

Explorando los impactos del cambio climático: perspectivas desde la Biogeografía

Sabrina Noelia Portelli ^{1,2}

¹ Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa – CONICET). e-mail: sabrina.portelli@gmail.com

²Cátedra de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta

El cambio climático, como señala Smith (2020), representa una amenaza significativa para los ecosistemas en la actualidad. Esta amenaza se manifiesta a través de una serie de impactos, que incluyen la alteración de la distribución de las especies, la reducción en la disponibilidad de recursos necesarios para su supervivencia, y la degradación de hábitats que puede conducir a la extinción de las mismas. Abordar el estudio del cambio climático y la pérdida de biodiversidad es un desafío ecológico, político y humanitario en el cual se está transitando. Actualmente se deberían establecer políticas que intenten prevenir los peores impactos sobre la biodiversidad. Sin embargo, existe una limitación que está relacionada por la escasa capacidad de conocimientos para predecir cómo responderán las especies a los diversos cambios ambientales que se están desencadenando a lo largo del tiempo. Es fundamental considerar que, actualmente, estamos experimentando un cambio gradual en las temperaturas a nivel global. Según el servicio climático de la Unión Europea (UE, <https://www.copernicus.eu/es/servicios/cambio-climatico>) el calentamiento global ha superado los 1,5°C durante todo un año, lo que conduce a un fenómeno conocido como cambio climático. El clima desempeña un papel crucial en prácticamente todos los aspectos de la ecología, fisiología y el comportamiento de los organismos (Uribe Botero, 2015). Por lo tanto un cambio en el mismo produciría un impacto complejo sobre la biodiversidad. En este contexto, es crucial considerar el papel fundamental de una rama de la Biología, la Biogeografía. Ésta se encarga del estudio de las distribuciones geográficas de las especies y de los factores y procesos que determinan su distribución. En las últimas décadas, esta disciplina ha evolucionado de ser principalmente una ciencia histórica y descriptiva a convertirse en una disciplina dinámica que ofrece información crucial sobre el futuro de la vida en nuestro planeta (Monge-Najera, 2008). El cambio climático requiere desarrollar técnicas analíticas que nos permitan evaluar la distribución real, potencial y futura de la biodiversidad.

Una línea de investigación que ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años es el análisis de patrones espaciales de presencia y ausencia de especies, centrado en los Modelos de Distribución de Especies (MDE). Estos modelos son herramientas cartográficas que proyectan los posibles espacios geográficos para la presencia de una especie en función de diversas variables ambientales. En esencia, se fundamentan en la relación entre las observaciones de presencia o abundancia de especies y factores ambientales clave, como el clima, el suelo y la topografía (Franklin *et al.*, 2013). En la actualidad, existen varias técnicas de modelado, todas están basadas en fórmulas matemáticas y estadísticas, entre la distribución conocida de un organismo y los predictores ambientales utilizados. Los factores que se pueden tener en cuenta a la hora de modelar son aquellos climáticos, geológicos, topográficos, entre otros, y se espera que con algunos de ellos, ya sea individualmente o en combinación, se puedan establecer las características que definan las condiciones ambientales favorables para la presencia de una especie. Cabe destacar que los MDE están estrechamente relacionados a un aspecto importante de la investigación biogeográfica: los Sistemas de Información Geográfica (SIG, GIS en inglés, Geographic Information System).

Sistema de información geográfica (SIG): es una herramienta informática diseñada para obtener, almacenar, manipular, analizar y presentar datos geográficos y espaciales. Estos sistemas integran datos geográficos (como mapas, imágenes satelitales, modelos digitales de elevación) con otras bases de datos de información (distribución de las especies, población, medio ambiente, etc.) para proporcionar un medio efectivo de visualizar y comprender la información geoespacial. Los SIG, además de en biología, son utilizados en otras ciencias como Agronomía, Arqueología y Geología, entre otras.

¿Cómo funcionan los modelos de distribución de especies?

En primer lugar, es fundamental disponer de un conjunto de datos que refleje con la mayor precisión posible la distribución real de la especie, abarcando de manera exacta el espacio geográfico en el que su presencia está confirmada. Estos datos se obtienen a partir de registros recopilados en campañas de campo, trabajos científicos y de colecciones científicas depositadas en Museos de Ciencias Naturales y/o Universidades. Por otro lado, es necesario considerar la distribución potencial de la especie, que se refiere al territorio que podría ser ocupado por la especie al presentar condiciones similares a aquellas de los lugares donde su presencia está confirmada con certeza. Esta última resulta útil para especies poco conocidas o con distribuciones en áreas geográficas inaccesibles que dificultan la confirmación de su presencia. Como se dijo anteriormente la creciente adopción generalizada de los SIG, ha aumentado la prevalencia en el uso de herramientas que facilitan el análisis de patrones espaciales. En el contexto actual, el enfoque es específicamente el desarrollo de

modelos de distribución de especies. Este modelo resulta un importante instrumento para múltiples trabajos dentro de la biogeografía de la conservación, la gestión de los ecosistemas, determinación de áreas protegidas y corredores ecológicos, la evaluación de impacto ambiental, la predicción de la distribución potencial de las especies y el estudio de la respuesta de los organismos al cambio climático, entre otras (Castro, 2020). Es importante señalar que al aplicar un modelo de distribución de especies, se pueden deducir los factores que influyen en su distribución. Dado que uno de los factores más determinantes sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos es el clima, en los modelos de distribución predominan las variables climáticas. No obstante, también existen otras variables dignas de consideración (por ejemplo, características del suelo).

Las variables climáticas más utilizadas pueden ser obtenidas: por mecanismos propios (provenientes de estaciones biológicas) o a través de una base de datos o repositorio en internet (por ejemplo, BIOCLIM, WORLDCLIM). En base a todos estos datos, es posible generar resultados predictivos sobre la distribución futura potencial de la especie, además en el caso de contar con registros biogeográficos históricos, se puede inferir el comportamiento pasado-futuro de la especie en un área específica. La aplicación de los MDE en un análisis puede incluir dos clases de modelado, el primero desde un modelo climático que predicen cómo los cambios en el clima afectarán la distribución geográfica de las especies, y el segundo desde un modelo de dispersión que considera cómo las especies pueden migrar o dispersarse en respuesta a cambios del clima. Este último puede tener en cuenta factores como la capacidad de dispersión de la especie y la presencia de barreras geográficas (Figura 1).

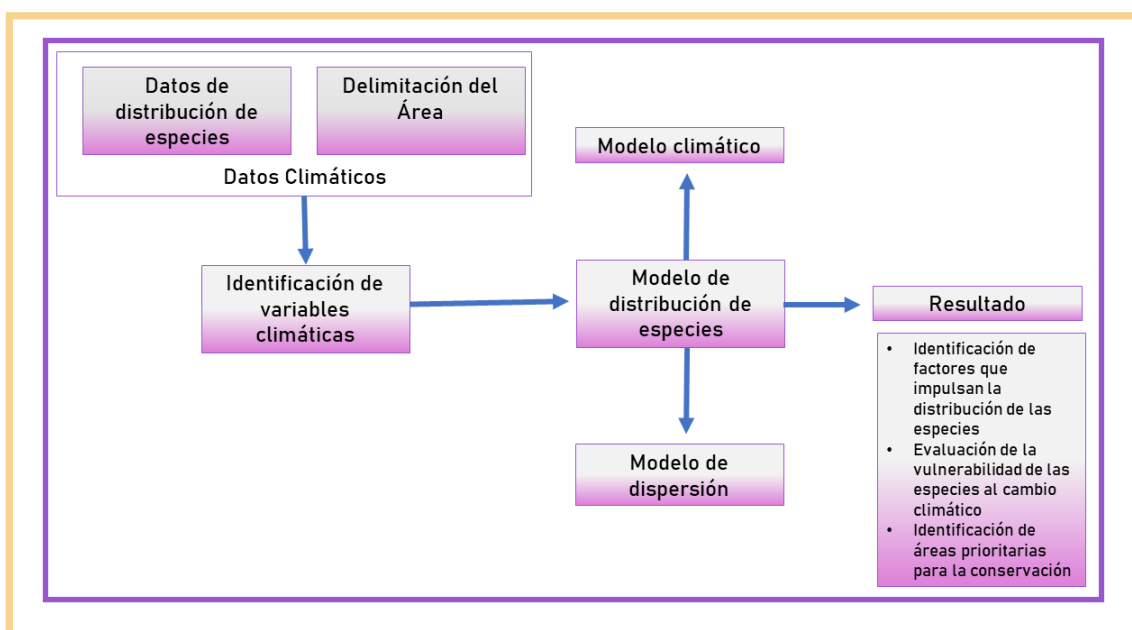


Figura 1. Etapas del desarrollo de un modelo de distribución de las especies sometidas a cambio climático (Red conceptual modificada de Frangou *et al.*, 2010).

Es fundamental destacar que los resultados generados por los MDE pueden no ser precisos en algunos casos, sin embargo, siguen siendo valiosos en términos de proporcionar información útil para decisiones futuras. Cuando se abordan los modelos en los cambios de la biodiversidad debido al cambio climático, una de las principales dificultades radica en la falta de conocimiento acerca del número total de especies que habitan en los diversos tipos de ecosistemas. En este último caso, los científicos deben realizar extrapolaciones aproximadas sobre las posibles repercusiones del cambio climático en la biodiversidad de dichos ecosistemas.

Un caso de estudio: Modelado de nichos para caracterizar la distribución del presente y futuro de *Argolebias nigripinnis* (Cyprinodontiformes: Rivulidae)

Sobre la especie:

Argolebias nigripinnis es una especie perteneciente al género de peces anuales, los cuales están presentes en el noreste de Argentina, sureste de Bolivia, sur de Brasil, Paraguay y Uruguay. Se encuentran generalmente en charcos temporarios, cerca de los ríos y bañados, durante la temporada de lluvias en donde viven hasta producirse la evaporación total de las aguas. Ellos desovan a varios centímetros bajo el sustrato poco antes de su muerte, de esta manera, el desarrollo embrionario se produce bajo tierra en aproximadamente 3 meses hasta que las nuevas lluvias inundan nuevamente los charcos, produciendo un nuevo ciclo con el nacimiento de los peces (ver [Alonso et al., 2020. Temas BGNOA, vol. 10, n°1](#)).

A. nigripinnis (Figura 2) particularmente posee una distribución que abarca desde el arroyo Zapirán, afluente del bajo río Paraguay (Provincia de Chaco) en su límite norte, incluyendo toda la cuenca media del río Paraná-Uruguay (provincias de Santa Fe, Corrientes, Entre Ríos) y toda la franja costera del río Uruguay (en Uruguay), la cuencas del río Luján, y del Río de la Plata, hasta su límite meridional en la localidad de Magdalena (provincia de Buenos Aires) (Calviño, 2007) (Figura 3).

Sobre el modelado:

Como se mencionó, para obtener un modelo de distribución de especies, se deben tener en cuenta dos clases de datos fundamentales: la distribución (presencia) de la especie y los factores ambientales (variables tales como temperatura, humedad, entre otras).

Datos de presencia de la especie: Son las localidades donde se detectó la especie y fueron georreferenciadas, siendo su fuente de información la base de datos de los viajes de colectas (Dr. Alonso y colaboradores), los cuales están depositados en la colección Ictiológica del IBIGEO (Instituto



Figura 2. Macho ejemplar de *A. nigripinnis*. Gentileza Felipe Alonso.

de Bio y Geociencias del NOA – UNSa- CONICET, Salta Argentina) y de trabajos científicos publicados (Alonso *et al.*, 2023). También se hizo una revisión en la base de datos digitales de libre acceso para obtener este tipo de información como GBIF (Global Biodiversity Information Facility/Facilidad Mundial de Información sobre Biodiversidad, traducido). Para la utilización de estos datos, se debe proceder a un minucioso control de calidad para verificar y/o corregir las coordenadas geográficas de los puntos de colecta.

Georreferencias: en contexto de biodiversidad, es la ubicación geográfica de una especie, estos datos suelen estar expresados en coordenadas geográficas, como latitud y longitud (ej. 34°36'47" S y 58°22'63" O), que permiten ubicar con precisión un punto en la superficie terrestre.

GBIF (Facilidad Mundial de Información sobre Biodiversidad): Es una red internacional en línea que proporciona acceso gratuito y abierto de datos sobre biodiversidad de todo el mundo. Su objetivo principal es facilitar el acceso a información sobre la diversidad de la vida en la Tierra, incluyendo datos sobre especies, su distribución geográfica, y otros aspectos relevantes para la investigación y la conservación de la biodiversidad. GBIF recopila datos de diversas fuentes, como museos, herbarios, instituciones académicas y organizaciones de conservación, y los pone a disposición del público a través de su plataforma en línea.

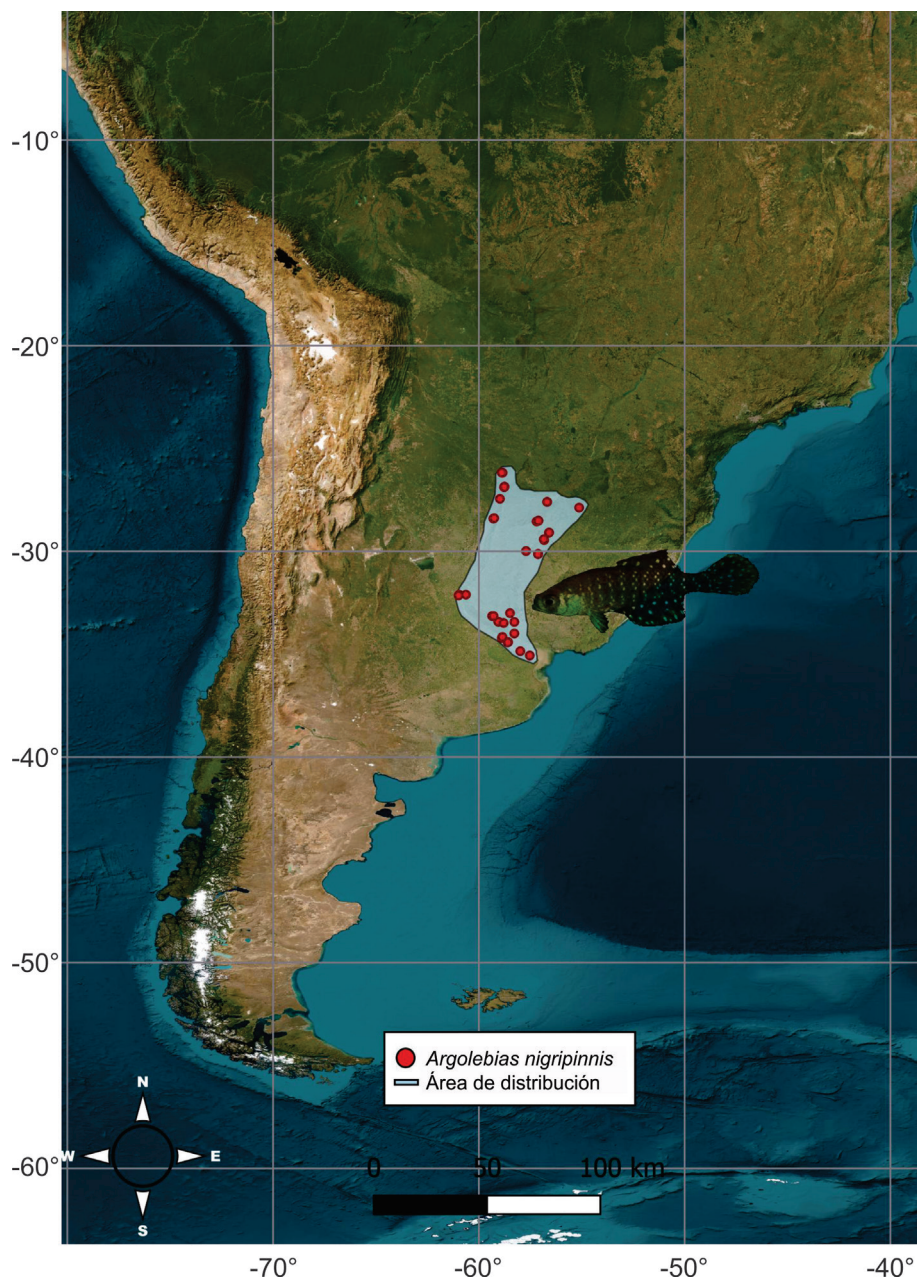


Figura 3. Registros de distribución (puntos rojos) de *A. nigripinnis* y el área estimada basada en esos registros donde posteriormente se modelarán para establecer condiciones aptas para la distribución de la especie a futuro.

Obtención de datos ambientales: se seleccionaron datos ambientales para SIG que son ecológicamente relevantes para el área de estudio y la distribución de la especie. Para esta investigación se utilizaron las variables bioclimáticas que se encuentran en la página web de WorldClim (<https://www.worldclim.org/data/bioclim.html>) (Ver tabla 1). Contiene variables climáticas no solo para periodos temporales pasados y recientes, sino también, predicciones para periodos futuros (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100). En este caso para el análisis se tuvo en cuenta

variables en dos rangos de tiempo (2021-2040) y (2041-2060). Estos rangos se eligieron, porque incluyen datos actuales y proyecciones a futuro. Wordclim ofrece 19 variables climáticas para su estudio. Sin embargo, aquí se trabajó únicamente con dos de ellas, que se consideran las más relevantes o específicas para comprender la biología de la especie en estudio. Es importante resaltar que la selección de estas variables no se hizo de manera arbitraria, sino que se basó en un análisis estadístico para calcular las capas climáticas (variables) que resultaron más biológicamente significativas. Estas dos variables se identifican como BIO 7 y BIO 12 (Ver tabla 1). Ambas variables (también consideradas capas climáticas) se recortaron en base al área de distribución de la especie y posteriormente se emplearon en los análisis de modelos con ayuda de software específico diseñados para encontrar la relación entre las variables ambientales y la distribución de la especie (Figura 4).

Tabla1. Variables bioclimáticas que presenta la plataforma WorldClim.

Código	Variables climáticas
BIO1	Temperatura promedio anual
BIO2	Rango medio diario (temp máx – temp min; promedio mensual)
BIO3	Isotermalidad (BIO1/BIO7)* 100
BIO4	Estacionalidad en temperatura (coeficiente de variación)
BIO5	Temperatura máxima del período más caliente
BIO6	Temperatura mínima del período más frío
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media en el trimestre más lluvioso
BIO9	Temperatura promedio en el trimestre más seco
BIO10	Temperatura promedio en el trimestre más caluroso
BIO11	Temperatura promedio en el trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación en el período más lluvioso
BIO14	Precipitación en el período más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación en el trimestre más lluvioso
BIO17	Precipitación en el trimestre más seco
BIO18	Precipitación en el trimestre más caluroso
BIO19	Precipitación en el trimestre más frío

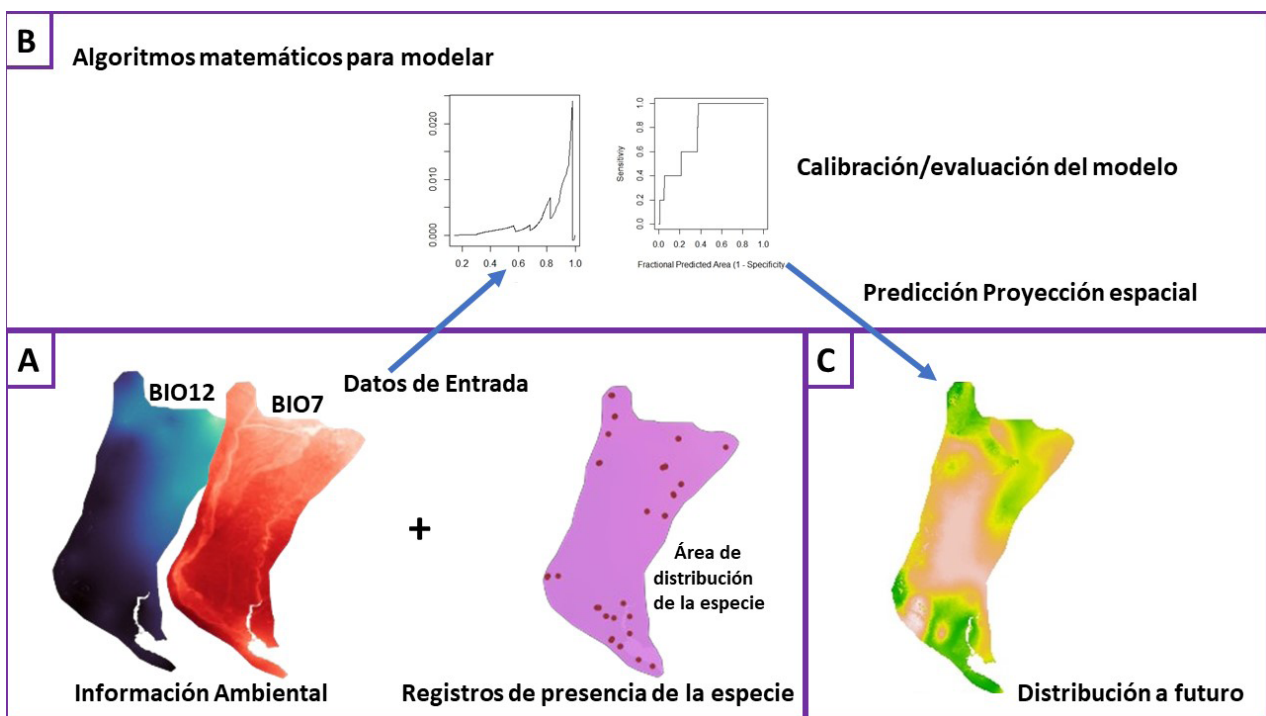


Figura 4. Pasos metodológicos para generar modelos de distribución a futuro de *A. nigripinnis*.

Resultados:

Se obtuvieron dos mapas modelo correspondientes al presente y al futuro con la combinación de las dos variables para el análisis (BIO7 y BIO12). Los modelos presentan colores para indicar la probabilidad que las condiciones son adecuadas: el verde indica una alta probabilidad de condiciones adecuadas para la potencial presencia de la especie, marrón y sombras más tenues a blanco indican una baja probabilidad de condiciones adecuadas para la potencial presencia de la especie (Figura 4).

Si se observa el modelo 2 (Figura 5) en comparación al modelo 1 se destaca la pérdida de territorio en el norte del área de distribución, con pérdida de condiciones aptas para el desarrollo y supervivencia de la especie. Sin embargo, al sur del área se puede observar cómo se amplían zonas de distribución de *A. nigripinnis* donde las condiciones son favorables para su presencia y desarrollo. Por lo tanto, esto significaría que el cambio climático modificaría la distribución de la especie debido a que algunas de las variables de mayor importancia para el “modelo a futuro” favorecerían su supervivencia, al sur de su distribución actual. Siempre considerando que a futuro estos hábitat no sean amenazados por la deforestación, invasiones, expansión agrícola y disturbios antropogénicos. En este caso sería importante considerar otros modelos que toman en cuenta procesos de deforestación y cambio de uso de suelo, por lo que podrían generar resultados predictivos diferentes, sobre todo porque en esta área de estudio están ocurriendo de manera constantes cambios antropogénicos que pueden alterar las condiciones ambientales y la disponibilidad de hábitat para la especie.

La biogeografía desempeña un papel fundamental en la comprensión de la distribución de las especies en la Tierra y en la identificación de los procesos que moldean tales distribuciones.

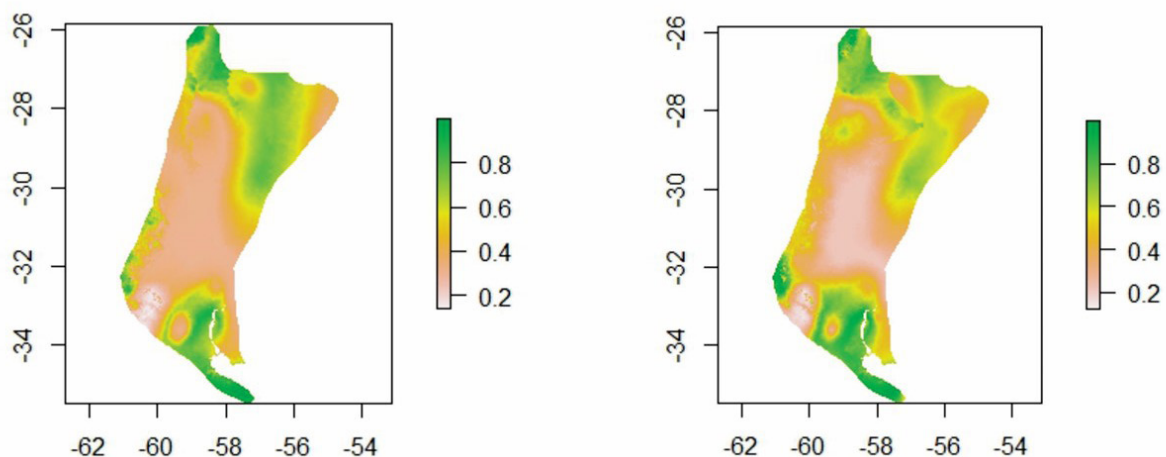


Figura 5. Modelo 1 indica distribución en el rango de tiempo (2021-2040). Modelo 2 indica distribución en el rango de tiempo (2041-2060) ambos para la especie *A. nigripinnis*.

Dentro de esta disciplina, los modelos de distribución son una herramienta esencial para la comprensión y predicción de los efectos del cambio climático sobre las especies y los ecosistemas. Al proporcionar proyecciones detalladas y contextualizadas, estos modelos ayudan a los científicos y a los responsables políticos a anticipar y mitigar los impactos del cambio climático en los ecosistemas y en las comunidades humanas que dependen de ellos. Además, son una herramienta valiosa para identificar áreas prioritarias para la conservación y facilitar la toma de decisiones informadas en el diseño de estrategias de adaptación y mitigación.

AGRADECIMIENTOS

A Felipe Alonso por la información y datos compartidos sobre la especie.

REFERENCIAS Y LITERATURA RECOMENDADA

ALONSO F, GE TERÁN, WS SERRA ALANÍS, P CALVIÑO, MM MONTES, ID GARCÍA, JA BARNECHE, A ALMIRÓN, L CIOTEK, P GIORGIS, J CASCIOTTA. 2023. From the mud to the tree: phylogeny of *Austrolebias* killifishes, new generic structure and description of a new species (Cyprinodontiformes: Rivulidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 199: 280–309, <https://doi.org/10.1093/zoolinlean/zlad032>.

ALONSO F, P CALVIÑO, W SERRA, I GARCÍA. 2020. Peces bajo tierra: Peces estacionales que pueden pasar la mayor parte de su vida enterrados, joyas de nuestra naturaleza. *Temas de Biología y Geología del NOA*, 10 (1): 5-26.

CALVIÑO R. 2007. Distribución geográfica de *Austrolebias nigripinnis* (Regan) (Cyprinodontiformes: Rivulidae) en Argentina, con comentarios sobre su variabilidad en el patrón de color. *Boletín del Killi Club Argentino, BIBKCA* 12: 22-38.

CASTRO A. 2020. Biogeografía y modelos de distribución de especies. *Revista Iberae*, 5: 30-34.

FRANGO A, RJ LADLE, ACM MALHADO, RJ WHITTAKER. 2010. La fauna, la flora y el calentamiento global. *El Mundo de la Ciencia*, 8 (1).

FRANKLIN J, FW DAVIS, M IKEGAMI, AD SYPHARD, LE FLINT, AL FLINT, L HANNAH. 2013. Modeling plant species distributions under future climates: how fine scale do climate projections need to be? *Global Change Biology*, 19(2): 473-83.

MONGE-NAJERA J. 2008. Ecological biogeography: a review with emphasis on conservation and the neutral model. *Gayana*, 72(1): 102 - 112.

SMITH J. 2020. Impacto del cambio climático en los ecosistemas. *Revista de Ecología y Medio Ambiente*, 15(2): 45-58.

URIBE BOTERO E, CEPAL. 2015. El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29216>