

SÉRIE ARTIGOS TÉCNICOS

Modelo para determinação de cotas de utilização para o jacaré (*Caiman yacare*) e contribuições para melhorar o conhecimento sobre o jacaré-açu (*Melanosuchus niger*) na Bolívia

Autor: Marco Aurelio Pinto Viveros – Especialista GIS Fundación para el Desarrollo de la Ecología FUND-ECO

RESUMO

No âmbito do projeto "Estudo da situação populacional do jacaré (*Caiman yacare*) e do jacaré-açu (*Melanosuchus niger*) nos sistemas de vida e nas áreas de distribuição natural na Bolívia", é proposta uma atualização e melhoria do modelo de estimativa de cotas de colheita do jacaré na Bolívia, além de insumos técnico-científicos que contribuirão para a conservação e gestão do jacaré-açu, com vistas ao seu uso sustentável no futuro.

Palavras-chave: Nicho ecológico, distribuição potencial, programa jacaré, conservação.

CONTEXTO

A partir da década de 1950, o jacaré (*Caiman yacare*) e ou o jacaré-açu (*Melanosuchus niger*) foram muito explorados devido ao alto preço de suas peles (OJASTI 1996), provocando a diminuição de suas populações, e levando ao *M. niger* quase à beira da extinção (THORBJARNARSON 1998). Por isso, na Bolívia, a partir de 1961, foram iniciadas ações judiciais para interromper, parcialmente, a caça. A caça foi totalmente proibida em 1967, ratificando essa decisão nos anos subsequentes (AGUILERA et al. 2007). 2007. Isso favoreceu a recuperação do jacaré, que, em 1999, apresentava recuperação em toda a sua distribuição original (APARICIO et al. 1999, AGUILERA et al. 2007); por este motivo, a legislação boliviana foi modificada permitindo seu uso sustentável (LLOBET et al. 2004). 2004.

O Programa Nacional de Conservação e Uso Sustentável do Jacaré teve início com o Decreto Supremo DS 25458, de 1999,

que permitia o uso de espécies silvestres com base em planos de manejo. Posteriormente, o programa, juntamente com seus respectivos regulamentos, foi consolidado (Resolução 147/02 de 2002). Por outro lado, não existem experiências de manejo bem-sucedidas para o jacaré-açu (CISNEROS 2006). Assinala-se que, na Bolívia, o conhecimento sobre seus parâmetros populacionais é insuficiente para desenvolver programas de manejo (PACHECO 1999, MMAyA 2009); além disso, o jacaré-açu no país está incluído no Anexo I da CITES e, portanto, seu comércio é proibido (CITES 2021). Com relação ao status de conservação, na Bolívia, *C. yacare* não consta na classificação de ameaçado, no entanto *M. niger* é considerado na categoria Vulnerável (MMAyA 2009).

No que diz respeito à determinação das cotas nacionais de colheita de lagartos, destaca-se um primeiro modelo desenvolvido pela cooperação canadense "CESO-SACO", a pedido do Governo da

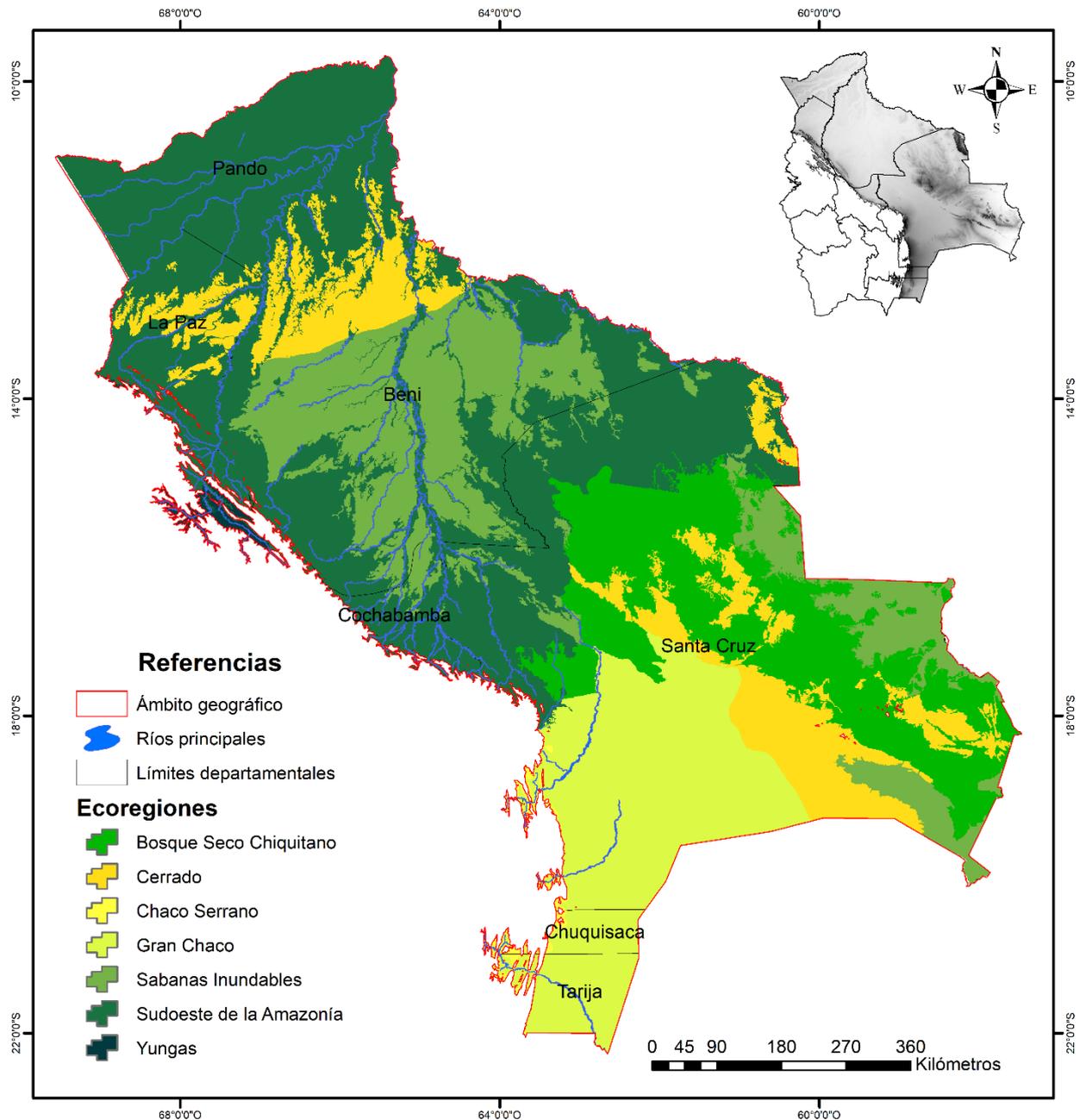
Bolivia (APARICIO e RIOS 2004), e duas etapas posteriores conduzidas pelo Museu da História Natural Noel Kempff Mercado (MHNNKM), no âmbito de sua atribuição como Autoridade Científica do CITES, que, inicialmente em 2004, gerou um modelo para justificar e distribuir cotas de colheita o qual foi atualizado em 2010. Desde então, pouco mais de 11 anos se passaram, e diante de novas informações sobre a situação populacional e distribuição da espécie, bem como de avanços tecnológicos nas ferramentas de sistemas de informação estatística, ecológica e geográfica, este artigo, no âmbito do o projeto "Estudo da situação populacional do jacaré (*Caiman yacare*) e do jacaré-açu (*Melanosuchus niger*) em sistemas de vida em áreas de distribuição natural na Bolívia", propõe uma atualização e melhoria do modelo de estimativa de cotas de colheita do jacaré

na Bolívia e, apresenta insumos técnicos científicos que subsidiarão a conservação e o futuro manejo do jacaré-açu.

METODOLOGIA

Área de estudo

A abrangência geográfica do estudo foi determinada com base no que foi sugerido por Rodriguez-Cordero et al. (2019) que consideram que as áreas acessíveis para a dispersão de crocodilianos na Bolívia estão abaixo de 850 metros acima do nível do mar. Geopoliticamente, a área de estudo abrange os departamentos de Pando, La Paz, Beni, Cochabamba, Santa Cruz, Chuquisaca e Tarija, e biogeograficamente compreende principalmente sete ecorregiões (IBISCH & MÉRIDA 2003, Figura 1).



Análise

Inicialmente, foram desenvolvidos modelos de nicho ecológico, coletando e refinando dados sobre a ocorrência do jacaré e jacaré-açu na Bolívia; foram consideradas 30 variáveis preditoras que fazem parte das variáveis bioclimáticas,

altitude, cobertura do solo e biogeografia. As variáveis redundantes foram eliminadas usando a correlação de Spearman, e os modelos de nicho foram executados usando MaxEnt v.3.4.4. (PHILLIPS et al. 2021). 2021. Na avaliação dos modelos, foi considerada a

área sob a curva ROC/AUC (SWETS 1988) e, ao final, a distribuição do potencial foi determinada por meio da projeção cartográfica dos modelos, gerando mapas que apresentam valores de adequação de habitat baixa (0) e alta (1) para cada espécie (PALMA-ORDAZ & DELGADILLO-RODRÍGUEZ 2014).

Posteriormente, foi estabelecido o modelo de determinação das cotas de colheita do jacaré, tanto com dados populacionais atualizados quanto na ausência destes. Os dados populacionais provêm de avaliações de campo realizadas no âmbito do projeto e de planos de gestão e avaliações de anos anteriores realizados por diferentes instituições. O número de indivíduos exploráveis por km de costa foi determinado com base nos regulamentos para a conservação e uso sustentável do jacaré. Apenas os dados das contagens da população realizadas este ano (2021) foram filtrados sendo considerados dados atuais. A posição geográfica das localidades onde foram realizadas as contagens foi cruzada com a cobertura de posse da terra, e então, para cada localidade avaliada, o valor de adequação de habitat foi determinado com base no que foi determinado pelo modelo de nicho ecológico.

Por fim, para cada localidade, foram acessadas as imagens do satélite Bing e se identificou o corpo d'água onde foram feitas as contagens populacionais; foi calculada sua extensão linear (no caso de ser corpo lótico de água) ou perímetro total (se for lântico) em km dentro dos limites territoriais do prédio. Todo o gerenciamento cartográfico foi feito usando ArcMap v.10.4. (ESRI 2011). Uma vez que os dados obtidos sobre a densidade de indivíduos exploráveis por km de costa; e o valor da adequação do habitat e a

extensão linear ou perimetral do corpo de água avaliado (ou corpos d' água avaliados) no nível predial foram gerenciados e organizados, a fórmula matemática foi determinada para estimar o potencial de uso do recurso. Para tanto, foi utilizado o modelo proposto pelo MHNNKM em 2010.

Além disso, para gerar informações úteis para estabelecer cotas de colheita para jacaré na ausência de dados populacionais atuais, as densidades potenciais de indivíduos exploráveis por km de costa foram determinadas com base em dados históricos. Foi realizada uma análise de agrupamento por meio do algoritmo k-means, com base nos modelos de nicho, para identificar a existência de áreas geográficas com condições de nicho semelhantes. No caso de *C. yacare*, de acordo com cada área geográfica identificada e nos seus valores de nicho ecológico, os valores históricos de indivíduos exploráveis por km de costa foram classificados entre os correspondentes a corpos de água lóticos (rios principais, rios secundários, riachos) e lânticos (qualquer corpo d'água não mencionado como lótico) para determinar se há diferenças estatisticamente significativas entre as densidades de indivíduos exploráveis relatadas entre esses corpos de água.

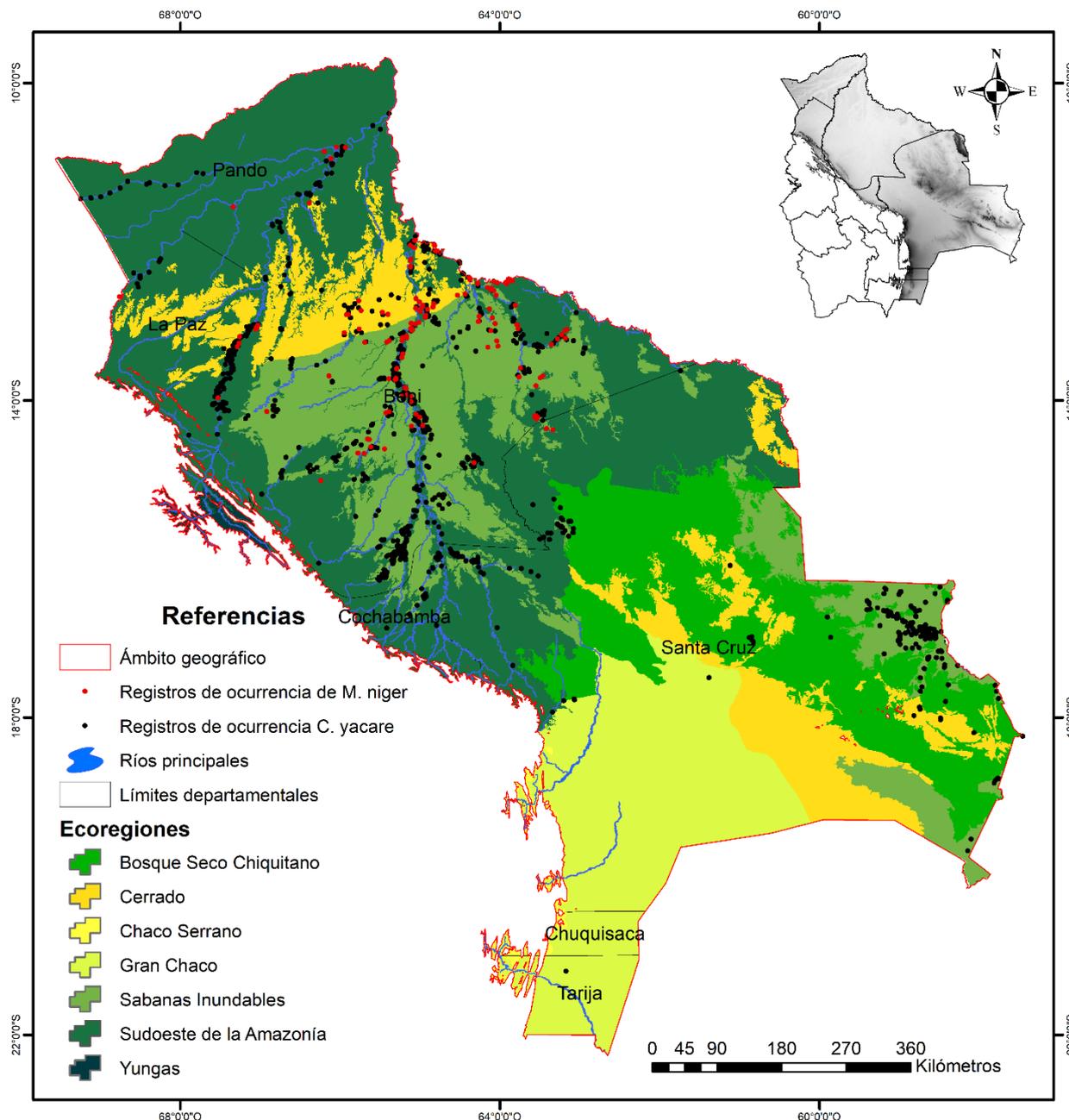
Para o jacaré-açu, não foram determinadas cotas de colheita e limitou-se a gerar informações descritivas sobre as áreas prioritárias ao longo de sua distribuição natural, onde podem ser utilizadas diretrizes de manejo, para fins não comerciais, que poderiam ser úteis no fortalecimento das populações existentes (por exemplo, criação de ovos para incubação e posterior liberação de recém-nascidos). Essas áreas foram

determinadas discriminando locais onde foram apresentados valores de adequação de habitat maiores que 0,9. Da mesma forma, grupos geográficos foram identificados com base nos valores de nicho ecológico que permitem compreender a diferenciação da adequação do habitat existente ao longo da distribuição da espécie na Bolívia.

RESULTADOS

Registros de ocorrências de ambas as espécies na Bolívia

Um total de 1.692 registros foram obtidos para *C. yacare* que, após a limpeza, foram reduzidos para 984 (Figura 2). Já para *M. niger*, foram obtidos 165 registros, que foram reduzidos para 141 após a depuração (Figura 2). Em termos gerais, observou-se que os registros do jacaré estão mais distribuídos no âmbito geopolítico e biogeográfico do estudo em comparação com *M. niger*, que apresentou maioritariamente registros no norte do país, concentrados principalmente nos departamentos de Beni, La Paz e Pando.



Modelos de nicho e distribuição potencial

No caso do jacaré, foram selecionadas 18 variáveis preditoras (Tabela 1) que, por não se correlacionarem entre si, fornecem

informações de forma independente e resumem, de forma ótima, as informações consideradas nas 30 variáveis iniciais.

Tabela 1. Variáveis selecionadas para desenvolver modelos de nicho ecológico e distribuição potencial do jacaré

Nro	Código	Variável	Categoria
1	bio1	Temperatura média anual	Tendências anuais
2	bio2	Amplitude média diurna (média mensal (temperatura máxima - temperatura mínima))	Tendências mensais
3	bio3	Isotermalidade	Tendências anuais
4	bio4	Sazonalidade de temperatura	Tendências sazonais
5	bio10	Temperatura média do trimestre mais quente	Fatores limitantes
6	bio11	Temperatura média do trimestre mais frio	Fatores limitantes
7	bio12	Precipitação Anual	Tendências anuais
8	bio14	Precipitação do mês mais seco	Fatores limitantes
9	C2_FlorestaSempreVerde	Vegetação arbórea perene	Cobertura vegetal
10	C3_FlorestaDecidual	Vegetação florestal decidual	Cobertura vegetal
11	C4_FlorestaSemidecidual	Vegetação florestal decidual	Cobertura vegetal
12	C5_Arbustos	Vegetação arbustiva	Cobertura vegetal
13	C6_Herbácea	Vegetação herbácea	Cobertura vegetal
14	C7_VegetacionCultivada	Culturas agrícolas e plantações florestais	Cobertura vegetal
15	C8_VegRegInundada	Vegetação regularmente inundada	Cobertura vegetal
16	C12_AguasAbertas	Corpos de água permanentes	Cobertura vegetal
17	Ecorregião	Ecorregiões	Biogeografia
18	RadiaçãoSolar	Radiação solar	Tendências mensais

As variáveis que mais influenciam o modelo de nicho são corpos de água permanentes, vegetação regularmente inundada e precipitação anual. O modelo demonstrou um bom nível de precisão

(AUC = 0,891, \pm 0,003). Geopoliticamente, a maior disponibilidade de habitats adequados à presença da espécie ocorre principalmente no departamento de Beni, seguido de Santa Cruz (Figura 3).

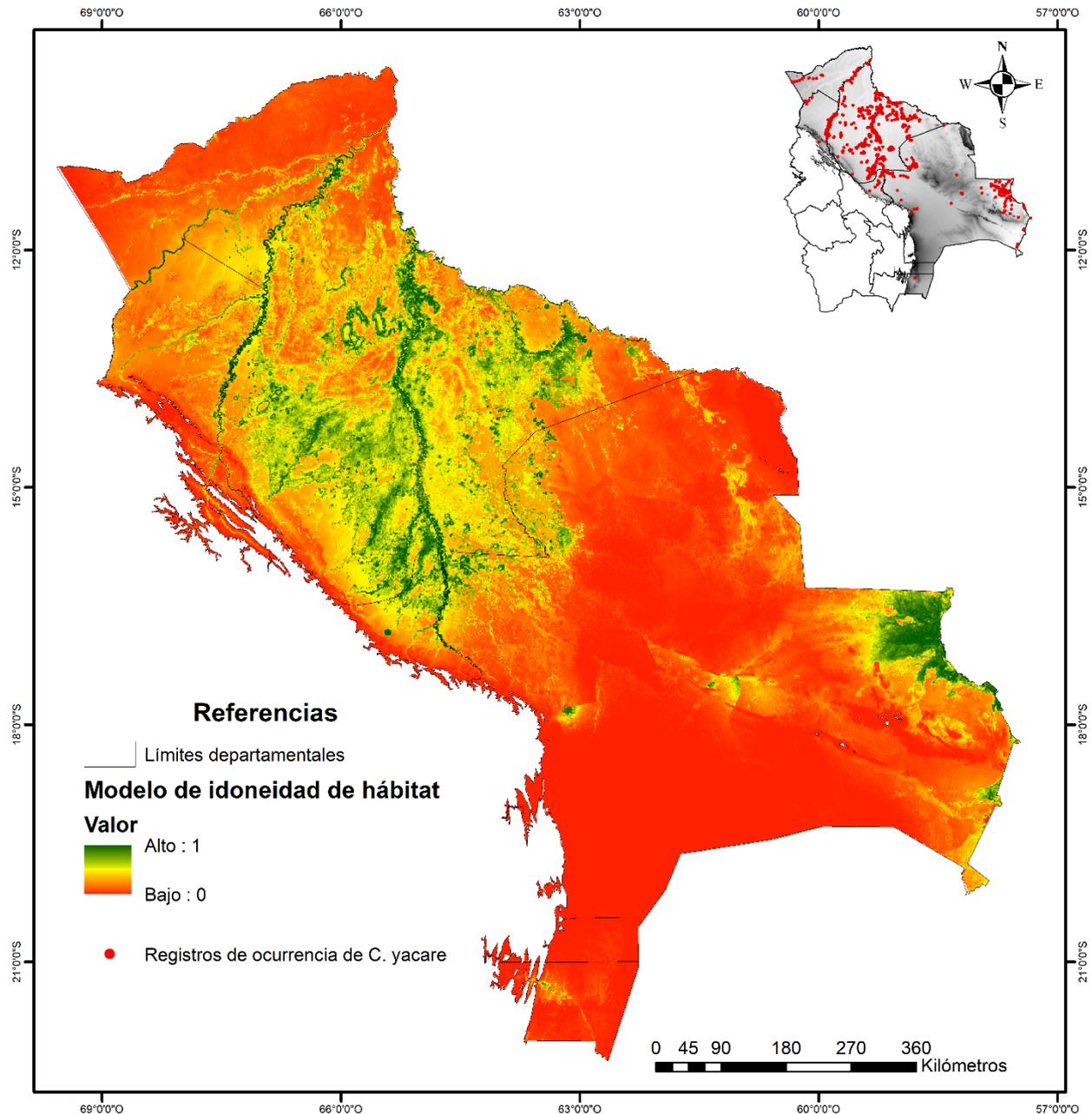


Figura 3. Modelo de adequação de habitat para o jacaré

No caso de *M. niger*, foram utilizadas 22 variáveis predictoras (Tabela 2); estas não foram correlacionadas entre si e resumem adequadamente as informações ambientais sem a necessidade de

considerar as 30 variáveis inicialmente propostas.

Tabela 2. Variáveis selecionadas para desenvolver modelos de nicho ecológico e distribuição potencial do jacaré-açunegro.

Nro	Código	Variável	Categoria
1	bio1	Temperatura média anual	Tendências anuais
2	bio2	Amplitude média diurna (média mensal (temperatura máxima - temperatura mínima))	Tendências mensais
3	bio3	Isotermalidade	Tendências anuais
4	bio5	Temperatura máxima no mês mais quente	Fatores limitantes
5	bio6	Temperatura mínima no mês mais frio	Fatores limitantes
6	bio7	Amplitude térmica anual	Tendências anuais
7	bio8	Temperatura média do trimestre mais úmido	Fatores limitantes
8	bio12	Precipitação Anual	Tendências anuais
9	bio14	Precipitação do mês mais seco	Fatores limitantes
10	bio18	Precipitação do trimestre mais quente	Fatores limitantes
11	bio19	Precipitação do trimestre mais frio	Fatores limitantes
12	C2_FlorestaSempreVerde	Vegetação arbórea perene	Cobertura vegetal
13	C3_FlorestaDecidual	Vegetação florestal decidual	Cobertura vegetal
14	C4_FlorestaSemidecidual	Vegetação florestal decidual	Cobertura vegetal
15	C5_Arbustos	Vegetação arbustiva	Cobertura vegetal
16	C6_Herbácea	Vegetação herbácea	Cobertura vegetal
17	C7_VegetacionCultivada	Culturas agrícolas e plantações florestais	Cobertura vegetal
18	C8_VegRegInundada	Vegetação regularmente inundada	Cobertura vegetal
19	C12_AguasAbertas	Corpos de água permanentes	Cobertura vegetal
20	Ecorregião	Ecorregiões	Biogeografia
21	RadiaçãoSolar	Radiação solar	Tendências mensais
22	Altitude	Altitude (m.a.s.l)	Tendências geográficas

O modelo apresentou um excelente desempenho (AUC = 0,971, \pm 0,004). Os corpos de água permanentes e a altitude foram os que mais influenciaram na determinação do modelo. Em relação à altitude, os valores mais favoráveis para a presença de *M. niger* situaram-se entre 100 e 200 metros acima do nível do mar, tendo seu pico máximo a 150 m. A maior área de adequação de habitat para a

distribuição potencial do jacaré-açu ocorre no Beni. Concentra-se, sobretudo, nas zonas baixas do rio Mamoré e seus habitats associados, onde existe uma paisagem dominada por lagoas. Os rios Machupo, Iténez, Itonama, Baures, Blanco e San Martín, por sua vez, apresentam habitats altamente adequados para a ocorrência da espécie (Figura 4).

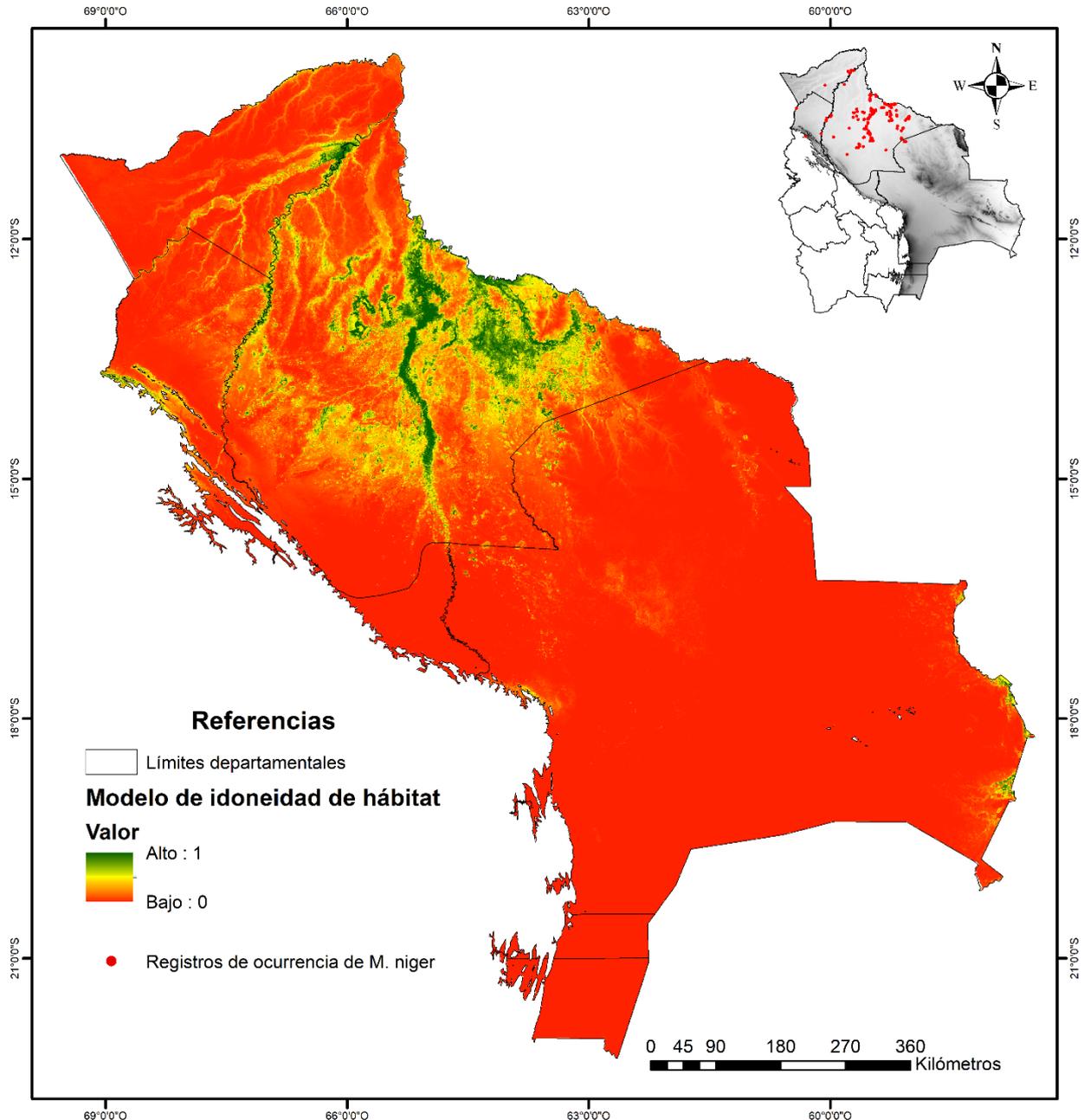


Figura 4. Modelo de adecuación de habitat para o jacaré-açu

Modelo de determinación da cota de colheita do Jacaré

Se houver dados atualizados de contagem de população, o modelo matemático apresentado a seguir deve ser usado para determinar as cotas de colheita com base na densidade de indivíduos exploráveis por km de costa de acordo com a legislação boliviana. No entanto, na ausência de

contagens atuais, as densidades potenciais de jacarés exploradas por km foram determinadas conforme explicado no capítulo correspondente à metodologia. A este respeito, revelou-se a existência de 4 zonas geográficas (Figura 5); **Grupo 1.** Inclui Pando, ao norte de La Paz e Beni centro-norte. **Grupo 2.** Parte central de La Paz e parte centro-sul de Beni. **Grupo 3.**

Principalmente a paisagem fronteira entre Beni e Cochabamba. **Grupo 4.**

Principalmente no departamento de Santa Cruz, mas também considera Tarija.

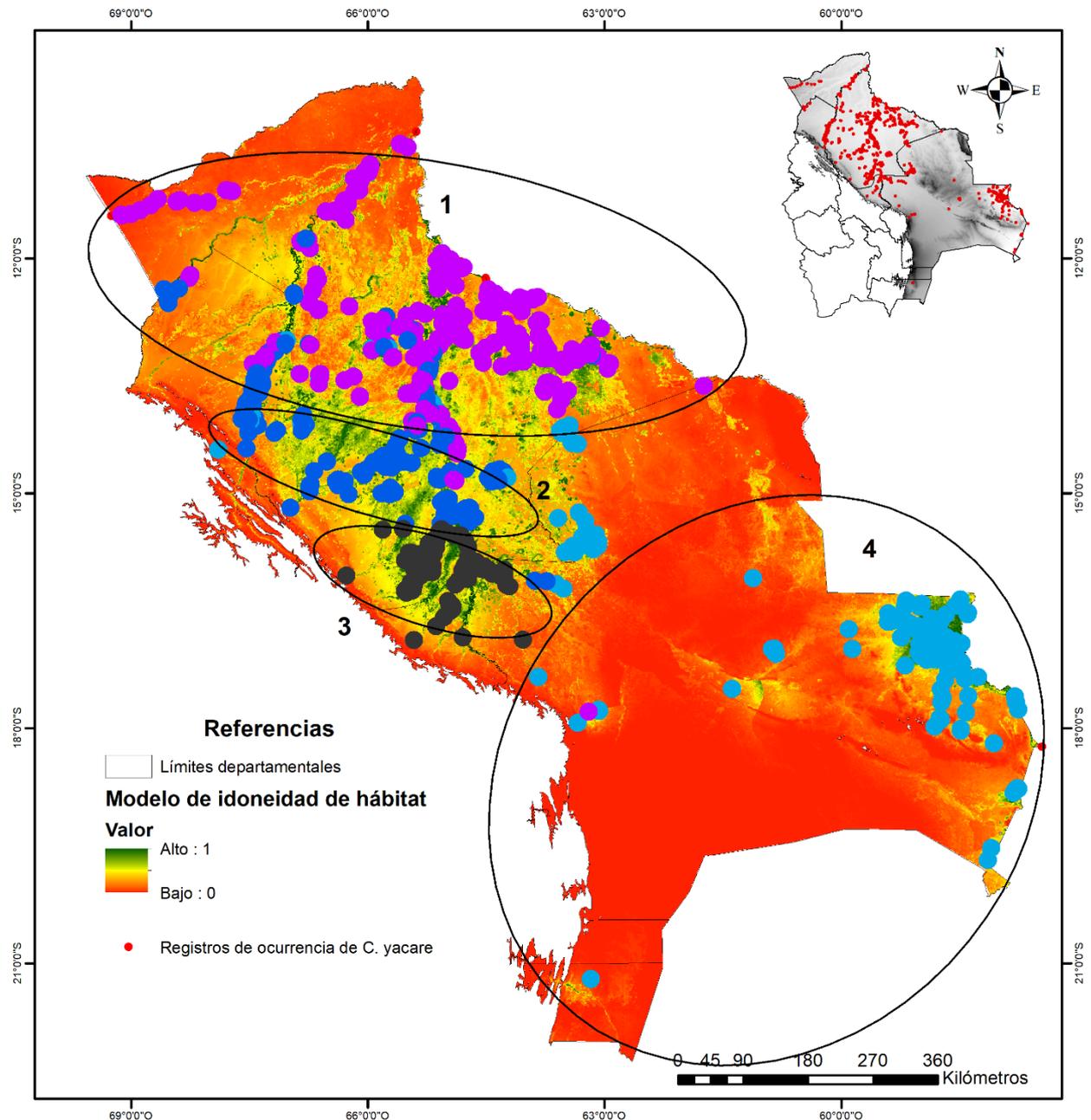


Figura 5. Grupos geográficos determinados com base em valores de nicho ecológico para jacarés.

Nesse sentido, para os 4 grupos geográficos, dependendo dos tipos de corpos de água classificados, identificou-se que apenas os grupos 1 e 4 apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de

densidade de jacarés explorados por km de litoral e os tipos de corpos de água. Os maiores valores de densidade foram encontrados em corpos de água lânticos (Figura 6).

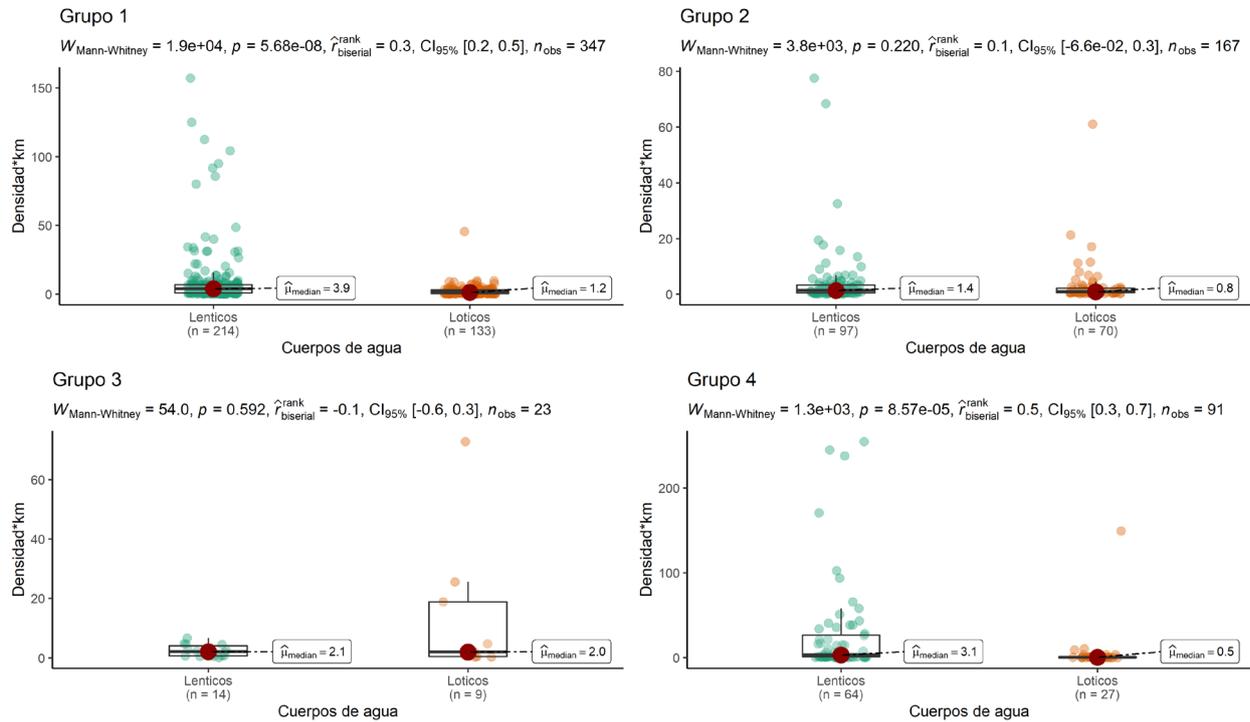


Figura 6. Contraste entre densidades de jacarés exploradas por km de litoral com tipos de corpos de água para cada grupo geográfico.

Com base nesses resultados, foram determinados os valores típicos de densidade de indivíduos exploráveis por km de costa a serem considerados para determinar as cotas de colheita do jacaré

na ausência de contagens populacionais atualizadas, utilizando o modelo matemático proposto neste estudo (Tabela 3).

Tabela 3. Quantidade potencial de jacarés exploráveis por km de costa a ser considerada na determinação das cotas de colheita na ausência de dados populacionais atualizados e com base no tipo de corpo de água e grupo geográfico identificados.

ID	Espécie	Grupo	Corpo d' água	Indivíduos exploráveis * km de costa
1	Jacaré	1	Lênticos	4
2			Lóticos	1
3		2	Lênticos	1
4			Lóticos	1
5		3	Lênticos	2
6			Lóticos	2
7		4	Lênticos	3
8			Lóticos	1

Por fim, a figura a seguir (Figura 7) apresenta as fórmulas matemáticas propostas e sintetiza o modelo desenvolvido para a determinação das cotas de colheita do jacaré na Bolívia, e pretende atuar como uma árvore de

decisão processual para facilitar a aplicação do modelo aos órgãos responsáveis que determinam as cotas anuais de colheita do jacaré nos níveis predial, departamental e nacional.

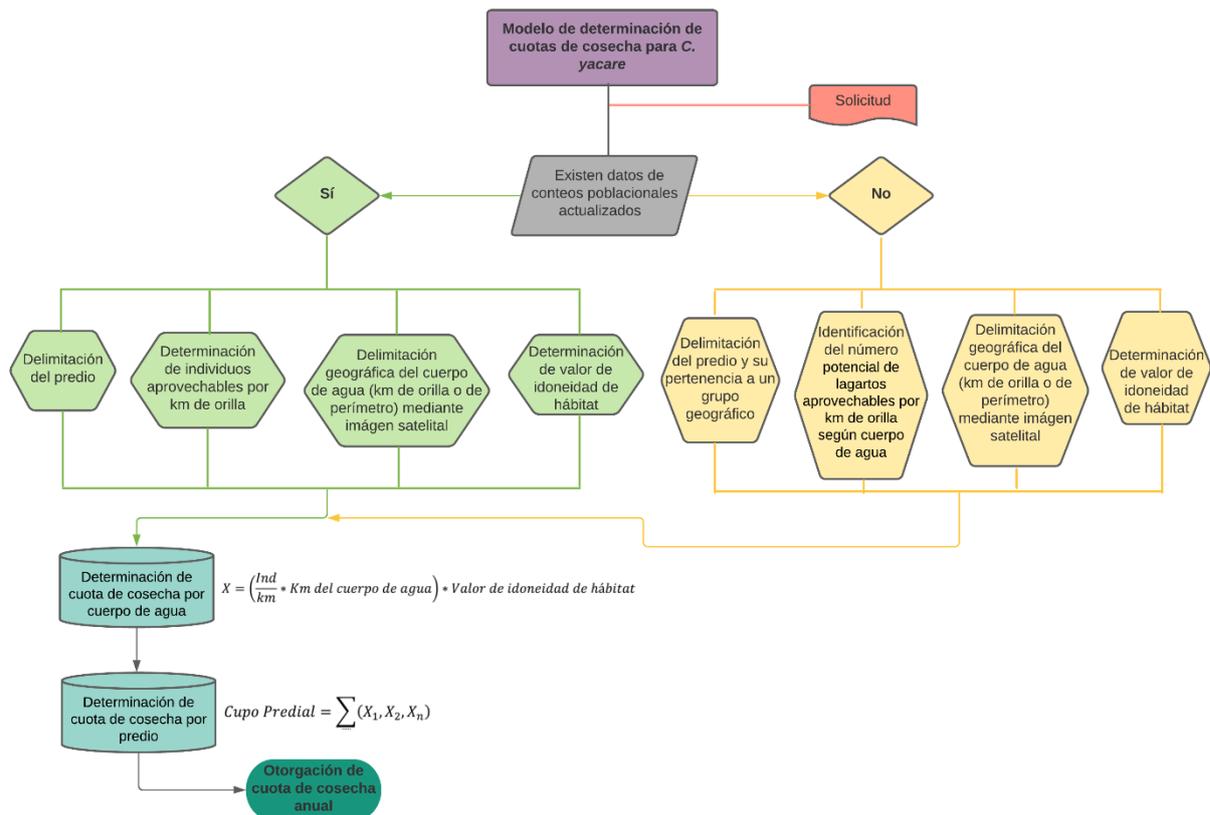


Figura 7. Fluxograma que sintetiza o modelo de determinação das cotas de safra desenvolvido para o jacaré.

No caso do jacaré-açu, foi revelada a existência de 2 zonas geográficas (Figura 8); **Grupo 1.** Pando e Beni centro-norte.

Grupo 2. Parte central de La Paz e parte centro-sul de Beni.

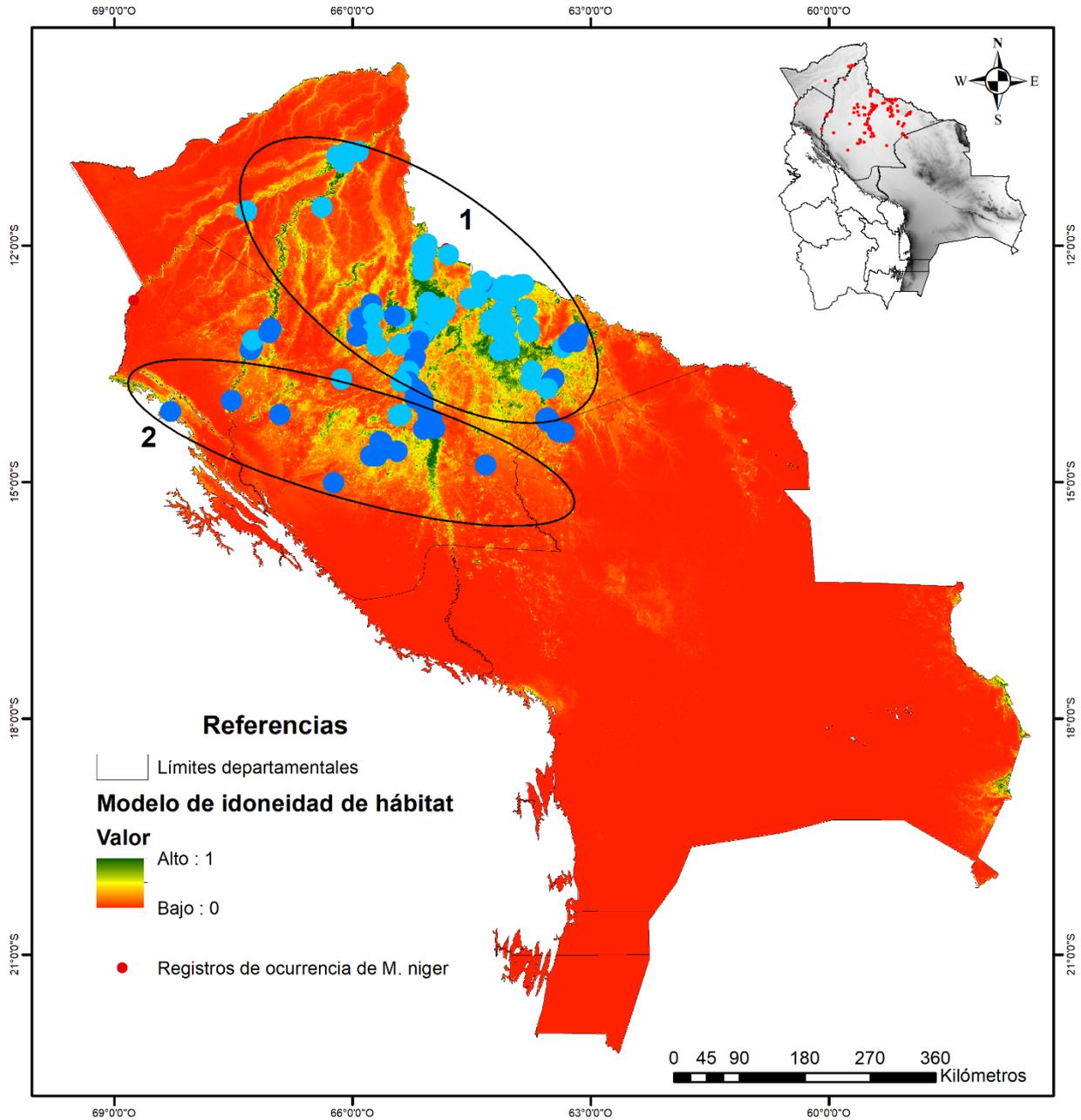


Figura 8. Grupos geográficos determinados com base em valores de nicho ecológico para jacaré-açu.

Por fim, ocorrem áreas prioritárias no Beni onde podem ser desenvolvidas ações de manejo e conservação das populações de jacaré-açu (Figura 9). Associado, sobretudo, a grandes lagoas (Rogaguado, Larga e Yahehaja) e rios principais

(Mamoré, Iténez e San Martín). Nessas áreas, os esforços de conservação de habitat devem ser priorizados, pois apresentam altos valores de adequação do habitat para o fortalecimento da população de *M. niger*.

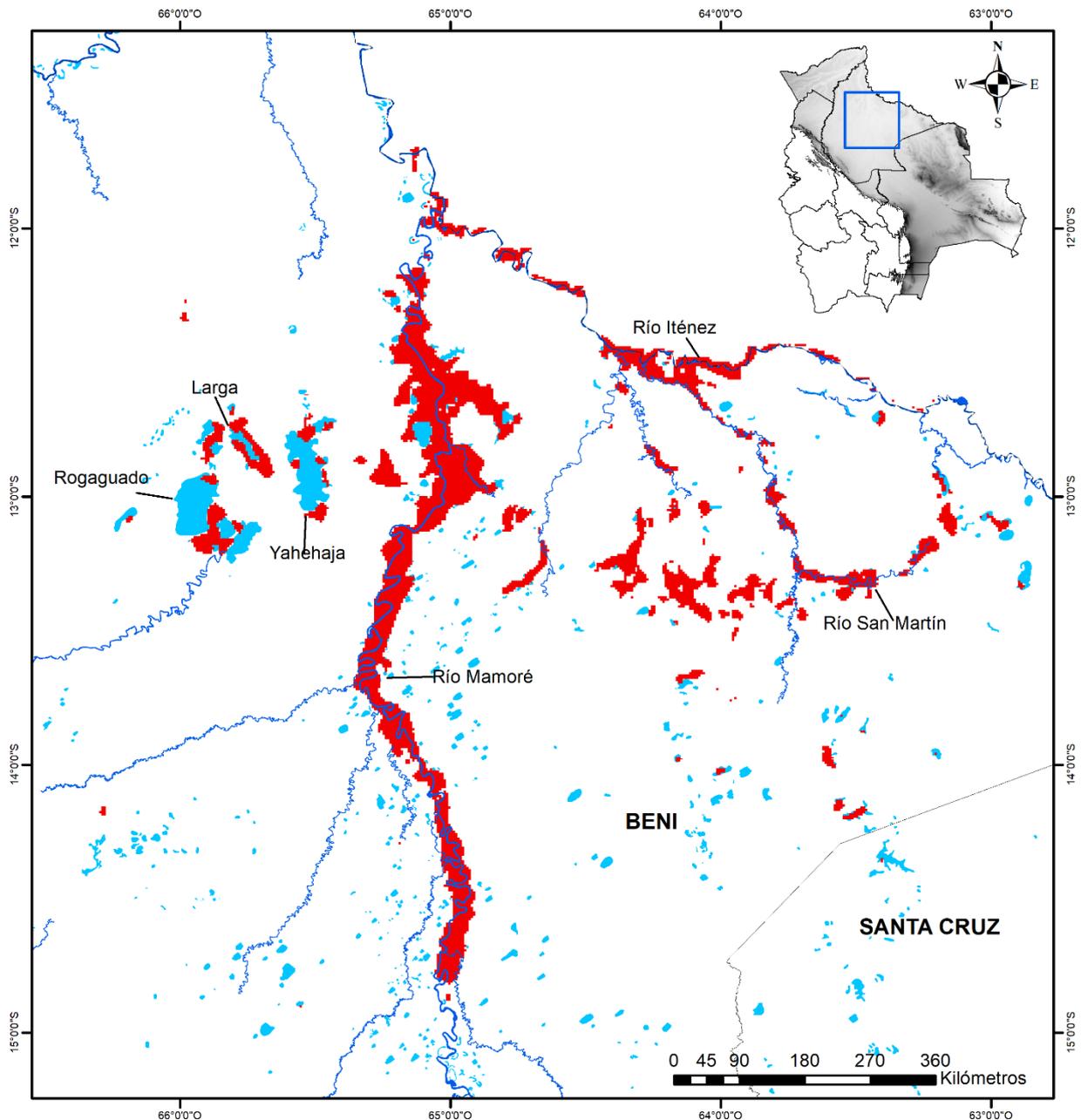


Figura 9. Áreas de conservação prioritárias para *M. niger* com base em altos valores de adequação de habitat para a espécie.

CONCLUSÕES

- O modelo proposto pelo MHNNKM para a determinação das cotas nacionais de colheita do jacaré foi atualizado e ajustado.
- Para este modelo ajustado, foram considerados dois aspectos não incluídos anteriormente e que servem para melhorar sua precisão; *i.* Foram considerados os valores de adequação de habitat que estão relacionados às informações sobre a história natural das espécies. *ii.* A extensão geográfica total dos corpos de água avaliados foi determinada individualmente por digitalização manual, utilizando imagens de satélite de alta resolução.
- O modelo para determinação das cotas de colheita de lagartos deve, idealmente, ser executado com dados atualizados sobre a situação populacional da espécie, uma vez que sempre haverá incerteza na provável colheita anual; No entanto, dados históricos também podem ser usados considerando as densidades típicas de indivíduos exploráveis de acordo com o tipo de corpo de água determinado e o grupo geográfico identificado.
- O modelo é uma ferramenta biológica, estatística e geoespacial que permitirá determinar com eficiência as cotas de colheita dos jacarés na Bolívia. Este modelo deve ser exaustivamente testado, tanto com dados atuais quanto históricos para, se necessário, continuar a ajustá-lo em favor do manejo e conservação dos crocodilianos na Bolívia.
- Em relação ao jacaré-açu, foram estabelecidos 2 grupos geográficos diferenciados com base nos valores de seus nichos ecológicos, bem como áreas prioritárias de conservação de interesse para o início de ações de fortalecimento populacional da espécie.
- Por fim, todos os resultados gerados não devem ser considerados definitivos ou estáticos ao longo do tempo, pois, diretamente, são função da quantidade de dados disponíveis sobre a situação populacional do jacaré ou jacaré-açu na Bolívia, portanto, ambos os modelos de nicho, a exemplo do modelo matemático desenvolvido para a determinação das cotas de colheita do lagarto jacaré, podem e devem continuar sendo atualizados à medida que são testados, e que novos dados são gerados por meio de avaliações populacionais em campo.

REFERÊNCIAS

- Aparicio, J., A. Llobet & L. Pacheco. 1999. Criterios utilizados para recomendar una cuota de cosecha de *Caiman yacare* en Bolivia para 1999. Viceministerio de Desarrollo Sostenible y Medio ambiente, La Paz, Bolivia.
- Aparicio J. & J.N. Rios. 2004. Experiencias de manejo en el proceso de aprovechamiento sostenible del Lagarto (*Caiman yacare*) en Bolivia (1995 –2004). Rev. Electrónica Manejo de Fauna Silvestre en Latinoamérica. 103 -110.
- Aguilera, X., J.S. Coronel, T. Oberdorff & P.A. Van Damme. 2007. Distribution patterns, population status and

- conservation of *Melanosuchus niger* and *Caiman yacare* (Crocodylia, Alligatoridae) in oxbow lakes of the Ichilo river floodplain, Bolivia. *Revista de Biología Tropical* 56(2): 909-929.
- Cisneros, F. 2006. Bases para el manejo y repoblamiento del Caiman negro (*Melanosuchus niger*) en el Territorio Indígena Parque Nacional Isiboro Secure (T.I.P.N.I.S.). 101 p.
- CITES. Checklist of CITES. Checklist of CITES. Sitio Web: <https://www.cites.org/>
- ESRI. 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Ibisch, P.L. & G. Mérida. 2003. Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra - Bolivia.
- Liceaga, I., S. Ten & M. González. 2001. Abundancia y estructura poblacional de crocodilios en la Reserva Inmovilizada Iténez (Beni, Bolivia). *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 10: 117-123.
- Llobet, A., L.F. Pacheco & J. Aparicio. 2004. Analysis of the Program of Conservation and Use of the spectacled caiman (*Caiman yacare*) in Bolivia, and recommendations to improve it. In Proceedings of the 17th Working Meeting of the Crocodile Specialist Group, IUCN. The World Conservation Union, Gland, Switzerland.
- MMAyA. 2009. Libro rojo de la fauna silvestre de vertebrados de Bolivia [Red Book of the Vertebrate Wildlife of Bolivia]. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. La Paz, Bolivia.
- Ojasti, J. 1996. Wildlife utilization in Latin America: Current status and prospects for sustainable management. FAO, Rome, Italia.
- Pacheco, L.F. 1999. Plan de Acción para los Caimanes de Bolivia. *Ecología de Bolivia*. 27(10): 46-49.
- Palma-Ordaz, S. & J. Delgadillo-Rodríguez. 2014. Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Botanical Sciences* 92(4): 587-597.
- Phillips, S., M. Dudík & R.E. Schapire. 2021. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Disponible en: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/.
- Rodríguez-Cordero, A.L., S.A. Balaguera-Reinab, L.D. Densmore. 2019. Regional conservation priorities for crocodylians in Bolivia. *Journal for Nature Conservation* 52(2019): 1-13.
- Swets, J.A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240: 1285-1293.
- Thorbjarnarson, J. 1998. Status, ecology and conservation of crocodile (*Crocodylus intermedius*) in Venezuela. FUDENA. Caracas, Venezuela.