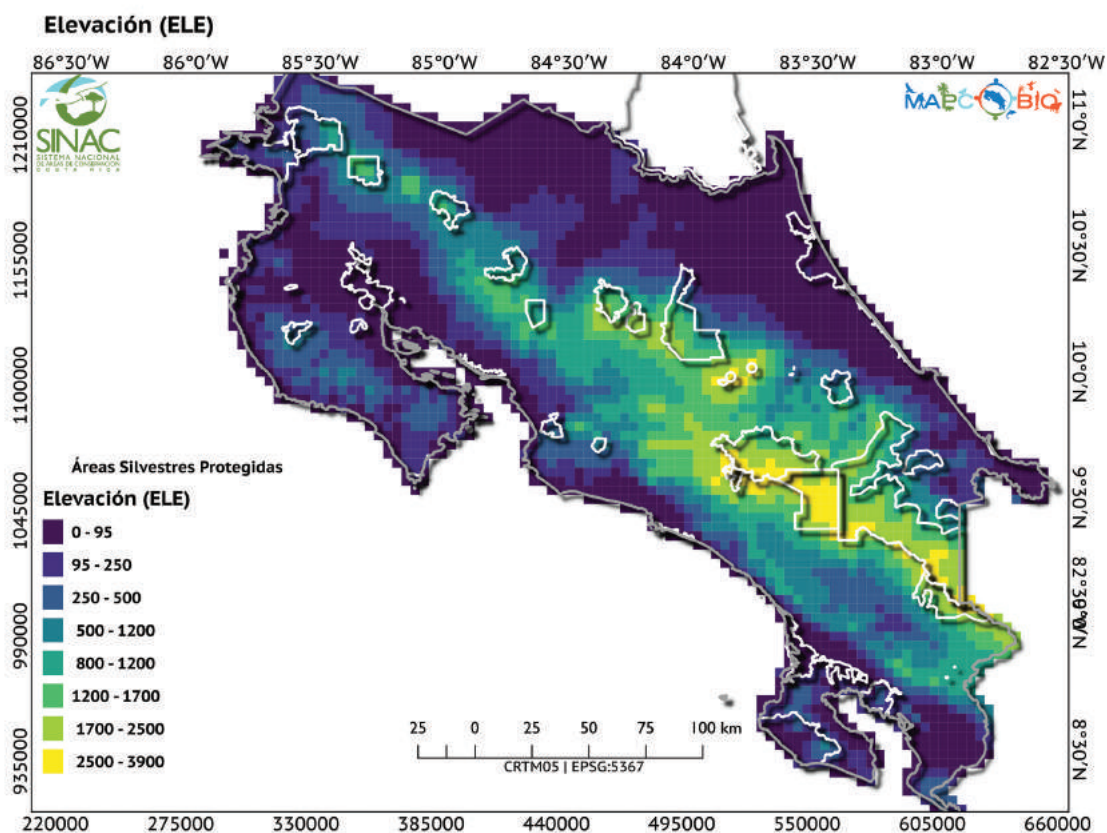



Figura 6. Representación gráfica de la variable Promedio de la elevación por celda de 4kmX4km.

COVARIABLE SELECCIONADA	FACTOR/INFLUENCIA	VARIABLE A MEDIR	FUENTE DISPONIBLE DE INFORMACIÓN
7. Pendiente (PEND) 	Hábitat Relación negativa: a > pendiente < condiciones de hábitat idóneas para el jaguar.	Promedio de la elevación/celda.	SRTM.CSI.CGIAR.ORG

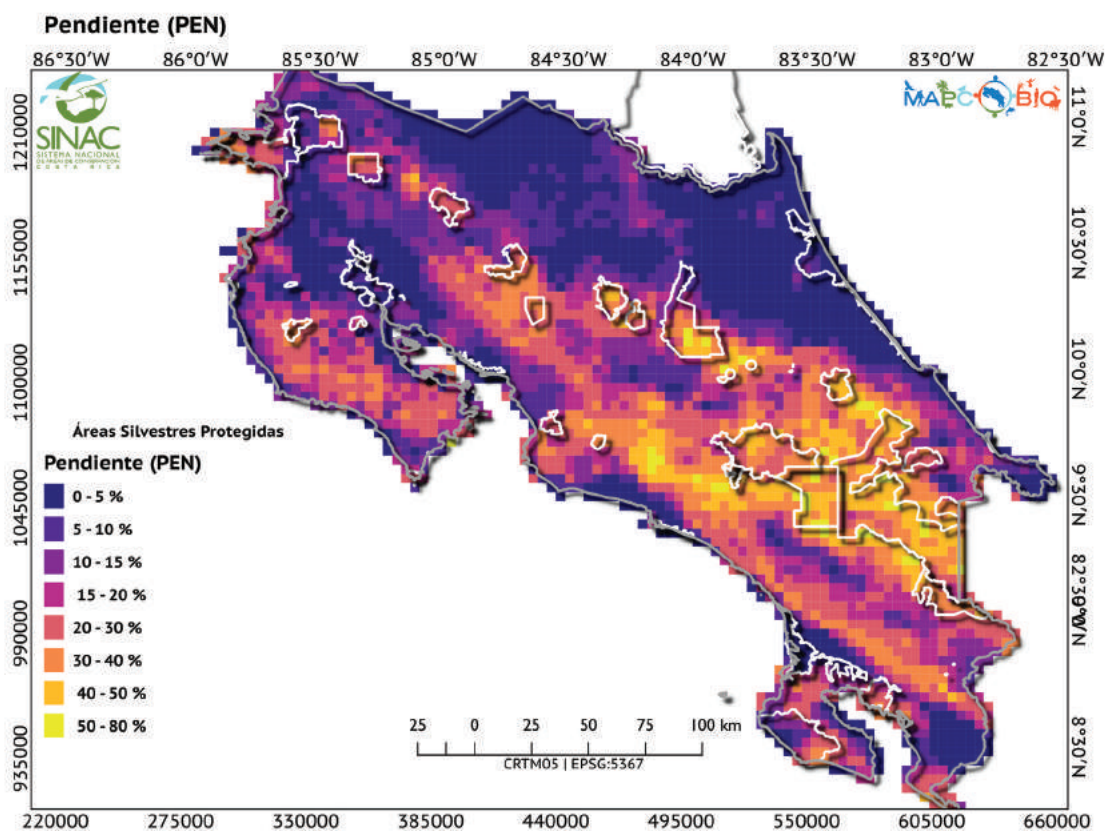


Figura 7. Representación gráfica de la variable Promedio de la elevación por celda de 4kmX4km.

COVARIABLE SELECCIONADA

FACTOR/INFLUENCIA

VARIABLE A MEDIR

FUENTE DISPONIBLE DE INFORMACIÓN

8. Km de distancia de ríos con caudal alto y medio (RIOSG)



Hábitat
Relación negativa asumiendo que a > caudal > barrera geográfica.

Km de distancia recorridos de ríos con caudal alto y medio.

WWF: Capa del proyecto hydroSHEDS V1.0 basado en el modelo topográfico SRTM en el caudal.

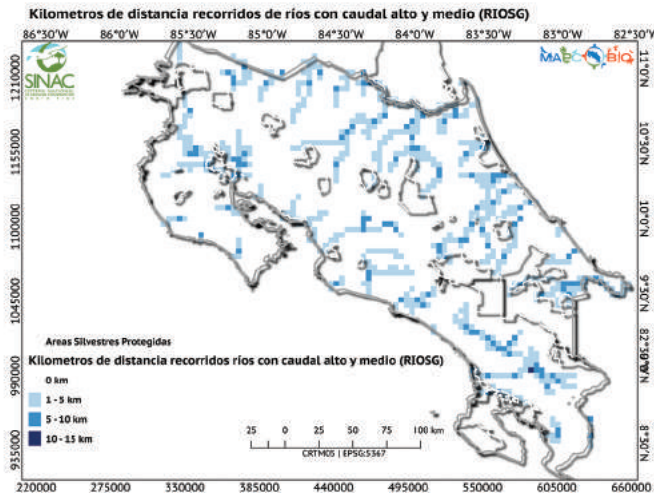


Figura 8. Representación gráfica de la variable Km de distancia recorridos de ríos con caudal alto y medio por celda de 4kmX4km.

9. Km de superficie de ríos con caudal bajo (RIOSP)

Relación positiva asumiendo que el jaguar a esta asociado a cuerpos de agua.

Km de distancia recorridos de ríos con caudal bajo.

WWF: Capa del proyecto hydroSHEDS V1.0 basado en el modelo topográfico SRTM en el caudal.

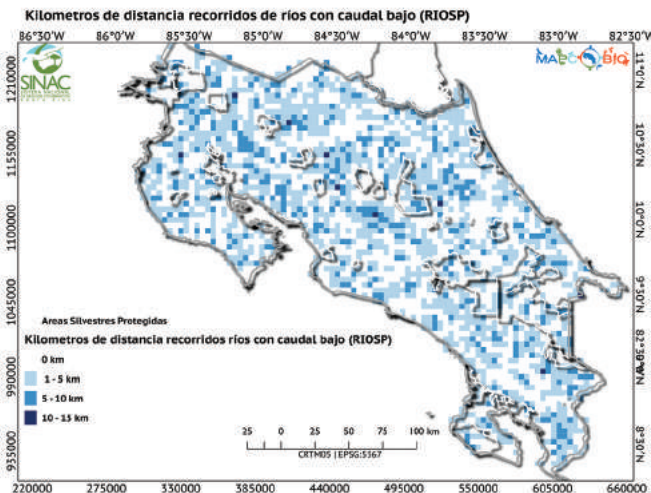



Figura 9. Representación gráfica de la variable Km de distancia recorridos de ríos con caudal bajo por celda de 4kmX4km.

COVARIABLE SELECCIONADA	FACTOR/INFLUENCIA	VARIABLE A MEDIR	FUENTE DISPONIBLE DE INFORMACIÓN
10. Precipitación (PREC) 	Climática Relación negativa: a < precipitación < condiciones idóneas de hábitat para la ocurrencia del jaguar.	Promedio de precipitación anual.	WORLDCLIM

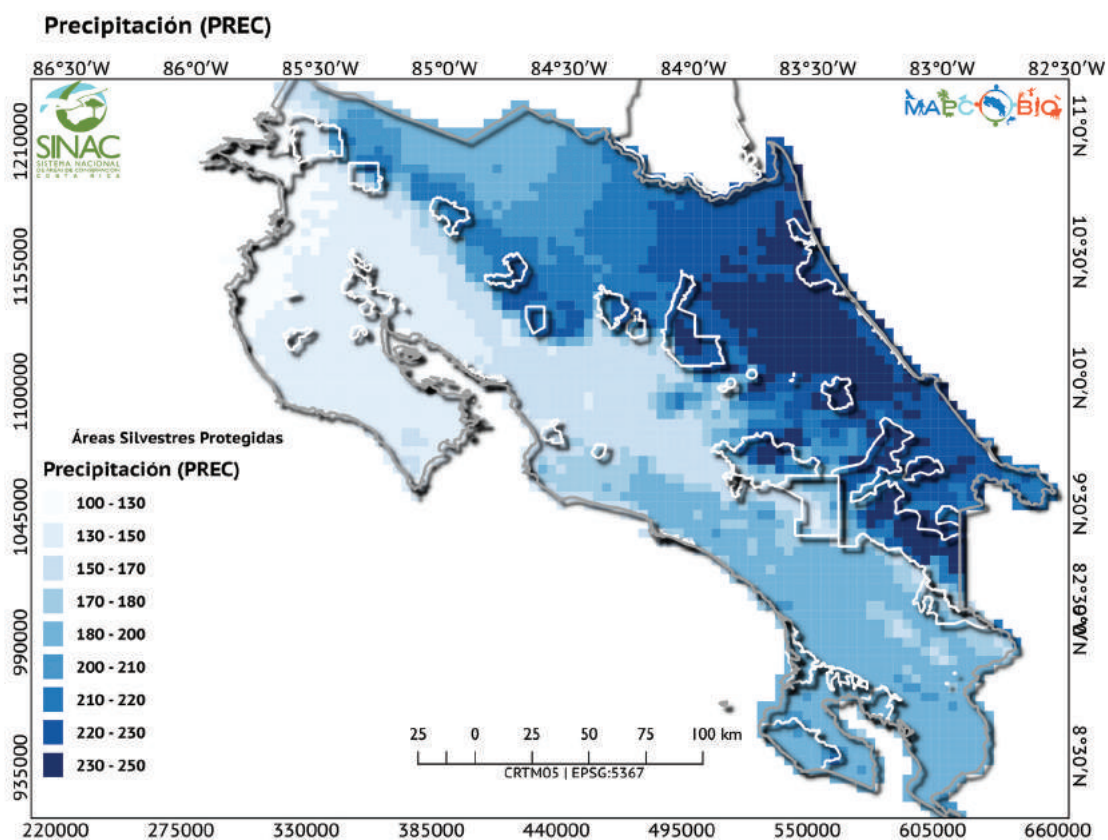


Figura 10. Representación gráfica de la variable Promedio anual de precipitación por celda de 4kmX4km.

COVARIABLE SELECCIONADA	FACTOR/INFLUENCIA	VARIABLE A MEDIR	FUENTE DISPONIBLE DE INFORMACIÓN
-------------------------	-------------------	------------------	----------------------------------

11. Temperatura (TEMP)

Climática
 Relación negativa: a < temperatura < condiciones idóneas de hábitat para la ocurrencia del jaguar.

Promedio de temperatura anual.

WORLDCLIM

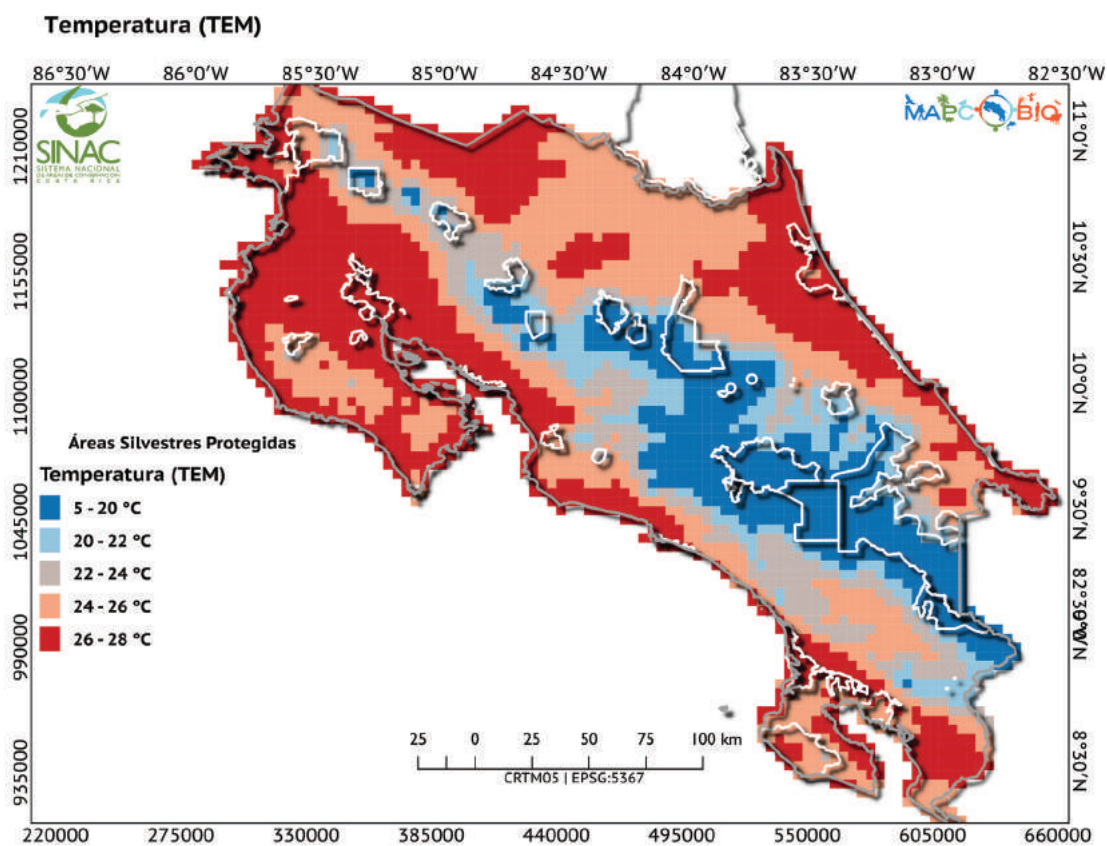


Figura 11. Representación gráfica de la variable Promedio anual de temperatura por celda de 4kmX4km.

b. Aplicación de nueve modelos diferentes para predecir hábitat idóneo

Se aplicaron nueve modelos que brindan predicciones espaciales continuas y se representan en mapas del hábitat potencial/idóneo de la especie. Estos modelos fueron ajustados e implementados a través de un código desarrollado en R (R Core Team - SDM, 2016).

El enfoque de los diferentes modelos implementados consiste en tomar como insumo principal los datos de campo sobre registros de jaguar, datos de presencia (detecciones = 1) y ausencia (no detecciones = 0). Algunos modelos consideran como variable dependiente tanto los datos de presencia, en este caso registros de jaguar, que contiene información de donde la especie ha sido observada como los datos de ausencias (generalmente provenientes de los estudios de fototrampeo) (Peterson & Soberón et al., 2012). Los modelos utilizados con este enfoque fueron: Random Forest (RF), Generalized Linear Models (GLM), Boosted Regression Trees (BRT), Generalized Additive Models (GAM), Classification and Regression Trees (CART), Multivariate Adaptive Regression splines (MARS) y Support Vector Machines (SVM).

Los otros modelos utilizados que consideran como variable dependiente únicamente datos de presencia fueron: Maxlike (Model species distribution by estimating the probability of occurrence using presence-only data) y Maxent.

Los nueve modelos utilizados usan algoritmos diferentes, algunos con mejor capacidad para realizar clasificaciones como es el caso del Random Forest (Breiman, 2001), que utiliza una técnica estándar de entrenamiento automático y cuenta con su propia validación cruzada. Este modelo resulta ser el más moderno y estadísticamente robusto. Otro modelo como el **GLM** de Regresión Logística, realiza un proceso de clasificación en donde la variable dependiente es dicotómica (presencia/ ausencia) y las independientes pueden ser cuantitativas o cualitativas. El modelo Maxent (Dorazio, 2014, Dorazio et al. 2017, Koshkina et al. 2017) por su parte, modela la probabilidad de detección como un proceso puntual que describe la distribución de la especie, al usar la distribución de Bernouilli. El modelo Maxlike (Fitzpatrick et al. 2013) genera de manera aleatoria pseudoausencias y fue creado para dar mejores resultados que el modelo tradicional de Maxent el cual es criticado por arrojar sobreestimaciones del hábitat idóneo. Tanto Maxlike como Maxent fueron creados para ser útiles en aquellos diseños de muestreo que no arrojan datos de ausencias (no detecciones).

c. Selección de mejor modelo basado en criterio de experto

Para la selección de los modelos más adecuados, se dio preponderancia al criterio de experto, este método se toma como válido ya que ha sido ampliamente utilizado como herramienta poderosa en modelos ecológicos particularmente en aquellos casos donde la disponibilidad de datos es limitada y heterogénea ya que no todos responden a un diseño estadístico específico (Kuhnert, et al. 2010; Ford , 2010).

Para implementar el criterio de experto, se desarrolló un ejercicio participativo que consistió en proporcionar a cada uno de los investigadores participantes los mapas predictivos arrojados por los 9 modelos implementados, sin conocimiento previo del tipo de modelo y criterio estadístico utilizado. Esto se desarrolló con dos propósitos: el primero fue evitar el sesgo de preferencia hacia algún modelo en particular y el segundo fue contar con el criterio de experto de acuerdo al conocimiento sobre la especie. Así, cada experto realizó una calificación en orden ascendente del mejor al peor, es decir el modelo más acertado tendría una calificación de 1 (primer lugar).

Este ejercicio participativo fue conducido de nuevo durante el taller de interpretación de resultados en el que se reevaluó la selección del modelo por parte de los investigadores asistentes. Esta vez, la escala de probabilidades fue estandarizada y representada por el mismo patrón de colores de forma que cada categoría o escala de probabilidad coincidiera en color entre los diferentes modelos. Con esto se buscó complementar el análisis previo al permitir una visualización y percepción de los resultados del modelo esta vez basado en los valores de probabilidad de los resultados, este proceso nuevamente fue apoyado en el criterio de experto.

Finalmente, la selección del modelo se basó en la cantidad de investigadores que calificaron como primera opción. Estos fueron analizados posteriormente de acuerdo a la base estadística de cada uno de ellos.

d. Evaluación de la base estadística de los dos mejores modelos

Con el fin de contar tomar una mejor decisión del modelo más acertado, se dio a conocer la base estadística de los modelos mayormente escogidos en primer lugar por los expertos. La base estadística consistió en describir los insumos utilizados por los modelos, los valores de las probabilidades máximas arrojadas, el peso estadístico o incertidumbre del modelo, el uso actual de los modelos y sus limitantes.

e. Modelo mixto

Estadísticamente fue viable promediar cada celda de los modelos seleccionados como los más acertados para obtener como resultado un mapa único mixto siendo el más apropiado para analizar las implicaciones de manejo

A continuación se resume el esquema metodológico aplicado en este estudio (Figura 12):

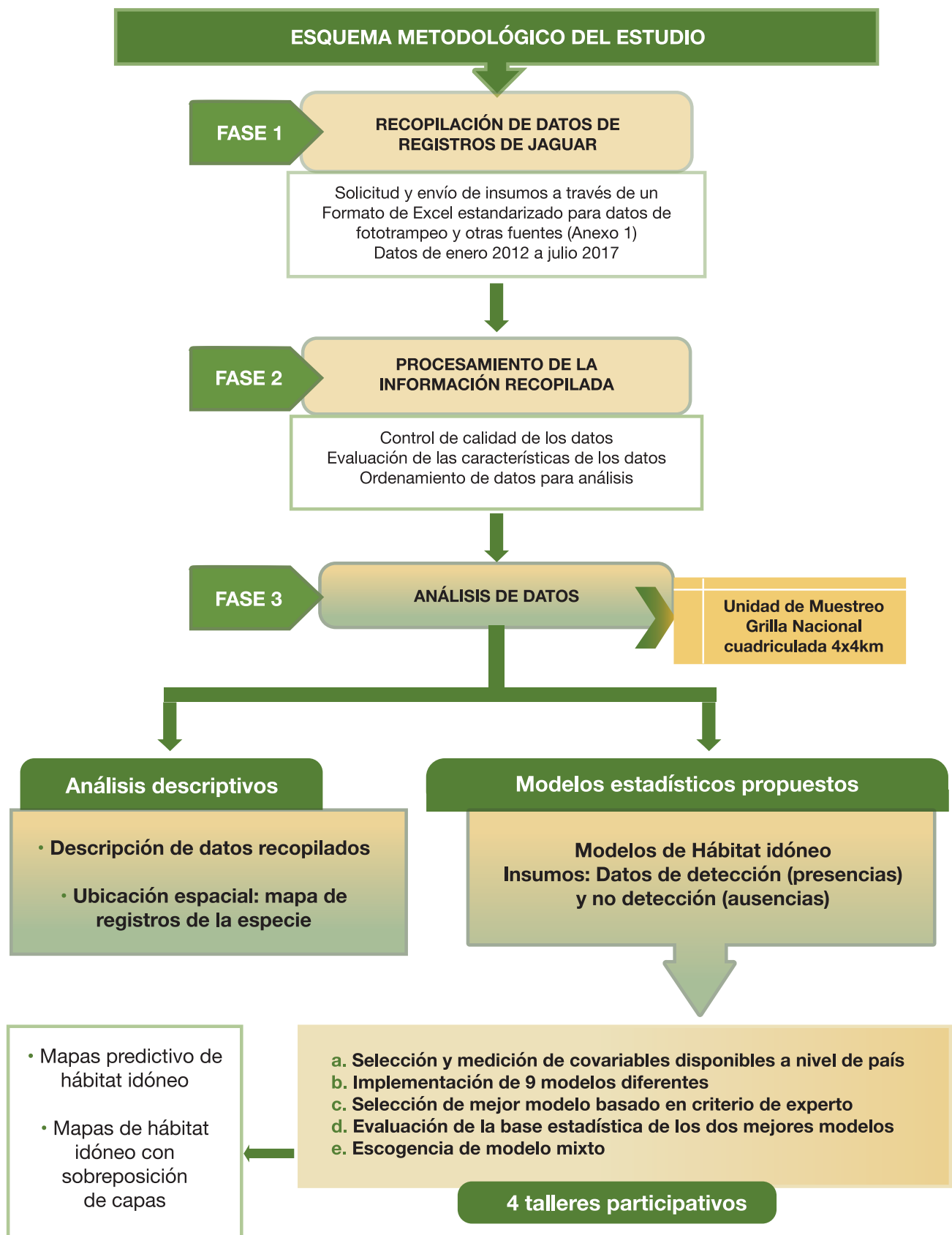


Figura 12. Esquema metodológico del estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de los datos compilados sobre registros de jaguar

Un total de 636 registros de jaguar fueron compilados (358 presencias y 278 ausencias¹) los cuales provienen de diversos estudios llevados a cabo durante el periodo comprendido entre enero 2012 a julio 2017. Las diversas fuentes de datos provienen tanto de estudios con protocolos específicos de muestreo como fototrampeo y radiocollar, así como de estudios dirigidos sobre un comportamiento en particular como ataques de depredación al ganado y depredación a tortugas marinas. También incluye datos oportunistas o que son reportados incidentalmente como, avistamientos, presencia en caminos, huellas, excretas que han sido analizadas genéticamente y el origen de animales en cautiverio (Figura 13).

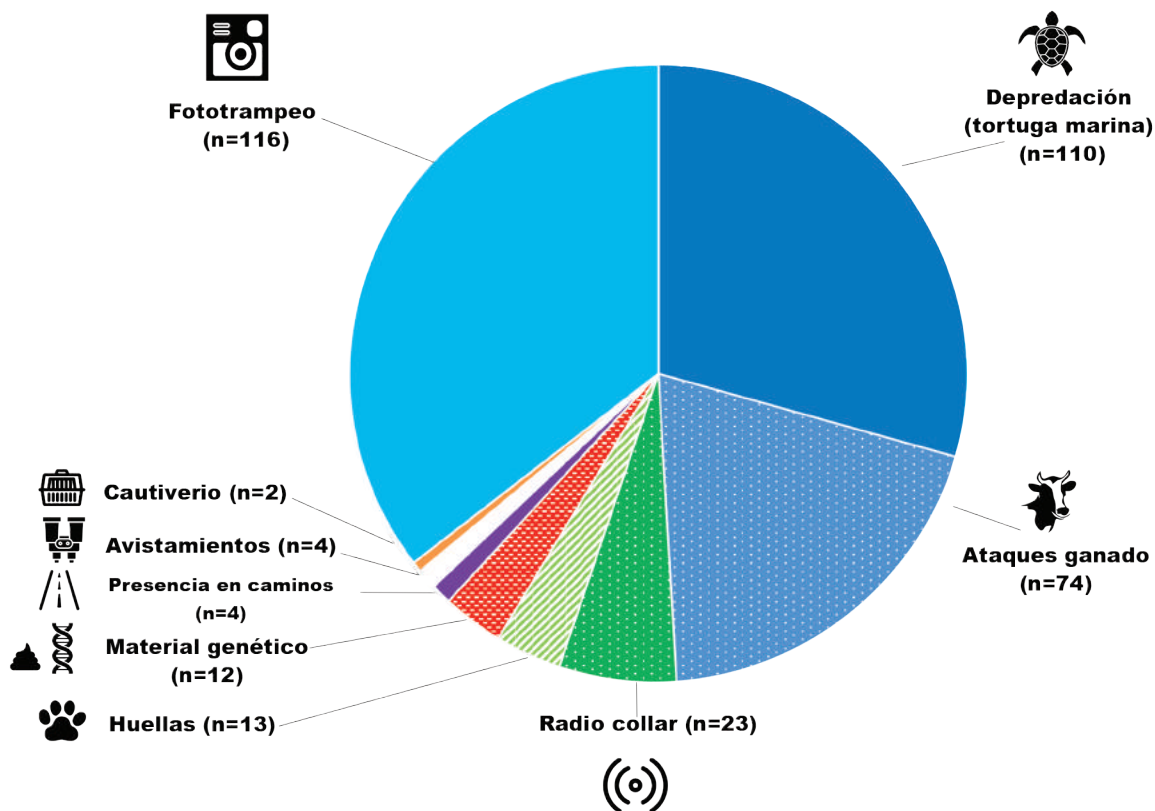
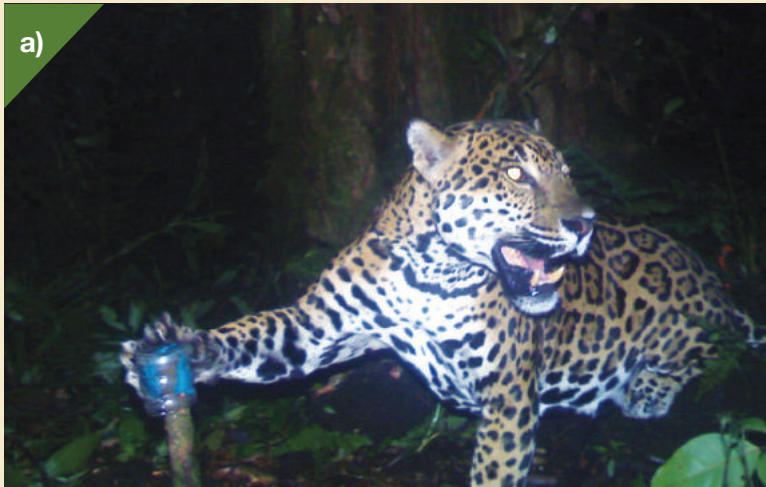
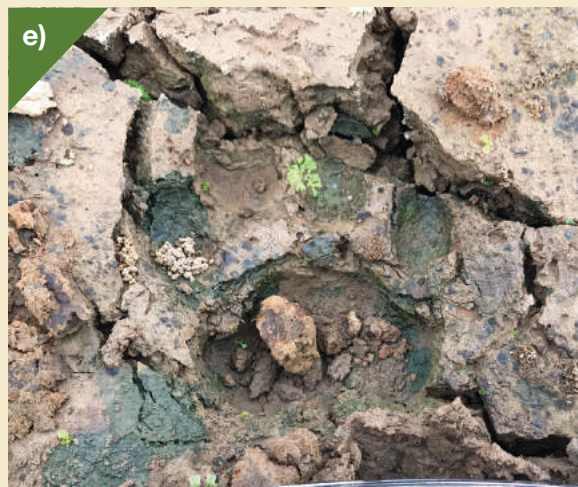


Figura 13. Registros de presencia de jaguar recopilados y provenientes de diversas fuentes durante el periodo 2012 -2017.

¹ Ausencia se refiere a la no detección de la especie a pesar del esfuerzo de muestreo realizado con estudios de fototrampeo.

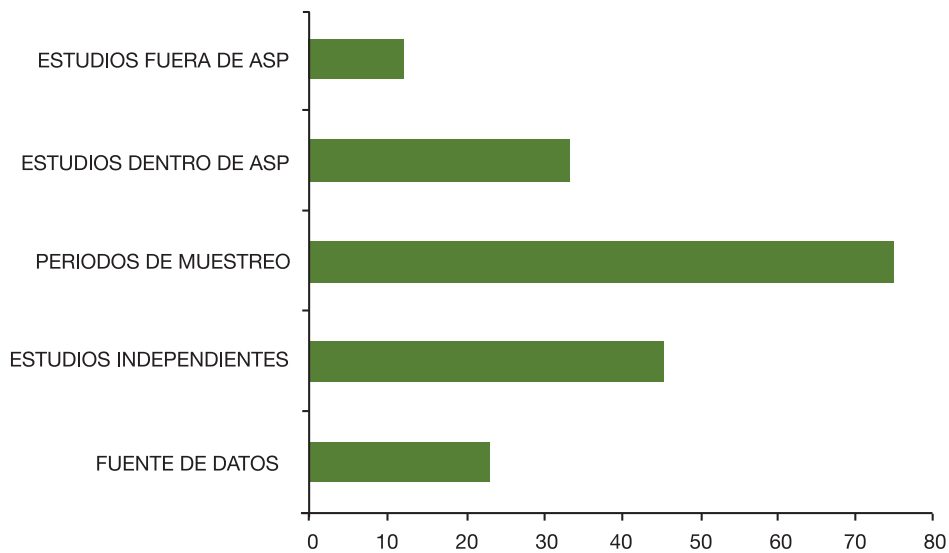


a) Registro de jaguar proveniente de estudios con cámaras trampa (@ONG Panthera); b) registro de jaguar proveniente de depredación a tortuga marina estudios sobre la relación depredador -presa;c)registro de jaguar proveniente de ataque de depredación al ganado (@UACfel);e) registro de huella de Jaguar (@Javier Carazo).



La mayoría de registros de jaguar recopilados (presencias=116 y ausencias=278) provienen de estudios con cámaras trampa. Estos registros provienen 23 fuentes de datos (investigadores, instituciones, ONG's) y se derivan de 45 estudios independientes llevados a cabo en su mayoría dentro de Áreas Silvestres Protegidas (n=33) y en menor cantidad fuera de Áreas Silvestres Protegidas (n=12) (Figura 14).

Detalles sobre los sitios específicos de estudio, fuente de los datos y los periodos de muestreo se encuentran el Anexo 3 de este documento.



El 82% de las investigaciones con fototrampeo tuvieron diseños sistemáticos de muestreo enfocados al estudio de vertebrados terrestres, algunos de ellos con énfasis en el monitoreo del jaguar (n=16 estudios). El 18% restante de los estudios de fototrampeo comprenden estudios ocasionales y con objetivos particulares que requerían instalar cámaras trampa dentro de una propiedad, una reserva privada y pasos de fauna en carreteras. También incluye algunos estudios de personas aficionadas a la especie que instalaron cámaras en búsqueda de esta (n=2). Este porcentaje restante de estudios coincide con un menor esfuerzo y número de cámaras que los estudios sistemáticos de fototrampeo.

La mayoría de estos estudios instalaron las cámaras dentro del bosque de un Área Silvestres Protegidas o reserva privada (sotobosque – 90%), otros en áreas costeras (playas – 5%) y otros en propiedades o pasos de fauna en carreteras (5%). Los estudios realizados en áreas costeras corresponden al monitoreo sobre la relación depredador-presa ente el jaguar y las tortugas marinas realizado en las playas de Tortuguero y playa Pacuare en la vertiente Caribe (Arroyo et al. 2015).

Los datos provenientes de reportes de depredación de tortugas marinas (n=110) provienen de estudios llevados a cabo en Playa Nancite (Parque Nacional Santa Rosa), mediante la técnica de recorridos sobre la playa para la identificación de cadáveres de tortuga depredados por el jaguar. (Escobar –Lasso et al. 2017, com. pers. Stephany Arroyo y Luis Fonseca).

Datos de depredación al ganado (n=74) corresponden en su mayoría a datos proveídos por la Unidad de Atención al Conflicto con Felinos (UACFel), que se refieren al registro confirmado de la especie de felino, proveniente de un ataque de depredación al ganado, el cual reúne todas las características en la forma de cazar y alimentarse, principalmente la parte del cuerpo donde da la mordida mortal (o intentó hacerlo) y las partes del bovino que consume. Se determina la especie según la forma de matar y de comer y se recopila información complementaria como huellas, avistamiento directo del ganadero, y/o datos de fototrampeo (com. pers. Daniel Corrales).

Registros de huellas (n=13), avistamientos (n=4), presencia en caminos (n=4), cautiverio (n=2) y excretas (n=1) provienen de registros oportunistas. Los datos de cautiverio corresponden a decomisos de animales desde su lugar de origen que ahora se encuentran en cautiverio. El material genético (n=11) proviene de muestras de excretas proporcionadas por investigadores y analizadas por el Laboratorio de Genética de la Conservación, de la Universidad de Costa Rica y otros datos se derivan de estudios de radio telemetría con localizaciones de radio collares (n=23) (Escobar-Lasso, 2017).

Ubicación espacial de la especie (Mapa de registros de presencia)

La ubicación espacial de los registros de presencia de la especie (Figura 15), sugieren que el jaguar se encuentra mayormente dentro de las Áreas Silvestres Protegidas (74% de los registros), y en menor cantidad en el límite y fuera de las Áreas Silvestres Protegidas (26% de los registros).

Dentro de las Áreas Silvestres Protegidas, se destaca una presencia mayor de la especie en la zona Norte de Guanacaste, específicamente en los Parques Nacionales Santa Rosa y Parque Nacional Guanacaste (ZNG), en la región Caribe-Norte, específicamente en la Reserva Forestal Pacuare-Matina, Parque Nacional Tortuguero y el Refugio de Vida Silvestre Mixto Maquenque (ZCN), en la Península de Osa, específicamente en el Parque Nacional Corcovado y la Reserva Forestal Golfo Dulce (ZPO); en la cordillera de Talamanca, específicamente en el Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, en la Zona Protectora Las Tablas y en el Parque Internacional La Amistad (ZCT) y en el Parque Nacional Barbilla (ZPB).

Registros de Jaguar (*Panthera onca*)

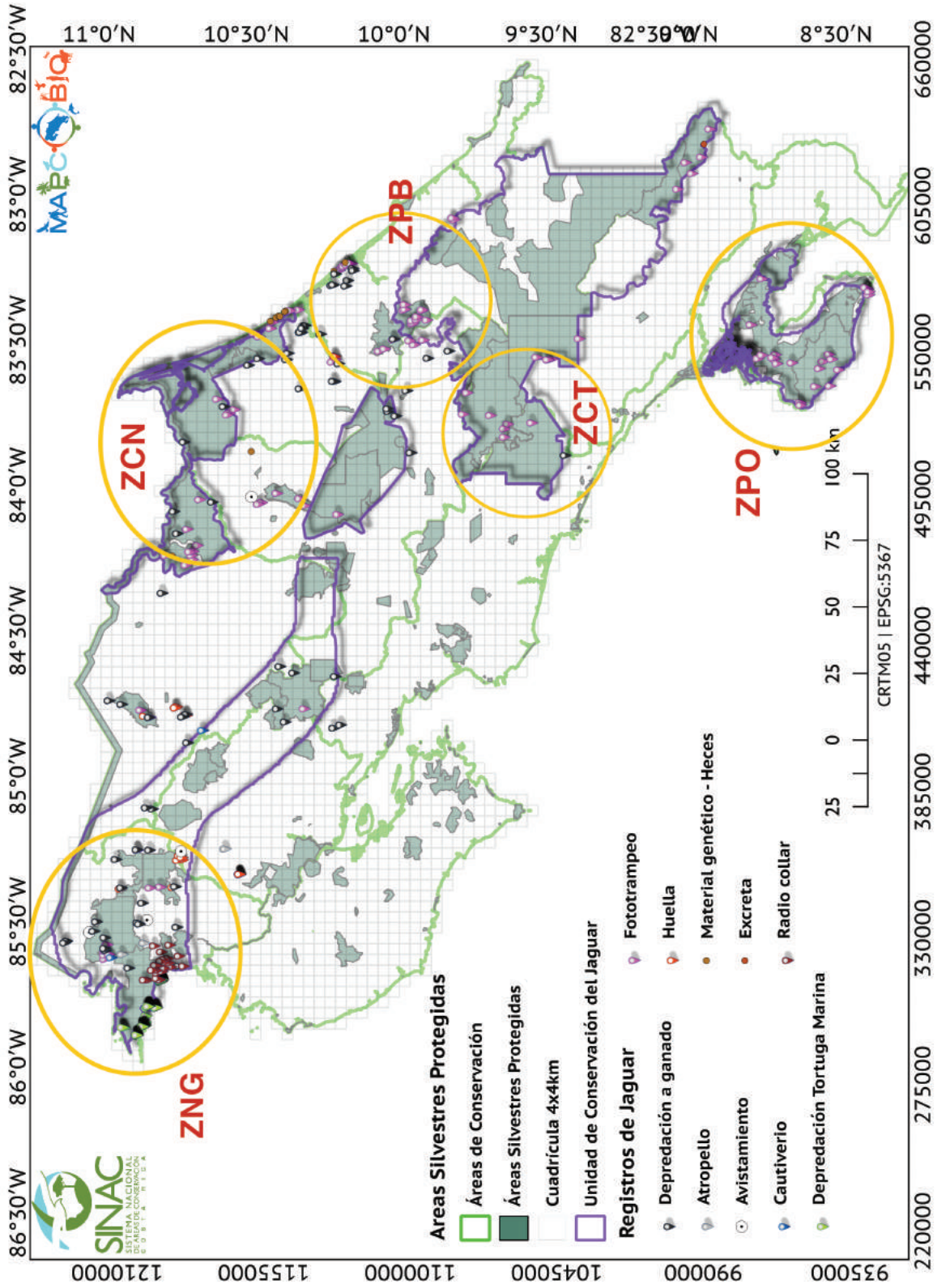


Figura 15. Mapa con la ubicación espacial de los registros de presencia de la especie en la grilla cuadrada superpuesta de 4x4. km.

Los altos registros de presencias de jaguar dentro y en los límites de Áreas Silvestres Protegidas y específicamente las de gran extensión, concuerdan con lo reportado en la literatura (Grigione et al. 2007, Rabinowitz y Zeller 2010), y sugiere que un porcentaje alto de área boscosa continua, así como una distancia menor a las Áreas Silvestres Protegidas debería ser idóneo para la ocurrencia del jaguar.

La ubicación del jaguar incluye varias regiones que concuerdan con las áreas establecidas por la Unidad de Conservación del Jaguar, excepto las zonas altas del Parque Nacional Braulio Carrillo y el resto de la Cordillera Volcánica Central. Esto indica que las áreas propuestas como Unidades de Conservación del Jaguar es acertada y representa un área importante para dirigir los esfuerzos de conservación y protección para la especie en Costa Rica.

Los datos de presencia de la especie dentro de las Áreas Silvestres Protegidas provienen en su mayoría de estudios de fototrampeo y radio collar, lo que sugiere la importancia del monitoreo a largo plazo en estos lugares para conocer los patrones o tendencias en el tiempo.

Los registros fuera de las Áreas Silvestres Protegidas se concentran en la zona Caribe-Norte, específicamente entre Guácimo y el Parque Nacional Tortuguero. Existe actualmente una propuesta para desarrollar un Corredor Biológico que conecte el área boscosa de la Zona Protectora los Acuíferos Guácimo-Pococi con el Parque Nacional Tortuguero a través de la reserva privada de la Universidad EARTH. También existen registros en la zona Norte de Guanacaste, especialmente en las zonas aledañas al Parque Nacional Santa Rosa hacia la estación experimental Horizontes y entre el Parque Nacional Volcán Tenorio y el Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Caño Negro, donde está el Corredor Biológico Ruta de Los Malekus. Otros registros fuera de Áreas Silvestres Protegidas se presentan en las zonas circundantes al Parque Nacional Guanacaste, a la Zona Protectora Arenal-Monteverde y por último entre el Parque Nacional Barbilla y la Reserva Forestal Río Macho donde se ubica el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca.

La mayoría de los registros fuera de Áreas Silvestres Protegidas corresponden a datos de ataques de depredación al ganado, lo que representa una amenaza para la especie por la posible interacción negativa con humanos. Sin embargo, estos registros de depredación junto a los de observación directa, huellas, excretas y material genético fuera de Áreas Silvestres Protegidas también nos permite visualizar la localización del jaguar en sitios particulares del paisaje, que nos indican potenciales rutas de movilidad para la especie, lo cual es útil para priorizar esfuerzos de conservación en los Corredores Biológicos existentes en estas áreas identificadas.

Los datos de presencia en caminos y huellas registradas entre la zona de Guanacaste y el Parque Nacional Palo Verde (sin llegar a haber registros en ésta última) sugieren que existe la posibilidad que los animales están moviéndose entre estos dos áreas pero la autopista (Ruta 1) representa una barrera geográfica antrópica y amenaza para la especie.

Los registros provenientes de depredación a tortugas marinas resaltan la importancia de seguir estudiando la relación depredador-presa en las playas de Tortuguero, Playa Nancite (y otras playas dentro del Parque Nacional Santa Rosa) y Playa Pacuare, así como la conservación de las tortugas al ser una especie clave para la supervivencia del jaguar.

Esfuerzos de Investigación con Cámaras trampa

Los datos compilados de cámaras trampa proveniente de diversos estudios, variaron temporal y espacialmente. El rango en el número de estaciones de trampeo varió entre 1 y 116. Un 79% de los estudios usaron menos de 20 estaciones, 11% usaron entre 20–40 estaciones, y solo un 10% usaron más de 40 estaciones de trampeo. El esfuerzo de muestreo (# cámaras trampa/noche), también varió de manera significativa, entre 37 y 5524 cámaras trampa/noche (media: 1056 cámaras trampa/noche), así como el número de eventos fotográficos independientes de jaguar vario entre estudios con un rango de 1 a 25 (N = 133, media = 3.5), con un 80.5% de todos los estudios registrando menos de 5 eventos fotográficos.

La mayoría de los estudios de fototrampeo realizados durante el periodo 2012 -2017, fueron llevados a cabo dentro y en el límite de las Áreas Silvestres Protegidas (78%), de aquí que sean los datos de fototrampeo los que aporten los mayores registros de jaguar dentro de Áreas Silvestres Protegidas.

La Figura 16 muestra las áreas en donde se ha llevado a cabo esfuerzo de muestreo con la técnica de fototrampeo en los últimos 5 años, y aquellas donde se ha registrado la especie jaguar. Se resalta que los registros de jaguar derivados de fototrampeo (116 presencias y 278 ausencias) se ajustaron a la grilla nacional propuesta para los posteriores análisis a través de modelaje, por lo que se reducen a 82 cuadrículas con registros únicos de jaguar (presencias) y 213 ausencias o no detecciones únicas.

Se identifica un mayor esfuerzo de muestreo con cámaras trampa en las siguientes Áreas Silvestres Protegidas: Parque Nacional Barbilla (ASP1), Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Maquenque (ASP2), Parque Nacional Tortuguero (ASP3), Parque Nacional Rincón de la Vieja (ASP4), Reserva Forestal Golfo Dulce (ASP5), Parque Nacional Corcovado (ASP6), Parque Nacional Piedras Blancas (ASP7), áreas colindantes de los Parques Tapantí Macizo de la Muerte, el Parque Nacional Los Quetzales y la Reserva Forestal Los Santos (ASP8), el transecto altitudinal La Selva–Volcán Barva (ASP9), y la Zona Protectora las Tablas (ASP10). Se destaca como sitios fuera de Áreas Silvestres Protegidas con un esfuerzo mayor de fototrampeo la zona norte del Corredor Volcánica Central Talamanca (FASP1). Otros esfuerzos pero con menor intensidad se han realizado en el Refugio Vida Silvestre Mixto Barra del Colorado, Parque Nacional Volcán tenorio, Parque Nacional Guanacaste, Refugio de Vida Silvestre Mixto Caño Negro, Zona Protectora Arenal-Monteverde, y algunas zonas fuera de Áreas Silvestres Protegidas como los corredores La Amistosa y Paso de la Danta en Osa.

Presencia / Ausencia fototrampeo

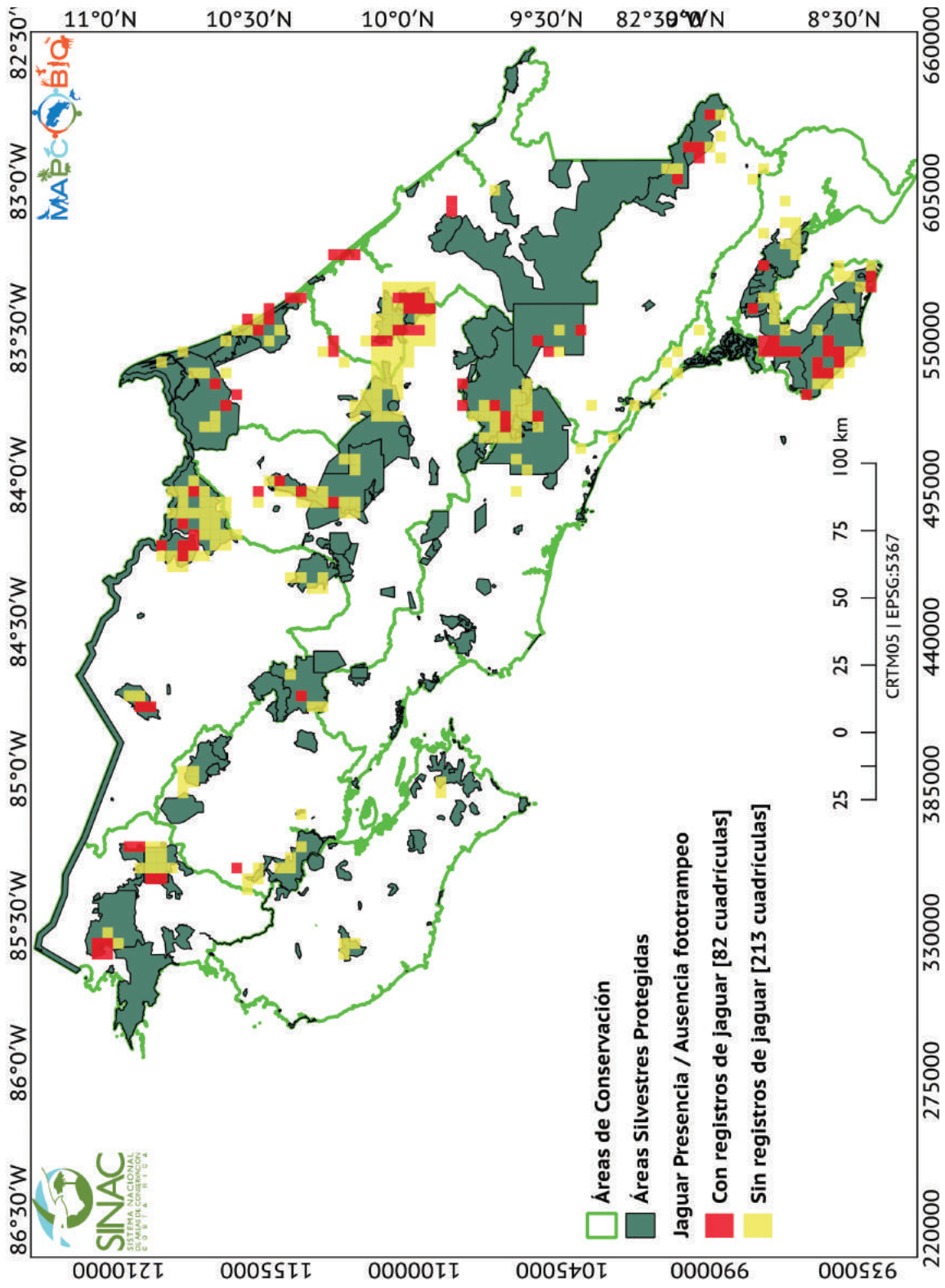


Figura 16. Mapa con la ubicación de todas las celdas 4x4 km donde han sido instaladas estaciones de trapeo de todos los estudios con cámaras trampa y donde se ha registrado jaguar (presencias - celdas rojas) durante el periodo comprendido entre enero 2012 a julio 2017.

Se evidencia un vacío de información en varios sectores de la Cordillera de Talamanca específicamente en el Parque Internacional La Amistad, también en la Cordillera de Guanacaste y la Cordillera Volcánica Central. Probablemente el factor principal que explique el poco esfuerzo de muestreo con cámaras trampa, sea la dificultad del terreno, poca accesibilidad, alta pendiente y elevación. También se evidencia en este estudio un vacío de información en el Parque Nacional Santa Rosa para los últimos 5 años, aunque históricamente ha sido un área con una intensidad alta de estudios de fototrampeo y presencia del jaguar. De igual manera, existe escasa información en la mayoría de los Corredores Biológicos existentes, donde probablemente la limitante mayor para desarrollar estudios con cámaras trampa sea las interacciones negativas con las comunidades asentadas, entre las que se encuentran las altas probabilidades de robo de equipo y la poca gestión y presencia institucional en la mayoría de ellos.

Modelos aplicados y mapas predictivos arrojados de hábitat idóneo para el jaguar

Un total de 82 registros únicos de presencias y 213 registros únicos de ausencias, procedentes de estudios de fototrampeo fueron utilizados como insumos para la aplicación de los modelos que utilizan datos de presencia y ausencia. Por su parte, 123 registros únicos de presencia, provenientes tanto de estudios de fototrampeo como de otras fuentes (excepto depredación al ganado y presencia en caminos) se usaron como insumos para los modelos que utilizan únicamente datos de presencia.

Se describe a continuación las características de los nueve modelos aplicados y los mapas predictivos de hábitat idóneo para el jaguar resultantes para cada uno de ellos.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS IMPLEMENTADOS Y MAPAS PREDICTIVOS DERIVADOS

DESCRIPCIÓN DEL MODELO	MAPA PREDICHO
<p>Número del Modelo: 1</p> <p>Modelo aplicado: Regresión Logística -GLM</p> <p>Datos utilizados por el modelo: Presencia/Ausencia (Fototrampeo) Probabilidad máxima arrojada: 0.63 Calificación: 7% de investigadores lo catalogaron en 1er lugar y 40% en 2do lugar.</p> <p>Características generales: modelo conservador y ampliamente usado. Coincide con las principales regiones donde hay evidencia de presencia del jaguar. Resalta hábitat idóneo en Osa, Caribe-Norte, Parque Nacional Santa Rosa, Norte de Guanacaste y el norte de la Península de Nicoya.</p>	<p>Modelo glm</p> <p>Mapa predictivo del Modelo glm que muestra la probabilidad de presencia de jaguar en Costa Rica. El mapa utiliza una escala de colores que va de amarillo (baja probabilidad) a negro (alta probabilidad). Se ven áreas de alta probabilidad (rojo y negro) en la zona norte y central del país, coincidiendo con las Unidades de Conservación del Jaguar y Áreas Silvestres Protegidas.</p>
<p>Número del Modelo: 2</p> <p>Modelo aplicado: GAM</p> <p>Datos utilizados por el modelo: Presencia/Ausencia (Fototrampeo) Probabilidad máxima arrojada: 1.0 Calificación: 100% de los investigadores lo catalogaron como uno de los menos acertados</p> <p>Características generales: Indica probabilidades muy bajas en regiones donde se sabe que hay jaguar. Arroja Probabilidades altas específicamente en la región Pacífica y la mayoría fuera de las Unidades de Conservación del Jaguar.</p>	<p>Modelo gam</p> <p>Mapa predictivo del Modelo gam que muestra la probabilidad de presencia de jaguar en Costa Rica. A diferencia del modelo glm, este mapa muestra áreas de alta probabilidad (rojo y negro) principalmente en la zona pacífica y fuera de las Unidades de Conservación del Jaguar.</p>
<p>Número del Modelo: 3</p> <p>Modelo aplicado: BRT</p> <p>Datos utilizados por el modelo: Presencia/Ausencia (fototrampeo) Probabilidad máxima: 0.41 Calificación: 7% de los investigadores lo catalogaron en 1er lugar y 20% en 2do lugar.</p> <p>Características generales: Destaca algunas áreas principales donde se ha evidenciado presencia del jaguar pero las probabilidades son bajas. Las probabilidades máximas están muy concentradas, no hay cambios graduales (poco realista). Sobreestima la región de Talamanca y subestima la probabilidad en el Parque Nacional Santa Rosa.</p>	<p>Modelo brt</p> <p>Mapa predictivo del Modelo brt que muestra la probabilidad de presencia de jaguar en Costa Rica. El mapa muestra áreas de alta probabilidad (rojo y negro) muy concentradas en algunas zonas específicas, sobreestimando la región de Talamanca y subestimando la probabilidad en el Parque Nacional Santa Rosa.</p>

Número del Modelo: 4

Modelo aplicado: SVM

Datos utilizados por el modelo:

Presencia/Ausencia (fototrampeo)

Probabilidad máxima arrojada: 0.5 – presenta

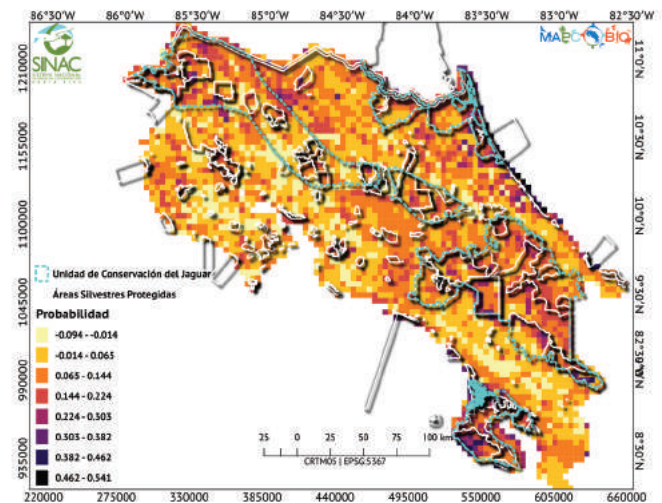
Probabilidades negativas

Calificación: 100% como uno de los menos acertados.

Características generales:

Todo es muy homogéneo, única diferencia en OSA.

Modelo svm



Número del Modelo: 5

Modelo aplicado: CART

Datos utilizados por el modelo:

Presencia/Ausencia (fototrampeo)

Probabilidad máxima arrojada: 1.0

Calificación: 12% de investigadores lo catalogaron

en 3er lugar y 88% como de los menos acertados

Características generales:

Sobreestima la región de Talamancas. Algunas áreas

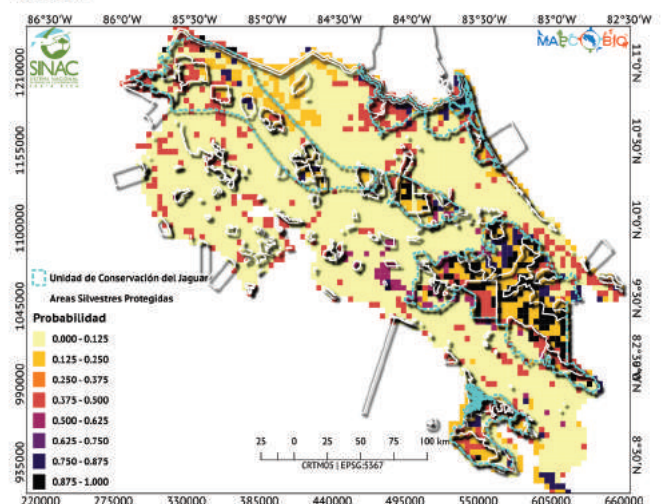
de mayor probabilidad coinciden y otras no de

acuerdo a la evidencia de presencia del jaguar.

Cuadrículas aisladas que parecieran un error del

modelo.

Modelo cart



Número del Modelo: 6

Modelo aplicado: MARS

Datos utilizados por el modelo:

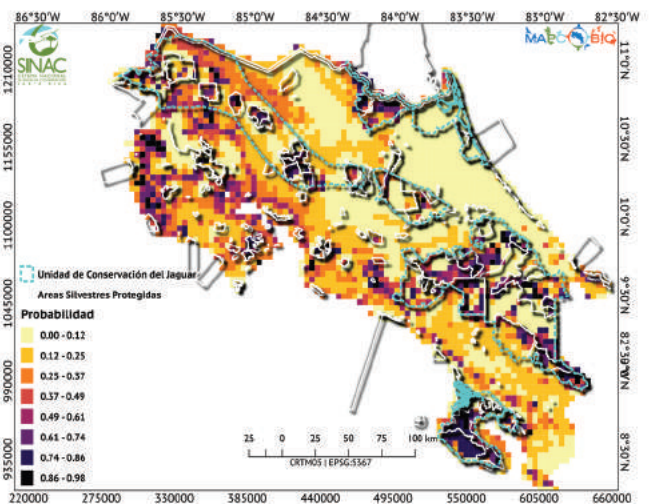
Presencia/Ausencia (fototrampeo)

Probabilidad máxima arrojada: 0.98

Calificación: 100% como uno de los menos acertados.

Características generales:

Mucho contraste y diferencia de probabilidad entre la zona Pacífica y Caribe.



Número del Modelo: 7

Modelo Aplicado: Random Forest

Datos utilizados por el modelo: Presencia/Ausencia (fototrampeo)

Probabilidad máxima arrojada: 0.69

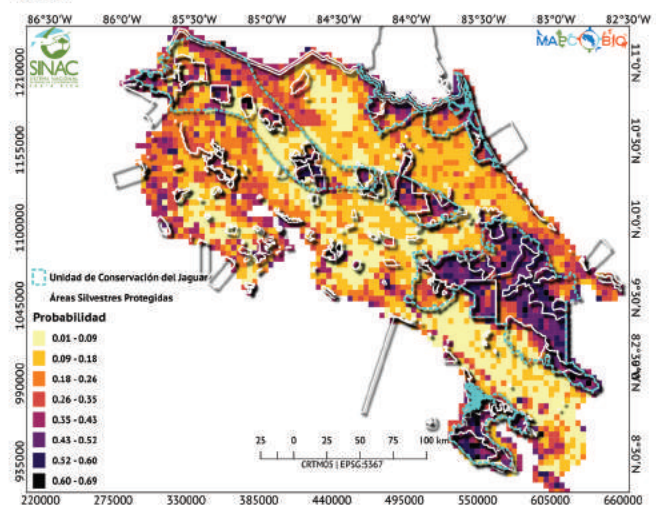
Error del modelo: 23%

Calificación: 35% de los investigadores lo catalogaron en 1er lugar y 40% en 2do lugar.

Características generales:

Modelo conservador y balanceado mostrando cambios graduales en las probabilidades. Tiende a sobreestimar las zonas altas de Talamanca y a subestimar algunas áreas donde se sabe de la presencia del jaguar como el Parque Nacional Santa Rosa.

Modelo rf



Número del Modelo: 8

Modelo aplicado: Maxent

Datos utilizados por el modelo: Presencia (fototrampeo, huellas, material genético, radio collar, cautiverio y depredación a tortugas marinas). No fueron usados datos de depredación al ganado ni presencia en caminos.

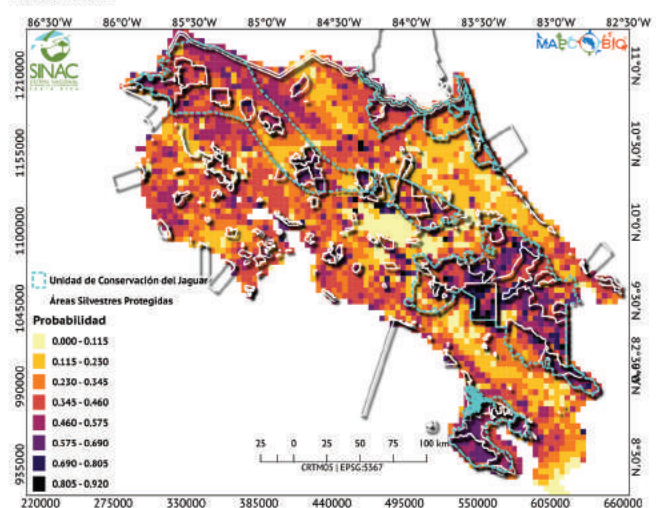
Probabilidad máxima arrojada: 0.92

Calificación: 7% de los investigadores lo catalogaron en 1er lugar y 33% en 3er lugar

Características generales:

Indica las mayores probabilidades en Talamanca y OSA. Pero menos en la zona Norte. Subestima la región del Caribe-Norte.

Modelo maxent



Número del Modelo: 9

Modelo aplicado: Maxlike

Datos utilizados por el modelo: Presencia (fototrampeo, huellas, material genético, radio collar, cautiverio y depredación a tortugas marinas).

Probabilidad máxima arrojada: 0.9

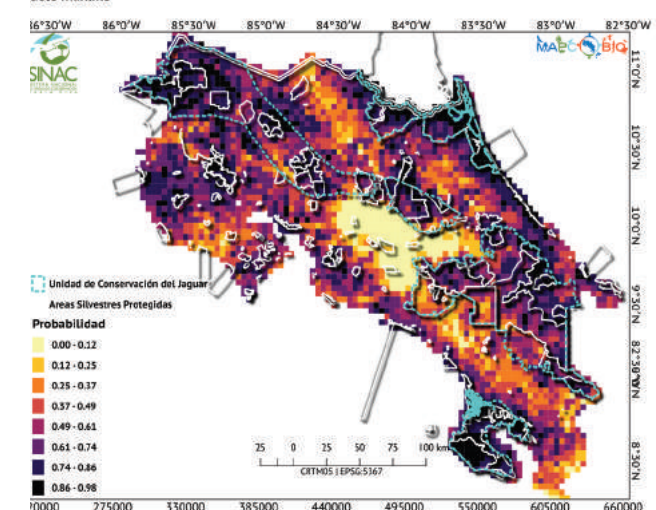
Calificación: 43% de los investigadores lo catalogaron en 1er lugar, 12% en 2do lugar y 33% en 3er lugar

Características generales:

La mayoría de las áreas con altas probabilidades de hábitat idóneo concuerdan con áreas donde está presente el jaguar. (eg. Osa, Caribe-Norte, Talamanca, y Cordillera de Guanacaste).

Coincide con la mayoría de áreas de bosque más extensas del país y sitios menos perturbados.

Acertado en predecir probabilidades bajas en zonas altas, conocidas como no adecuadas para el jaguar.



Modelos seleccionados

El ejercicio realizado para seleccionar el modelo más acertado según el criterio de experto resultó en lo siguiente: 14 investigadores participaron del ejercicio de los cuales el 43% catalogó en primer lugar el modelo 9 – Maxlike (Figura 17), el 35% catalogó en primer lugar al modelo 7-Random Forest (35%) (Figura 18). Los modelos 1 (7%), 3 (7%) y 8 (7%) también fueron mencionados como primer lugar por un número menor de investigadores.

Los dos modelos que presentaron los mayores porcentajes (modelo Maxlike y modelo Random Forest) catalogados en primer lugar fueron analizados posteriormente de acuerdo a las características estadísticas de cada uno de ellos. Según el criterio estadístico, el modelo ajustado que tuvo mayor peso, es decir, que describió mejor las covariables que influenciaron el hábitat idóneo de la especie fue el Random Forest (error=23%). El peso de las covariables para explicar el modelo Random Forest se describen en el Anexo 4.

Por su parte el Maxlike (Figura 17) resulta ser el modelo mayormente escogido por investigadores cuando se realizan ejercicios a criterio de experto (com. pers. M. Spinola). Estas propiedades de ambos modelos, la coherencia existente entre el criterio de experto y el criterio estadístico del modelo Random Forest, y las similitudes entre ambos modelos en la concordancia de áreas de alta probabilidad de hábitat idóneo, permitieron tomar la decisión de seleccionar ambos modelos para ser obtener uno solo mixto lo cual fue viable estadísticamente.

Las características de los dos modelos seleccionados y la opinión de los expertos se describen a continuación:

Características de los dos modelos seleccionados de acuerdo al criterio de experto

Modelos seleccionados a criterio de experto	Tipo de modelo seleccionado	Tipo de datos usados por el modelo	Criterio estadístico del modelo
Modelo 9	MAXLIKE	Registros de presencia derivados de diversas fuentes. Genera pseudoausencias de manera aleatoria.	Error del modelo bajo pero no mejor que el modelo Random Forest.

Opinión de experto para la selección del modelo

- Modelo más optimista (tiende a sobreestimar el hábitat idóneo)
- La mayoría de las áreas con altas probabilidades de hábitat idóneo concuerdan con áreas donde está presente el jaguar. Esto significa que la mayoría de regiones conocidas por la presencia del jaguar, están bien representadas en el modelo (eg. Osa, Tortuguero, Talamanca, y Cordillera de Guanacaste).
- Refleja bien la realidad del estado de conservación del jaguar al concordar con la Unidad de Conservación del Jaguar y al tener una marcada correspondencia con zonas boscosas inmersas dentro de las Áreas Silvestres Protegidas, con énfasis en las del Estado.
- Coincide con la mayoría de áreas de bosque más extensas del país y sitios menos perturbados.
- Acertado en predecir probabilidades bajas en zonas de elevaciones altas, conocidas como no adecuadas para el jaguar.
- Correspondencia con los hábitats típicos de los jaguares en América Latina como zonas de bosque húmedos, muy húmedos e incluso nubosos.

Limitantes del modelo

- Tendencia a sobreestimar las áreas de hábitat idóneo para el jaguar (eg. zonas fuera de Áreas Silvestres Protegidas, zonas donde se conoce que el jaguar no está presente como Península de Nicoya y zonas costeras del Pacífico Central).
- EL modelo desaprovecha información de verdaderas no detecciones (ausencias), es decir que está sujeto al sesgo temporal y espacial al no contar con los reportes de ausencias, lo cual puede afectar la variación en la detectabilidad entre hábitats (Isaac y Pocock, 2015.)

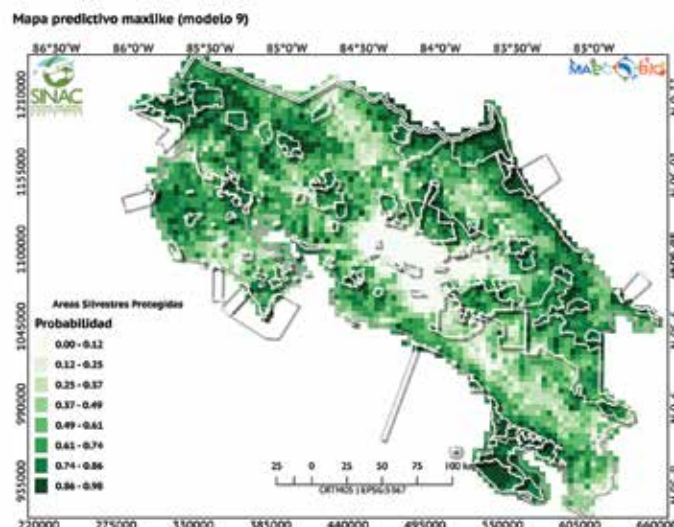


Figura 17. Representación gráfica de la variable Promedio de la elevación por celda de 4kmX4km.

Características de los dos modelos seleccionados de acuerdo al criterio de experto

Modelos seleccionados a criterio de experto	Tipo de modelo seleccionado	Tipo de datos usados por el modelo	Criterio estadístico del modelo
Modelo 9	MAXLIKE	Registros de presencia derivados de diversas fuentes. Genera pseudoausencias de manera aleatoria.	Error del modelo bajo pero no mejor que el modelo Random Forest.

Opinión de experto para la selección del modelo

- Modelo más conservador y balanceado en términos de no sobreestimar las áreas de hábitat idóneo.
- El gradiente de probabilidades parece tener un cambio más gradual, es decir no hay cambios drásticos en las probabilidades.
- Se ajusta mejor a la realidad al mostrar varias zonas donde se conoce que hay presencia de jaguar (muestra mayores probabilidades en Osa y Tortuguero).

Limitantes del modelo

- Tendencia a subestimar algunas áreas conocidas de presencia del jaguar (eg. Parques Nacionales Santa Rosa, Tapantí, Barbilla y Rincón de la Vieja).
- Favorece zonas altas
- Estos modelos tienden a tener un sobreajuste (overfitting) que puede resultar en una subestimación en la capacidad predictiva (Amat, 2017).

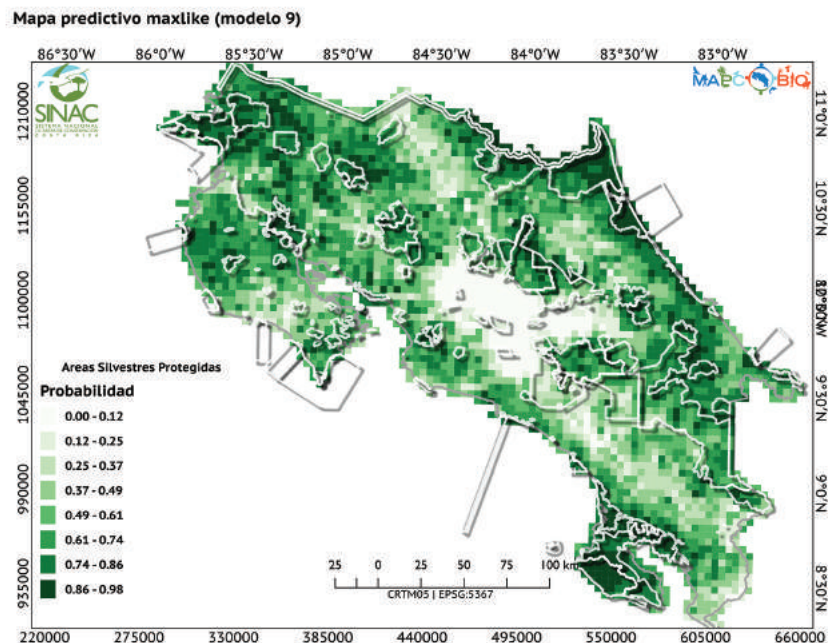


Figura 18. Mapa predicho de hábitat idóneo arrojado por el modelo Random Forest.

Modelo mixto

Se procedió a promediar los modelos seleccionados como los más acertados (Maxlike y Random Forest) resultando en un solo mapa mixto (Figura 19). Basado en la descripción de los expertos, se determinó que el modelo mixto permitiría un resultado más balanceado al reconocer las bondades y reducir las limitaciones descritas anteriormente. Igualmente, el modelo mixto coincide mucho mejor con el conocimiento existente del jaguar por parte de los expertos, siendo el más apropiado para analizar las implicaciones de manejo.

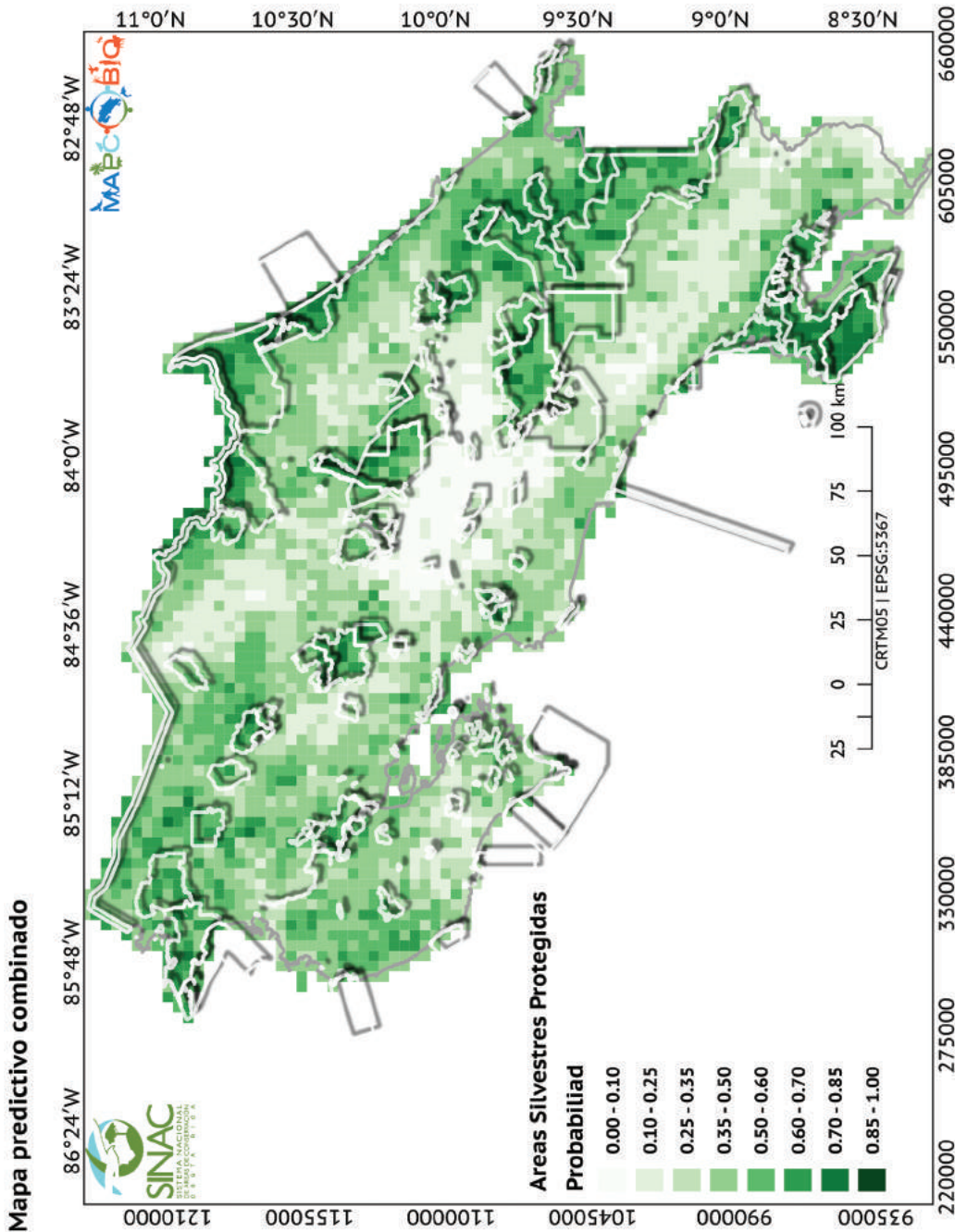


Figura 19. Mapa predictivo arrojado por el modelo mixto resultante del promedio de cada celda de 4kmX4km de los modelos 9 y 7 (Maxlike y Random Forest).

Implicaciones del modelo mixto

Identificación de áreas focales de acuerdo a los resultados del modelo

Las áreas que exhibieron mayor probabilidad de hábitat idóneo para la especie (en adelante Áreas Focales), fueron: el **Área Focal Osa** principalmente en la Reserva Forestal Golfo Dulce, el Parque Nacional Corcovado, el Parque Nacional Piedras Blancas y los Humedales de Térraba-Sierpe; el **Área Focal Talamanca-Caribe** específicamente la zona limítrofe y también de amortiguamiento del Parque Internacional La Amistad junto con los territorios indígenas, Reserva Biológica Hitoy-Cerere y la Cuenca del Río Bananito incluyendo áreas aledañas hasta el Parque Nacional Barbilla; el Área Focal Caribe-Norte que incluye el Parque Nacional Tortuguero, el Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Barra del Colorado y el Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Maquenque con especial énfasis en la zona limítrofe que conecta con la Reserva Biológica Indio Maíz en Nicaragua; el **Área Focal Cordillera Guanacaste** específicamente el Parque Nacional Santa Rosa, Parque Nacional Guanacaste, dentro y alrededores del Parque Nacional Rincón de la Vieja, áreas dentro y aledañas al Parque Nacional Volcán Tenorio y la Zona Protectora Monteverde; el **Área Focal Amistad-Pacífico** principalmente el Parque Nacional Tapantí-Macizo de la Muerte junto con la zona colindante del Parque Nacional Chirripó y la Reserva Forestal Río Macho; y el Área Focal Cordillera Volcánica que incluye la parte baja y media del Parque Nacional Braulio Carrillo y la Zona Protectora Guácimo-Pococí (Figura 20).

Las áreas de playa que se concentran en el Parque Nacional Tortuguero y el Parque Nacional Santa Rosa, representan una parte importante del hábitat idóneo ya que en dichas zonas se encuentran playas de anidación de tortugas marinas como Playa Nancite (Fonseca et al. 2009) y Playa Tortuguero (Arroyo et al. 2016) y en donde la especie ha sido registrada depredando constantemente este recurso (Carrillo et al. 1994, Alfaro et al. 2016).

Las áreas consideradas por el modelo mixto como más idóneas coinciden con los grandes bloques de área boscosa protegida del país. Estas zonas arrojadas por el modelo pueden ser consideradas áreas focales, por ende, sitios prioritarios para la conservación y el monitoreo de las poblaciones de jaguar. Asimismo, al mostrar el modelo una marcada correspondencia con zonas boscosas inmersas dentro de las Áreas Silvestres Protegidas con énfasis en las de categoría de protección estricta, indica que las Áreas Silvestres Protegidas cumplen un papel importante para la conservación del jaguar en el país.

Mapa predictivo combinado y áreas focales

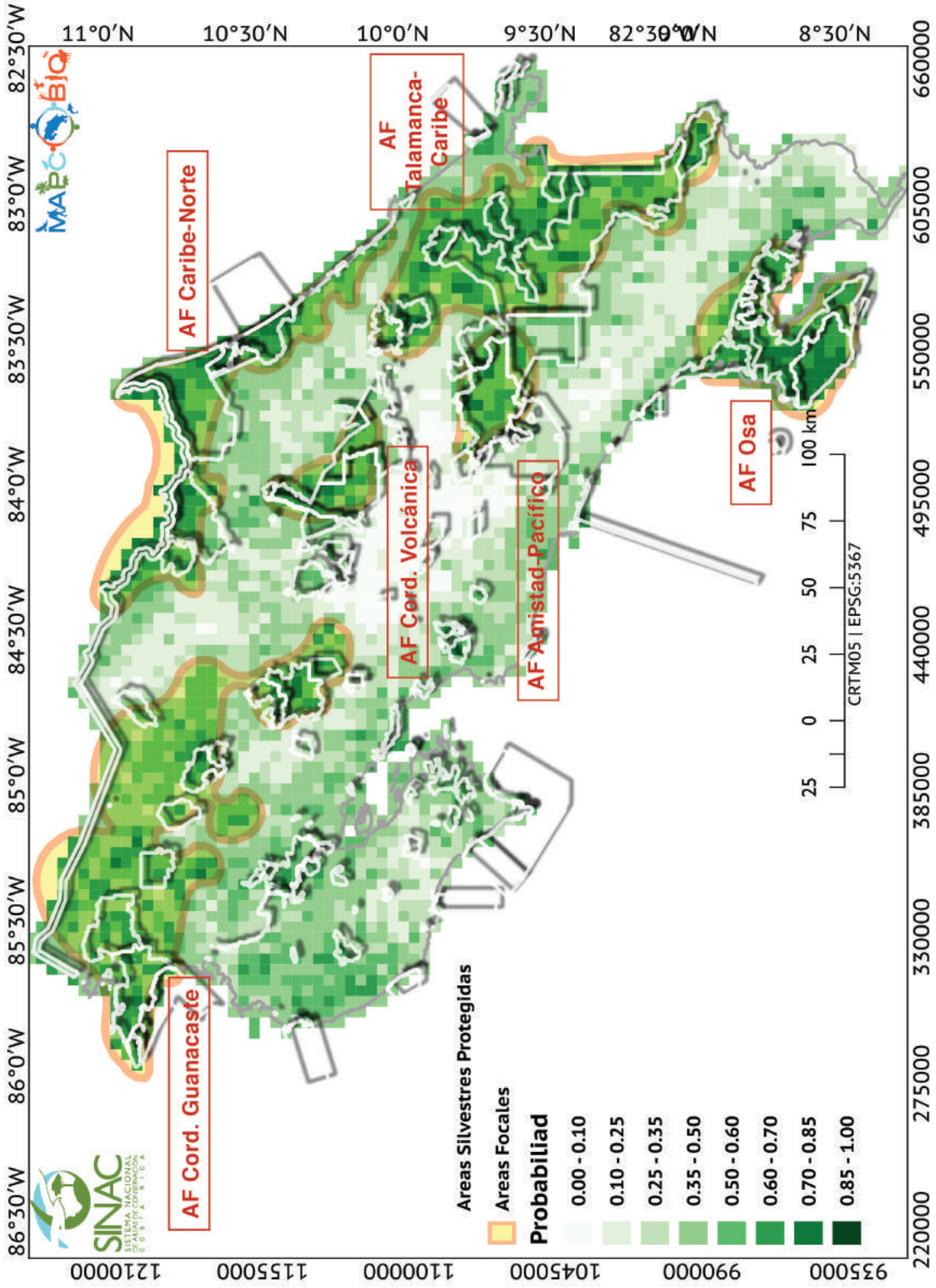


Figura 20. Mapa del hábitat idóneo predicho para el jaguar en Costa Rica (modelo mixto) con las Áreas Silvestres Protegidas, áreas focales identificadas delimitadas como polígonos.

Los sitios localizados en los alrededores de la Cuenca del Río Banano hacia el Humedal Nacional Cariari y la Reserva Pacuare-Matina, la Reserva Forestal Río Macho, áreas aledañas de los Parques Nacional Volcán Tenorio y Miravalles hacia el Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Caño Negro, así como la parte norte de la Península de Nicoya, arrojaron probabilidades medias de hábitat idóneo. Por su parte las probabilidades bajas de hábitat idóneo coinciden en su mayoría con zonas fuera de Áreas Silvestres Protegidas.

A pesar de que la parte Norte de la Península de Nicoya presenta probabilidades medias de hábitat idóneo, es poco probable de que el jaguar se encuentre allí presente por razones históricas de uso del suelo dedicado a la ganadería extensiva. A través de los años ha ido recuperando su área boscosa y existen algunas áreas bajo algún tipo de protección y conservación, lo que pudiera explicar la razón por la que el modelo arrojó un hábitat idóneo medio para el jaguar. No obstante, aunque la recuperación del bosque en esta región puede presentar a futuro un hábitat con condiciones idóneas para el jaguar, se sabe que las condiciones para conectar esta área con Guanacaste son limitadas posiblemente por el alto grado de perturbación existente en la zona, entre ellas, como la presencia de la carretera de cuatro carriles (Ruta 1) y la matriz agropecuaria con fragmentos pequeños de bosque, entre otras. No obstante, existen registros de al menos un jaguar que cruza esta carretera, por lo que no se podría considerar una barrera total (com. pers. Esther Pomareda)

Con respecto a las pequeñas áreas arrojadas por el modelo como hábitat idóneo en el Pacífico Central (e.g. Parque Nacional Carara), estas presentan un alto grado de aislamiento geográfico con muy pocas posibilidades de conectividad. Sin embargo, zonas como estas y las de Península de Nicoya, así como los Corredores Biológicos existentes en estas zonas, constituyen áreas importantes para mantener los esfuerzos de reforestación y conectividad para ver si en un futuro cercano pudiera tener las condiciones ideales para la colonización del jaguar.

A continuación se analiza la conectividad dentro y entre las Áreas Focales identificadas. Este análisis descriptivo se basa en el conocimiento y experiencia de los investigadores en sus áreas de trabajo, y mediante la visualización gráfica de los corredores biológicos propuestos y el mapa predicho de hábitat idóneo (Figura 21):

Conectividad dentro las áreas focales identificadas

Los sitios fuera de Áreas Silvestres Protegidas identificados con altas y medias probabilidades de hábitat idóneo, que pudieran convertirse en sitios prioritarios para la conectividad dentro de las Áreas Focales identificadas son las siguientes:

En el **Área Focal Cordillera Guanacaste**, se destacan los alrededores del Parque Nacional Rincón de la Vieja hacia el Parque Nacional Guanacaste y la Zona Protectora Miravalles en donde se encuentran pequeños Corredores Biológicos como el Rincón Rain Forest, Rincón-Cacao y Las Camelias. Esta Área Focal, también parece verse favorecida por las áreas aledañas de los Parques Nacional Volcán Tenorio y la Zona Protectora Miravalles hacia el Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Caño Negro presentando hábitat idóneo y en donde existe el Corredor Biológico Ruta de los

Malekus. De igual forma, la parte Norte de Guanacaste en el sector de Upala podría jugar un papel importante para la conexión con el Refugio Nacional de Vida Silvestre Corredor Fronterizo y los Parques Nacionales Guanacaste y Rincón de la Vieja. Esta resulta un área prioritaria para realizar estudios y proponer un Corredor Biológico.

Cabe resaltar que en la parte sur del Parque Nacional Rincón de la Vieja, se identifica el Corredor Biológico Las Morrocochas que conectaría el Área Focal Cordillera Guanacaste con la Reserva Lomas Barbudal y el Parque Nacional Palo Verde. Esta región a pesar que presenta probabilidades medias y altas de hábitat idóneo, la conectividad resulta difícil debido al monocultivo de la caña y arrozales, los potreros adyacentes y la presencia de la autopista (ruta 1), que representa además de un obstáculo, riesgo de mortalidad para los jaguares, de acuerdo a los reportes de presencia en caminos sobre la ruta Sin embrago, debe seguir incentivándose iniciativas de recuperación del hábitat dentro de este corredor y facilitando medidas ambientales como pasos de fauna subterráneos en las carreteras.

En el **Área Focal Talamanca-Caribe**, la cuenca del Río Banano resulta de gran importancia también para la conectividad hacia el Parque Nacional Barbilla a través del Territorio Indígena de Bajo Chirripó. Algunas organizaciones e instituciones están desarrollando esfuerzos de monitoreo en esta zona. Resulta importante poder lograr la conectividad en toda la zona de amortiguamiento del Parque Internacional La Amistad, específicamente entre la cuenca del Río Banano y la Reserva Biológica Hitoy-Cerere donde se encuentran otros territorios indígenas como los Bibris y Cabecares.

Por el contrario, el Área Focal Caribe-Norte se ve favorecida por la conectividad con la Reserva Biológica Indio Maíz, un bloque bastante grande de área boscosa protegida que se ubica en Nicaragua.

Conectividad entre las áreas focales identificadas

Los sitios fuera de Áreas Silvestres Protegidas identificados con altas y medias probabilidades de hábitat idóneo, que pudieran convertirse en sitios prioritarios para la conectividad entre las áreas focales identificadas, se evalúan a continuación: En el Área Focal Talamanca-Caribe, se resalta la zona de amortiguamiento del Parque Internacional La Amistad con distintas áreas clave de conectividad hacia el **Área Focal Caribe-Norte**, el **Área Focal Amistad-Pacífico** y las zonas boscosas de Panamá. Un área prioritaria es la cuenca del Río Banano y sus zonas aledañas hacia el Humedal Cariari. Se sabe de la presencia del jaguar en la cuenca, por lo que el Corredor Biológico Moín-Tortuguero y el Corredor Biológico Cordillera a Cordillera (iniciativa activa llamada Aguas para Limón) resultan sitios importantes para la conectividad con la zona costera del Área Focal Caribe-Norte.

Mapa predictivo combinado y áreas focales

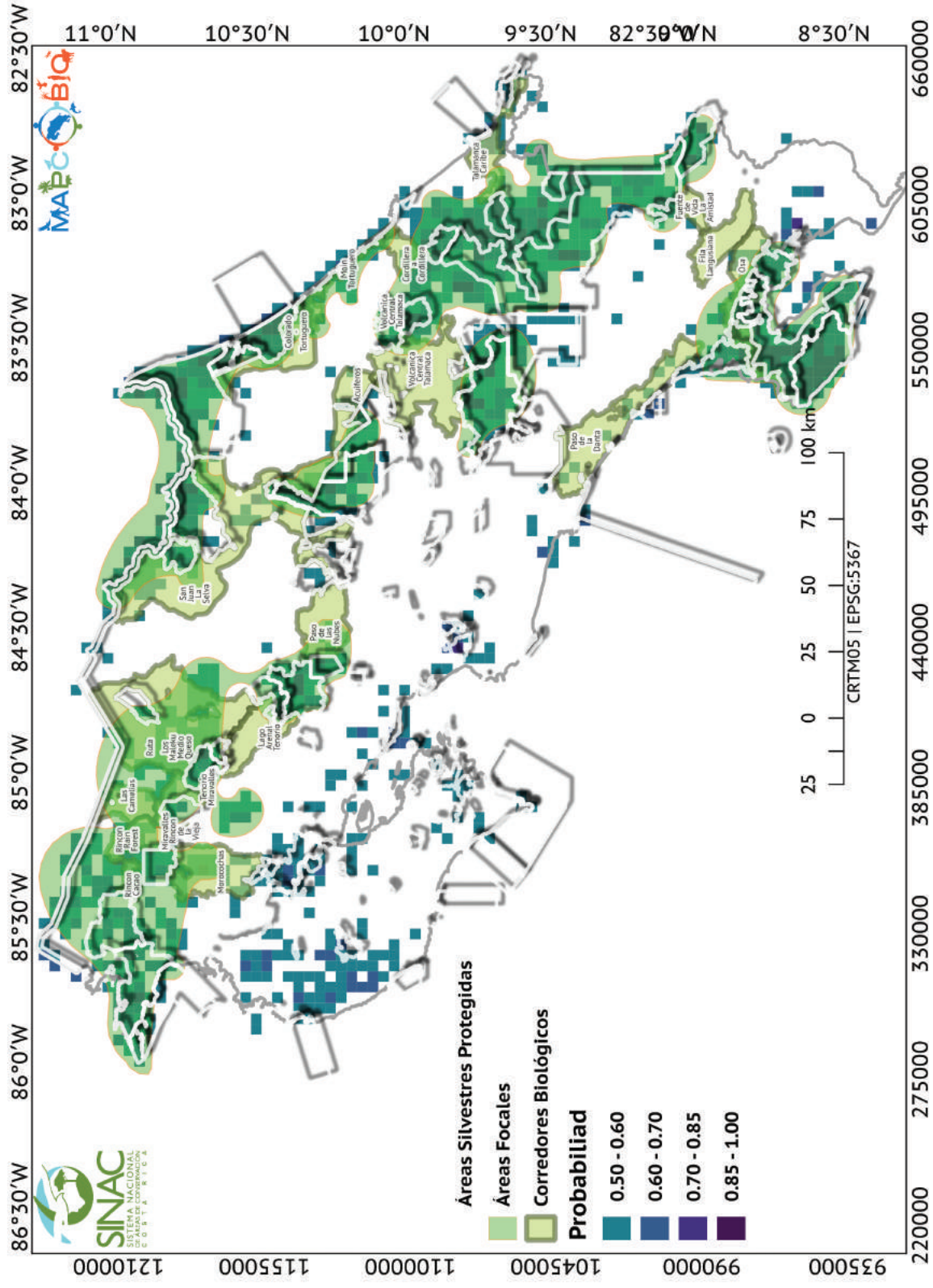


Figura 21. Mapa del hábitat idóneo predicho (probabilidades medias y altas) con las Áreas Silvestres Protegidas, áreas focales identificadas, corredores biológicos propuestos y registros de presencia de la especie.

Se destaca en esta Área Focal los territorios indígenas de la zona de Talamanca-Caribe (Reserva biológica Hitoy-Cerere y áreas aledañas) que presentaron altas probabilidades de hábitat idóneo, como áreas prioritarias de conectividad, aunque la situación es compleja. Se sabe que existe una alta presión de cacería, lo cual se le suma que existen pocos estudios en esos sitios. A pesar de esta limitante, estas zonas ubicadas deberían ser sitios prioritarios de conectividad y de esfuerzos de conservación en aras de reducir la presión existente de cacería, de forma que el jaguar eventualmente pueda llegar y hacer uso de esta área no sólo para sobrevivir sino también como sitios de paso para conectarse con el **Área Focal Caribe-Norte**. Su posición geográfica sería clave para facilitar la conectividad tanto con el **Área Focal Caribe-Norte** como con las áreas boscosas de Panamá. Sin embargo, no existe un Corredor Biológico propuesto en esta zona de amortiguamiento hacia Panamá, y se requieren mayores estudios para evaluar la posibilidad de conectar esta zona con el sector de la Zona Protectora Las Tablas, donde hay presencia de jaguar.

En el **Área Focal Amistad-Pacífico**, las partes bajas y medias del Chirripó donde existen territorios indígenas, así como la zona de amortiguamiento del Parque Internacional La Amistad, específicamente entre la cuenca del Río Banano y la Reserva Forestal Rio Macho parecen ser las más adecuadas para lograr la conectividad entre las Áreas Focales Amistad Pacifico y Talamanca Caribe.

Con respecto al **Área Focal Cordillera Volcánica**, se identifica la parte Norte de la Cordillera Volcánica Central y la Zona Protectora los Acuíferos Guácimo- Pococí como zona importante para la conectividad con las llanuras de Tortuguero en el **Área Focal Caribe-Norte**. Dado que las reservas forestales de la Universidad EARTH han registrado presencia constante de jaguar y existe actualmente una propuesta de Corredor Biológico, resulta importante continuar los esfuerzos en esta zona.

También se identifica una parte del corredor San Juan La Selva como área prioritaria para la conectividad con el **Área Focal Caribe-Norte**, en el sector de Sarapiquí. Sin embargo, en este sector hay carencia de gestión y liderazgo para continuar los esfuerzos en conectar la Reserva Privada La Selva (ubicada en el sector Norte del Parque Nacional Braulio Carrillo) con el RNVSM Maquenque, además de la matriz agropecuaria dominada por el monocultivo de la piña y el banano que dificultan aún más la conectividad. Por ende, el Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Maquenque resulta ser un sitio estratégico pero un punto débil en gestión.

El **Área Focal Osa**, parece ser la que cuenta con menos posibilidades de conectividad dado que el modelo mixto arroja muy bajas probabilidad de hábitat idóneo fuera de esta. A pesar que se identifica tanto el Corredor Biológico el Paso de la Danta como posible conectividad con el **Área Focal Amistad-Pacífico**, específicamente por la Reserva Forestal Los Santos; como el Corredor Biológico Amistosa como posible conectividad con el **Área Focal Talamanca-Caribe**, estas parecen ser poco factibles. Estas zonas de conectividad entre el Área Focal Osa y el Área Focal Talamanca-Caribe se encuentran altamente fragmentadas producto de las grandes extensiones de monocultivo de piña, asentamientos e infraestructura vial, por lo que requiere un esfuerzo mayor para lograr la conectividad.

Sitios prioritarios para fortalecer estudios

Además de algunas de las áreas identificadas previamente con vacíos de información que pudieran ser potencialmente viables para lograr la conectividad entre algunas áreas focales, se destaca la Región Talamanca-Caribe, específicamente en las zonas bajas, medias y áreas de amortiguamiento, incluyendo territorios indígenas que presentaron altas probabilidades de hábitat idóneo, por lo que es necesario priorizar estudios ecológicos y socio-ambientales en dichas zonas.

Igualmente, las zonas altas de la Cordillera de Talamanca, las cuales no han sido estudiadas con cámaras trampa por el difícil acceso y complicada logística que implica. Con este panorama, existen oportunidades de estudios de investigación y esfuerzos de conservación conjunta entre los dos países vecinos.

Registros de depredación al ganado y presencia en caminos (amenazas y potencialidades)

Al sobreponer los registros de jaguar provenientes de ataques de depredación al ganado y presencia en caminos sobre el mapa de hábitat idóneo predicho (Figura 22), se evidencia que los jaguares están saliendo de las Áreas Silvestres Protegidas y exista un posible movimiento entre algunas Áreas Focales.

Entre las Áreas Focales Talamanca Caribe y Cordillera Volcánica, sobresalen los registros desde el Parque Nacional Barbilla hacia la Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central y Cuenca del Río Tuis en donde existe el Corredor Biológico Volcánica Central–Talamanca. Entre las Áreas Focales Cordillera Volcánica y Caribe Norte se evidencian algunos registros desde la Zona Protectora Los Acuíferos Guácimo-Pococí. Actualmente, existen esfuerzos para conectar las reservas privadas de la Universidad EARTH con la parte alta de Guácimo que incluye el sector de la Zona Protectora Acuíferos Guácimo-Pococí. Esta zona fue declarada sitio de interés en conservación hace un tiempo y actualmente se lidera la propuesta de Corredor Biológico (de nombre Río Parismina) por parte de la Universidad EARTH, el ICE, la municipalidad de Guácimo, entre otras, por lo que es necesario priorizar estudios en esta zona.

En el Área Focal Cordillera de Guanacaste se destacan los registros fuera del Parque Nacional Rincón de la Vieja hacia los Parques Nacionales Santa Rosa y Guanacaste donde existen unos pequeños Corredores Biológicos como el Rincón-Rain Forest y Rincón-Cacao. Se resalta de nuevo los registros dentro del Corredor Biológico la ruta de los Malekus ubicado desde el Parque Nacional Volcán Tenorio hacia el RNVSM Caño Negro.

Los datos reflejan que el jaguar está moviéndose en zonas bajas de poca elevación con altos niveles de perturbación humana como áreas de potrero con fincas ganaderas, lo que indica que la especie parece ser resiliente a algunos niveles de degradación. Sin embargo, los eventos reportados de depredación de jaguar sobre animales domésticos pueden reflejar el impacto de las actividades antrópicas desarrolladas cerca de Áreas Silvestres Protegidas ocasionando algún tipo de desequilibrio en el ecosistema local y un cambio de comportamiento en el jaguar.

Dado que la presencia del jaguar va más allá de los límites de las Áreas Silvestres Protegidas, esto representa una amenaza para la especie por la posible interacción negativa con los propietarios de fincas. También representa una problemática importante desde el punto de vista socioeconómico y de conservación tal como la plantea Inski y Zimmermann (2009) al decir que una gran mayoría de felinos que atacan ganado son cazados en respuesta al daño que provocan. No obstante, estos registros también representan un gran potencial para priorizar esfuerzos de manejo y conservación en estas áreas. Asimismo, en los corredores identificados es importante evaluar si los registros reflejan de alguna manera la funcionalidad de estos para la conectividad entre Áreas Focales.



Mapa con probabilidades altas-medias, áreas focales y corredores biológicos

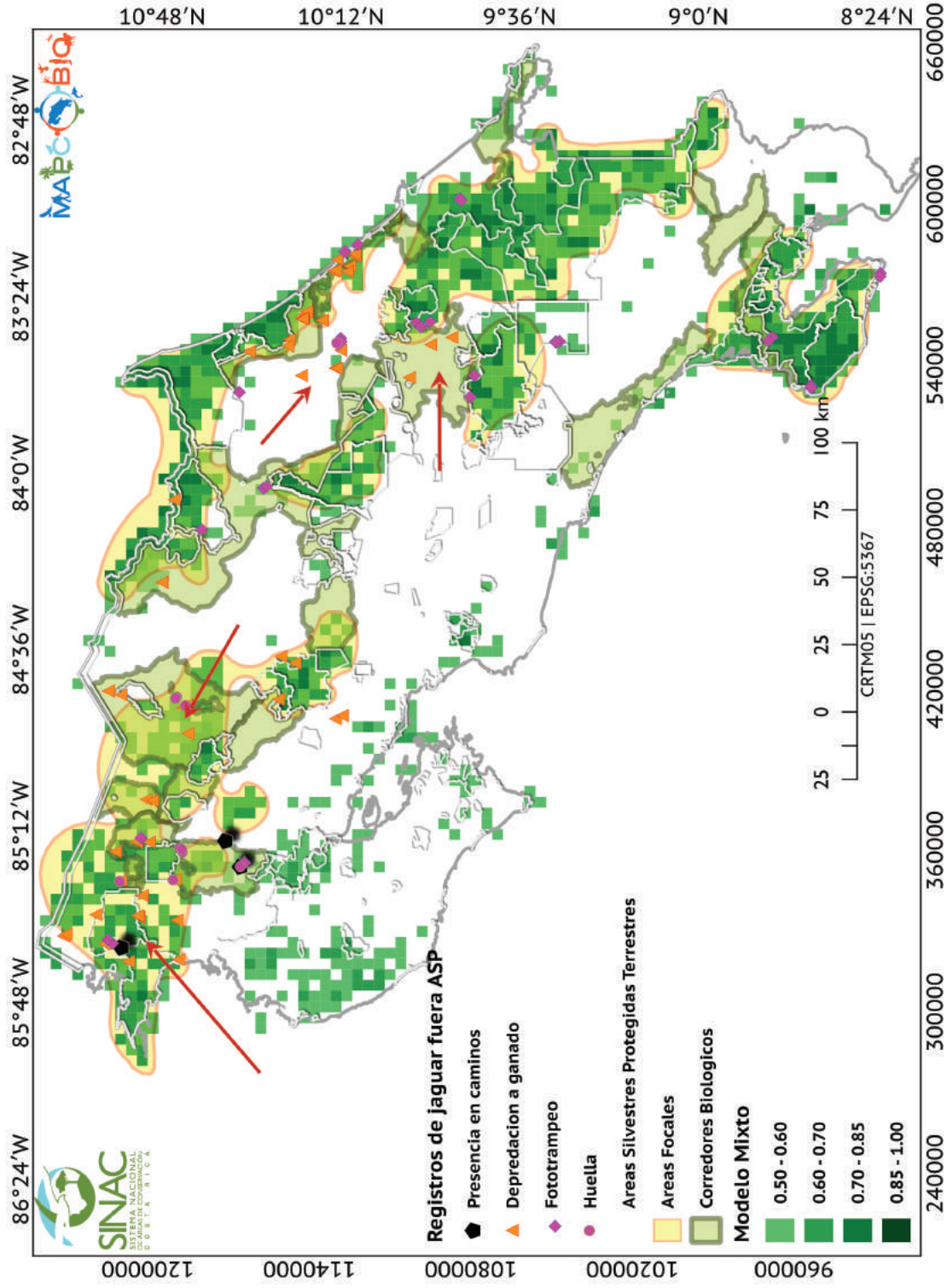


Figura 22. Registros de depredación al ganado (triángulos naranja), presencia en caminos (puntos morados) y otros registros de presencia Fuera de ASP, superpuestos en el mapa del hábitat idóneo predicho con las Áreas Silvestres Protegidas, Áreas Focales identificadas y Corredores Biológicos propuestos. Las flechas indican los sitios donde hay mayores registros de presencia fuera de Áreas Silvestres Protegidas.

CONCLUSIONES

La compilación de datos de registros de jaguar provenientes de diversos estudios e investigadores, por sí misma, representa un avance en el conocimiento de la especie a nivel nacional. Asimismo, la información científica generada a través de la recopilación de registros de jaguar existentes, representa el conocimiento más reciente sobre la ubicación espacial y el hábitat idóneo para la especie. Esto constituye una línea base sobre el estado de conservación del jaguar en el que el criterio de experto, apoyado con la herramienta de modelaje fue de gran importancia para evaluar las prioridades de manejo y conservación de esta especie amenazada.

Uno de los aspectos más relevantes de este estudio además de la información científica generada, fue lograr la participación y evaluación conjunta de diferentes actores (ONG's, funcionarios SINAC e investigadores); con el fin común de contribuir en el conocimiento sobre el estado de conservación actual del jaguar. El acercamiento entre diferentes investigadores expertos tanto nacionales como internacionales, trabajando con la especie y monitoreo en el país y entre investigadores y el SINAC representa una iniciativa sin precedentes y servirá como un pilar en pro de la conservación del jaguar, y como ejemplo a seguir por otras iniciativas de conservación. Este proceso constituye el punto de partida para desarrollar una estrategia que permita articular y priorizar esfuerzos de conservación a mediano plazo, en aras de obtener una mejor y más eficiente respuesta a las necesidades de conservación de la especie, basado en información biológica y científicamente sustentada.

A través de los mapas de registros de presencia y los mapas predictivos arrojados por los modelos, se visualizó de forma efectiva y clara la localización de la especie en hábitats particulares y áreas protegidas, identificando sitios adecuados para la especie (Áreas Focales) que permitieron evaluar la disponibilidad actual de los Corredores Biológicos propuestos y la Unidad de Conservación del Jaguar a nivel nacional.

El mapa de registro de jaguar indicó que los jaguares se encuentran presentes mayormente en Áreas Silvestres Protegidas, lo que representa sitios de gran importancia para su supervivencia a largo plazo y lo que valida en cierta medida la función y efectividad de estas áreas en términos del grado de protección. De aquí la importancia de garantizar el mantenimiento a largo plazo de las Áreas Silvestres Protegidas como primera prioridad.

La identificación de Áreas Focales de acuerdo al mapa de hábitat idóneo predicho, es el primer paso hacia adelante para garantizar la protección del jaguar en Costa Rica. Teniendo en cuenta que los jaguares también están presentes en los límites y sitios fuera de las Áreas Silvestres Protegidas, la priorización de esfuerzos de conservación en áreas de Corredores Biológicos es un factor importante para la persistencia del jaguar, tal como lo señala Zeller et al. (2012). De aquí la importancia de incrementar los esfuerzos de conectividad y restauración de la cobertura forestal para facilitar el movimiento de los jaguares dentro y entre las áreas focales identificadas.

Por ende, la protección efectiva dentro de las Áreas Silvestres Protegidas localizadas dentro de las Áreas Focales identificadas y las mejoras en las condiciones de conectividad dentro y entre las Áreas Focales son claves para obtener un efecto positivo en la especie. Lo anterior permitiría alcanzar áreas de tamaño y calidad suficientemente grandes para sostener las poblaciones tal como es el enfoque de la Unidad de Conservación del Jaguar (Rabinowitz & Zeller, 2010). No obstante, es necesario contribuir hacia el entendimiento de como la especie puede responder al incremento de amenazas ante un paisaje cambiante. Esto representa un gran reto teniendo en cuenta que existen numerosas limitaciones que dificultan el desarrollo y funcionalidad de los Corredores Biológicos propuestos entre los que se destacan el alto grado de fragmentación producto del uso del suelo extensivo agrícola y ganadero, la existencia de barreras geográficas producto de la infraestructura vial, la alta incidencia de conflictos entre felinos y el ser humano y la falta de gestión institucional en áreas socio-ambientalmente complejas.

La información generada en este estudio representa también un insumo importante para diversos temas y procesos actuales como se describen a continuación: a) elaboración de un protocolo de monitoreo ecológico del jaguar como indicador de las Áreas Focales identificadas en este estudio. Estas áreas podrían convertirse en Elementos Focales de Manejo dentro del Plan Estratégico de Biodiversidad SINAC y una herramienta de evaluación a largo plazo de las poblaciones y sus ecosistemas; b) Insumo para los planes de manejo y planeamiento del uso de la tierra que permiten determinar qué tan adecuados e importantes son actualmente los bosques remanentes y Corredores Biológicos propuestos, para soportar las poblaciones de jaguar; c) para el tema de cambio climático por la importancia de la conectividad entre zonas altas y bajas identificadas en este estudio, así como el posible traslape de refugios climáticos y Corredores Biológicos prioritarios propuestos actualmente (BID y CATIE, 2014) con las Áreas Focales identificadas y d). Para la nueva categoría propuesta de Pago por Servicios Ambientales (“Biodiversidad”) en el que la presencia de jaguar juega un rol importante como especie indicadora de áreas elegibles y prioritarias.

RECOMENDACIONES

Basado en los resultados arrojados se recomienda desarrollar una estrategia de conservación en el siguiente orden de prioridades (Figura 23):

Prioridad 1. Mantenimiento de las Áreas Silvestres Protegidas localizadas dentro de las Áreas Focales identificadas

Aunque la mejora de la conectividad del paisaje es una estrategia primordial para facilitar el movimiento de los jaguares, es importante en primera instancia, asegurar las poblaciones existentes de jaguar dentro de las Áreas Silvestres Protegidas. Esto significa que el primer paso es el mantenimiento y la protección efectiva en las Áreas Silvestres Protegidas localizadas dentro de las Áreas Focales identificadas con probabilidades altas de hábitat idóneo, donde está ocurriendo e jaguar actualmente.

Los estudios de monitoreo hacen parte fundamental del mantenimiento de las Áreas Silvestres Protegidas. Por ejemplo, se deben realizar estudios en las Áreas Silvestres Protegidas que ayuden a cuantificar la densidad de las poblaciones de jaguar para poder implementar medidas de conservación que se ajusten a la realidad en la que estas se encuentran.

En este sentido, el uso de la unidad de muestreo utilizada en este estudio (grilla cuadriculada) representa el primer paso para desarrollar una metodología estándar a nivel nacional para el monitoreo del jaguar y otras especies. Se resalta la iniciativa de Osa de crear una red de cámaras trampa a través de la alianza de diversos sectores y actores para alcanzar los objetivos de investigación y conservación propuestos.

Prioridad 2. Esfuerzos de conservación dentro de las Áreas Focales identificadas

Dado que las Áreas Silvestres Protegidas por sí mismas no pueden mantener a largo plazo las poblaciones viables de jaguar (Zeller et al. 2012), es indispensable aumentar estas áreas a través de esfuerzos de conservación dentro de las áreas focales identificadas, sobre todo en aquellos sitios fuera de Áreas Silvestres Protegidas donde el modelo arrojó probabilidades altas de hábitat idóneo. Es decir, se debe enfatizar los esfuerzos de conservación en aquellas regiones de mayor presencia del jaguar dentro de las Áreas Silvestres Protegidas, así como las Áreas Focales de mayor probabilidad de hábitat idóneo para garantizar la calidad del hábitat que se requiere y asegurar la viabilidad de las poblaciones de jaguar a largo plazo.

Por consiguiente, lograr la conectividad entre las poblaciones de jaguar a través de la extensión de los límites de las Áreas Silvestres Protegidas es fundamental. Estos límites deben extenderse a través de Corredores Biológicos funcionales por lo que evaluar la eficacia de los Corredores Biológicos identificados en este estudio como Rincón-Rainforest, Rincón-Cacao y la Ruta de los Malekus en la Cordillera de Guanacaste, entre otros.

Igualmente es necesario la implementación de Corredores Biológicos en la zona de amortiguamiento del Parque Internacional la Amistad dentro del Área Focal Talamanca-Caribe, los cuales no han sido propuestos, debería ser una prioridad. Dentro de esta prioridad se deben resaltar estudios científicos y esfuerzos de conservación específicos dentro de las Áreas Focales.

Prioridad 3. Esfuerzos de conectividad entre las áreas focales identificadas

Como tercer paso, se debe favorecer la recuperación de los ecosistemas donde los jaguares coexisten. Para lograr la conectividad a escala continental como el Corredor Biológico Mesoamericano. Es fundamental entonces desarrollar esfuerzos exitosos de funcionalidad dentro de los Corredores Biológicos propuestos entre las Áreas Focales identificadas.

Un claro ejemplo es el potencial existente para conectar el área de Talamanca-Caribe con el área Caribe-Norte, siendo un eslabón fundamental del Corredor Biológico Mesoamericano. No obstante, es necesario analizar y discutir el tema de la infraestructura vial como amenaza y oportunidad de conservación en esta zona.

Un común denominador que debe estar presente en las tres prioridades mencionadas anteriormente es la promoción y fortalecimiento de estudios a nivel de sitio para lo cual se recomienda lo siguiente:

- a)** Realizar estudios específicos a nivel de sitio para: determinar el límite de las poblaciones o metapoblaciones de jaguar dentro de las Áreas Focales identificadas; medir la diversidad genética y el flujo entre las poblaciones mediante estudios con telemetría para seguir el movimiento de los individuos dispersores o de genética; y conocer la historia de vida de estas poblaciones (e.g. sobrevivencia en varias etapas, reproducción, longevidad, causas de muerte, entre otras).

- b)** Continuar estudios de monitoreo ecológico dentro de las Áreas Focales para conocer la influencia directa de factores de hábitat, biológicos y antropogénicos propios de cada lugar y, que sean la base para tomar medidas urgentes de manejo. Por ejemplo, existen actualmente esfuerzos por varias organizaciones y entidades vinculadas a la ecología de caminos, que tienen como objetivo la reducción del impacto vial, en la que una clara y efectiva medida de manejo ha sido el permitir el cruce seguro a través de pasos de fauna.

Consideramos que la escala de monitoreo debe seguir estableciéndose a nivel de estudios locales pero de manera estandarizada, sistemática y a largo plazo, de forma que puedan articularse a futuro para un monitoreo integral a nivel de Áreas Focales.

- c)** Reducir las amenazas en las áreas identificadas con los registros de depredación al ganado y presencia en caminos como la parte Norte del Área Focal Cordillera de Guanacaste y las zonas fuera del Área focal Caribe-Norte. Se deben implementar políticas de desarrollo sostenible para asegurar la conservación del hábitat del jaguar y al mismo tiempo, el bienestar de las comunidades locales que coexisten con el felino, tal como es la misión de la Unidad de Atención al Conflicto con Felinos (UACfel) y otras Organizaciones No Gubernamentales presentes en estas áreas. Es importante seguir apoyando y reforzar los grupos que trabajan en la atención de los casos de depredación de animales domésticos por parte del jaguar. Debe haber un apoyo desde CONAC y directores de las Áreas de

Conservación, de forma que las actividades y personal que sostienen y ejecutan la UACfel estén contempladas dentro de los Planes Presupuesto y Planes Operativos anuales.

d) Desarrollar un estudio sistemático de evaluación de amenazas que sea aplicado de manera independiente para cada Área Focal de hábitat idóneo, en el que se incorporen criterios como el porcentaje de cobertura de hábitat natural, grado de perturbación humana (presión de cacería, poblados, matriz agropecuaria, cambio de uso del suelo, grado de fragmentación, infraestructura vial, entre otras), viabilidad poblacional, contexto socio-cultural, problemática felinos-animales domésticos entre otras. La incorporación de estos criterios definirían de una manera más robusta la selección de áreas prioritarias de conectividad y estudios de monitoreo.

e) Retomar y continuar las medidas de manejo activo y pasivo para la reducción de amenazas que contempla la Estrategia de Conservación de Felinos 2015-2020 (Salom et al. 2014). creada con el objetivo de asegurar la coexistencia con el ser humano a largo plazo. En esta estrategia se consideran otras formas de manejo del paisaje que incluyen diversos sectores como propietarios de fincas, reservas privadas, comunidad, entre otros, a través de la protección formal e informal. El involucramiento de las comunidades locales y diversos sectores en los procesos de conservación e investigación, debe ser un componente imprescindible, ya que éstos finalmente determinan el éxito e impacto de los esfuerzos e iniciativas que se lleven a cabo.

f) Desarrollar nuevos mapas predictivos a futuro a nivel de las áreas focales, en el que se integren datos de presencia únicos con datos de presencia y ausencia, usando nuevas enfoques integrados con modelos de ocupación como el sugerido por Dorazio, (2014) y Schank, et al. (2017). Esto permitiría tener parámetros poblacionales más precisos que ofrezcan una medida o tendencia temporal o espacial. Igualmente se sugiere validar las áreas predichas con probabilidades altas de hábitat idóneo y que no cuenta con registros recientes del jaguar.

g) Contar con una base de datos que permita consolidar toda la documentación e información relevante y disponible para la conservación del jaguar, así como la creación de un formulario oficial estandarizado para continuar recopilando los registros de jaguar. En este sentido, el SINAC está trabajando actualmente en la consolidación de una base de datos a través de una plataforma informática que permita contar con un registro nacional de vida silvestre. Esta base de datos debe ser manejada de forma sistemática y por medio de la coordinación interinstitucional, para la captura de la información disponible de manera eficiente y accesible.

Finalmente, un eje transversal dentro de la estrategia de conservación es el reforzar las alianzas estratégicas para continuar esfuerzos conjuntos entre diferentes actores. Este ejercicio de cooperación entre los investigadores y representa una gran oportunidad para continuar los

esfuerzos de conservación de la especie con gran potencial para la mejora en la gestión del conocimiento. Las ONGs, investigadores independientes y academia además de seguir realizando investigación y brindando información relevante sobre el jaguar y otras especies de felinos, deben seguir apoyando los esfuerzos del gobierno a través de alianzas estratégicas que permitan avanzar en la aplicación de medidas de conservación urgentes.

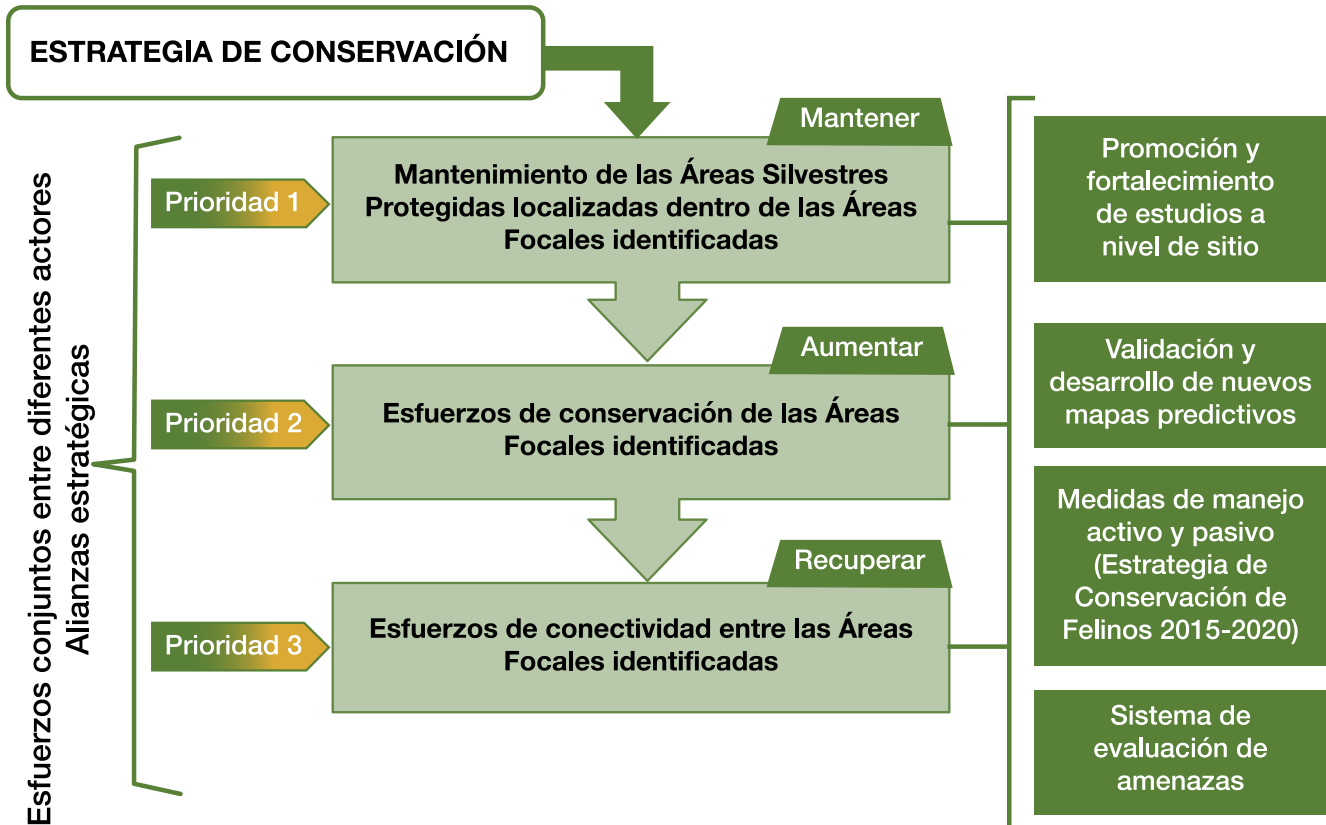


Figura 23. Esquema de prioridades de la estrategia de conservación para el jaguar.

ANEXO 1. Formato estandarizado de Excel para la recopilación de registros de jaguar en Costa Rica.

FORMATO ESTANDARIZADO SOBRE REGISTROS DE JAGUAR EN COSTA RICA PARA DATOS DE FOTOTRAMPEO																					
ESTUDIO	SITIO	ESTACIÓN DE TRAMPEO	FECHA DE INICIO DE MUESTREO			FECHA DE FINAL DE MUESTREO			FECHA DE INACTIVIDAD DE LA CÁMARA						REGISTRO DE JAGUAR		FECHA 1 DE REGISTRO				
			X (LONG)	Y (LAT)	AÑO	MES	DÍA	AÑO	MES	DÍA	DESDE			HASTA			SI	NO	AÑO	MES	DÍA
											AÑO	MES	DÍA	AÑO	MES	DÍA					

FORMATO ESTANDARIZADO SOBRE REGISTROS DE JAGUAR EN COSTA RICA PARA DATOS DE FOTOTRAMPEO											
PROYECTO/INVESTIGADOR/ INSTITUCIÓN/ONG	Nombre de la persona que colecto el dato	Teléfono de contacto	Registro	Fuente de información (avistamiento, huella, material genético, atropello, ataques, cacería, otros)	COORDENADA GEOGRÁFICA		FECHA DE REGISTRO				
					X	Y	DÍA	MES	AÑO		
¿SE TIENE EVIDENCIA?		¿QUÉ TIPO DE EVIDENCIA?	OBSERVACIONES					¿SE VERIFICÓ LA IDENTIFICACIÓN?			
SI	NO							SI	NO		

DICCIONARIO DE LA INFORMACIÓN POR CELDA SOLICITADA A LOS INVESTIGADORES

Registros de cámaras trampa

TÉRMINO DE LA CELDA	DEFINICIÓN
PROYECTO/INVESTIGADOR/ INSTITUCIÓN/ONG:	Indique el nombre completo del investigador a cargo, proyecto, institución u ONG.
ESTACIÓN DE MUESTREO:	Se refiere a cada sitio que se muestreó con cámaras trampa con o sin registro dejaguar. Recuerde que para los análisis es muy importante también registrar las estaciones donde no hubo registros de jaguar. Por Favor no excluya en este formulario las estaciones sin datos de jaguar. En el caso que se haya instalado dos cámaras en el mismo sitio de muestreo, se deben combinar los datos de los registros de jaguar.
COORDENADA GEOGRÁFICA:	Indicar la coordenada geográfica (X: latitud y Y: longitud) de cada estación de muestreo. Puede enviar las coordenadas en la proyección y formato que las tenga disponibles.
FECHA DE INICIO DE MUESTREO:	Indicar el día, mes y año de la instalación de cada estación de muestreo. En caso de que se tenga la fecha de inicio por alguna razón, indicar una fecha aproximada.
FECHA FINAL DE MUESTREO:	Indicar el día, mes y año de la desinstalación de la estación de muestreo. En caso de que no se tenga una fecha final por alguna razón, favor indicar una fecha aproximada.
FECHA DE INACTIVIDAD DE LA CÁMARA:	Si por alguna razón la estación de la cámara trampa estuvo inactiva, inhabilitada o funcionando mal, es decir, hubo días en que la cámara no disparo, ni registro un video/foto (debido a memoria llena, se acabo la batería, cayo algo que obstruyo el campo de vision de la camara, fallo del sensor y solo videos negros o blancos, etc). Por favor indicar esta rango de fechas de esta inactividad. Esta información es necesaria al momento de crear las matrices de presencia/ ausencia. En el caso que existan varios periodos de inactividad por favor adicione usted mismo las columnas correspondientes.
REGISTRO DE JAGUAR:	Indicar con una "X" si hubo o no registro de jaguar en cada estación de muestreo.
FECHA 1 DE REGISTRO DE JAGUAR:	Indicar la fecha del primer registro de jaguar en dicha estación de muestreo. Si por alguna razón no se tiene la fecha exacta, indicar una fecha aproximada.
FECHA 2 DE REGISTRO DE JAGUAR:	En caso de que haya más de un registro de jaguar en la misma estación, indicarlo en las casillas "FECHA 2 DE REGISTRO DE JAGUAR", "FECHA 3 DE REGISTRO DE JAGUAR", etc. En este caso no importa si se trata de un mismo individuo o no. En caso de que necesite más 6 casillas de las que hay en el formulario para este propósito, favor añadir las colmunas correspondientes.
NOTAS U OBSERVACIONES:	Agregar información que crea pertinente como por ejemplo: cantidad de individuos total en cada estación de muestreo, más un jaguar en las fotos/videos, jaguares melánicos o con alguna característica física en particular, reporte de algún comportamiento especial, uso de alguna técnica de atrayente, edad aproximada del animal.

Registros de otras fuentes

TÉRMINO	DEFINICIÓN
REGISTRO	Cualquier registro que posea de jaguar durante las fechas establecidas para este análisis.
NOMBRE DE LA PERSONA QUE COLECTO EL DATO	Especifique el nombre completo de la persona que colecta el dato.
TELÉFONO DE CONTACTO	Es importante indicar el telefono de contacto en el caso que surga alguna duda o pregunta con respecto al dato como control de calidad de la información.
FUENTE DE INFORMACIÓN	Tipo de registro que posea de jaguar: avistamiento, huella, material genético, atropello, ataques, cacería, entre otros.
COORDENADA GEOGRÁFICA	Indicar la coordenada geográfica (X: latitud y Y: longitud) de cada estación de muestreo. Puede enviar las coordenadas en la proyección y formato que las tenga disponibles. Favor verificar que el ingreso de los números en Excel sea la correcta (formato).
FECHA DE REGISTRO	Fecha en que se tuvo el registro. Si no se tiene la fecha exacta, favor indicar una fecha aproximada.
¿SE TIENE EVIDENCIA?	Indicar si se tiene o no evidencia del registro.
¿QUÉ TIPO DE EVIDENCIA?	Evidencia concretas (no testigos) que compruebe el registro: fotografías, material biológico (pelo, excretas, huesos, cuero, uñas), molde de huella, entre otros.
OBSERVACIONES	Agregar información que crea pertinente como por ejemplo: cantidad de animales avistados, edad aproximada del individuo, carretera en la que fue atropellado, cantidad de animales que atacó, reportar si se sabe si el animal está vivo o no, etc.
¿SE VERIFICÓ LA IDENTIFICACIÓN?	Indique si la identificación fue verificada por la persona que colecto el dato, el investigador responsable y terceros.

ANEXO 2. Modelos aplicados y mapas de hábitat idóneo predicho.

Es importante resaltar que los modelos no dan una respuesta absoluta de hábitat idóneo para el jaguar, sino una predicción en donde hay condiciones de hábitat potenciales para que la especie ocurra. De igual forma, estos modelos de selección de hábitat o distribución espacial, pueden reflejar el uso de hábitat del jaguar dado que está basado en datos de campo, pero no es posible afirmar que la especie se encuentra allí. Por consiguiente, la interpretación de los resultados de los modelos va a depender del criterio de experto sobre el conocimiento de la biología de la especie y de las variables que podrían estar afectando a las poblaciones.

De igual forma, no es posible predecir la ocurrencia debido a que la especie puede no estar presente por características de hábitat, biológicas o antropogénicas que no fueron medidas ni seleccionadas para construir los modelos. Por esto es necesario distinguir la “probabilidad realizada” que corresponde a los datos de registro de presencia del jaguar (valores iguales a 1) y registros de las ausencias (valores iguales a 0) y la “probabilidad predicha por el modelo”, lo que significa que no necesariamente donde existe una probabilidad realizada de 1 el modelo arroje un valor de 1 ya que esto depende de las condiciones provenientes de las características de las variables utilizadas.

Adicionalmente, es necesario tener en cuenta las limitantes de los resultados presentados basados en modelaje a un a escala espacial grande como lo es Costa Rica con 51000 km². Al realizar un análisis a nivel de país, existe mucha heterogeneidad entre hábitats y probablemente, las variables generales seleccionadas no tuvieron el mismo peso para todos los hábitats del paisaje de Costa Rica, arrojando esta disimilitud en los estimados máximos de probabilidad de los diferentes modelos.

ANEXO 3. Sitios y periodos de muestreo de estudios llevados a cabo con cámaras trampa desde 2012 a 2017 y fuente de y fechas de registros de otras fuentes.

SITIOS DE ESTUDIO DE FOTOTRAMPEO	PERIODOS DE MUESTREO ANUAL Y FUENTE DE DATOS					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PN Tortuguero (ACTo)	4-Jun-2012/31-Dic-2012 Coastal Jaguar Conservation	1-Ene-2013/31-Dic-2013 Coastal Jaguar Conservation	1-Ene-2014/31-Dic-2014 Coastal Jaguar Conservation	1-Ene-2015/31-Dic-2015 Coastal Jaguar Conservation	1-Ene-2016/31-Dic-2016 Coastal Jaguar Conservation	1-Ene-2017/14-Jul-2017 Coastal Jaguar Conservation
PN Braulio Carrillo (ACC)	18-Feb-2012/21-Mar-2012 Proyecto TEAM/OET		23-Mar-2014/29-Abr-2014 Proyecto TEAM/OET	4-Nov-2015/14-Dic-2015 MAP-ACTo	2-Nov-2016/4-Dic-2016 MAP-ACTo	
PN Tapanti Macizo de la Muerte (ACC)	10-Oct-2012/13-Dic-2012 Proyecto TEAM/OET				3-Feb-2016/27-Jul-2016 MAP-ACC	
	12-Ago-2012/30-Dic-2012 Mike Mooring-QUERC				20-Ene-2016/14-Nov-2016 Mike Mooring-QUERC	
					3-Feb-2016-14-Jul-2017 Nai Conservation	
PN Rincón de la Vieja (ACG)	16-Mar-2012/20-May-2012 Ronit Amit					
PN Guanacaste (ACG)				17-Dic-2015/18-Ene-2016 MAP-ACG	25-Ene-2016/25-Feb-2016 MAP-ACG	
PN Los Quetzales (ACC)	27-Feb-2012/10-Ago-2012 Mike Mooring-QUERC				3-Feb-2016-14-Jul-2017 Nai Conservation	
PN Chirripó (ACLAP)		7/4/2013/28-Dic-2013 Mike Mooring-QUERC		9-Oct-2015/21-Jun-2016 Mike Mooring-QUERC		
PN Barbilla (ACLAC)		1-Oct-2013/10-Ene-2014 Panthera Subcorredor Barbilla-Destierro	28-Ene-2014/12-May-2014 Panthera Subcorredor Barbilla-Destierro			
Parque Internacional La Amistad (ACLAP)						31-May-2017/31-Jul-2017 Mike Mooring-QUERC
RNVS Mixto Maquenque (ACAHN)		13-Abr-2013/18-Jun-2013 Panthera /Mariano Barrantes	18-Jun-2013/22-Ago-2013 Panthera /Mariano Barrantes		12-feb-2016/27-Abr-2017 MAP-ACAHN	
RNVS Mixto Cano Negro (ACAHN)				7-Dic-2015/30-Ene-2016 MAP-ACAHN		
RNVS La Marta (ACC)			11-Mar-2014/20-May-2014 Mike Mooring-QUERC			
RNVS Barra del Colorado (ACTo)			11-Feb-2014/4-Dic-2014 Coastal Jaguar Conservation	16-Jul-2015/21-Dic-2015 MAP-ACTo	5-Oct-2016/22-Ene-2017 MAP-ACTo	9-May-2017/30-Jun-2017 MAP-ACTo
RB Cerro Vueltas (ACC)	27-Feb-2012/10-Ago-2012 Mike Mooring-QUERC				3-Feb-2016-14-Jul-2017 Nai Conservation	
RF Los Santos (ACC)	27-Feb-2012/10-Ago-2012 Mike Mooring-QUERC				3-Feb-2016-14-Jul-2017 Nai Conservation	
RF Cordillera Volcánica Central (ACLAC)		1-Oct-2013/10-Ene-2014 Panthera	27-Ago-2014/30-Mar-2015 Panthera			
RF Rio Pacuare (ACLAC)			28-Ene-2014/12-May-2014 Coastal Jaguar Conservation	15-Abr-2015/12-Mar-2016 Coastal Jaguar Conservation		
RF Pacuare-Matina (ACLAC)					20-May-2016/2-Jul-2016 MAP-ACLAC	
RF Rio Macho					2-Mar-2016-7-Ene-2017 Nai Conservation	
RF Golfo Dulce (ACOSA)	26-Jun-2012/19-Sep-2012 Peter Molnar/Juan Sebastian Vargas		15-Jun-2014/12-Dic-2016 Tico H. / Wild Art Studio		12-Ene-2016/24-Feb-2016 MAP-ACOSA	
Parque Nacional Corcovado (ACOSA)				2-Mar-2015/11-Jun-2015 Erick Olson/Guido Saborio	5-Mar-2016/17-Abr-2016 Erick Olson/Guido Saborio	
Piedras Blancas (ACOSA)				1-Feb-2015/1-Jun-2016	16-Jun-2016/27-Ago-2017 Erick Olson/Guido Saborio	
Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde (ACAT)				2-Ene-2015/30-Sep-2015 CCT-RBBNM		
Zona Protectora Las Tablas (ACLAP)					9-Nov-2015/27-Oct-2016 ProCAT	
RP Estación Biológica La Selva (ACC)		6-Ene-2013/12-Feb-2013 Proyecto TEAM/OET				
RP Lapa Verde (ACC)				5-Ene-2015/28-Feb-2015 Alejandro Matthey/Lapa Verde		
RP Cloudbridge Nature Reserve (PN Chirripó)					14-Jul-2016/8-Ago-2016 Cloudbridge Nature Reserve	
RP Copal (ACLAP)		10-Jul-2013/30-Dic-2013 Mike Mooring-QUERC				
RP Estación Biológica Campanario (ACOSA)					17-Jul-2016/30-Jun-2017 Mike Mooring-QUERC	
Universidad EARTH (FASP)					29-Ene-2016/18-Jul-2017 MAP-ACTo	1-Feb-2017/30-Jun-2017 MAP-ACTo/Adolfo Artavia
Valle del Savegre (FASP)	4-Jun-2012/10-Ago-2012 Mike Mooring-QUERC				28-Dic-2016/4-Abr-2017 Javier Carazo	
Finca Selva Bananito Lodge (FASP-ACLAC)					19-Abr-2016/4-Jul-2016 MAP-ACLAC	
Colonia Bolaños (Limite PN Guanacaste - FASP)				13-Nov-2015/13-Dic-2015 MAP-ACG		
Subcorredor biológico Barbilla Destierro (FASP-ACLAC)		1-Oct-2013/10-Ene-2014 Panthera Subcorredor Barbilla-Destierro	28-Ene-2014/12-May-2014 Panthera Subcorredor Barbilla-Destierro		25-Sep-2016/8-Feb-2017 Panthera Subcorredor Barbilla-Destierro	
Limite RNVS Pejepero (Finca Osa Verde) ACOSA-FASP				1-Feb-2015/1-Jun-2016 Conservacion OSA		
Estación Biológica Lomas de Sierpe (ACOSA-FASP)				1-Jun-2015/1-Jun-2016 Conservacion OSA		
Estación Biológica Piro (ACOSA-FASP)			5-Ene-2014/2-Jun-2015 Conservacion OSA/Tico H.			
Corredor Biológico Paso de la Danta (ACOSA-FASP)					28-Dic-2016/4-Abr-2017 Javier Carazo	
Ruta Interamericana 1 (FASP)					11-Jun-2016/10-Feb-2017 Esther Pomareda/AVS	15-Ene-2017/14-Jul-2017 Esther Pomareda/AVS
Colonia La Libertad, Aguas Claras, Upala (FASP)					13-Ene-2016/15-Nov-2016 Jose Quirós/UACFel	
Caño Blanco, Los Chiles (FASP)					9/11/2016-15-Nov-2016 Jose Quirós/UACFel	

REGISTROS DE JAGUAR DE OTRAS FUENTES	AÑOS DE REGISTROS Y FUENTE DE DATOS					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Ataques de depredación al ganado	Esther Pomareda	UACFel	UACFel	UACFel	UACFel	UACFel
Ataques de depredación a tortugas marinas					Luis Fonseca	Luis Fonseca
Huellas				Programa Gente y Fauna	Programa Gente y Fauna	Programa Gente y Fauna
					Adolfo Artavia	Adolfo Artavia
					Javier Carazo	
Cautiverio		Centro de Rescate Las Pumas	Centro de Rescate Las Pumas	Centro de Rescate Las Pumas	Centro de Rescate Las Pumas	Centro de Rescate Las Pumas
Atropellos				VAVS		
Avistamientos		Centro de Rescate Las Pumas	Centro de Rescate Las Pumas	Centro de Rescate Las Pumas	Centro de Rescate Las Pumas	Centro de Rescate Las Pumas
		VAVS	VAVS	VAVS	VAVS	VAVS
Radio Collar					Sergio Escobar-Lasso	
Material Genético - Excretas	Coastal Jaguar Conservation	Coastal Jaguar Conservation	Coastal Jaguar Conservation	Coastal Jaguar Conservation	Adolfo Artavia	
	Panthera	Panthera	Panthera	Panthera		
	UCR	UCR	UCR	UCR		

ANEXO 4. Peso de las Covariables para explicar el modelo.

Para el modelo Random Forest las variables que tuvieron mayor peso fueron: Porcentaje de cobertura boscosa, pendiente. Para el modelo mixto no es posible conocer el peso de las variables debido a que el mapa resultante es un promedio de los modelos Maxlike y Random Forest. Gráfico del peso de cada una de las variables para el modelo Random Forest.

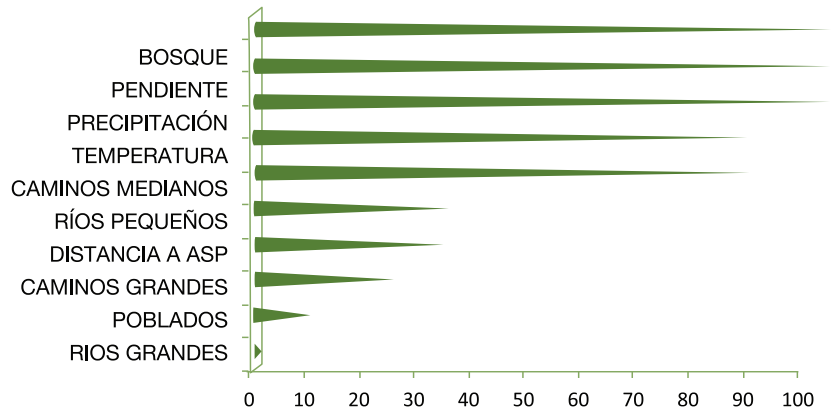


Gráfico del peso de cada una de las variables para el modelo Random Forest.

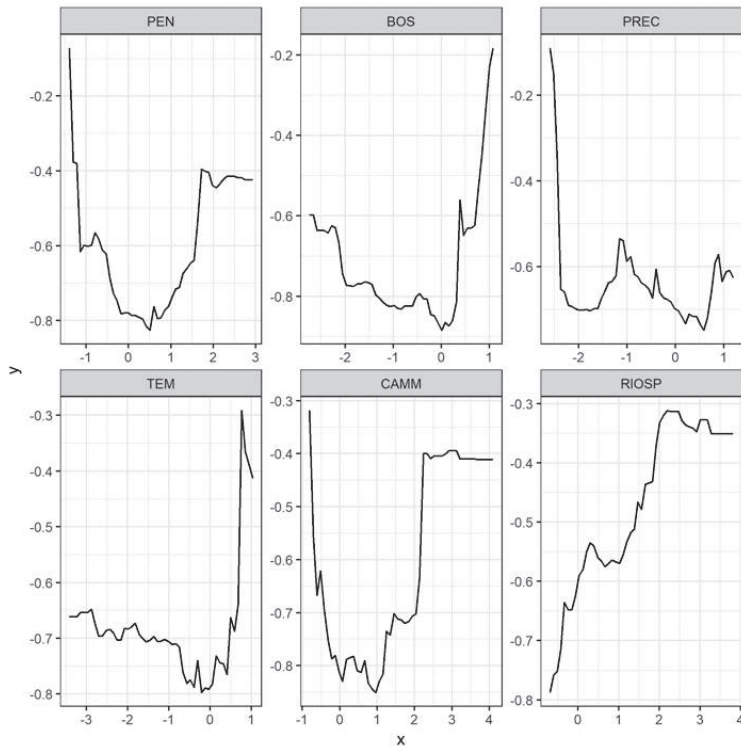


Gráfico del tipo de relaciones no lineales entre las variables en el modelo Random Forest.

Debido a que este estudio proviene de un diseño observacional y no experimental, las covariables no se pueden explicar cómo relaciones causa/efecto, es decir, no se puede considerar explicar el parámetro escogido en este caso el hábitat adecuado para el jaguar como influenciado por alguna variable particular.

Ahora bien, el modelo nos puede indicar una relación existente no necesariamente lineal, que a futuro se podría explorar el por qué se está observando y cuales posiblemente podrían reflejar o determinar la idoneidad del hábitat. Por ejemplo, el modelo Random Forest muestra las siguientes relaciones no lineales entre las variables.

LITERATURA CITADA

- Alfaro, L. D., Montalvo, V., Guimaraes, F., Sáenz, C., Cruz, J., Morazan, F., and Carrillo E. (2016). Characterization of attack events on sea turtles (*Chelonia mydas* and *Lepidochelys olivacea*) by jaguar (*Panthera onca*) in Naranjo sector, Santa Rosa National Park, Costa Rica. *International journal of conservation science* 7:101-108.
- Andelman, S. y WF Fagan. 2000. Umbrellas and flagships: efficient conservation surrogates or expensive mistakes? *Ecology Letters* 3 (6), 540-550.
- Anderson, C. R. y F. G. Lindzey. (2003). Estimating cougar predation rates from GPS location clusters. *Journal of Wildlife Management* 67:307-316.
- Arroyo-Arce, S., Thompson, I., Cutler, K. y Wilmott, S. 2018. Feeding habits of the jaguar *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) in Tortuguero National Park, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 66(1): 70-77.
- Arroyo-Arce, S., & Salom-Pérez, R. (2015). Impact of jaguar *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) predation on marine turtle populations in Tortuguero, Caribbean coast of Costa Rica. *Revista de biología tropical*, 63(3), 815-825.
- Arroyo-Arce, S. Comunicación personal. Marzo 2017. San Jose, Costa Rica.
- Artavia, A. (2015), Diagnóstico de estudios con cámaras trampa en Costa Rica (1998-mayo 2015), Heredia, Costa Rica. 75.
- Azevedo, F. C. C. y D. L. Murray. 2007. Spatial organization and food habits of jaguars (*Panthera onca*) in a floodplain forest. *Biological conservation* 137:391-402.
- Bailey, S. 2007. Increasing connectivity in fragmented landscapes: An investigation of evidence for biodiversity gain in woodlands. *Forest ecology and management* 238:7-23.

BID (Banco Interamericano de Desarrollo, USA) y CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2014. Actualización y rediseño de dos medidas de conservación para la adaptación del sector biodiversidad ante el cambio climático: Informe Final . CATIE. Turrialba-Costa Rica. 106 pp.

Borrvall, C. y B. Ebenman. 2006. Early onset of secondary extinctions in ecological communities following the loss of top predators. *Ecology Letters* 9:435-442.

Breiman, L. (2001). Random Forest. *Machine Learning*, Volume 45, Issue 1, pp 5–32

Cavalcanti, S. M. y Gese, E. M. (2009). Spatial ecology and social interactions of jaguars (*Panthera onca*) in the southern Pantanal, Brazil. *Journal of Mammalogy* 90(4): 935-945.

Cardillo, M., G. M. Mace, K. E. Jones, J. Bielby, O. R. P. Bininda-Emonds, W. Sechrest, C.D. L. Orme y A. Purvis. 2005. Multiple causes of high extinction risk in large mammal species. *Science* 309:1239-1241.

Carignan V, Villard M (2002) Selecting indicator species to monitor ecological integrity: A review. *Environmental Monitoring Assessment*. 78: 45-61.

CENIGA. Centro Nacional de Información Geo-Ambiental. <http://ceniga..go.cr/ /geoserver/CENIGA/wfs>.

Caro T, O' Doherty G (1999) On the use of surrogate species in conservation biology. *Conservation Biology*. 13: 805-814.

Caro T, Engilis A, Fitzherbert E, Gardner T (2004) Preliminary assessment on the flagship species concept at a small scale. *Animal Conservation*. 7: 63-70.

Carrillo, E., R. A. Morera-Avila, y G. Wong-Reyes. 1994. Depredación de tortuga lora (*Lepidochelys olivacea*) y de tortuga verde (*Chelonia mydas*) por el jaguar (*Panthera onca*). *Vida Silvestre Neotropical* 3:48-49.

Carrillo, E., T. K. Fuller, y J. C. Saenz. 2009. Jaguar (*Panthera onca*) hunting activity: effects of prey distribution and availability. *Journal of Tropical Ecology* 25:563-567.

Chávez, J. C., M. Aranda, y G. Ceballos. 2005. Jaguar (*Panthera onca*). En: Los mamíferos silvestres de México. Ceballos G. & Oliva, G (comps.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 367-370 pp. Cornelius, S. E. 1986. The sea turtles of Santa Rosa National Park. Fundación de Parques Nacionales, San José, Costa Rica.

Ceballos, G. y Ehrlich, P.R. 2002 Mammal population losses and the extinction crisis. *Science*. Vol 296. Número 5569. Páginas 904-907.

Ceballos, G. y P. R. Ehrlich. 2006. Global biodiversity hotspots and conservation: insights from mammal distributions. *Proceedings of the National Academy of Sciences (US)*., 103: 19374 – 19379.

Conde D.A., Colchero, F., Zarza. H., Christensen. N.L., Sexton J. Manterola C., Chávez C., Rivera. A., Azuara. D., and G. Ceballos. (2010). Sex matters: Modeling male and female habitat differences for jaguar conservation. *Biological Conservation* 143, 1980–1988.

Corrales-Gutiérrez, D., Salom-Pérez, R. y Hoogesteijn, R. 2016. Convenio entre el gobierno de Costa Rica y *Panthera*: Unidad de Atención de Conflictos con Felinos (UACFel). Pp.169-180. En: Castaño-Uribe, C., C. A. Lasso, R. Hoogesteijn, A. Diaz-Pulido y E. Payán (Editores). II. Conflictos entre felinos y humanos en América Latina. Serie Editorial Fauna Silvestre Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Bogotá, D. C., Colombia.

Corrales-Gutiérrez, D. Comunicación personal. Marzo 2017. San Jose, Costa Rica.

Crawshaw, P. G. y Quigley, H. B. 2002. Hábitos alimentarios del jaguar y el puma en el Pantanal, Brasil, con implicaciones para su manejo y conservación. En: Medellín R. A., Equihua, C., Chetkiewics, C., Rabinowitz, A., Crawshaw, P., Rabinowitz, A., Redford, K., Robinson, J. G., Sanderson, E. y Taber, A (eds.). El jaguar en el Nuevo Milenio: Una evaluación de su estado, detección de prioridades y recomendaciones para la conservación de los jaguares en América. Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México y Wildlife Conservation Society. México D.F. 223-236 pp.

De la Torre, A., Gonzalez-Maya, J.F., Zarza, H., Ceballos, G., y A. Medellín. 2017. The Jaguar's spots are darker than they appear: assessing the global conservation status of the jaguar *Panthera onca*. *Oryx*, 1-16 Fauna & Flora International doi:10.1017/S0030605316001046.

- Díaz -Santos, F., Polisar, J., Maffei, L. 2016. Avances en el conocimiento de los jaguares en Nicaragua. En El jaguar en el siglo XXI: la perspectiva continental (eds R.A. Medellín, J.A. de la Torre, C. Chávez, H. Zarza & G. Ceballos), pp. 184–210. Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México, México City, México.
- Domínguez, E. 2011. Disponibilidad y conectividad de hábitat, y viabilidad poblacional para los felinos silvestres de la Selva Lacandona. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. 61 pp.
- Donovan, T. M. and J. Hines. (2007). Exercises in Occupancy Estimation and Modeling. Chapter 2. Multinomial Probability and Likelihood. Maximum likelihood procedures are the workhorse for most of the analyses occupancy modeling. <http://www.uvm.edu/rsenr/vtcfwru/spreadsheets/occupancy//occupancy/occupancy.htm>.
- Dorazio, R.M. (2014). Accounting for imperfect detection and survey bias in statistical analysis of presence-only data. *Global Ecology and Biogeography*. Volume 23, Issue 12, pp 1472–1484.
- Dorazio, R.M., Delampady, M., Dey, S., and A. Gopaldaswamy. (2017). Concepts: Integrating Population Survey Data from Different Spatial Scales, Sampling Methods, and Species. *Methods For Monitoring Tiger And Prey Populations* pp 247-254.
- Escobar-Lasso. S., Gil-Fernández, M., Fonseca, L., and Gómez-Hoyos, D. (2017). Distribution and hotspots of the feeding areas of jaguars on sea turtles at a national park in Costa Rica. *Neotropical Biology and Conservation*. 12. 2-11. 10.4013/nbc.2017.121.01.
- Fitzpatrick, M, Gotelli, N., and A. Ellison (2013). Maxent versus MaxLike (2013): empirical comparisons with ant species distributions. *Ecosphere*, Volume 4, Issue 5, pp 1–15. art55
- Ford. A. 2010. *Modelling the environment*. Second edition. Island Press, Washington, D.C. 380 pp.
- Franklin, J. 2010. *Mapping species distribution: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

Gil-Fernández, M., Muench, C., Gómez-Hoyos, D. A., Dueñas, A., Escobar-Lasso, S., Aguilar-Raya, G. & Mendoza, E., 2017. Wild felid species richness affected by a corridor in the Lacandona forest, Mexico. *Animal Biodiversity and Conservation*, 40.1: 115–120.

González-Maya J.F., Bustamante A., Moreno R., Salom-Pérez R., Tavares R. and Schipper J.(2016) Estado de conservación y prioridades para el jaguar en Costa Rica. In *El jaguar en el siglo XXI: la perspectiva continental* (eds Medellín R.A., de la Torre J.A., Chávez C., Zarza H. & Ceballos G.), pp. 184–210. Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico.

Guilder, J., Benjamin. B., Arroyo-Arce, S., Gramajo. R., Salom, R. (2015). Jaguars (*Panthera onca*) increase kill utilization rates and share prey in response to seasonal fluctuations in nesting green turtle (*Chelonia mydas mydas*) abundance in Tortuguero National Park, Costa Rica. *Mammalian Biology*. 80. 65-72. 10.1016/j.mambio.2014.11.005.

Guisan A & Zimmermann N.E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modeling*. Article in *Ecological Modelling* 135(2-3):147-186 .

Grigione. M.M., Menke, K., Lopez-Gonzalez. R., Banda. A., Carrera, J., Carrera. R., Giordano, A.J., Morrison, J., Sternberg. M., Thomas. R and B. Van Pelt. (2007). Identifying potential conservation areas for felids in the USA and Mexico: integrating reliable knowledge across an international border. *Oryx*, 43(1), 78–86.

Hitt NP, Frissell CA (2004) A case study of surrogate species in aquatic conservation planning. *Aquat. Cons.: Mar. Freshw. Ecosyst*. 14: 625-633.

INEC. Instituto Nacional de Estadísticas Censo. Costa Rica. <http://www.inec.go.cr/>

Inski, C. y A. Zimmermann. 2009. Human–Felid conflict: a review of patterns and priorities worldwide. *Fauna y Flora Internacional Oryx* 43:18-34.

Kissling. W.D., Ahumada. J., Bowser. A., Fernández. M., Fernández N., García E., Guralnick. R., Isaac. N., Kelling. S., Los W., McRae. L., Mihoub. J.B., Obst. M., Santamaria. M., Skidmore. A., Williams. K., Agosti. D., Amariles. D., Arvanitidis C., Bastin. L., De Leo. F., Egloff. W., Elith. J., Hobern. D., Martin. D., Pereira. H., Pesole. G., Peterseil J., Saarenmaa. H., Schigel. D., Schmeller. D.S., Segata. N., Turak. E., Uhlir. P., Wee. B., and A. R. Hardisty. (2017). Building essential biodiversity variables (EBVs) of species distribution and abundance at a

global scale. *Biological Reviews* Volume 93, Issue 1. Pages 600–625.

Koshkina. V., Wang. Y., Gordon. A., Dorazio R.M., White. M., and L. Stone. (2017). Integrated species distribution models: combining presence-background data and site-occupancy data with imperfect detection . *Mathematical Methods in Ecology and Evolution* 2017, 8, 420–430.

Kelly, M. (2003). Jaguar monitoring in the Chiquibul Forest, Belize. *Caribbean Geography*; Kingston Vol. 13, Iss. 1, (Mar 2003): 19-32.

Kuhnert. P., Martin. T., and Sh.P. Griffiths. (2010). A guide to eliciting and using expert knowledge in Bayesian ecological models. *Ecology Letters*, (2010) 13: 900–914

Lambert JD, Carr MH (1998) The Paseo Pantera Project: A case study using GIS to improve continental-scale conservation planning. En Savitsky BG, Lacher TE (Eds.) *GIS Methodologies for Developing Conservation Strategies: Tropical Forest Recovery and Wildlife Management in Costa Rica*. Columbia University.

Landres PB, Verner J, Thomas JW (1988) Ecological uses of vertebrate indicator species: A critique. *Cons. Biol.* 2: 316-328.

Lehner, B. (2013). *HydroSHEDS Technical Documentation*. Version 1.2. Conservation Science Program. World Wildlife Fund US Washington, Dc 20037.

Maffei, L., Polisar, J., Garcia, R., Moreira, J., & Noss, A. J. (2011). Perspectives from ten years of jaguar (*Panthera onca*) camera trapping in Mesoamerica. *Mesoamericana*, 15, 49-59.

Medellín, R.A., J. Antonio de la Torre, J., Zarza, H., Chávez, C. y Gerardo Ceballos. (2016). El jaguar en el siglo XXI: La Perspectiva Continental. pp. 184–210. Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México, México City, México.

Moreno-Amat, E. 2017. Reducción de la incertidumbre de los modelos de distribución de especies con datos ecológicos y paleoecológicos. *Ecosistemas* 26(3): 106-109. Doi.: 10.7818/ECOS.2017.26-3.13.

- Niedballa, J., Sollmann, R., Mohamed, A., Bender, J., and A. Wilting. 2015. Defining habitat covariates in camera-trap based occupancy studies. *Scientific Reports* 2015; 5: 17041.
- Noss R (1990) Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Cons. Biol.* 4: 355-364. Sanderson EW, Redford KH, Chetkiewicz CLB, Medellin RA, Rabinowitz AR, Robinson JG, Taber AB (2002) Planning to save a species: the jaguar as a model. *Conservation Biology*. 16: 58-72.
- Noss R, Quigley H, Hornocker M, Merrill T, Paquet P (1996) Conservation Biology and Carnivore Conservation in the Rocky Mountains. *Conservation Biology*. 10: 949-963.
- Peterson, A.T. and J. Soberón. (2012). Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modeling: Getting the Concepts Right. *Natureza & Conservação* 10(2):102-107.
- Pomareda, E. Comunicación personal. Febrero 2018. San Jose, Costa Rica.
- QGIS Development Team (2017). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- Quigley, H., Foster, R., Petracca, L., Payan, E., Salom, R. & Harmsen, B. 2017. *Panthera onca*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: 15953A50658693.
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>. SDM-CLMcomp/R packages at master · fitzLab-AL/SDM-CLMcomp <https://github.com/fitzLab-AL/SDM-CLMcomp/blob/master/R%20packages>.
- Rabinowitz A. R. 1986. Jaguar predation on domestic livestock in Belize. *Wildlife Society bulletin* 14:170-174.
- Rabinowitz, A., y K. A. Zeller. 2010. A range-wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, *Panthera onca*. *Biological Conservation* 143:939-945.

Ray J (2005) Large carnivorous animals as tools for conserving biodiversity: Assumptions and uncertainties. En Ray J, Redford K, Steneck R, Berger J (Eds.) Large Carnivores and the Conservation of Biodiversity. Island Press. Washington, DC, EEUU. pp. 34-56.

Redford K, Coppolillo P, Sanderson E, Da Fonseca, G, Dinerstein E, Groves C, Mace G, Maginnis S, Mittermeier R, Noss R, Olson D, Robinson J, Vedder A, Wriugh M (2003) Mapping the conservation landscape. *Cons. Biol.* 17: 116-131.

Sáenz, J. C. and Carrillo, E. (2002) Jaguares depredadores de ganado en Costa Rica: un problema sin solución? En R. A. Medellín, C. Equihua, C. L. B. Chetkiewicz, et al. (eds.), *El Jaguar en el Nuevo Milenio.*, Fondo de Cultura Económica / Universidad Nacional Autónoma de México / Wildlife Conservation Society, México, pp. 127-37

Sergio F, Newton I, Marchesi L, Pedrini P (2006). Ecologically justified charisma: preservation of top predators delivers biodiversity conservation. *J. Appl. Eco.* 43: 1049-1055.

Salom-Pérez R., Carrillo E., Sáenz J.C. & Mora J.M. (2007) Critical condition of the jaguar *Panthera onca* population in Corcovado National Park, Costa Rica. *Oryx* 41: 51-56.

Salom-Pérez, R., J.E. Rodríguez, K. Holzer, G. Gutiérrez-Espeleta & Y. Matamoros (Eds.). 2009. Taller de Análisis de la Población y del Hábitat del Jaguar (*Panthera onca*) en Costa Rica. Estrategia para la conservación de la especie. Informe Final. 2-6 de marzo, 2009. Parque Zoológico y Jardín Botánico Simón Bolívar, San José, Costa Rica.

Salom, R., Corrales, D., Alfaro, L.G., Pomareda, E., Amit, R., Ríos, Y. (2014). Estrategia de Conservación de Felinos para asegurar su coexistencia con el ser humano a largo plazo 2015-2020. Memorias del Taller, Junio 2014, San José, Costa Rica.

Sanderson, E.W., Redford, K.H., Chetkiewicz, C.B., Medellín, R.A., Rabinowitz, A.R., Robinson, J.G. & Taber, A.B. (2002). Planning to save a species: the jaguar as a model. *Conservation Biology*, 16, 58-72.

Schank, C., Cove. M., Kelly. M., Mendoza. E., O'Farrill. G., Reyna-Hurtado. R., Meyer. N., Jordan Ch., González-Maya. J.F, Lizcano. D., Moreno. R., Dobbins. M.T., Montalvo. V., Sáenz-Bolaños. C., Carrillo. E., Estrada. E., Cruz. J.C., Saenz. J., Spínola, M., Carver. A., Fort J., Nielsen. C.K., Botello. F., Pozo G., Rivero. M., De la Torre.

J.A., Brenes-Mora. E., Godínez-Gómez. O., Wood. M., Gilbert J., and J. Miller. 2017. Using a novel model approach to assess the distribution and conservation status of the endangered Baird's tapir.

Seymour, K. L. *Panthera onca* (Linnaeus, 1758). Mammalian Species, Lawrence, n. 340, p. 1-9, 1989.

Silver, S., Ostro, L.E.T., Marsh, L., and L. Maffei. (2004). The use of camera traps for estimating jaguar *Panthera onca* abundance and density using capture/recapture analysis Oryx, Volume 38, Issue 2 , pp. 148-154

Silveira, L., Jácomo, A., Astete, S., and R. , Sollmann. (2010). Density of the Near Threatened jaguar *Panthera onca* in the caatinga of north-eastern Brazil, Oryx, Volume 44, Issue 1. pp. 104-10

Simberloff D (1998) Flagships, umbrella, and keystones: Is single-species management passé in the landscape era? Biological Conservation 83: 247-257.

(Sistema Nacional de Áreas de Conservación). (2012). Plan Estratégico Sistema Nacional de Áreas de Conservación- 2010-2015. San José Costa Rica.

(Sistema Nacional de Áreas de Conservación). (2014). V Informe Nacional al Convenio sobre la Diversidad Biológica, Costa Rica. GEF-PNUD, San José, Costa Rica. 192 p.

SNIT. Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). <http://www.snitcr.go.cr>

Spínola, M. Comunicación personal. Noviembre 2017. Heredia, Costa Rica.

Thornton, D., Zeller, K., Rondinini, C., Boitani, L., Crooks, K., Burdett, C. & Quigley, H. (2016). Assessing the umbrella value of a range-wide conservation network for jaguars (*Panthera onca*). Ecological applications, 26(4), 1112-1124

Tobler, M.W and George V.N. Powell. (2013). Estimating jaguar densities with camera traps: Problems with current designs and recommendations for future studies. Biological Conservation 159, 109–118 pp.

Wisz MS, Hijmans RJ, Li J, Peterson AT, Graham CH, Guisan A. (2008). Predicting Species Distributions Working Group. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Divers. Distrib.* 2008;14: 763–773.

Zarco-González, M., O. Monroy-Vilchis. y V. Urios. 2009. Factores asociados a la depredación de Puma concolor sobre el ganado en el Estado de México, México. En: *Mesoamericana, conservation challenger in a rapidly shrinking planet-Edición Especial.* 13(2) 9.

Zeller, K. (2007) *Jaguars in the New Millennium Data Set Update: The State of the Jaguar in 2006.* Wildlife Conservation Society, New York, USA.

Zeller, K. A., K. McGarigal. y A. R. Whiteley. 2012. Estimating landscape resistance to movement: a review. *Landscape Ecology* 27:777-797.



www.sinac.go.cr