



UNIVERSIDAD METROPOLITANA DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
INSTITUTO DE ENTOMOLOGÍA

Tesis:

“Análisis del patrón de distribución actual de *Anopheles (Ano.) pseudopunctipennis* Theobald
(Diptera: Culicidae) en Chile y su proyección bajo los efectos del Cambio Climático.”

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
ENTOMOLOGÍA

Por:

Lara Valderrama Pérez

Director de Tesis

Christian González Aravena

SANTIAGO – CHILE

28 de agosto del 2020

INSTITUTO DE ENTOMOLOGIA
UMCE
INFORME DE APROBACIÓN
TESIS DE MAGISTER

Se informa al Instituto de Entomología que la Tesis de Magíster presentada por el candidato,

Lara Valderrama Pérez

Ha sido aprobada por la comisión de evaluación de la tesis como requisito para optar al Grado de Magíster en Ciencias con Mención en Entomología en el examen de Defensa de Tesis rendido el día....., de mes..... del año.....

Director de Tesis:

Christian González Aravena

Calificación:

Firma:

Comisión de Evaluación de la Tesis:

Antonio Rivera Hutinel

Calificación:

Firma:

Daniela Figueroa Pérez

Calificación:

Firma:



IDENTIFICACIÓN DE TESIS/INVESTIGACIÓN

Título de la tesis: Análisis del patrón de distribución actual de *Anopheles (Ano.) pseudopunctipennis* Theobald (Diptera: Culicidae) en Chile y su proyección bajo los efectos del Cambio Climático.

Fecha:

Facultad: Ciencias Básicas.

Departamento: Instituto de Entomología.

Programa: Magíster en Ciencias con Mención en Entomología.

Grado: Magíster en Ciencias con Mención en Entomología.

Profesor Guía: Christian González Aravena

AUTORIZACIÓN

Se autoriza la reproducción total o parcial de este trabajo de investigación para fines académicos por cualquier medio o procedimiento, siempre que se haga la referencia bibliográfica que acredite el presente trabajo y sus autores/as, y a su vez el alojamiento de éste en el repositorio institucional SIBUMCE del sistema de bibliotecas UMCE.

Lara Valderrama Pérez

Santiago de Chile, 28 de agosto, 2020.

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a mi familia, a mi pareja y a mis amigos que me apoyaron tanto emocionalmente como intelectualmente, reafirmando mi confianza para poder finalizar esta etapa.

Dedico especialmente esta tesis a mis dos grandes mentores y amigos, Christian y Carolina, que me dieron la oportunidad de entrar en el mundo de la entomología y despertaron en mí un gran interés por seguir formándome en esta área.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la DIUMCE por otorgarme la beca de arancel durante el segundo año del programa de Magíster y por el apoyo para asistir y presentar los resultados preliminares de esta tesis en el XI Congreso Latinoamericano y LIV Congreso Nacional de Entomología en Puerto Vallarta, México.

Además, agradezco al Instituto de Salud Pública de Chile por darme acceso a los datos nacionales necesarios para los análisis.

Mis más sinceros agradecimientos a Salvador por haberme presentado la modelación de distribución de especies, por su colaboración durante todo el desarrollo de la tesis y por su paciencia. También quiero agradecer a Daniela, Antonio y Patricia por haber compartido sus conocimientos conmigo durante las distintas etapas de este trabajo.

ÍNDICE

RESUMEN.....	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
III. HIPÓTESIS.....	20
IV. OBJETIVOS.....	21
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
VI. RESULTADOS.....	35
VII. DISCUSIÓN.....	77
VIII. CONCLUSIONES.....	89
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	91

RESUMEN

Anopheles (Ano.) pseudopunctipennis es una especie de mosquito que se distribuye desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Argentina y Chile, siendo una de las principales especies transmisoras de Malaria en dicha región. En Chile, la Malaria fue erradicada en 1945, sin embargo, el vector persiste confinado a quebradas de las regiones de Arica y de Tarapacá. El objetivo de este trabajo fue determinar el patrón de distribución de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* actual y bajo escenarios de cambio climático en Chile. Se realizaron dos modelos de distribución de especies para las condiciones climáticas actuales y proyectadas en escenarios de cambio climático (RCP4,5 y RCP8,5), utilizando datos de presencia nacionales y globales, aplicando un Modelo de Máxima Entropía (*Maxent*) y considerando 19 variables climáticas (*Worldclim*), 10 variables topográficas y 1 variable biótica. Se estimó que el patrón de distribución potencial de *An.(Ano.) pseudopunctipennis* abarca una mayor latitud que la distribución históricamente descrita en Chile, formando un corredor continuo desde las regiones de Arica hasta Antofagasta. Bajo los escenarios RCP 4,5 y 8,5 se proyectó que la distribución de esta especie en Chile ampliará su longitud y altitud hacia la Cordillera de Los Andes y su latitud hacia el sur, con un incremento de la probabilidad de presencia y de su área de extensión. Los análisis del patrón de distribución actual y proyectado bajo escenarios del cambio climático, entregan información biogeográfica- ecológica relevante, para aportar mayor conocimiento de esta especie en Chile, para un posible análisis de riesgo de reintroducción de Malaria autóctona y para complementar las estrategias de vigilancia vectorial aplicadas en dicha región.

Palabras claves: *Anopheles (Ano.) pseudopunctipennis*, cambio climático, Malaria, modelo de distribución de especies, *Maxent*

I. INTRODUCCIÓN

Los mosquitos, vectores de importancia médica

El Phylum Arthropoda corresponde al grupo animal más diversificado reuniendo alrededor de 1.200.000 especies conocidas y se estima que debe haber unas 5.000.000 de especies aún sin describir (Zhang, 2011). Dentro de los Arthropoda, la Clase Insecta es el grupo con mayor diversidad específica, concentrando más de 1.000.000 de especies (Gullan & Cranston, 2014; Raguso, 2020).

Los hábitos alimenticios de los insectos son diversos, siendo el hábito fitófago el más ampliamente difundido entre las distintas agrupaciones de Insecta. Sin embargo, alrededor de 15.000 especies han desarrollado el hábito de alimentación hematófago (Reisen, 2017). Esta estrategia, además de suponer una ventaja alimenticia para estos invertebrados, permite la continuidad del ciclo de transmisión de distintos agentes patógenos (virus, bacterias y parásitos), al ser indispensables en sus ciclos biológicos, permitiendo su multiplicación y transmisión (Reisen, 2017). Dentro de los insectos hematófagos, el Orden Diptera es el que mayor impacto presenta en la salud humana y animal, permitiendo con esto la propagación de patógenos que causan patologías que afectan a millones de personas y animales en todo el planeta, particularmente en regiones tropicales y subtropicales (González et al., 2016a). Entre los dípteros distintas familias han desarrollado el hábito de alimentación hematófago, destacando las familias: Psychodidae, Ceratopogonidae, Tabanidae, Athericidae, Muscidae, Glossinidae y Culicidae, siendo esta última la que mayor impacto médico y veterinario tiene ya que algunas de sus especies son vectores de patógenos causantes de enfermedades que afectan, cada año, a millones de personas (Durden & Mullen, 2002).

Los Culicidae presentan una distribución cosmopolita en distintos ecosistemas del planeta. Sus estadíos juveniles son acuáticos y las hembras son hematófagas, siendo, algunas de ellas, vectores de patógenos causantes de enfermedades al hombre, tales como Malaria, Dengue, Zika, entre otras. Esta familia se divide en dos subfamilias, Anophelinae y Culicinae, reuniendo 3.556 especies, agrupadas en 113 géneros (Colless & McAlpine, 1991; Harbach, 2017). De acuerdo a la última clasificación taxonómica propuesta por Foster y colaboradores (2017), la subfamilia Anophelinae se compone por 7 géneros: *Anopheles* Meigen 1818, *Kerteszia* Theobald 1905, *Lophopodomyia* Antunes 1937, *Nyssorhynchus* Blanchard 1902, *Stethomyia* Theobald 1902, *Bironella* Theobald 1905 y *Chagasia* Cruz, 1906. A su vez, el género *Anopheles* Meigen, 1818, está conformado por 4 subgéneros (*Anopheles* Meigen, *Baimaia* Harbush, *Cellia* Theobald y *Christya* Christophers, 1924), y 472 especies (Foster *et al.*, 2017). Tanto el género como el subgénero *Anopheles* presentan una distribución mundial (Kiszewski *et al.*, 2004; Londono-Renteria *et al.*, 2020).

An. (Ano.) pseudopunctipennis Theobald se distribuye desde el sur de Estados Unidos (40°N), con extensión Oriental en Venezuela y Antillas menores, y, a lo largo de los Andes, hasta el norte de Argentina (30°S) y Chile (Forattini, 2002; Rueda *et al.*, 2004) desde el nivel del mar hasta los 3.200 m.s.n.m. Las larvas se desarrollan en aguas estancadas, expuestas a la luz solar, alimentándose de algas filamentosas, tales como *Spirogyra*, *Oedogonium*, *Cladophora*, *Closterium*, *Enteromorpha*) (Manguin *et al.*, 1996). La hembra es de hábitos hematófagos y aunque ha sido catalogada históricamente como antropofílica, estudios recientes han demostrado que se alimenta de forma oportunista, de acuerdo a la oferta de hospederos a su alcance en la naturaleza, tales como pequeños rumiantes, équidos, bovinos, animales silvestres, entre otros (Lardeux *et al.*, 2007; Sinka *et al.*, 2010). Las hembras tienden a oviponer en las pozas naturales formadas por el crecimiento de los ríos de zonas montañosas, generalmente

áridas, debido a que las larvas son tolerantes a fluctuaciones de temperatura importantes y a períodos de sequía, probablemente adaptadas a que las precipitaciones puedan arrastrar los criaderos por el aumento de. Sin embargo, las larvas también se pueden desarrollar en criaderos más cercanos a la población humana, sobre todo en temporada de lluvias en la que las hembras buscan lugares alternativos para oviponer con el fin de asegurar la sobrevivencia que su descendencia, tales como piscinas naturales, lagunas, plantaciones de arroz y pantanos (Manguin *et al.*, 1995; Manguin *et al.*, 1996; Forattini, 2002; Rueda *et al.*, 2004).

Se han descrito alrededor de 41 especies de Anophelinae transmisores de Malaria al humano. En el continente americano, se han identificado 11 especies transmisoras de este patógeno: *Nyssorhincus*. (*Nyssorhinchus*.) *albimanus* Wiedemann, *Ny.* (*Nys.*) *albitarsis* Lynch Arribálzaga, *Ny.* (*Nys.*) *aquasalis* Curry, *Ny.* (*Nys.*) *argyritarsis* Robineau-Desvoidy, *Ny.* (*Nys.*) *braziliensis* (Chagas), *Kerteszia* (*Kertezia*) *cruzii* Dyar & Knab, *Ke.* (*Ker.*) *neivai* Howard, Dyar & Knab, *Ny.* (*Nys.*) *darlingi* Root, *Ny.* (*Nys.*) *nuneztovari* Gabaldon, *An.* (*Ano.*) *punctimacula* Dyar & Knab y *An.* (*Ano.*) *pseudopunctipennis*, siendo esta última el principal vector de Malaria en México, Guatemala, Nicaragua, Bolivia, Ecuador, Perú y Argentina (Manguin *et al.*, 1996; Foster *et al.*, 2017).

La Malaria, una enfermedad vectorial de importancia sanitaria

La Malaria o Paludismo es una enfermedad parasitaria producida por 5 especies de protozoos del género *Plasmodium*: *P. falciparum* (Welch), *P. vivax* Grassi & Feletti, *P. malariae* Feletti & Grassi, *P. ovale* Sutherland *et al.* y *P. knowlesi* Sinton & Mulligan (Forattini, 2002; Rueda *et al.*, 2004; Foster *et al.*, 2017; OMS, 2019). El ciclo de esta enfermedad se origina por la ingestión del estadio reproductivo del parásito (gametocitos), por parte del culícido vector, al alimentarse de un huésped infectado. En el intestino medio del vector se produce la reproducción sexual del

Plasmodium y posteriormente la forma infectante del parásito (esporozoítos) migra a la glándula salival. El culícido infecta a un huésped susceptible al ingerir su sangre e inyectar anestésicos, vasodilatadores y esporozoitos, los cuales migran al hígado del huésped infectado para invadir a las células hepáticas. En los hepatocitos, los esporozoitos maduran a esquizontes y liberan a los merozoitos, los cuales son los responsables de la invasión eritrocitaria. Los merozoitos pasan a trofozoítos y posteriormente a esquizontes dentro de los glóbulos rojos. Los esquizontes al liberar a más merozoítos (reproducción asexual) a la circulación sanguínea periférica producen la ruptura de los eritrocitos en los que se desarrollaron. La liberación de los merozoitos estimula la respuesta inmune del huésped provocando un cuadro febril, el que puede agravarse y ser letal, sobre todo en la población de riesgo (niños y embarazadas). Los cuadros más graves se asocian, con mayor frecuencia, a *P. falciparum*, agente causal de mayor incidencia en los casos de Malaria de África Subsahariana. A su vez, *P. vivax* produce cuadros menos graves y es responsable de la mayor parte de los casos en América (Crutcher & Hoffman, 1996; OMS, 2019). De acuerdo al último reporte de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2018 se registraron 228 millones de casos de Paludismo y las muertes asociadas alcanzaron a las 405.000, concentrándose, en su mayoría, en África Subsahariana e India. Durante el periodo 2010-2018, se detectó un descenso en las tasas de incidencia (en un 19,7%) y de mortalidad globales (en un 30,8%). No obstante, la mayor disminución del número de casos se concentró durante el periodo 2010-2014, manteniéndose constante la tasa de incidencia desde el 2015 al 2018. La situación difirió en el continente sudamericano, observándose un incremento tanto en la tasa de incidencia en un 14% (2014 a 2015) como en las mortalidades asociadas en un 26%, durante el periodo 2010 a 2018 (OMS, 2019).

En el extremo norte de Chile la Malaria ha tenido una larga presencia e incidencia sobre la población que habita esta zona del país (Soto *et al.*, 2019). La Malaria logró erradicarse en 1945

gracias a una campaña liderada por el Dr. Juan Noé durante el periodo comprendido entre 1937 y 1945 (Noe *et al.*, 1949). Al inicio de esta campaña, los sectores con presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* eran el puerto de Arica, los valles de Lluta y de Azapa, las quebradas de Vitor y Camarones, en la región de Arica y Parinacota, y Suca, Miñe Miñe, Tana, Camiña, Tarapacá, y los oasis de Pica y Matilla, en la región de Tarapacá. Dicha campaña se centró en medidas de saneamiento ambiental con el objetivo de destruir potenciales criaderos de larvas (Schenone *et al.*, 2002). A partir de 1944, se introdujo el uso de DDT tanto para la eliminación de larvas como imagos, rociando periódicamente viviendas y construcciones peri domiciliarias (Schenone *et al.*, 2002). Sin embargo, pese a los esfuerzos no se logró eliminar el vector, quedando confinado a criaderos naturales asociados a las riberas de ríos en las quebradas de Lluta, de Vitor, de Camarones y de Tarapacá (dato sin publicar, Laboratorio de Entomología ISP; González *et al.*, 2016b). En los últimos 20 años, se han detectado, en promedio, 12 casos importados de Paludismo al año en Chile (Schenone *et al.*, 2002; Pérez *et al.*, 2006; ISP, 2019). Sin embargo, en los tres últimos años, se ha observado un incremento de los casos importados, con 20 casos durante el 2017, 34 casos durante el 2018 y 25 casos durante el 2019 (datos sin publicar, Sección de Parasitología ISP), lo que supone un factor de riesgo para la reintroducción de Malaria autóctona en el norte del país, más aún si asociamos este antecedente al sostenido ingreso de inmigrantes a la zona norte del país provenientes de zonas maláricas (Bolivia y Perú). En el 2016 se pesquisaron 15 ejemplares de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en zonas cercanas a la ciudad de Arica y 2 en la zona urbana, en el 2017 se detectaron 2 especímenes cercanos a esta misma ciudad, en el 2018 y 2019 se hallaron 2 ejemplares y 5 ejemplares respectivamente en la zona urbana de Arica (dato sin publicar, Unidad de Emergencias y Desastres, SEREMI de Arica y Parinacota; dato sin publicar, Laboratorio de Referencia de Entomología ISP). En enero del 2020, se registraron ejemplares en la localidad de Pica, Región de Tarapacá (dato sin

publicar, Laboratorio de Referencia de Entomología ISP; Cancino, 2018), lugar en el que no se detectaba esta especie desde antes de la campaña antimalárica (Schenone *et al.*, 2002). Hasta la fecha, se han enviado 20 muestras correspondientes a esta especie al Laboratorio de Referencia de Entomología ISP durante el 2020 (dato sin publicar, Laboratorio de Referencia de Entomología ISP, Cancino, 2018). Por lo anterior, podría inferirse que, su distribución potencial local actual, comprendería más allá de las quebradas en las que se ha descrito su presencia en las últimas décadas y que podría volver a recuperar la distribución que presentaba a principios del siglo XX. En consecuencia, la densidad poblacional de posibles fuentes de alimentación, tales como el hombre y distintas especies de animales domésticos y silvestres, podría estar influyendo en la distribución de esta especie (Mughini-Gras *et al.*, 2014; Alimi *et al.*, 2015; Moua *et al.*, 2016).

El efecto del cambio climático en los mosquitos

El cambio climático ha avanzado a una velocidad sin precedentes en los últimos 70 años, lo que se traduce en un incremento en la temperatura media atmosférica y oceánica, produciendo efectos tales como el derretimiento de glaciares y el aumento del nivel del mar, entre otros (IPCC, 2014). Estos cambios en las condiciones ambientales, junto a otros factores actuales tales como la globalización, la migración poblacional, el desarrollo de resistencia a insecticidas por parte de los vectores, han generado las condiciones para la emergencia y reemergencia de enfermedades vectoriales (Gratz, 1999; Duane & Gubler, 2008; Figueroa & Scott, 2015; Biber-Freudenberger *et al.*, 2016; Pakdad *et al.*, 2017). El cambio climático se basa en proyecciones medioambientales fundadas en la evolución histórica de emisión y concentración de gases de efecto invernadero y aerosoles. Bajo estas proyecciones, se estiman distintos escenarios de cambio climático que incorporan series temporales de emisiones y concentraciones de gases, el

uso del suelo y la cubierta terrestre, teniendo en cuenta distintas opciones de crecimiento poblacional, desarrollo socioeconómico y aplicación de medidas de mitigación de impacto ambiental. Los dos escenarios más utilizados para el análisis del efecto del cambio climático corresponden al más favorable, denominado RCP (*Representative concentration pathways*) 2.6, en cuya modelación se considera que la radiación alcanzaría el valor máximo de aproximadamente 3 W/m^2 sobre la superficie terrestre antes de 2100 debido a la aplicación de fuertes políticas públicas de mitigación, y el más desfavorable, denominado RCP 8.5, en cuya modelación la radiación alcanzaría valores superiores a $8,5 \text{ W/m}^2$ en 2100, considerando la ausencia de acciones de mitigación (IPCC, 2014). No obstante, debido a la falta de acciones mitigantes hasta la fecha, se estima que el escenario RCP 2.6 ya no es alcanzable, por lo que los estudios actuales de proyección de cambio climático están utilizando el escenario RCP 4.5, en reemplazo al RCP 2.6 (Ovando-Hidalgo *et al.*, 2020).

En Chile el incremento de la temperatura atmosférica se proyecta en todo el territorio nacional, siendo el promedio del aumento menor que el estipulado a nivel global. Sin embargo, los efectos del cambio climático no se manifiestan de manera homogénea en las distintas regiones. El norte grande de Chile está conformado por las regiones de Arica y Parinacota, de Tarapacá y de Antofagasta, situándose entre las latitudes 18°S y 27°S aproximadamente. Se caracteriza por ser una de las áreas más áridas del mundo, con mayor radiación solar y gradiente altitudinal. Esto último se debe a la existencia de un desierto costero (0-900 metros de altitud), de una depresión intermedia (900-2.200 metros de altitud), de la precordillera (2.200-3.500 metros de altitud) y de las mesetas semiáridas sobre los 3.500 m de altitud, cuyo conjunto se denomina altiplano. Existe cierta incertidumbre acerca de las proyecciones de precipitaciones en el norte grande Chile, ya que las estaciones meteorológicas locales han registrado un comportamiento inestable de esta variable. Se debe tener en cuenta que las proyecciones de cambio climático se

basan en probabilidades de trayectoria de cambio, sin considerar los registros locales de sitios de topología compleja (Sarricolea *et al.*, 2017). Por lo tanto existe cierta discrepancia en las proyecciones de cambio climático en el norte grande chileno. En el norte grande y altiplano central, se proyecta una elevación de la temperatura promedio de 1,5°C, alcanzando un incremento de 1°C en la costa y de hasta 4°C en la Cordillera de Los Andes (Ministerio de Medio Ambiente, 2017). Sin embargo, los datos registrados por las estaciones meteorológicas locales en la última década indican una tendencia a la disminución de la temperatura media en la costa del norte del país, debido a variaciones naturales en la temperatura superficial del mar provocadas por fenómenos como El Niño, La Niña y la Oscilación Decadal del Pacífico Sur (Vásquez, 2019). En cuanto a las precipitaciones, no se proyectan grandes cambios para la zona norte del país, con una posible tendencia leve a la disminución de éstas dentro de las próximas décadas (Garreaud, 2011; Schulz *et al.*, 2011). No obstante, de acuerdo a Sarricolea *et al.* (2017), se estima que la disminución de las precipitaciones se produciría más bien en el altiplano del norte grande, zona en la que actualmente se concentran las precipitaciones. En cambio, se espera un incremento de esta variable en la depresión intermedia y precordillera. Estas condiciones podrían tener un impacto en la potencialidad de desarrollo de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, ya que afectan directamente variables ambientales que se relacionan con la condiciones para el desarrollo larval y establecimiento de la especie, tales como las altas temperaturas ambientales, niveles de precipitaciones suficientes para formar los criaderos, así como las características topográficas del terreno, como la altitud, la pendiente, la orientación y la capacidad de cuenca del terreno, las cuales juegan un rol importante en el desarrollo en otras especies de anofelinos (Alimi *et al.*, 2015; Padilla *et al.*, 2017; Pakdad *et al.*, 2017). De esta manera, los efectos del cambio climático tendrían un efecto en la distribución de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, en la medida que se amplíen o restrinjan las condiciones favorables para su establecimiento en el

territorio. Por lo tanto, dadas las proyecciones climáticas en el norte de Chile producidas por el cambio climático, se esperaría que la distribución potencial nacional de este vector alcanzaría una mayor latitud hacia el sur y una mayor altitud que la distribución actual.

Modelamiento de distribución de especies

Gracias al desarrollo de los sistemas de información geográfica y de técnicas estadísticas aplicadas en los últimos años, se ha expandido el estudio de modelos de distribución de especies. Estos modelos corresponden a una herramienta que analiza los patrones de distribución conocidos de una especie en estudio. Esta técnica entrega como resultado representaciones cartográficas de la probabilidad de presencia de dicha especie en un área de estudio, en función de la variable dependiente (registros de presencia, y en algunos casos, de ausencia de la especie) y de las variables independientes seleccionadas para el análisis. Las variables independientes suelen ser abióticas: topográficas (altitud, pendiente, orientación, dirección de flujo, índice de irregularidad del terreno (TRI, por sus siglas en inglés *Terrain Ruggedness Index*), climáticas (relacionadas con la temperatura ambiental y las precipitaciones), geológicas (tipo de sustrato) y/o de teledetección (temperatura de superficie, índice de vegetación); aunque también se pueden utilizar variables bióticas: demográficas (densidad poblacional) y/o de uso de suelo (agricultura, urbanización, bosques), dependiendo de las características de la especie a modelar. Una vez seleccionadas las variables independientes más favorables para el desarrollo de la especie, se genera un valor numérico para cada píxel del área de estudio, el cual refleja la probabilidad de presencia de la especie en función de los valores locales de las variables independientes (Pliscoff & Fuentes 2001; Guisan & Thuiller, 2005; Mateo *et al.*, 2011). Este tipo de estudios presentan diversos alcances fuera de la determinación de la distribución geográfica potencial de una especie o de comunidades, tales como estudios de riesgo asociados

a especies invasoras, protección y conservación de especies amenazadas, riesgo de transmisión de enfermedades, entre otros. Además, gracias a plataformas como *WorldClim* que generan proyecciones de las capas bioclimáticas, es posible proyectar la distribución de una especie hacia el pasado o hacia el futuro, pudiendo analizar los efectos del cambio climático en la distribución de dicha especie. Existen distintas técnicas aplicables al modelamiento de distribución de especies. Una de las más utilizadas actualmente se basa en el uso de herramientas como el *software R* (R Core Team, 2014), utilizado para el análisis estadístico del modelo, y *Maxent* (Phillips *et al.*, s.f), *software* que se basa en el algoritmo de máxima entropía, a partir de datos de presencia de una especie y variables abióticas y/o bióticas significativas para su desarrollo (Milesi & López de Casenave, 2005).

En el caso de un análisis de distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, se deberían considerar variables bioclimáticas, topográficas, de cercanía de cursos de agua y de densidad poblacional de posibles hospederos. Dados los requerimientos para el desarrollo larvario de esta especie, se esperaría que su distribución potencial dependiera de la proximidad de cursos de agua y de la capacidad de estancamiento de agua del terreno, la cual se puede medir a través de dos variables, el índice de Posición Topográfica (TPI, por sus siglas en inglés *Topographic Position Index*) (Arcgis, s.f.a), y el Índice de Topográfico de Humedad (TWI, por sus siglas en inglés *Topographic Wetness Index*) (Roa-Lobo & Kamp, 2012).

An. (Ano.) pseudopunctipennis es una especie oportunista (Lardeux *et al.*, 2007; Sinka *et al.*, 2010), que se alimenta, probablemente, de animales silvestres que habitan en las quebradas de las Regiones de Arica y Parinacota y de Tarapacá. No obstante, al no existir un registro completo de la distribución de estos posibles hospederos, se descarta su aplicación como variable en el modelamiento, mientras que, la distribución de la población humana puede incluirse como una de las posibles fuentes de alimento. Además, la incorporación de esta variable en el

modelamiento de esta especie es interesante debido a su importancia en Salud Pública como vector de Paludismo, tal como se ha realizado en otros trabajos (Alimi *et al.*, 2015).

Por lo anterior, surge la problemática de realizar un estudio de la distribución potencial actual del vector histórico de Malaria en Chile, con el fin de conocer las variables que condicionan su presencia y cómo se comportaría su ampliación de su rango de distribución en Chile según los escenarios de cambio climático. Cabe destacar que este estudio, corresponde al primer análisis realizado en esta especie en el país, pudiendo aportar información biogeográfica y ecológica importante sobre ésta.

Al considerar solamente características relacionadas con el desarrollo del vector, este estudio no supone un análisis de riesgo de reintroducción de la Malaria autóctona en Chile, pero sí se espera que aporte información relevante para un análisis epidemiológico posterior.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la poca información que existe sobre este vector a nivel global y la nula información a nivel nacional, surge la problemática de conocer la distribución potencial actual y las variables relacionadas con la distribución de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile, vector histórico de la Malaria en dicho país. Además, puesto que hoy en día se vive una situación de emergencia y reemergencia de las enfermedades vectoriales a nivel global, debido, entre otras razones, a la ampliación de la distribución de los vectores, la cual se ve intensificada por los efectos del cambio climático, surge la pregunta de cómo se comportaría la distribución potencial de esta especie en Chile, según las proyecciones futuras del clima bajo dos escenarios de cambio climático.

III. HIPÓTESIS

1. Considerando los requerimientos de criaderos naturales en cercanía de ríos y terreno de topología compleja para el desarrollo de los estados inmaduros, la distribución potencial actual de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile se espera que esté determinada principalmente por la proximidad de cursos de agua y la capacidad de estancamiento de agua en estos terrenos.
2. Dadas las proyecciones climáticas en el norte de Chile, bajo dos escenarios de cambio climático, se espera que la distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile alcance una mayor latitud hacia el sur y una mayor altitud que la distribución potencial actual, debido a un probable desplazamiento espacial de las condiciones abióticas favorables para su desarrollo.

IV. OBJETIVOS

1. Objetivos Generales

- a) Determinar el patrón de distribución de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* bajo las condiciones actuales en Chile.
- b) Proyectar la distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5 de cambio climático.

2. Objetivos específicos

- a) Determinar las variables predictoras que explican la distribución potencial actual de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile.
- b) Determinar las variables bioclimáticas y topográficas predictoras y proyectables para el modelo de distribución actual de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* bajo condiciones de cambio climático.
- c) Describir el efecto del cambio climático sobre el patrón de distribución de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile, respecto a la distribución actual.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Datos de presencias

a. Datos de presencias locales

Los datos de presencia nacionales fueron obtenidos desde datos del Programa Nacional de Vigilancia de Culícidos de Chile y del Laboratorio de Referencia de Entomología ISP, durante el periodo comprendido entre el año 2009 hasta enero del 2020 (dato sin publicar, Laboratorio de Referencia de Entomología, ISP) y del proyecto Fondecyt “Estudio de presencia de Flavivirus y Dirofilaria por herramientas moleculares en mosquitos (Diptera: Culicidae) en una zona desértica de Chile” (Cancino, 2018). Estos datos correspondieron a 50 puntos de colecta (22 de la región de Arica y 38 de la región de Tarapacá) (Figura 1).

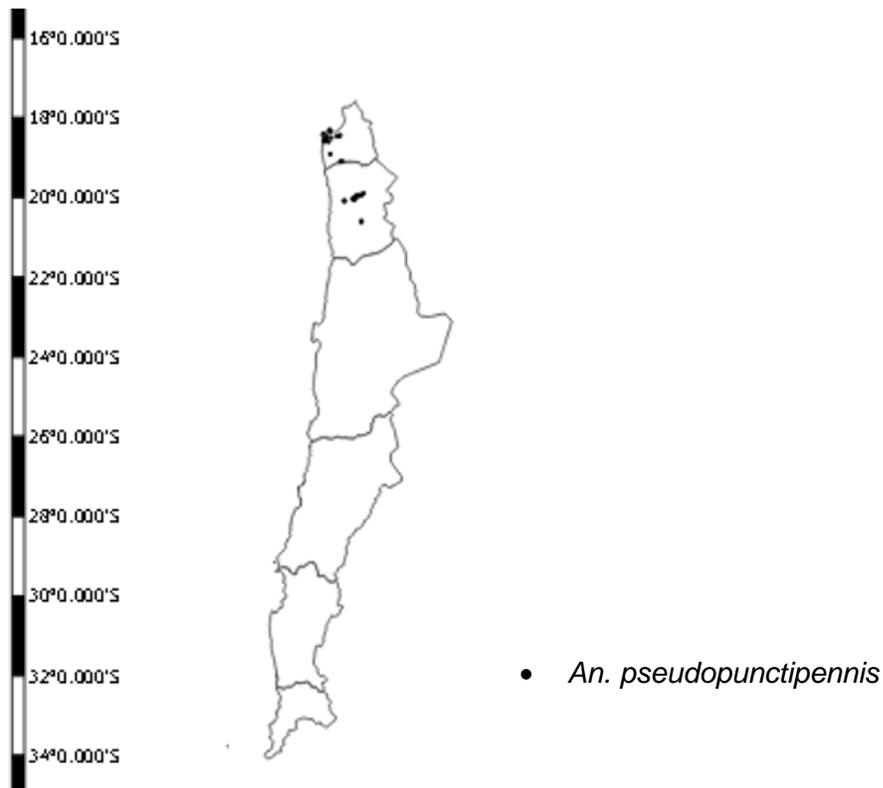


Fig 1. Registro de presencias de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en el área de estudio nacional, utilizados en el análisis local.

b. Datos de presencias globales

Los datos de presencias globales correspondieron a una base de registros de coordenadas de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* a partir de 1960 hasta la fecha, extraída de GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*) (GBIF, 2019) y a los registros nacionales utilizados como datos de presencias locales. Estos datos correspondieron a 857 puntos de colecta (50 de Chile, 1 de Bolivia, 5 de Perú, 2 de Ecuador, 4 de Colombia, 3 de Panamá, 8 de Costa Rica, 2 de Nicaragua, 2 de Honduras, 1 de El Salvador, 16 de Belice, 3 de Guatemala y 762 de México (Figura 2).



Fig 2. Registro de presencias de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en América utilizados en el análisis global.

2. Variables independientes

Para ambos análisis de proyección, local y global, se utilizaron las mismas variables independientes, las cuales fueron:

a. Variables bioclimáticas

Las capas de las variables bioclimáticas fueron descargadas desde la base de datos climática global de *Worldclim* (Philips, s.f.). Se utilizaron las 19 variables relacionadas a las mediciones de la temperatura ambiental y de las precipitaciones a lo largo del año (Tabla 1).

Variable	Definición
BIO 1	Promedio de temperatura anual
BIO2	Promedio de rango diurno de temperatura
BIO3	Isotermalidad
BIO4	Estacionalidad de la temperatura
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango de temperatura anual
BIO8	Promedio de temperatura del cuarto más húmedo
BIO9	Promedio de temperatura del cuarto más seco
BIO10	Promedio de temperatura del cuarto más cálido
BIO11	Promedio de temperatura del cuarto más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación
BIO16	Precipitación del cuarto más húmedo
BIO17	Precipitación del cuarto más seco
BIO18	Precipitación del cuarto más cálido
BIO19	Precipitación del cuarto más frío

Tabla 1. Definición de las 19 variables bioclimáticas de *WorldClim* (Philips, s.f.).

Debido a que existe discrepancia acerca de la validez de las variables bioclimáticas que abarcan medidas de precipitación y temperatura en conjunto (BIO 8, 9, 18 y 19), se decidió realizar los modelos con y sin estas variables mixtas (Hijmans *et al.*, 2005; Escobar *et al.*, 2015; Astorga *et al.*, 2018). Para el análisis nacional, actual y proyectado en condiciones de cambio climático, se utilizaron las variables de la versión 1.4 de *Worldclim* a una resolución de 1 km², versión obsoleta ya que abarca los datos mensuales durante el periodo 1960-1990, debido a que la versión actualizada (2.1) aún no publica las variables proyectadas a esa resolución. De todas maneras, se realizó un modelamiento actual local utilizando las capas de la versión 2.1 de *Worldclim*, para comparar con el análisis anterior. Para el análisis global actual y proyectado, se utilizaron las variables de la versión 2.1 de *Worldclim*, que abarca los datos mensuales durante el periodo 1970-2000, a una resolución de 10 km² debido a la amplia extensión del área de estudio global (Fick & Hijmans, 2017).

Para la proyección futura, de acuerdo con los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5, se descargaron las capas bioclimáticas de las versiones 1.4 y 2.1 de *Worldclim*, proyectadas para el periodo 2061-2080 y 2081-2100 respectivamente. Para entregar mayor robustez, se utilizaron las proyecciones de distintos modelos en ambos análisis. Los modelos de la versión 1.4 se basan en la quinta fase del “Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos (CMIP5)” del Programa “*World Climate Research*”, desarrollada entre el 2010 y el 2014. Cabe destacar que el CMIP5 formó parte del 5to informe de evaluación del Panel Intergubernamental de cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés) realizado el 2014 (Moya *et al.*, 2015). Para el análisis local, se estudiaron 10 modelos diferentes: ACCESS1-0 (AC) desarrollado por *Australian Community Climate and Earth-System Simulator* (Collier & Uhe, 2012); BCC_CSM1.1 (BC), versión 1.1 de *Beijing Climate Center Climate System Model*, desarrollado

por *Beijing Climate Center* (Beijing Climate Center, s.f.), CCSM4 (CC) desarrollado por *Community Earth System Model*, administrada por *National Center for Atmospheric Research* (CESM, s.f.); CNRM-CMIP5 (CN), desarrollada por *Centre National de Recherches Météorologiques* y *Centre Européen de Recherche et Formation Avancée en Calcul Scientifique* (Voldoire *et al.*, 2013; Voldoire *et al.*, 2019); GFDL-CM3 (GF), modelo climático (*Climatic Model*), desarrollado por *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* (GFDL, s.f.), HadGEM2-ES (HE) desarrollado por *Met Office Unified Model* (Martin *et al.*, 2011); INMCM4 (IN), 4ta versión de *Institute of Numerical Mathematics Climate Model* (Volodin *et al.*, 2013); IPSL-CM5A-LR (IP) desarrollado por *Institut Pierre-Simon Laplace Climate Modelling Centre* (Dufresne *et al.*, 2013); MIROC5 (MC) basado en *Model for Interdisciplinary Research on Climate*, desarrollado por la colaboración de la Universidad de Tokyo, *National Institute for Environmental Studies* (NIES) y *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology* (JAMSTEC) (Watanabe *et al.*, 2011; Moya *et al.*, 2015); y NorESM1-M (NO), que corresponde al *Norwegian Earth System Model*, desarrollado por *Bjerknes Centre for Climate Research* (Bentsen *et al.*, 2013).

Para el análisis global, se estudiaron 7 modelos diferentes los que, en su mayoría, se basan en el CMIP6 en actual desarrollo: BCC-CSM2-MR (BCC), segunda versión del *Beijing Climate Center Climate System Model*, desarrollado por *Beijing Climate Center* (Nie *et al.*, 2020); CNRM-CM6-1 (CNRM), versión actualizada de la CMIP5 previa a la publicación de CMIP6, y CNRM-ESM2-1 (CNRM2), 2da versión de *Earth System Model* (Séférián *et al.*, 2019), ambas desarrolladas por *Centre National de Recherches Météorologiques* y *Centre Européen de Recherche et Formation Avancée en Calcul Scientifique* (Voldoire *et al.*, 2013; Voldoire *et al.*, 2019); CanESM5 (Can), 5ta versión desarrollada por *The Canadian Earth System Model*; IPSL-

CM6A-LR (IPSL) desarrollada por *The Institut Pierre-Simon Laplace Climate Modelling Centre* (Servonnat *et al.*, 2020); y MIROC-ES2L (MIROC), 2da versión de *Model for Interdisciplinary Research on Climate for Long-term simulation* desarrollada por *Earth System Model* (Hajima *et al.*, 2020); MIROC6, 6ta versión de *Model for Interdisciplinary Research on Climate* (Tatebe *et al.*, 2019).

b. Variables topográficas

Las variables topográficas se obtuvieron a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés *Digital Elevation Model*), utilizando los paquetes *elevatr* (Hollister & Shah, 2018) y *raster* (Hijmans *et al.*, 2020a) del *software R* (R Core Team, 2014). Estas variables correspondieron a: “*altitud*”, “*pendiente*”, “*grado de exposición*”, “*orientación*”, “*dirección de flujo*”, “*TRI*” (Índice de Irregularidad del Terreno), “*TPI*” (Índice de Posición Topográfica) y “*TWI*” (Índice Topográfico de Humedad). Estas dos últimas variables se relacionan con la capacidad de cuenca del terreno, índices negativos corresponden a terrenos con capacidad de cuenca, es decir de acumular agua formando pozas. Para la cercanía de cursos de agua, a nivel global, se creó una capa de tipo *raster*, con una resolución de 10 km², de “*Proximidad a los ríos*” en base a una capa de “*ríos de América*” (Arcgis, s.f.b), utilizando el *software Arcgis* versión 10.2 (ESRI, 2011). Para el análisis local, se debe tener en cuenta que el río Loa, que se extiende desde la región de Tarapacá hasta la de Antofagasta, es salobre (Espinoza *et al.*, 2000) y, ya que no se ha descrito el desarrollo de larvas de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en aguas no dulces, se eliminó este río de la capa de “*Proximidad a los ríos*”, con una resolución de 1km².

c. Variable biótica

En cuanto a la variable biótica, para la “*Densidad poblacional humana*”, se descargó la capa humana global a una resolución de 1 km² y de 10 km² (WCS y CIESIIN, 2005). Esta variable se agregó con el fin de analizar la posible cercanía del vector a la población humana como recurso alimenticio y, por ende, el posible riesgo de transmisión de Malaria. Sin embargo, ya que esta capa no es proyectable a futuro, sólo se consideró para los modelos actuales.

3. Análisis exploratorio de los datos de presencias y variables independientes previo a la modelación

Para realizar el análisis de los puntos y las variables en estudio, de ambos modelos, se utilizaron los siguientes paquetes del *software R* (R Core Team, 2014): *SDM tools* (Hijmans & Elith, 2017), *maptools* (Bivand & Lewin-Koh, 2019), *rgdal* (Roger *et al.*, 2016), *sp* (Hijmans *et al.*, 2020b) y *elevatr* (Hollister & Shah, 2018). Se realizaron los siguientes pasos:

1) Se crearon *shapes* de presencias locales y globales a partir de archivos “.csv” de las coordenadas de cada uno de los registros de la especie utilizando el software *QGIS* (QGIS, 2020).

2) Utilizando el *software R*, se mapearon todos los puntos de presencia para verificar que las coordenadas fueran correctas.

3) Se realizó una limpieza de datos duplicados en sus coordenadas, de forma de no repetir ningún punto, y de sesgo de distancia, asegurando que todos los puntos presenten una distancia mínima de 1 km entre sí para el análisis local (Hijmans & Elith, 2017). Para el análisis global, la limpieza de los puntos de México se aplicó tomando una distancia mínima de 100 km entre los puntos,

la limpieza de los puntos de Centro y Sudamérica, sin incluir a Chile ni a México, se realizó considerando 60 km entre los puntos y, los puntos de Chile se limpiaron considerando una distancia de 1 km entre sí. Estos criterios de limpieza tuvieron el objetivo de no sobreestimar los valores de las variables independientes en aquellos lugares que presentan una alta concentración de registros de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, como es el caso de México, incrementando la variabilidad del modelo (Wisz *et al.*, 2008). Luego de esta limpieza, se mantuvieron 36 presencias nacionales y 210 presencias globales a considerar en los siguientes análisis.

4) Se crearon los *shapes* de las dos áreas de estudio (local y global) en el *software QGIS* y se cargaron en el *script* de R. El área de estudio local se extendió desde la frontera norte de Chile hasta la Región Metropolitana (18° a 34° latitud sur). El área de estudio global se extendió en todo el continente de América (71° latitud norte a 55° latitud sur).

5) Se cargaron al *script* cada una de las capas correspondientes a las variables bioclimáticas, topográficas y bióticas ya descargadas. Se recortaron para hacerlas coincidir con el área de estudio correspondiente y se remuestrearon entre sí para que presenten la misma resolución.

6) Se fijó el número de pseudoausencias o *backgrounds* aleatorios de forma que correspondieran a 100 veces más que el número de presencias seleccionados de cada uno de los modelos (Vander Wal *et al.*, 2009). De esta manera, se crearon 3.600 pseudoausencias para el análisis local y 21.000 para el global.

7) Se extrajeron los valores de cada una de las variables para los datos de presencias y de pseudoausencias.

8) En base de esos valores, se realizó una limpieza a través de un análisis de correlación entre pares de las variables analizadas, para luego aplicar una selección de las variables, de acuerdo al Factor de Inflación de la Varianza (VIF, por sus siglas en inglés *Variance Inflation Factor*), el cual debía ser menor a 10 para descartar multicolinealidad (Padilla *et al.*, 2017). De esta manera, se seleccionaron las variables no correlacionadas entre sí que se utilizarían para el modelamiento. Se descargaron las variables seleccionadas en formato “.asc”.

4. Modelo de Máxima Entropía para determinar la distribución potencial actual local y global de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*

Una vez ya seleccionadas las variables a utilizar, se realizó un Modelo de Máxima Entropía bajo condiciones actuales mediante el *software Maxent* v. 3.4.1 (Phillips *et al.*, s.f.). Se consideró el 20% de los datos de presencias para entrenamiento y se realiza 50 réplicas por análisis (Endries, 2001; Figueroa *et al.*, 2020).

Posteriormente, a través del método del gráfico de *Jackknife* y de los gráficos de curvas de respuesta de cada una de las variables entregados por el *software*, se descartaron una a una las variables que aportaban en menor medida al modelo y aquéllas cuya curva de respuesta no era unimodal en relación a la probabilidad de presencia de la especie en estudio (Warren & Seifert, 2011; Erfanfar *et al.*, 2014; Pakdad *et al.*, 2017).

Finalmente, se escogió el modelo que se explicaba con el menor número posible de variables, respetando el principio de máxima parsimonia, y que mantiene un valor Área Bajo la Curva (AUC, por sus siglas en inglés *Area under the curve*) alto (sobre 0,9) (Figueroa *et al.*, 2020). Se realizó un análisis de regresión logística en el *software R* para verificar que variables seleccionadas tengan una relación lógica con el ciclo biológico del vector (Kienast *et al.*, 2012).

Adicionalmente, estas variables debían aportar un porcentaje importante al valor AUC del modelo por sí solas y en combinación entre ellas (Yang *et al.*, 2013). Como resultado, se obtuvieron dos modelos de distribución del vector en condiciones actuales, uno con los datos nacionales y el otro con los datos globales, reflejados en dos mapas con escala de colores de acuerdo con la probabilidad de presencia de la especie en el área de estudio.

Para validar ambos modelos, se revisó que las presencias nacionales y globales estuviesen dentro del sector de mayor probabilidad de presencia de los mapas obtenidos (Soucy, 2018).

5. Evaluación del modelo actual mediante el paquete *ENMeval* del *software R*

Se realizó la evaluación de los parámetros métricos utilizados en *Maxent* mediante el paquete *ENMeval* del *software R* (Muscarella *et al.*, 2018). El múltiplo regularizador (MR) correspondió a un parámetro métrico utilizado por *Maxent* para evitar la sobre estimación de probabilidad de presencia al añadir variables adicionales al análisis, de forma que se privilegiara el criterio de máxima parsimonia. El otro parámetro métrico utilizado por *Maxent* correspondió al tipo de función: lineal, de producto, cuadrático, de bisagra (*hinge* en inglés) y de umbral (*threshold* en inglés). *ENMeval* entregó qué combinación de parámetros métricos obtuvieron el mejor valor AIC corregido (por las siglas en inglés *Akaike Information Criterion*) para muestras pequeñas (AICc), es decir el más cercano a 0 (Burnham & Anderson, 2004; Phillip, *et al.*, 2004; Warren & Seifert, 2011; Muscarella *et al.*, 2014).

6. Modelo de Máxima Entropía para determinar la distribución local y global de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5

Una vez obtenidos los parámetros métricos validados, se volvió a realizar un Modelo de Máxima Entropía usando el *software Maxent*, utilizando las variables seleccionadas en los análisis previos, pero esta vez cargando las capas proyectadas de cada uno de los modelos a analizar, para ambos escenarios de cambio climático. Se mantuvieron los mismos valores de porcentaje de presencias utilizado para el entrenamiento, número de pseudoausencias y de réplicas, aplicados en los análisis anteriores. Se obtuvieron los mapas de probabilidad de presencia para ambos escenarios según cada modelo para el análisis local y global.

7. Evaluación y selección de los modelos proyectados de distribución de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* según escenarios RCP 4.5 y 8.5

De acuerdo a Liu *et al.* (2005), los mejores indicadores para seleccionar modelos correspondieron a la prevalencia, la probabilidad promedio, la suma de sensibilidad y especificidad máxima (*sensitive and specificity sum maximization approach*), la igualdad entre sensibilidad y especificidad (*sensitive and specificity equality approach*) y el valor AUC. Con el fin de evaluar cada uno de los modelos proyectados y seleccionar aquellos que obtuvieran los mejores parámetros de selección, se utilizó el paquete *Evaluate* (Lawrence & Kluyver, 2019) y *PresenceAbsence* (Freeman, 2015) del *software R* para los modelos de proyección RCP 4.5 y 8.5 utilizados en la proyección local y global (Figuroa *et al.*, 2020). Se seleccionaron los 3 mejores modelos por cada proyección.

8. Cálculo de la extensión del área de presencia probable de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en la distribución potencial actual y proyección según escenarios de cambio climático

Para calcular el área de extensión de probabilidad de presencia, se transformó el mapa obtenido en binario en el *software QGIS*, tomando como punto de corte el “*umbral de entrenamiento de máxima sensibilidad y máxima especificidad*” (*Maximum training sensitivity plus specificity Logistic threshold*) entregado en el análisis de *Maxent*, es decir si la probabilidad de presencia era menor a este valor se clasificó como probabilidad 0, si es igual o mayor a este valor se clasificó como probabilidad 1 (Liu *et al.*, 2015). Una vez obtenido el mapa binario, se cargó en el *software R* y se calculó el número de píxeles con probabilidad de presencia utilizando el paquete *terra* (Hijmans *et al.*, 2020c). Finalmente, se obtuvo el área de distribución multiplicando el número de píxeles con probabilidad 1 por la resolución del análisis (1 km² y 10 km²).

VI. RESULTADOS

1. Resultados del análisis local

a) Modelo de distribución potencial actual de *An. (Ano) pseudopunctipennis* en Chile

De las 50 presencias locales iniciales, se mantuvieron 36 puntos posterior a la limpieza. Después del análisis de correlación y la limpieza de las variables a través del *software Maxent*, se seleccionaron las siguientes variables: “*BIO2*” (promedio de rango diurno de temperatura), “*BIO18*” (precipitación del cuarto más cálido), “*TPI*” y “*Proximidad a los ríos*” para el modelo que integró todas las variables bioclimáticas; y “*BIO1*” (promedio de temperatura anual), “*BIO13*” (precipitación del mes más húmedo), “*TPI*” y “*Proximidad a los ríos*”, para el modelo que no consideró las variables mixtas de temperatura y precipitaciones. Cabe destacar que, tanto para los modelos de las variables correspondientes a la versión 1.4 como a las de la 2.1, las variables seleccionadas coincidieron. Además, en ninguno de estos modelos la capa de “*Densidad poblacional humana*” resultó ser de importancia para la distribución de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile.

Una vez seleccionadas las variables, se realizó una regresión logística con el fin de explicar la relación de cada una de ellas con la probabilidad de presencia del vector. Los resultados de la regresión se observan en la tabla 2.

Variable	Coefficiente β	Error estándar	Valor p
BIO1	0,001898	0,000344	<0,01
BIO2	-0,01353	0,0008118	< 0,01
BIO13	0,00001278	0,00004038	0.752
BIO18	-0,0002115	0,00002299	< 0,01
TPI	-0,0003896	0,00005867	< 0,01
PROX.RIOS	-0,000000084298	0,000000007712	< 0,01

Tabla 2. Resultados obtenidos de la regresión logística de las variables seleccionadas. Versiones 1.4 y 2.1. Resolución: 1 km².

Respecto a la tabla 2, el promedio de temperatura anual (“*BIO1*”) se relacionó positivamente con el modelo, es decir que, a mayor promedio de temperatura anual, mayor probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*. El promedio del rango diurno de temperatura (“*BIO2*”) se relacionó negativamente, es decir que, a menor rango diurno de temperatura, mayor probabilidad de presencia del vector. La precipitación del mes más húmedo (“*BIO13*”) se relacionó positivamente con el modelo, mayores precipitaciones en el mes más húmedo provocan una mayor probabilidad de presencia de esta especie. Cabe destacar que esta fue la única variable cuyo valor de p fue superior a 0,01, por lo tanto, su aporte al modelo no fue significativo. La precipitación del cuarto más cálido (“*BIO18*”) se relacionó negativamente, a menor precipitación en el cuarto más cálido, mayor probabilidad de presencia. El índice de posición topográfica (“*TPP*”), se relacionó negativamente con el modelo, lo que indicó que terrenos con capacidad de cuenca mayor presentan mayor probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*. Finalmente, la “*Proximidad a*

los ríos” se relacionó negativamente, es decir a menor distancia a los cursos de agua, mayor es la probabilidad de presencia del vector.

A continuación, se realizó la evaluación del análisis utilizando *ENMeval* en el *software R* con el fin de obtener los parámetros métricos que arrojaron el menor valor AICc. Los valores obtenidos se observan en la tabla 3.

Variables	Versión	Función	MR	AUC	AICc
1,13,PROX.RIOS,TPI	1.4	LQP	1,5	0,9964	741,1616
2,18,PROX.RIOS,TPI	1.4	LQP	1,5	0,9977	741,1616
1,13, PROX.RIOS, TPI	2.1	L	2	0,9132	382,3362
2,18,PROX.RIOS,TPI	2.1	LQP	4	0,9964	722,0459

Tabla 3. Valores obtenidos del análisis de ENMeval de los modelos de distribución actuales. Versiones 1.4 y 2.1. Resolución: 1 km².

Con el valor del múltiplo regularizador (MR) y la función entregados por el análisis, se realizó el modelo actual nuevamente en el *software Maxent*. Los mapas obtenidos se observan en la figura 3.

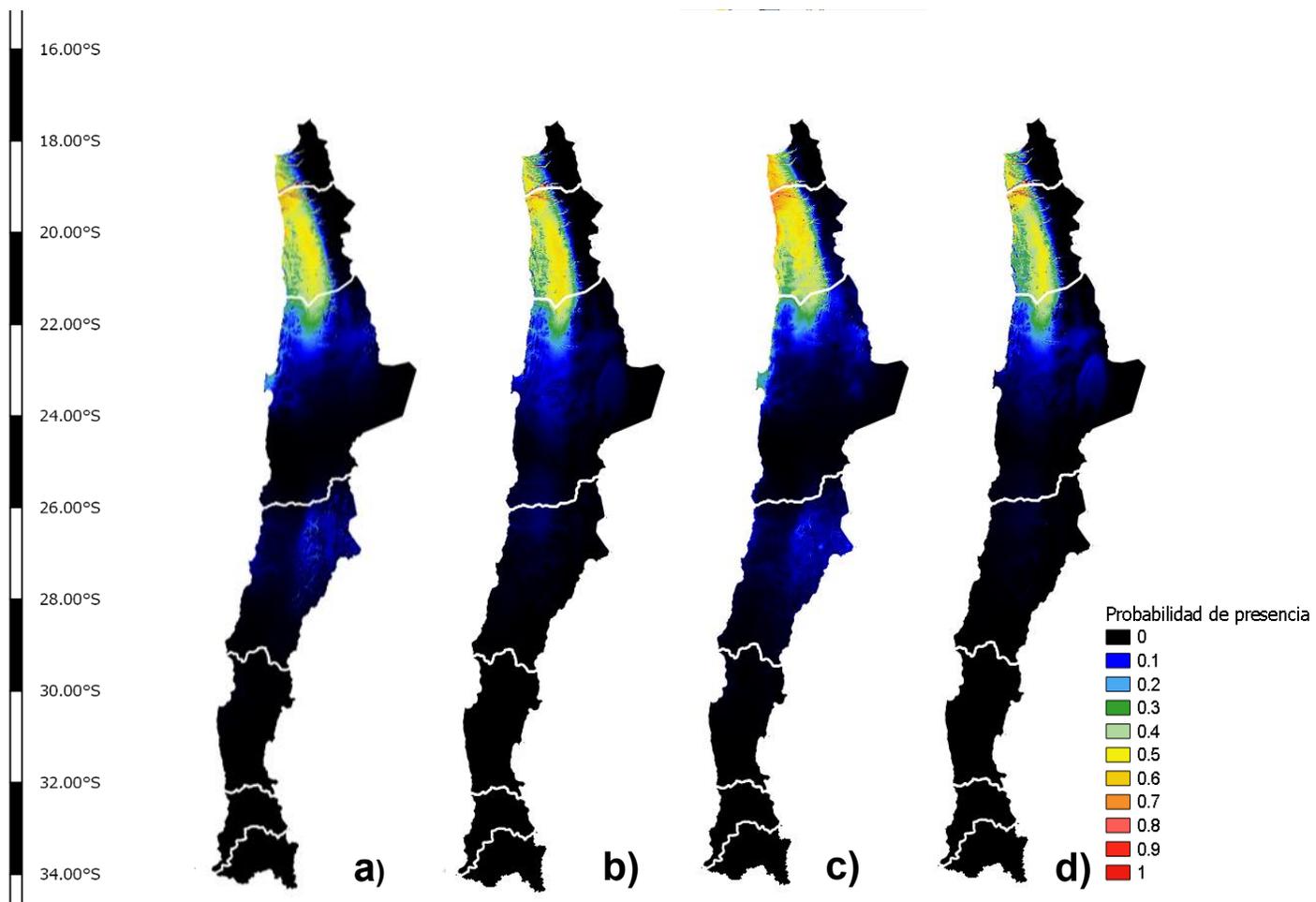


Fig 3. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile en condiciones actuales. Resolución: 1 km². a) Versión 1.4, variables: BIO2, BIO18, TPI y Proximidad a los ríos. b) Versión 1.4, variables: BIO1, BIO13, TPI y Proximidad a los ríos. c) Versión 2.1, variables: BIO2, BIO18, TPI y Proximidad a ríos. d) Versión 2.1, variables: BIO1, BIO13, TPI y Proximidad a los ríos.

Se observa una mayor probabilidad de distribución del vector tanto hacia el sur como hacia el este, extendiéndose hasta la región de Atacama, a lo largo de la Cordillera de Claudio Gay entre los salares de Pedernales y Maricunga, incluyendo Laguna Verde, en aquellos modelos que utilizaron las variables mixtas de precipitaciones y de temperatura, versión 1.4 (Figura 1a) y versión 2.1 (Figura 1c). Adicionalmente, se observa, en los 4 mapas, una mayor probabilidad de presencia (cercana o igual a 1) en las quebradas de Azapa, Acha, Vitor y Camarones (en la Región de Arica y Parinacota) y de Miñimiñe y de Saya (en la Región de Tarapacá), lo que coincidió con los datos de presencia utilizados, validando con esto el modelo.

En la figura 4, se observa que la curva de respuesta de todas las variables se comportó de forma unimodal, y en el gráfico *Jackknife*, se ilustra la importancia de cada variable en el modelo, siendo las variables relacionadas con las precipitaciones (“*BIO18*” para el modelo con variables mixtas y “*BIO13*” para el modelo sin variables mixtas) las que más aportaron a cada uno de los modelos.

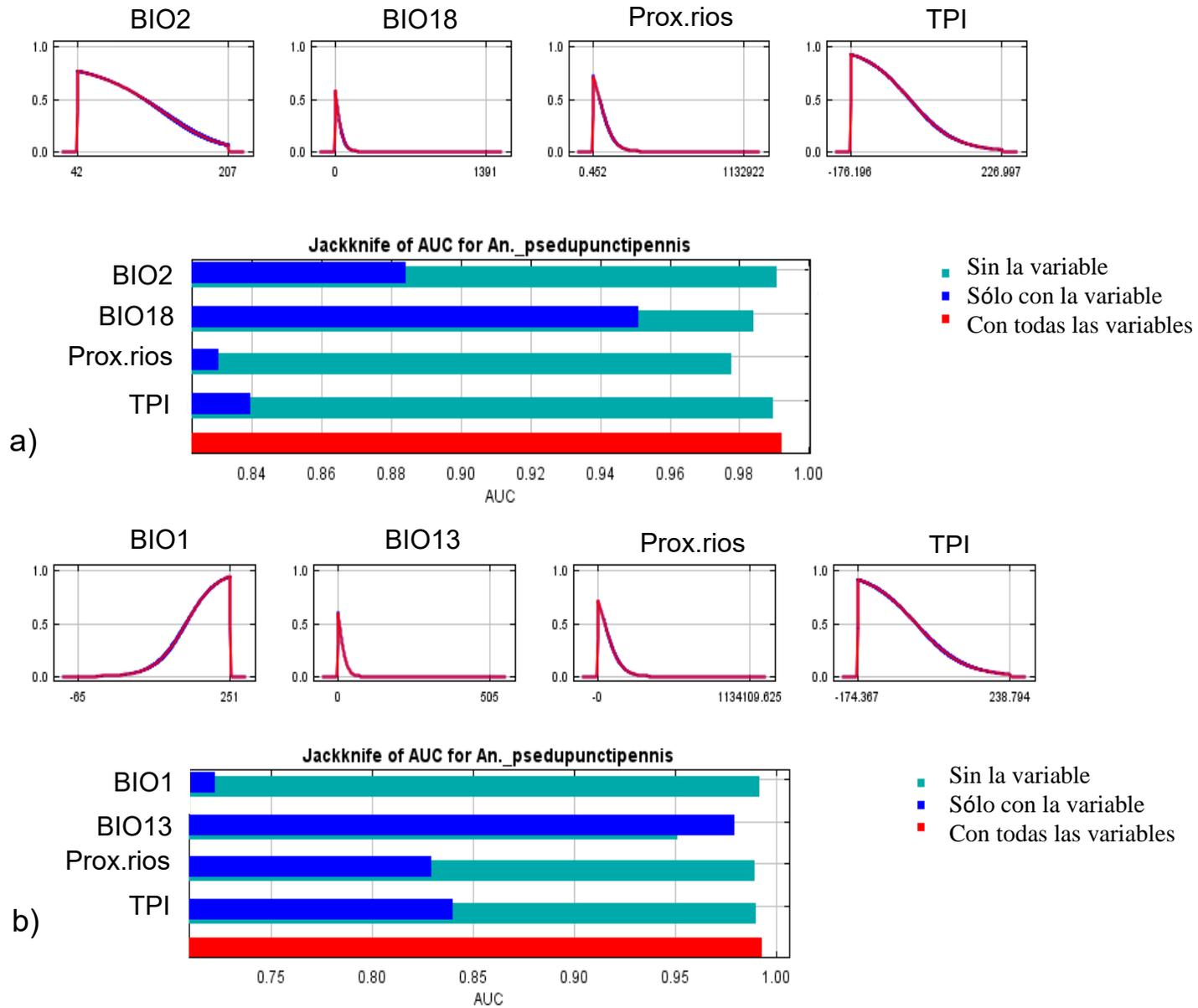


Fig 4. Curva de respuesta y gráfico *Jackknife* de las variables del modelo actual. a) Variables: BIO2, BIO18, Proximidad a los ríos, TPI. b) Variables: BIO1, BIO13, Proximidad a los ríos, TPI. Versiones 1.4 y 2.1. Resolución: 1 km².

Las áreas de extensión probables, según el modelo utilizado, de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* están indicadas en la tabla 4.

Versión	Variabes	Umbral (Máxima sensibilidad máxima especificidad)	Área (en km ²)
1.4	1, 13, TPI, PROX.RIOS	0,2652	39.353
1.4	2,18, TPI, PROX.RIOS	0,1745	49.396
2.1	1, 13, TPI, PROX.RIOS	0,2461	38.155
2.1	2,18, TPI, PROX.RIOS	0,3834	34.299

Tabla 4. Área de probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile según modelos actuales. Resolución: 1 km².

Pese a que, a simple vista, pareciese que los modelos realizados, utilizando las variables mixtas, presentaron una mayor área de extensión para el vector que aquéllos que no integraron las variables mixtas, se observa en la tabla 4 que sólo, el modelo con variables mixtas de la versión 1.4, presentó un área de extensión bastante mayor (49.396 km²) que los demás. En cambio, los modelos sin variables mixtas de ambas versiones, presentaron áreas de extensión para esta especie más similares entre sí (39.353 km² y 38.155 km²).

b) Modelos de distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile proyectados según escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5

Debido a que aún no están disponibles los modelos de la versión 2.1 para la proyección bajo escenarios de cambio climático, sólo se realizaron las proyecciones con los modelos de la versión 1.4.

Posterior al análisis por modelo proyectado, realizado por el *software Maxent*, se evaluaron los modelos a través del paquete *Evaluate* del *software R*. Los valores obtenidos en la evaluación por modelo, con variables mixtas, son entregados en la tabla 5.

De acuerdo a estos valores, los modelos con variables mixtas seleccionados correspondieron a HE (desarrollado por *Met Office Unified Model*), IN (desarrollado por *Institute of Numerical Mathematics Climate Model*) y MC (desarrollado por la Universidad de Tokio, NIES y JAMSTEC).

Las figuras 5, 6 y 7 muestran los mapas de probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, según los modelos seleccionados con variables mixtas: HE, IN y MC.

Versión	Modelo	Sensibilidad = Especificidad	Sensibilidad + Especificidad máximas	Prevalencia predicha = Prevalencia observada	Prevalencia predicha	Probabilidad promedio	AUC
4.5	AC	0.5	0.5	0.505	0	0	0.5
4.5	BC	0.5	0.5	0.505	0	0	0.5
4.5	CC	0.5	0.5	0.505	0	0	0.5
4.5	CN	0.5	0.5	0.505	0	0	0.5
4.5	GF	0.5	0.5	0.505	0	0	0.5
4.5	HE	0.14	0.13	0.49	0.0096	0.0147	0.9962
4.5	IN	0.19	0.18	0.6	0.0157	0.0174	0.9958
4.5	IP	0.14	0.13	0.51	0.0102	0.0142	0.9961
4.5	MC	0.165	0.15	0.48	0.0093	0.0139	0.9958
4.5	NO	0.15	0.14	0.47	0.0085	0.0146	0.9961
8.5	AC	0.5	0.5	0.505	0	0	0.5
8.5	BC	0.5	0.5	0.505	0	0	0.5
8.5	CC	0.5	0.5	0.505	0	0	0.5
8.5	CN	0.5	0.5	0.505	0	0	0.5
8.5	GF	0.5	0.5	0.505	0	0	0.5
8.5	HE	0.14	0.13	0.49	0.0124	0.0147	0.996
8.5	IN	0.19	0.18	0.6	0.0162	0.0174	0.9951
8.5	IP	0.14	0.13	0.51	0.0099	0.0142	0.9959
8.5	MC	0.165	0.15	0.48	0.0099	0.0139	0.9964
8.5	NO	0.15	0.14	0.47	0.0121	0.01465	0.9954

Tabla 5. Valores obtenidos de la evaluación para la selección de los modelos de proyección. Variables: BIO2, BIO18, TPI y Proximidad de ríos. Versión 1.4. Resolución: 1 km².

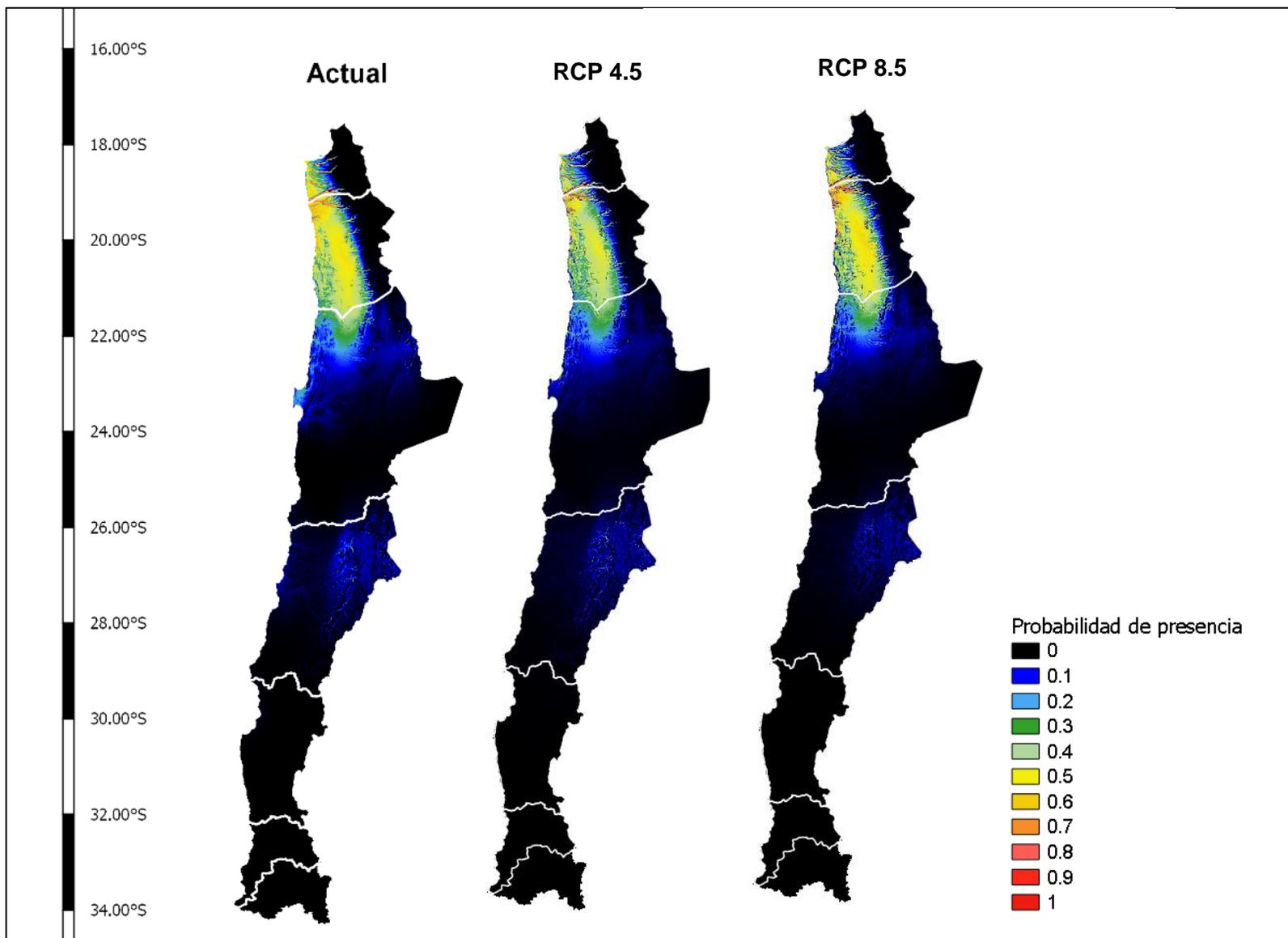


Fig 5. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile en condiciones actuales y en escenarios RCP 4.5 y 8.5. Variables: BIO2, BIO18, TPI, Proximidad a los ríos. Modelo HE.

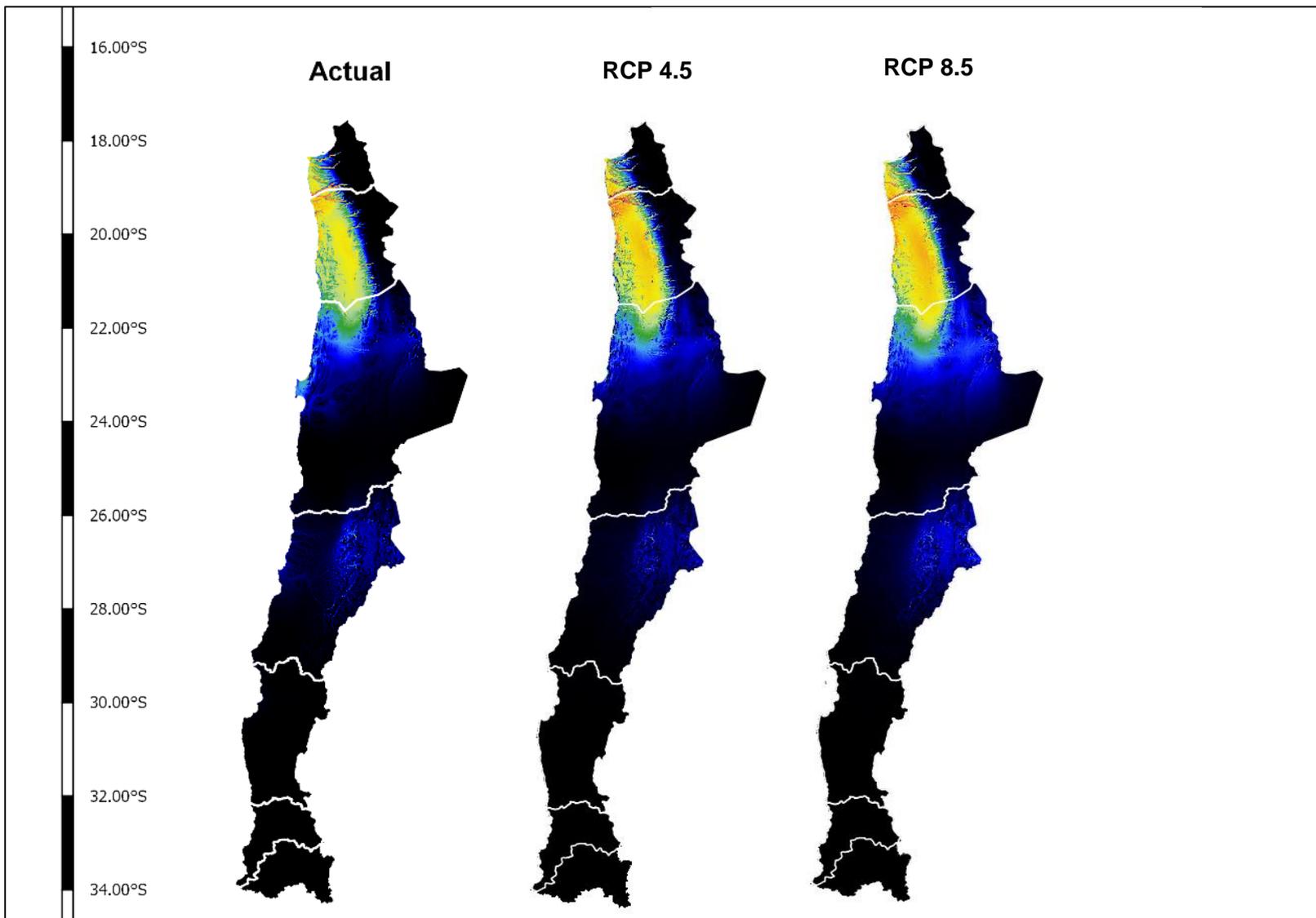


Fig 6. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile en condiciones actuales y en escenarios RCP 4.5 y 8.5. Variables: BIO2, BIO18, TPI, Proximidad a los ríos. Modelo IN.

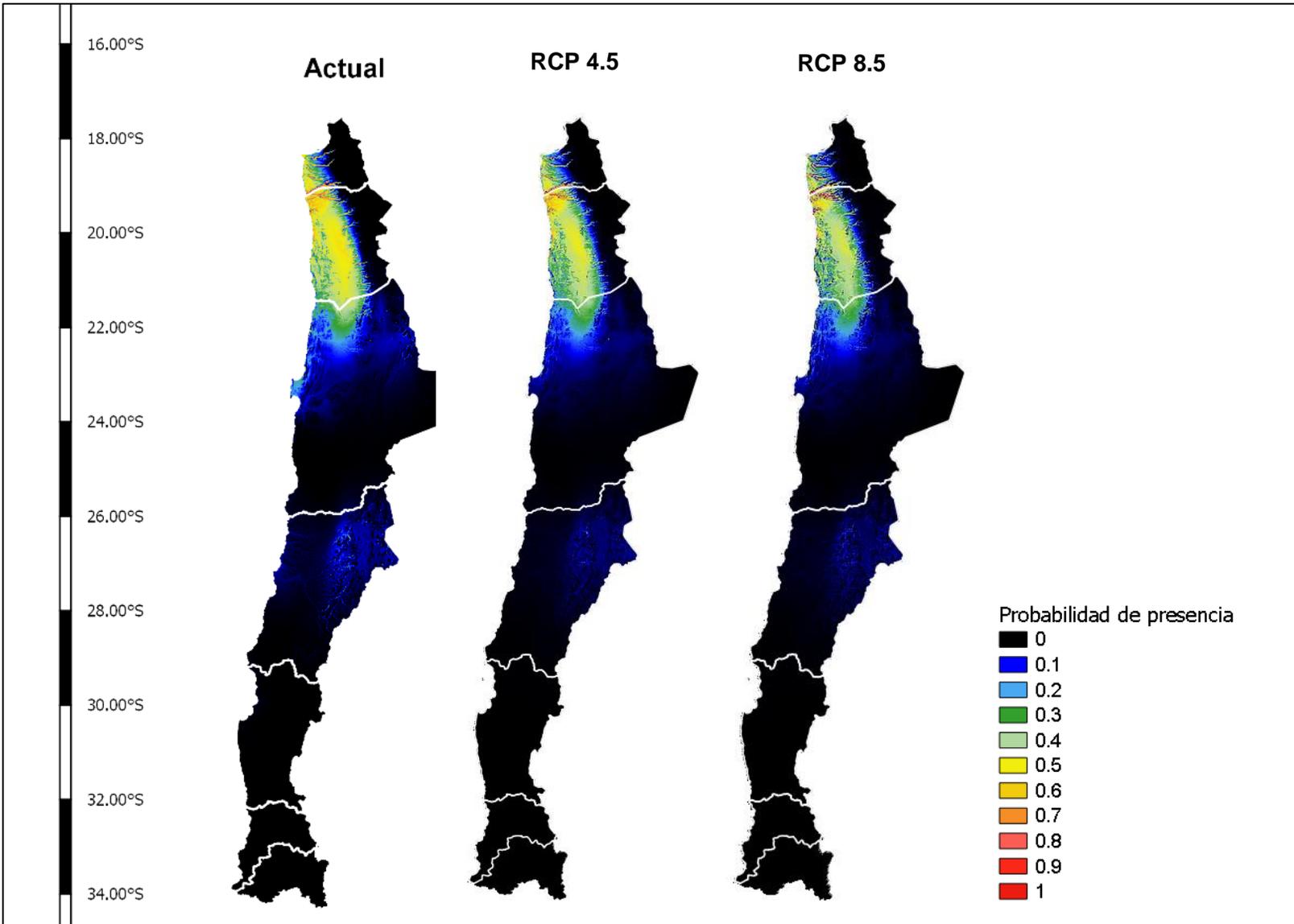


Fig 7. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile en condiciones actuales y en escenarios RCP 4.5 y 8.5. Variables: BIO2, BIO18, TPI y Proximidad a los ríos. Modelo MC.

De acuerdo a lo indicado en la tabla 4, el umbral según el criterio de “*Máxima sensibilidad, máxima especificidad*” para calcular el área de extensión probable de la presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, según estos modelos, utilizando variables mixtas, fue 0,1745 (de probabilidad de presencia).

El área de extensión probable del vector en Chile, según el modelo utilizado, está indicado en la tabla 6.

Proyección	Modelo	Área (en km ²)
RCP 4.5	HE	43.934
RCP 8.5	HE	44.344
RCP 4.5	IN	49.211
RCP 8.5	IN	56.231
RCP 4.5	MC	43.771
RCP 8.5	MC	40.630

Tabla 6. Área de extensión de la probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile según modelos proyectados HE, IN y MC. Variables: BIO2, BIO18, TPI y Proximidad a los ríos. Versión 1.4. Resolución: 1 km².

Se observa que, en todos los modelos proyectados, el área de extensión disminuyó (en promedio en un 7% para el escenario RCP 4.5 y en promedio en un 5% para el escenario RCP 8.5) en comparación al área de probabilidad de presencia de esta especie en el escenario actual (49.396 km²), salvo en el modelo IN en la proyección RCP 8.5 en el que el área se incrementó en un 13,8% (a 56.231 km²). Los mapas que proyectan la probabilidad de presencia de esta especie, bajo los escenarios de cambio climático, no variaron notoriamente del mapa del escenario actual, incluso de acuerdo a las escalas de colores de probabilidad de presencia, ésta disminuyó a medida que se intensifican los efectos del cambio climático.

Para los modelos proyectados analizados sin variables mixtas, los valores obtenidos de la evaluación se indican en la tabla 7.

De acuerdo a estos valores, los modelos sin variables mixtas seleccionados, correspondieron a GF (desarrollado por *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory*), HE e IP (desarrollado por *Institut Pierre-Simon Laplace Climate Modelling Centre*).

Las figuras 8, 9 y 10 corresponden a los mapas de probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, según los modelos proyectados seleccionados sin variables mixtas: GF, HE e IP.

Versión	Modelo	Sensibilidad = Especificidad	Sensibilidad + Especificidad máximas	Prevalencia predicha = Prevalencia observada	Prevalencia predicha	Probabilidad promedio	AUC
4.5	AC	0.435	0.415	0.71	0.0228	0.023	0.9962
4.5	BC	0.385	0.365	0.67	0.0201	0.0202	0.9958
4.5	CC	0.4	0.39	0.66	0.0209	0.0215	0.996
4.5	CN	0.38	0.355	0.7	0.022	0.0211	0.9953
4.5	GF	0.49	0.465	0.79	0.0256	0.0251	0.9946
4.5	HE	0.475	0.46	0.73	0.0236	0.0234	0.9961
4.5	IN	0.375	0.345	0.69	0.0214	0.0208	0.9957
4.5	IP	0.455	0.44	0.74	0.0236	0.0239	0.996
4.5	MC	0.44	0.43	0.72	0.0228	0.0221	0.9962
4.5	NO	0.43	0.43	0.72	0.0228	0.0223	0.9958
8.5	AC	0.49	0.48	0.75	0.0245	0.026	0.996
8.5	BC	0.49	0.48	0.76	0.0245	0.0251	0.9956
8.5	CC	0.475	0.46	0.73	0.0237	0.0247	0.9961
8.5	CN	0.495	0.48	0.76	0.0245	0.0243	0.9958
8.5	GF	0.69	0.68	0.86	0.0294	0.0355	0.9959
8.5	HE	0.575	0.555	0.79	0.027	0.0282	0.9965
8.5	IN	0.485	0.47	0.75	0.0247	0.0247	0.9958
8.5	IP	0.55	0.54	0.83	0.0275	0.0295	0.9957
8.5	MC	0.51	0.485	0.77	0.0264	0.0254	0.9956
8.5	NO	0.49	0.48	0.74	0.0245	0.0235	0.9955

Tabla 7. Valores obtenidos de la evaluación para la selección de los modelos de proyección. Variables: BIO1, BIO13, TPI y Proximidad de ríos. Versión 1.4. Resolución: 1km².

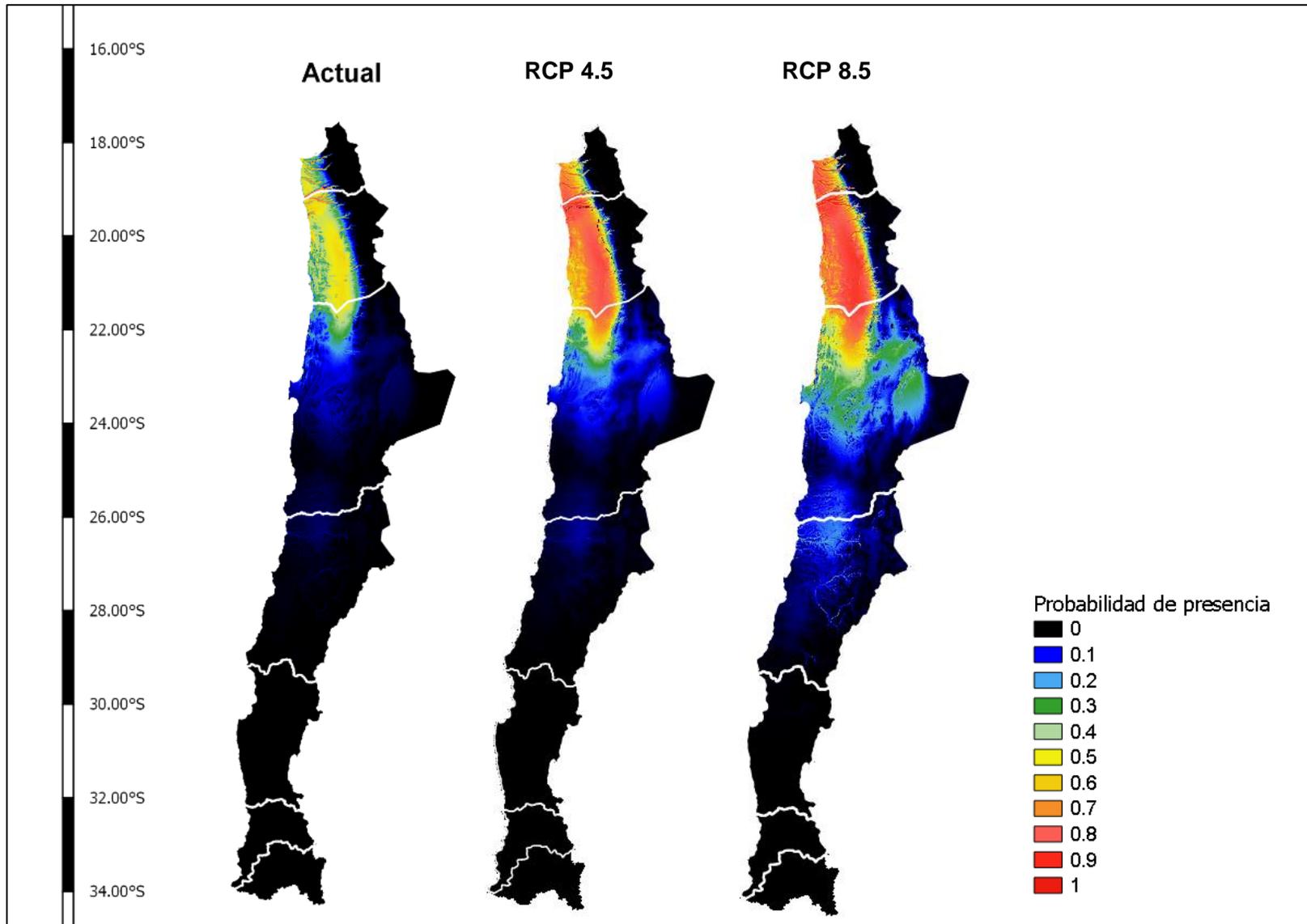


Fig 8. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile en condiciones actuales y en escenarios RCP 4.5 y 8.5. Variables: BIO1, BIO13, TPI y Proximidad a los ríos. Modelo GF.

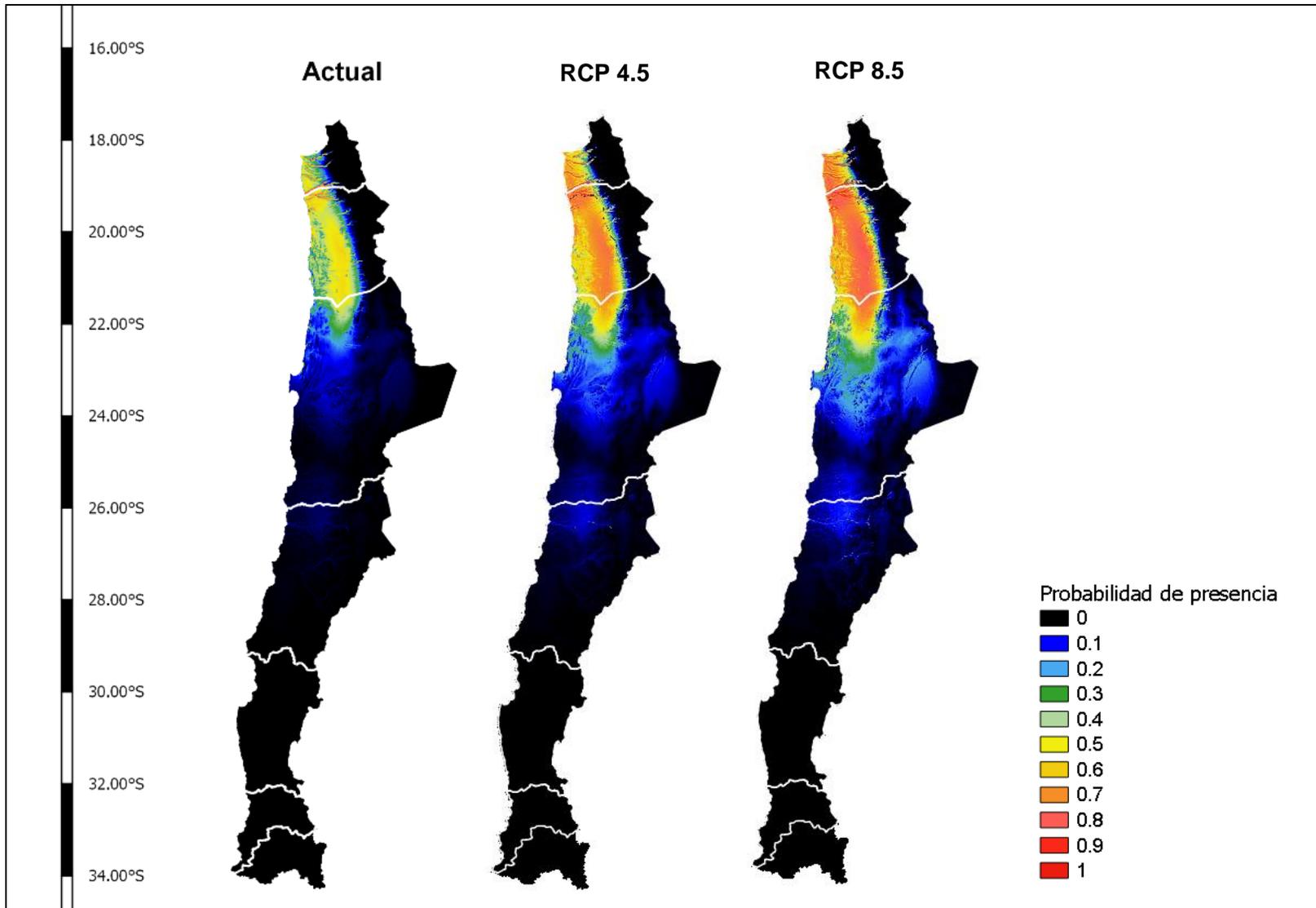


Fig 9. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile en condiciones actuales y en escenarios RCP 4.5 y 8.5. Variables: BIO1, BIO13, TPI y Proximidad a los ríos. Modelo HE.

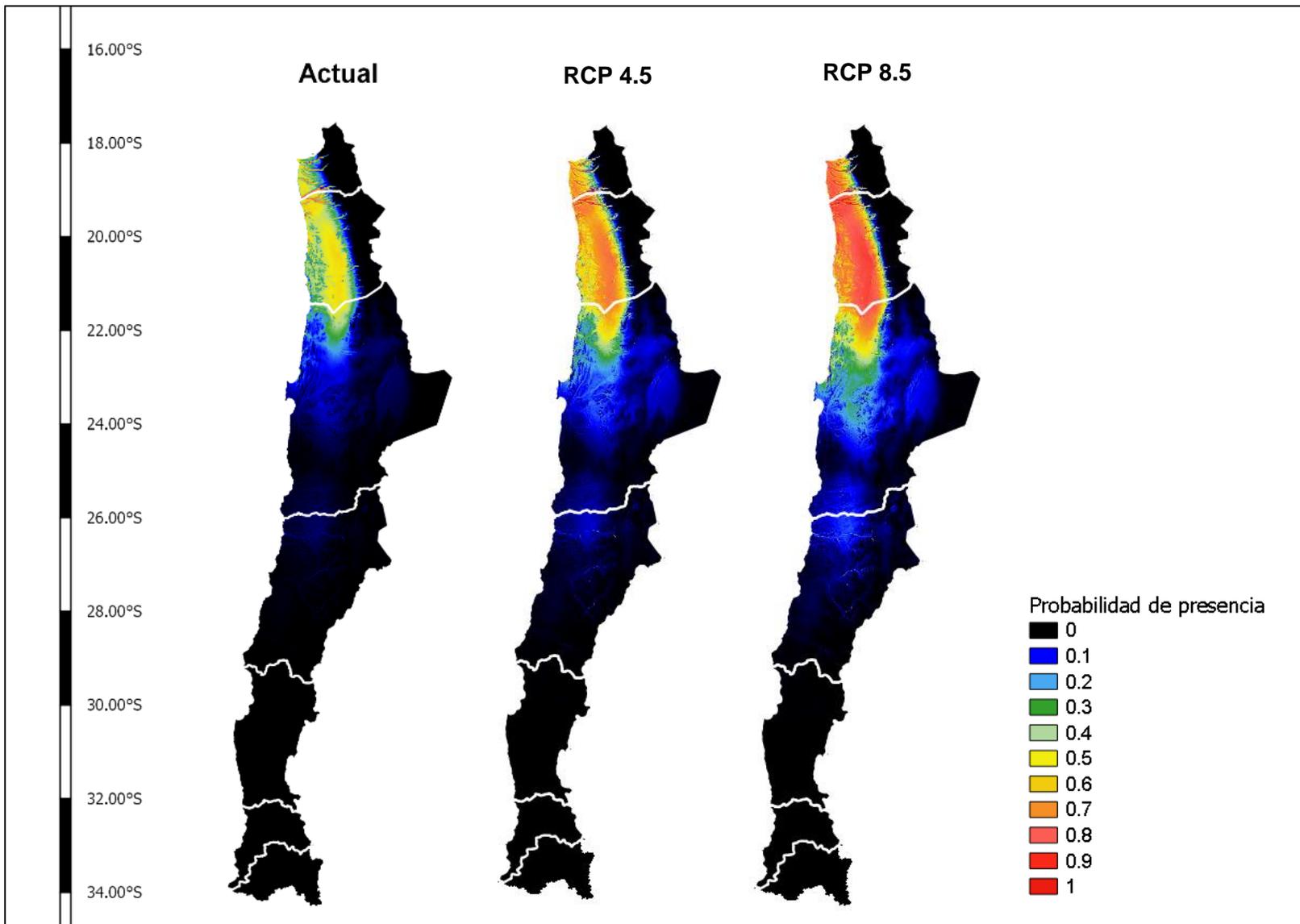


Fig 10. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile en condiciones actuales y en escenarios RCP 4.5 y 8.5. Variables: BIO1, BIO13, TPI y Proximidad a los ríos. Modelo IP.

De acuerdo a lo indicado en la tabla 4, el umbral de acuerdo al criterio de “*Máxima sensibilidad, máxima especificidad*” para calcular el área de extensión de probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, según los modelos proyectados sin variables mixtas, versión 1.4, fue 0,2652 (de probabilidad de presencia).

El área de extensión del vector en Chile está indicada en la tabla 8, según el modelo utilizado.

Proyección	Modelo	Área (en km ²)
RCP 4.5	GF	54.378
RCP 8.5	GF	79.299
RCP 4.5	HE	51.731
RCP 8.5	HE	61.282
RCP 4.5	IP	50.862
RCP 8.5	IP	61.151

Tabla 8. Área de extensión de la probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile según modelos proyectados GF, HE e IP. Variables: BIO1, BIO13, TPI y Proximidad a los ríos. Versión 1.4. Resolución: 1 km².

Se observa que, en todos los modelos, el área de extensión aumentó, en promedio, en un 33% para el escenario RCP 4.5 y en un 71% para el escenario RCP 8.5 en comparación al área actual (39.353 km²), tanto hacia una latitud mayor, como hacia una mayor longitud. Además, en los 3 modelos también se observa un incremento en el área de extensión entre los escenarios RCP 4.5 y 8.5 (en promedio en un 28%), extendiéndose ampliamente por la región de Antofagasta, aunque la probabilidad de presencia en esta región varió entre 0 y 1, con mayores valores hacia el norte de ésta.

2. Resultados del análisis global

a) Modelo de distribución potencial actual de *An. (Ano) pseudopunctipennis* en América

De las 857 presencias globales iniciales, se mantuvieron 210 puntos posterior a la limpieza. Después del análisis de correlación y la limpieza de las variables a través del *software Maxent*, se seleccionaron las siguientes variables: “*BIO8*”, “*BIO9*”, “*BIO19*”, “*TPI*” “*Proximidad a los ríos*” y “*Densidad poblacional humana*” para el modelo que integró todas las variables bioclimáticas; y “*BIO4*”, “*BIO10*”, “*BIO14*”, “*altitud*”, “*TPI*”, “*Proximidad a los ríos*” y “*Densidad poblacional humana*” para el modelo que no consideró las variables mixtas de temperatura y precipitaciones. Una vez seleccionadas las variables, se realizó una regresión logística cuyos resultados se indican en la tabla 9.

Variable	Coefficiente β	Error estándar	Valor p
BIO4	-0,00002202	0,000001907	<0,01
BIO8	0,00006903	0,00008136	0.396
BIO9	0,000711	0,00005882	<0,01
BIO10	0,0002606	0,00009906	<0,01
BIO14	-0,0002257	0,00001931	<0,01
BIO19	-0,00003342	0,000002898	<0,01
Altitud	0,000002687	0,0000009328	<0,01
TPI	-0,0009136	0,0001925	<0,01
Proximidad a los ríos	-0,003907	0,0005987	<0,01
Densidad poblacional humana	0,0008878	0,00004558	<0,01

Tabla 9. Resultados obtenidos de la regresión logística de las variables seleccionadas.

Versión 2.1. Resolución: 10 km².

De acuerdo a la tabla 9, la estacionalidad de la temperatura (“*BIO4*”) se relacionó negativamente con el modelo, es decir que a menor estacionalidad (variación entre estaciones) de la temperatura, mayor probabilidad de presencia del vector. El promedio de temperatura del cuarto más húmedo (“*BIO8*”) se relacionó positivamente, a mayor temperatura en el cuarto más húmedo, mayor probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*. No obstante, esta variable fue la única que obtuvo un valor p sobre 0,01, por lo que no fue significativa para el modelo. El promedio de temperatura del cuarto más seco (“*BIO9*”) se relacionó positivamente, es decir, a mayor promedio de temperatura durante el cuarto más seco, mayor es la probabilidad de presencia de la especie. El promedio de temperatura del cuarto más cálido (“*BIO10*”) se asoció positivamente al modelo, es decir que, a mayor promedio de temperatura del cuarto más cálido, mayor es la probabilidad de presencia. La precipitación del mes más seco (“*BIO14*”) se relacionó negativamente, a menor precipitación durante el mes más seco, mayor es la probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*. La precipitación del cuarto más frío (“*BIO19*”) se asoció negativamente a la probabilidad de presencia de esta especie, a menor precipitación durante el cuarto más frío, mayor probabilidad de presencia. La “*altitud*” se relacionó positivamente, a mayor altitud, mayor probabilidad de presencia. El índice de posición topográfica (“*TPI*”) se asoció negativamente al modelo, nuevamente la probabilidad de presencia se asocia a terrenos con capacidad de cuenca. La “*Proximidad a los ríos*” o distancia a cursos de agua, se relacionó negativamente a la probabilidad de presencia, a menor distancia mayor probabilidad. Finalmente, la “*Densidad poblacional humana*” se relacionó positivamente con la probabilidad de presencia global de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, a mayor densidad poblacional mayor probabilidad de presencia.

A continuación, se realizó la evaluación del análisis utilizando *ENMeval* en el *software R* con el fin de obtener los parámetros métricos que arrojaran el menor valor AICc. Los valores obtenidos se observan en la tabla 10.

Variables	Función	RM	AUC	AICC
8,9,19,PROX.RIOS, TPI, HUM	LQP	1	0,9354818	4363,338
4,10,14,ALT,TPI,PROX.RIOS, HUM	LQHP	3,5	0,9589401	4260,587

Tabla 10. Valores obtenidos del análisis de ENMeval de los modelos de distribución actuales globales. Versión 2.1. Resolución: 10 km².

Con el valor del MR y la función entregados por el análisis, se realizó el modelo actual nuevamente en el *software Maxent*. Los mapas obtenidos se observan en la figura 11. En ambos mapas, se aprecia que las zonas de mayor probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* coincidieron con los registros de presencia de México y a lo largo de la Cordillera de Los Andes. Sin embargo, respecto a Chile, en la figura 11a, se observa una mayor probabilidad de presencia en la costa de la zona norte hasta la región de Antofagasta (latitud 25°S) y, en la figura 11b, la probabilidad de presencia se extiende hasta la latitud 30°S (región de Coquimbo) por la cordillera.

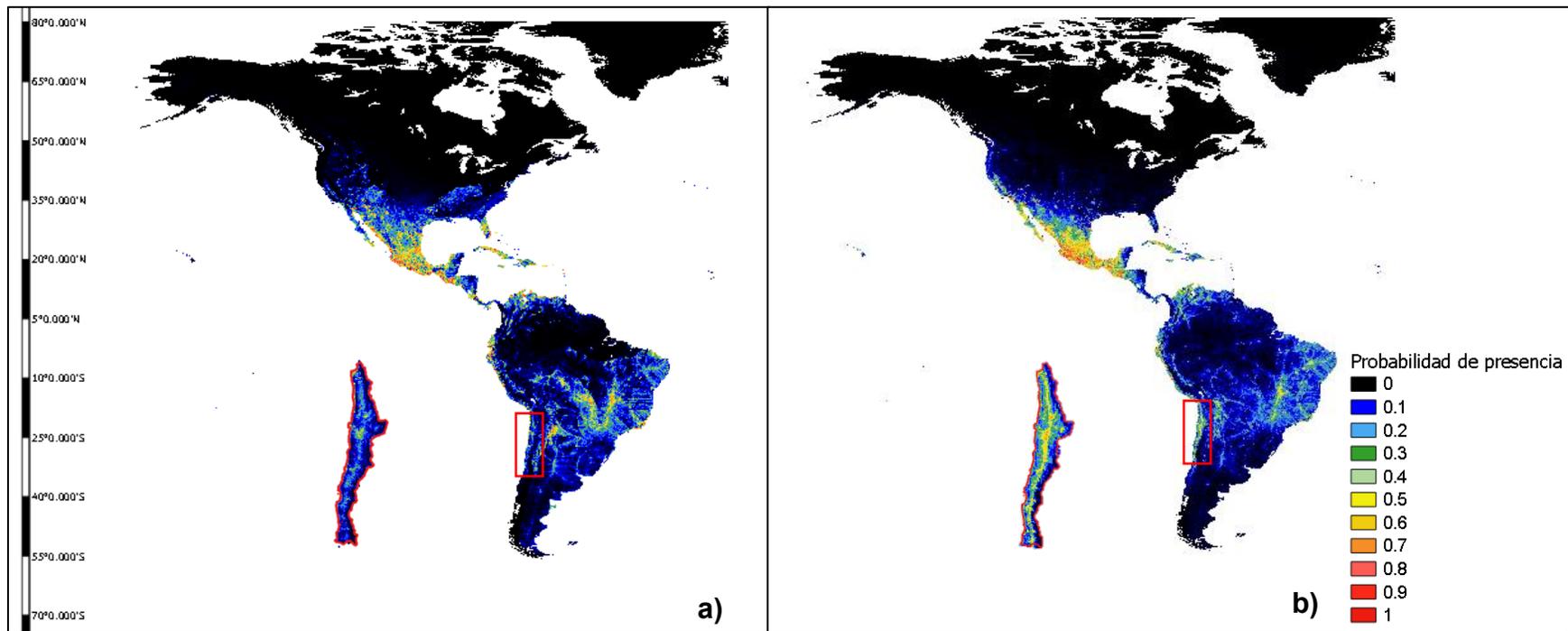


Fig 11. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en América en escenario actual, con acercamiento en el área de estudio local. Versión 2.1. Resolución: 10 km². a) Variables: BIO8, BIO9, BIO19, TPI, Proximidad a los ríos y Densidad poblacional humana b) Variables: BIO4, BIO10, BIO14, DEM, TPI, Proximidad a los ríos y Densidad poblacional humana.

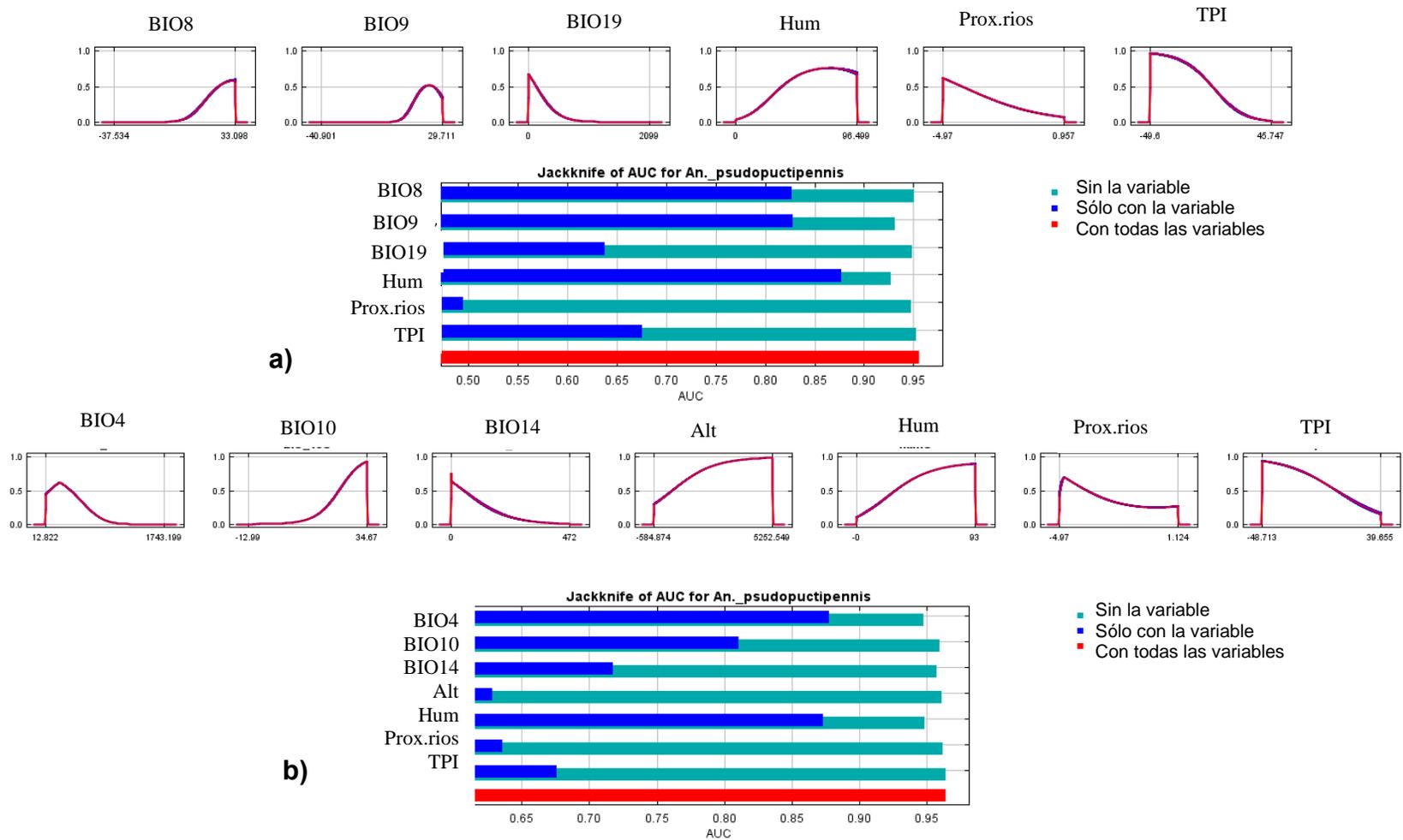


Fig 12. Curva de respuesta y gráfico *Jackknife* de las variables del modelo actual. a) Variables: BIO8, BIO9, BIO19, Densidad poblacional humana, Proximidad a los ríos, TPI. b) Variables: BIO4, BIO10, BIO14, Altitud, Densidad poblacional humana, Proximidad a los ríos, TPI. Versión 2.1. Resolución: 10 km².

En la figura 12, se observa que las curvas de respuesta de todas las variables se comportaron de forma unimodal. En el gráfico *Jackknife*, se observa que, para ambos modelos, la variable “*Densidad poblacional humana*” fue la más relevante.

Las áreas de extensión probables, según las variables utilizadas, de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* están indicadas en la tabla 11.

Variabes	Umbral (Máxima sensibilidad, máxima especificidad)	Área (en km ²)
8,9,19,TPI, PROX.RIOS, HUM	0,162	751.280
4,10,14, ALT, TPI, PROX.RIOS, HUM	0,1422	808.780

Tabla 11. Área de probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en América según modelos actuales. Versión 2.1. Resolución: 10 km².

Debido a que la capa “*Densidad poblacional humana*” no es proyectable, en escenarios de cambio climático, se volvió a realizar el análisis sin esta variable.

Los valores obtenidos de la evaluación de los modelos, se observan en la tabla 12.

Variabes	Función	RM	AUC	AICC
8, 9, 19, PROX.RIOS, TPI	LQHP	2,5	0,9230974	4503,55
4, 10, 14, ALT, PROX.RIOS, TPI,	LQHP	4	0,9336141	4445,479

Tabla 12. Valores obtenidos del análisis de ENMeval de los modelos de distribución actuales globales. Versión 2.1. Resolución: 10 km².

Con el valor del MR y la función entregados por el análisis, se realizó el modelo actual nuevamente en el *software Maxent*. Los mapas obtenidos se observan en la figura 13.

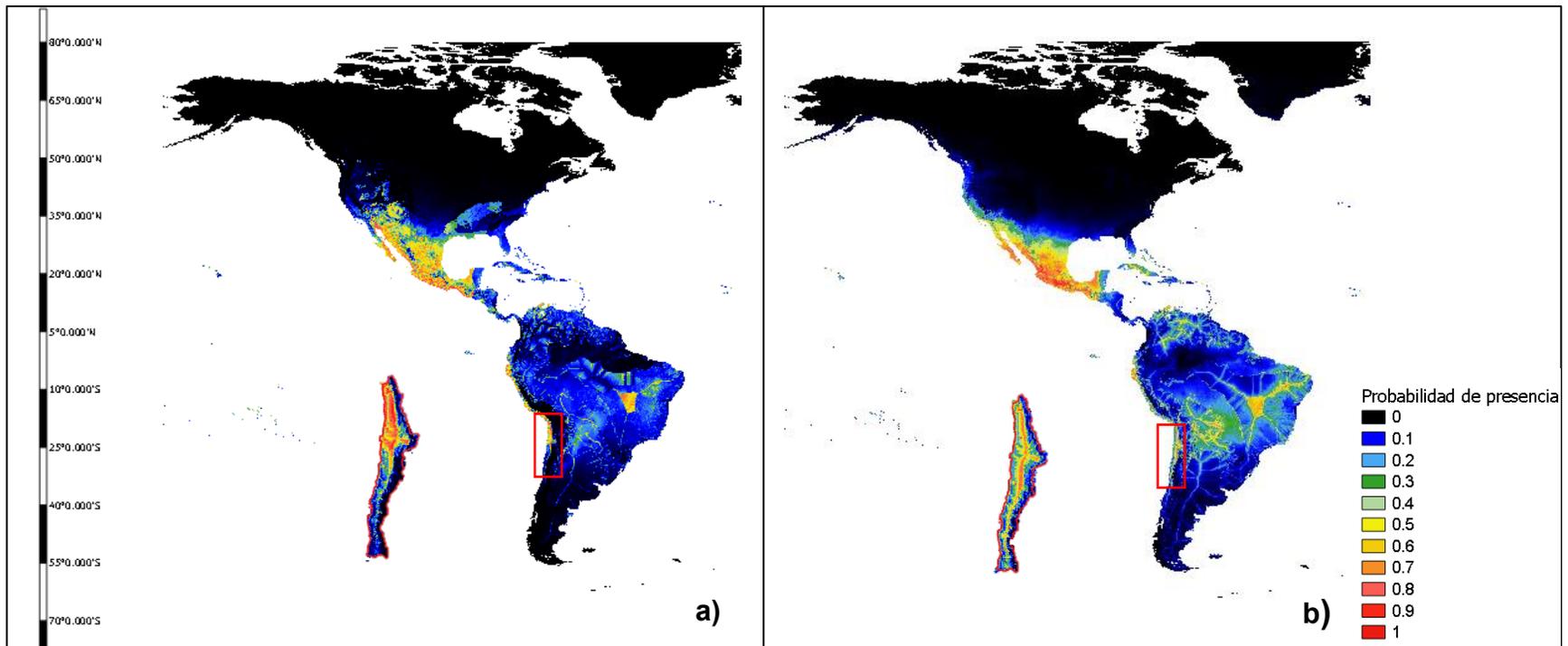


Fig 13. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en América en escenario actual, con acercamiento en el área de estudio local. Versión 2.1. Resolución: 10 km² a) Variables: BIO8, BIO9, BIO19, TPI y Proximidad a los ríos. b) Variables: BIO4, BIO10, BIO14, Altitud, TPI, Proximidad a los ríos.

Se observa que las áreas de mayor probabilidad de presencia (entre 0,6 y 1) coincidieron con los registros de presencia utilizados para el análisis. En la figura 13a, se observa una alta probabilidad de presencia entre las latitudes 13°S y 14°S (sureste del estado de Bahía) en Brasil y a lo largo de la Cordillera de Los Andes desde la latitud 6°S (región de Piura en el noroeste de Perú) alcanzando hasta la latitud 24°S (región de Antofagasta) en Chile. En cambio, en la figura 13b, se observa una alta probabilidad de presencia en las latitudes 6°S (centro del estado Río Grande del Norte) y en el sureste del estado de Bahía nuevamente en Brasil, en la ciudad de Cochabamba (latitud 17°S) extendiéndose hacia el este en Bolivia con una probabilidad media (0,5), y en el noroeste de Perú nuevamente y desde la frontera norte de Chile hasta la latitud 25°S (sur de la región de Atacama)

En la figura 14, se observa que la curva de respuesta de las variables “*BIO9*”, “*BIO19*” y “*Proximidad a los ríos*” se comportan de forma unimodal (Figura 14a). Las variables “*BIO8*” y “*TPI*” no presentaron una curva de respuesta tan limpia (Figura 14a); sin embargo, su utilización fue necesaria para que el modelo se acotara a la zona del norte de Chile. Lo mismo se puede observar para las variables “*Altitud*” y “*Proximidad a los ríos*” (Figura 14b). En el gráfico *Jackknife*, se ilustra la importancia de cada variable en el modelo, siendo las variables relacionadas a la temperatura (“*BIO8*” y “*BIO9*” para el modelo con variables mixtas, y “*BIO4*” y “*BIO10*” para el modelo sin variables mixtas) las que más incidieron a cada uno de los modelos.

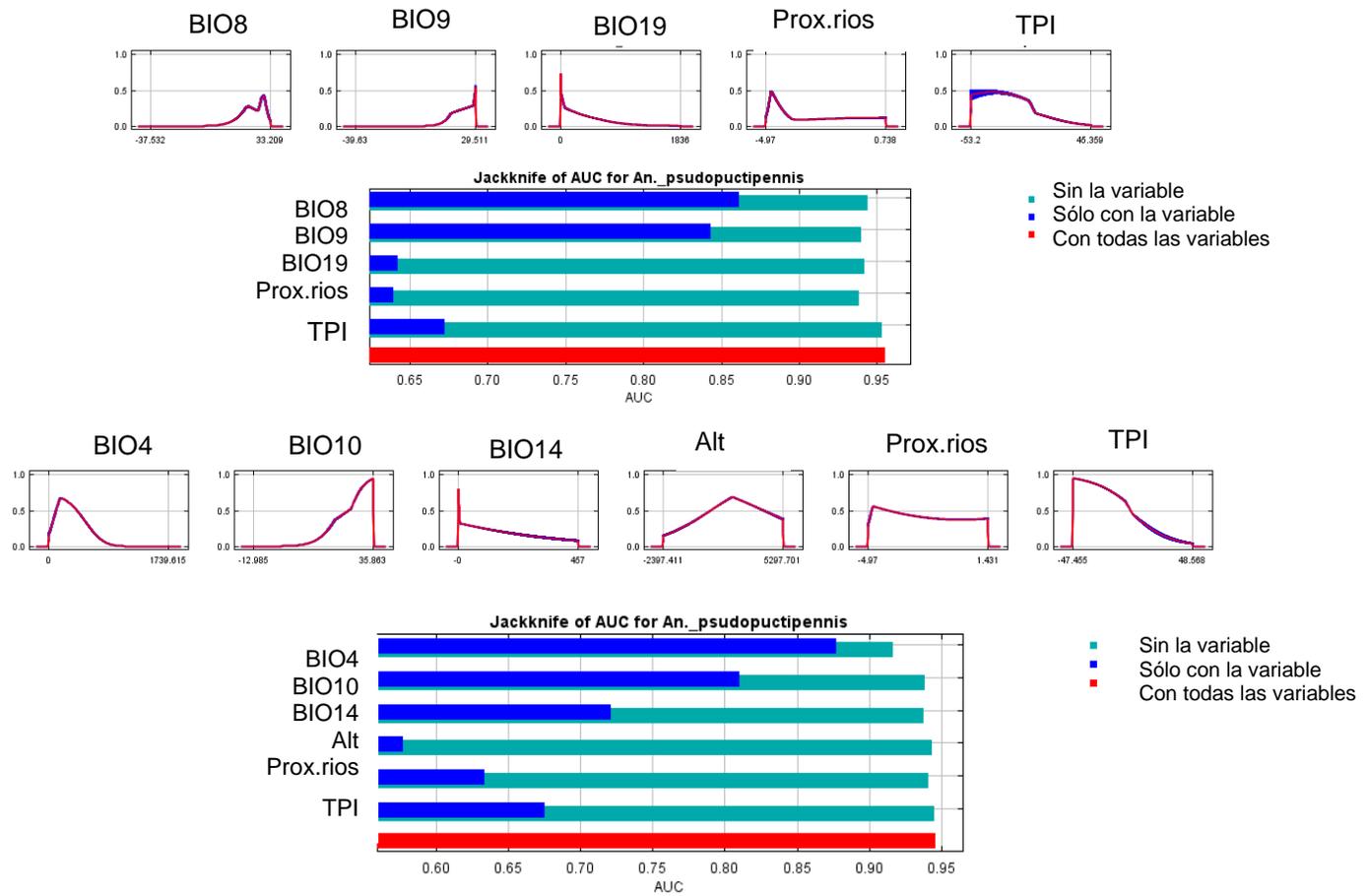


Fig 14. Curva de respuesta y gráfico *Jackknife* de las variables del modelo actual. a) Variables: BIO8, BIO9, BIO19, Proximidad a los ríos, TPI. b) Variables: BIO4, BIO10, BIO14, Altitud, Proximidad a los ríos, TPI. Versión 2.1. Resolución: 10 km².

Las áreas de extensión probables, según las variables utilizadas, de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* están indicadas en la tabla 13.

Variables	Umbral (Máxima sensibilidad, máxima especificidad)	Área (en km ²)
8, 9, 19, TPI, Proximidad a los ríos	0,2711	477.240
4, 10, 14, ALT, TPI, Proximidad a los ríos	0,3217	515.630

Tabla 13. Área de probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en América según modelos actuales. Versión 2.1. Resolución: 10 km².

A partir de esta tabla, se observa que las áreas de extensión de los modelos que incluyeron la capa de “*Densidad poblacional humana*” son un 57% más extensas (Tabla 11) que las áreas de los modelos sin capa de “*Densidad poblacional humana*” (Tabla 13).

b) Modelos de distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en América proyectados según escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5

Posterior al análisis por modelo proyectado, realizado por el *software Maxent*, se evaluaron los modelos a través del paquete *Evaluate* del *software R*. Los valores obtenidos en la evaluación por modelo, con variables mixtas, son entregados en la tabla 14.

Versión	Modelo	Sensibilidad = Especificidad	Sensibilidad + Especificidad máximas	Prevalencia predicha = Prevalencia observada	Prevalencia predicha	Probabilidad promedio	AUC
4.5	BCC	0.5	0.48	0.84	0.0638	0.1456	0.9824
4.5	Can	0.59	0.58	0.88	0.0748	0.16139	0.9833
4.5	CNRM	0.52	0.5	0.85	0.0709	0.1599	0.981
4.5	CNRM2	0.53	0.5	0.85	0.0707	0.1546	0.9813
4.5	IPSL	0.52	0.49	0.85	0.0712	0.1568	0.9821
4.5	MIROC	0.49	0.46	0.825	0.0624	0.1395	0.981
4.5	MIROC6	0.48	0.46	0.81	0.0583	0.1391	0.9826
8.5	BCC	0.56	0.54	0.86	0.077	0.1663	0.9815
8.5	Can	0.65	0.57	0.89	0.1095	0.1782	0.9805
8.5	CNRM	0.62	0.58	0.9	0.094	0.1841	0.9814
8.5	CNRM2	0.6	0.58	0.89	0.0913	0.18	0.982
8.5	IPSL	0.6	0.57	0.88	0.0891	0.1738	0.9814
8.5	MIROC	0.55	0.48	0.87	0.0825	0.1774	0.9785
8.5	MIROC6	0.53	0.48	0.85	0.0682	0.1585	0.9814

Tabla 14. Valores obtenidos de la evaluación para la selección de los modelos de proyección en el análisis global. Variables: BIO8, BIO9, BIO19, TPI, Proximidad a los ríos ríos. Versión 2.1. Resolución: 10 km².

De acuerdo a estos valores, los modelos con variables mixtas seleccionados correspondieron a Can (desarrollado por *The Canadian Earth System Model*), CNRM y CNRM2 (ambos desarrollados por *Centre National de Recherches Météorologiques* y *Centre Européen de Recherche et Formation Avancée en Calcul Scientifique*).

Las figuras 15, 16 y 17 representan los mapas de probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, según los modelos seleccionados con variables mixtas: Can, CNRM y CNRM2.

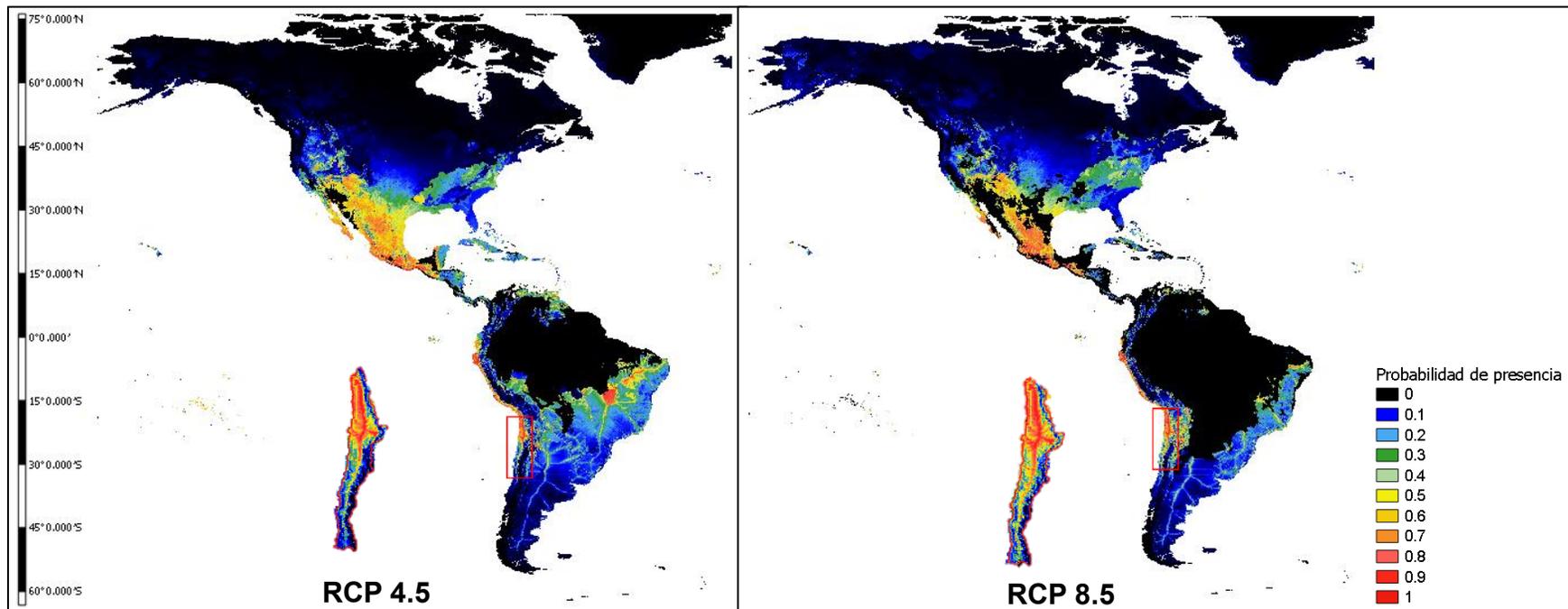


Fig 15. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en América en escenarios RCP 4.5 y 8.5, con acercamiento en el área de estudio local. Variables: BIO8, BIO9, BIO19, TPI y Proximidad a los ríos. Modelo Can.

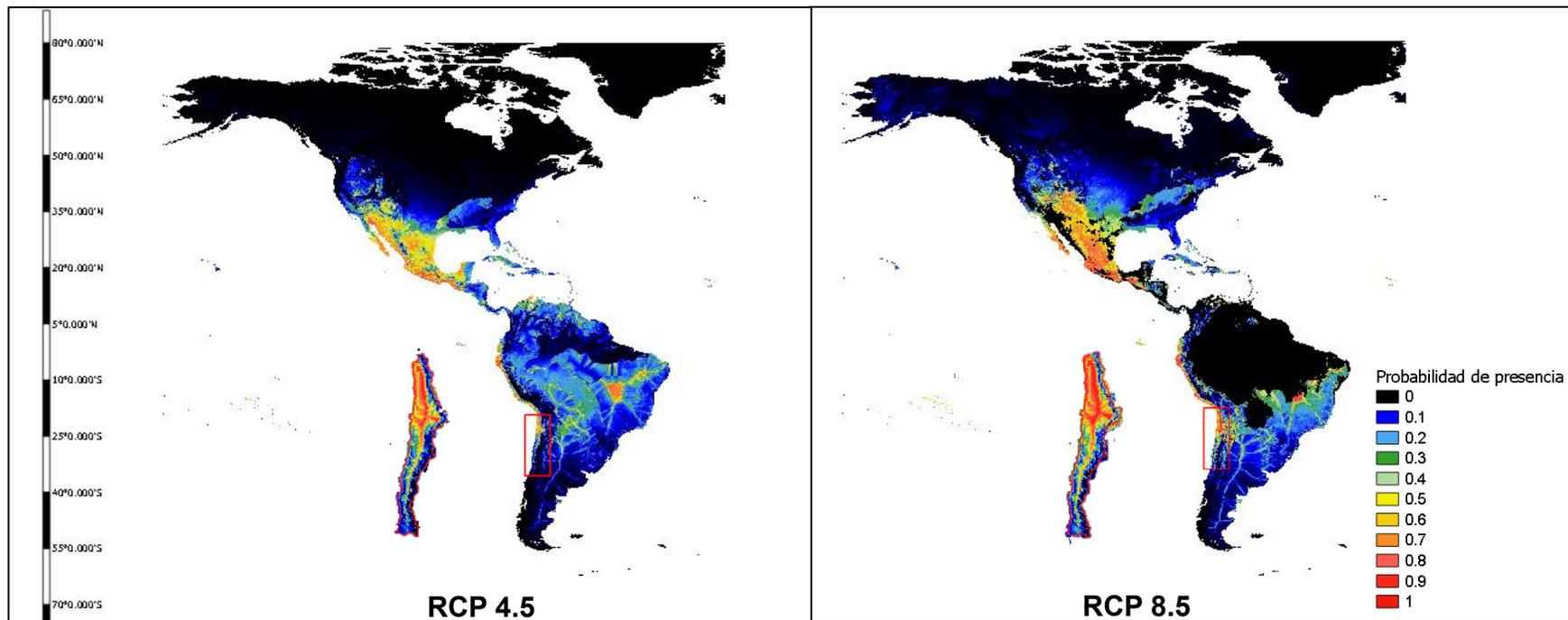


Fig 16. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en América en escenarios RCP 4.5 y 8.5, con acercamiento en el área de estudio local. Variables: BIO8, BIO9, BIO19, TPI y Proximidad a los ríos. Modelo CNRM.

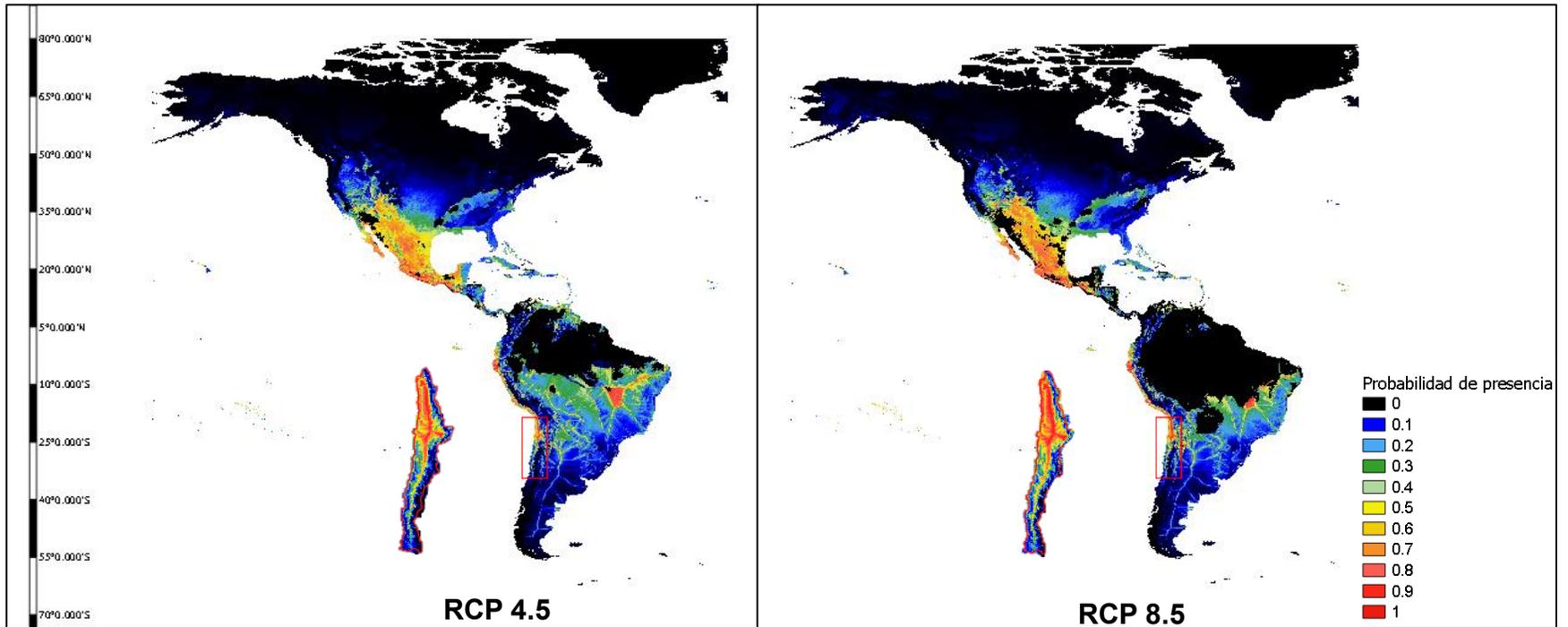


Fig 17. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en América en escenarios RCP 4.5 y 8.5, con acercamiento en el área de estudio local. Variables: BIO8, BIO9, BIO19, TPI y Proximidad a los ríos. Modelo CNRM2.

De acuerdo a lo indicado en la tabla 12, el umbral de acuerdo al criterio de “Máxima sensibilidad, máxima especificidad” para calcular el área de extensión de la probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* de acuerdo a estos modelos, utilizando variables mixtas, fue 0,2711 (de probabilidad de presencia).

El área de extensión probable del vector en Chile, según el modelo utilizado, está indicado en la tabla 15.

Proyección	Modelo	Área (en km ²)
RCP 4.5	Can	878.440
RCP 8.5	Can	608.780
RCP 4.5	CNMR	1.074.510
RCP 8.5	CNMR	678.200
RCP 4.5	CNMR2	923.910
RCP 8.5	CNMR2	728.740

Tabla 15. Área de extensión de la probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile según modelos proyectados Can, CNMR e CNMR2. Variables: BIO8, BIO9, BIO19, TPI y Proximidad a los ríos. Versión 2.1. Resolución: 10 km².

Se observa que, en todos los modelos proyectados, el área de extensión se incrementó en promedio en un 100%, para el escenario RCP 4.5, en comparación al área de probabilidad de presencia de esta especie en el escenario actual (477.240 km²), con menor probabilidad de presencia (0,2) hacia los polos (latitud 45°N y latitud 50°S aproximadamente). Adicionalmente, se observa que, el norte de Sudamérica (norte de Brasil, Guyana, Surinam y Venezuela), presentó una probabilidad 0 de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*. En cambio, la probabilidad de presencia varió entre

0,5 a 1 en México y a lo largo de la Cordillera de Los Andes, hasta el norte de Chile (latitud 19°S aproximadamente). Sin embargo, al pasar al escenario RCP 8.5, el área probable de extensión disminuyó, en promedio, en un 30% al compararse con el área del escenario RCP 4.5, pero se mantuvo mayor, en promedio en un 41%, al área proyectada en el escenario actual.

En cuanto los modelos sin variables mixtas, los valores obtenidos en la evaluación por modelo son entregados en la tabla 16.

De acuerdo a estos valores, los modelos con variables mixtas seleccionados correspondieron a Can, CNRM y CNRM2. Las figuras 18, 19 y 20 representan los mapas de probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, según los modelos seleccionados con variables mixtas: Can, CNRM y CNRM2.

Versión	Modelo	Sensibilidad = Especificidad	Sensibilidad + Especificidad máximas	Prevalencia predicha = Prevalencia observada	Prevalencia predicha	Probabilidad promedio	AUC
RCP 4.5	BCC	0.45	0.4	0.85	0.1295	0.2151	0.9318
RCP 4.5	Can	0.52	0.46	0.9	0.2178	0.2656	0.9062
RCP 4.5	CNRM	0.45	0.41	0.85	0.1361	0.2254	0.9313
RCP 4.5	CNRM2	0.46	0.41	0.85	0.1276	0.2171	0.9397
RCP 4.5	IPSL	0.45	0.405	0.855	0.1458	0.228	0.9263
RCP 4.5	MIROC	0.4	0.34	0.815	0.1007	0.19	0.9359
RCP 4.5	MIROC6	0.37	0.34	0.82	0.0995	0.1881	0.9305
RCP 8.5	BCC	0.52	0.44	0.89	0.1865	0.2526	0.9205
RCP 8.5	Can	0.61	0.45	0.96	0.2877	0.2864	0.8617
RCP 8.5	CNRM	0.59	0.53	0.92	0.2681	0.2986	0.9087
RCP 8.5	CNRM2	0.55	0.51	0.9	0.245	0.2849	0.9149
RCP 8.5	IPSL	0.59	0.51	0.91	0.2329	0.2655	0.9312
RCP 8.5	MIROC	0.49	0.43	0.87	0.1708	0.2424	0.9255
RCP 8.5	MIROC6	0.47	0.42	0.86	0.1543	0.2411	0.9284

Tabla 16. Valores obtenidos de la evaluación para la selección de los modelos de proyección en el análisis global. Variables: BIO4, BIO10, BIO14, DEM, TPI y Proximidad a los ríos. Versión 2.1. Resolución: 10 km² .

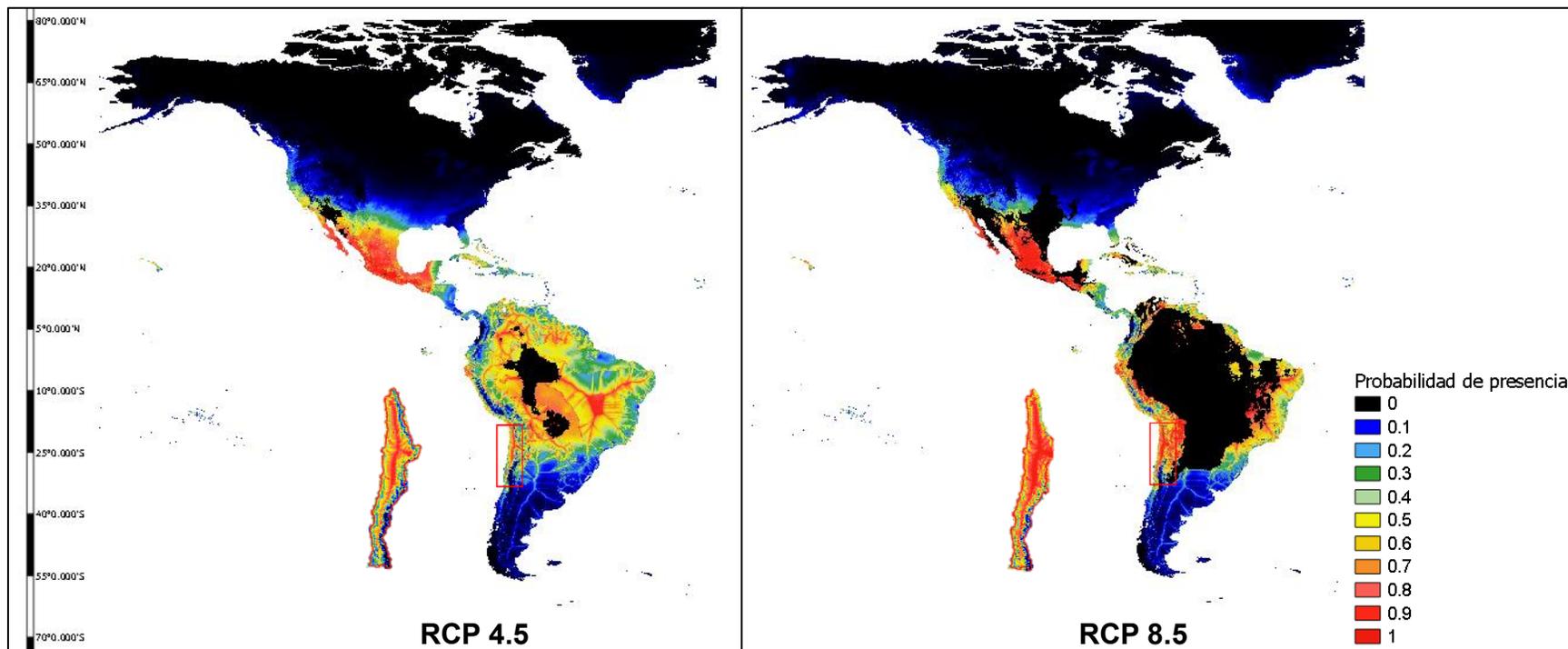


Fig 18. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en América en escenarios RCP 4.5 y 8.5, con acercamiento en el área de estudio local. Variables: BIO4, BIO10, BIO14, Altitud, TPI y Proximidad a los ríos. Modelo Can.

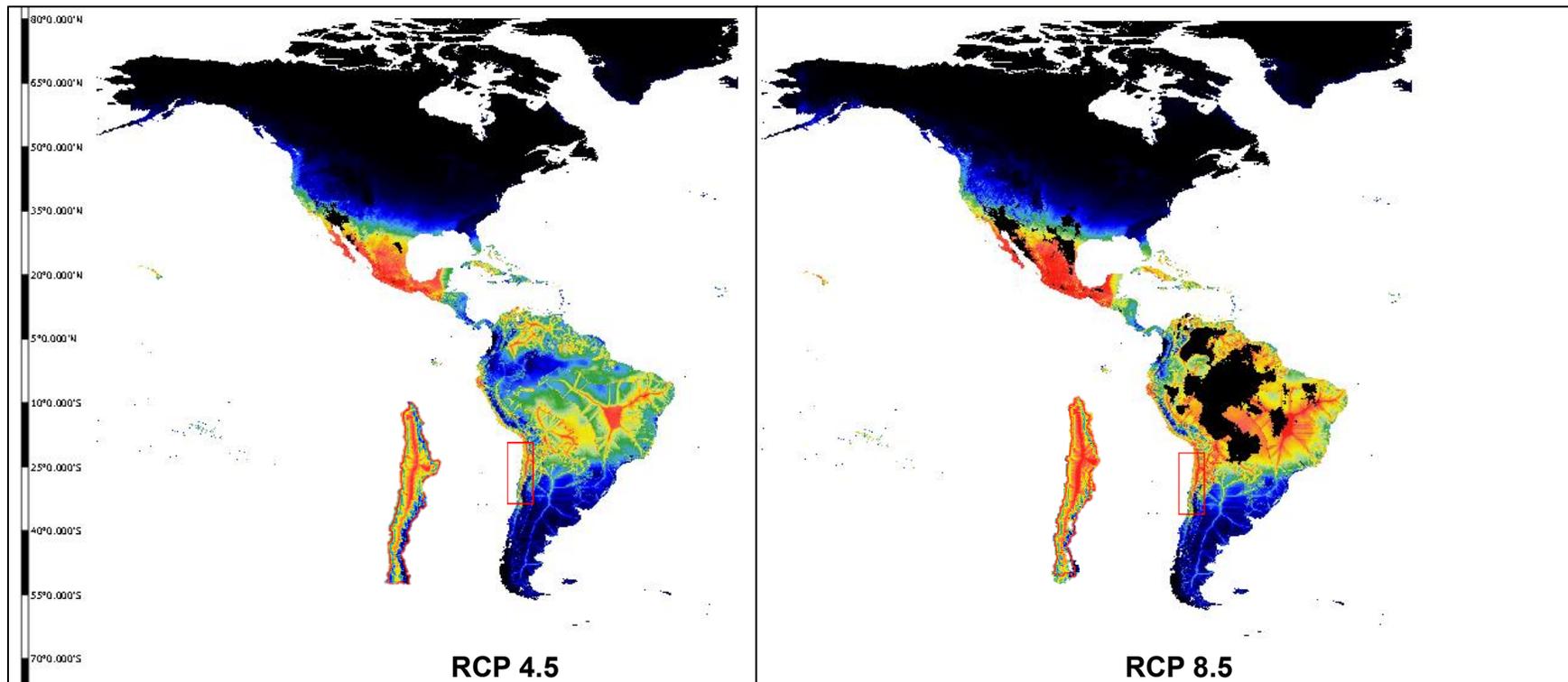


Fig 19. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en América en escenarios RCP 4.5 y 8.5, con acercamiento en el área de estudio local. Variables: BIO4, BIO10, BIO14, Altitud, TPI y Proximidad a los ríos. Modelo CNRM.

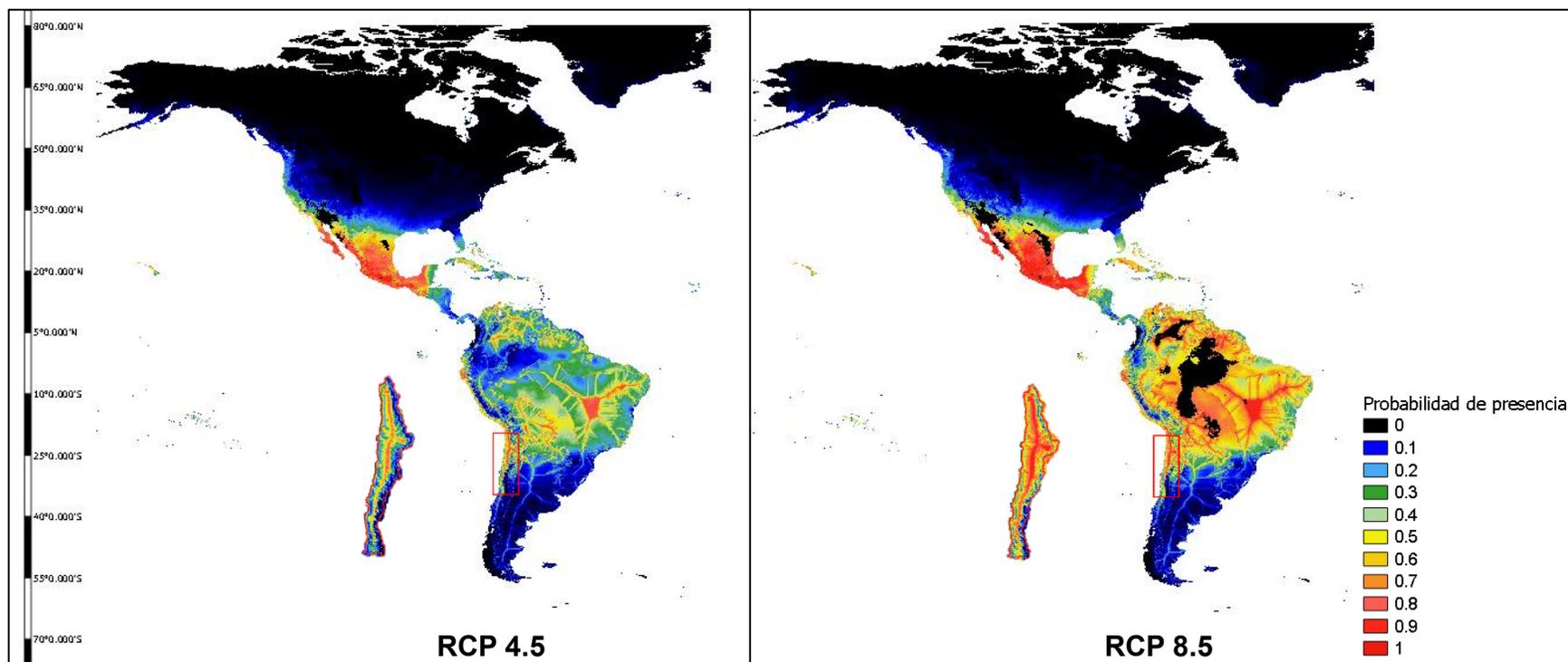


Fig 20. Distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en América en escenarios RCP 4.5 y 8.5, con acercamiento en el área de estudio local. Variables: BIO4, BIO10, BIO14, Altitud, TPI y Proximidad a los ríos. Modelo CNRM2.

De acuerdo a lo indicado en la tabla 11, el punto de corte para calcular el área de extensión de probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* de acuerdo a estos modelos, sin incluir a las variables mixtas, fue 0,3217 (de probabilidad de presencia).

El área de extensión probable del vector en Chile, según el modelo utilizado, está indicado en la tabla 17.

Proyección	Modelo	Área (en km ²)
RCP 4.5	Can	1.622.680
RCP 8.5	Can	832.230
RCP 4.5	CNRM	1.256.540
RCP 8.5	CNRM	1.462.730
RCP 4.5	CNRM2	1.138.850
RCP 8.5	CNRM2	1.760.680

Tabla 17. Área de extensión de la probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile según modelos proyectados Can, CNRM e CNRM2. Variables: BIO4, BIO10, BIO14, DEM, TPI y Proximidad a los ríos. Versión 2.1. Resolución: 10 km².

Se observa que, en todos los modelos, se produjo un incremento del área probable de extensión, en promedio de un 160%, en el escenario RCP 4.5 en comparación al área proyectada para el escenario actual (515.630 km²). En el escenario RCP 8.5, se generó un aumento en el área de extensión para los modelos CNRM y CNRM2, en promedio de un 213%, en comparación al área del escenario actual. No obstante, en el modelo Can, para el escenario RCP 8.5, el incremento fue sólo de un 61% al compararse con el área del escenario actual, y fue menor, en un 49%, al área alcanzada para el escenario RCP 4.5. Además, se constata que en el escenario RCP 4.5, el área de extensión probable del vector alcanzó casi toda Sudamérica, Centroamérica y México, con una mayor intensidad de

probabilidad de presencia a lo largo de los ríos del centro de Sudamérica, en México y a lo largo de la Cordillera de Los Andes hasta el centro de Chile (latitud 30°S aproximadamente). En el escenario RCP 8.5, el área de extensión se vio más restringida hacia los extremos de Sudamérica y el centro de México; sin embargo, la intensidad de probabilidad de presencia se incrementó.

VII. DISCUSIÓN

Tanto en los escenarios de bajas como en los de altas emisiones de gases de efecto invernadero, es probable que el cambio climático favorezca la expansión de los rangos de distribución para distintas especies de insectos, provocando una mayor distribución, alternancia de algunas especies e invasiones en áreas previamente demasiado frías para las poblaciones, por ejemplo, de las especies de *Anopheles*, en distintas áreas del planeta (Tonnang *et al.*, 2010). Una mayor ocurrencia de los vectores de Malaria proyectados en los escenarios de altas emisiones se muestra en concordancia con las predicciones de los modelos ecológicos sobre el cambio en la distribución de los biomas mundiales y los cambios en el clima producto del aumento de los gases de efecto invernadero. (Akpan *et al.*, 2018). Esto concuerda con lo observado en el trabajo, en el cual, términos generales, *An. (Ano.) pseudopunctipennis* incrementa su área de extensión y probabilidad de presencia en Chile bajo las condiciones de ambos escenarios climáticos. Esta conclusión es de relevancia en términos de salud pública, dado que este vector transmitió Malaria en el norte del país.

La interpretación de las proyecciones que puedan formularse para el norte grande de Chile, deben ser realizadas con cuidado dadas las incertidumbres acerca del comportamiento futuro de las precipitaciones, las cuales se han manifestado de forma inestable durante el último siglo, más aún considerando que los niveles de precipitaciones en el norte grande de Chile son muy bajos en comparación a los del trópico, provocando que los modelos estadísticos sean susceptibles a errores (Sarricolea *et al.*, 2017). Por lo tanto, esta interpretación es de vital importancia, sobre todo al considerar que las precipitaciones son particularmente importantes para la fase acuática del ciclo biológico de los mosquitos. Sin embargo, intensas lluvias, como las que ocurren durante la época estival, en el llamado “Invierno Altiplánico”, en el norte de Chile, como resultado de la intensa actividad convectiva de la región tropical del continente, de la que hacen parte los Andes Centrales,

y que en verano alcanza su mayor intensidad y máximo desplazamiento hacia el sur (Mendonça, 2017), pueden tener un alto impacto en las ocurrencias de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* que se desarrolla en ambientes lénticos (Manguin *et al.*, 1995; Manguin *et al.*, 1996).

Otro antecedente que también debe ser considerado es que, en las proyecciones de los escenarios de cambio climático, no se considera que ciertas zonas puedan presentar topología compleja, y la especie *An. (Ano.) pseudopunctipennis* se desarrolla en Chile, con gran frecuencia, en sectores de topología abrupta, en pozas cercanas a cursos de agua formadas por las crecidas de éstos, con presencia de pendiente y capacidad de cuenca del terreno. Además, se debe considerar que la escala de los análisis (ya sea a 1 km² o a 10 km²) suponen una limitación, debido a que muchas veces no logra capturar la presencia de pozas de agua, de vital importancia en la reproducción de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*. Existe una discusión sobre la validez de aquellas capas bioclimáticas que analizan temperatura y precipitaciones en conjunto (capas mixtas), sobre todo en la resolución de 1 km², en zonas montañosas. Esto se explica por la dificultad que implica medir estas variables en estos terrenos debido a un bajo alcance de las estaciones meteorológicas, provocando cambios abruptos en los valores de éstas de un píxel a otro (Hijmans *et al.*, 2005; Escobar *et al.*, 2015; Astorga *et al.*, 2018). Esto se ve reflejado en el análisis local actual, en el que las áreas de probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en los modelos que utilizaron variables mixtas (versión 1.4 y 2.1) difieren mucho entre sí (49.396 km² y 34.299 km² respectivamente), en cambio en los modelos sin variables mixtas, estas áreas son similares (39.353 km² y 38.155 km² respectivamente) (Tabla 4). Adicionalmente, se puede observar que, al utilizar las variables mixtas en el análisis local de proyección bajo los escenarios de cambio climático, las áreas de extensión disminuyen en comparación al área de distribución potencial actual (Figuras 5, 6 y 7, Tabla 6). No obstante, en el análisis global de proyección bajo escenarios de cambio climático utilizando

variables mixtas, las áreas de extensión de ambos escenarios aumentan en comparación al área de extensión potencial actual (Figuras 15, 16 y 17, Tabla 15). Por ende, debido a la inestabilidad de las predicciones al considerar a las variables mixtas, Astorga *et al.* (2018) recomiendan no incluirlas en los análisis de distribución de especies.

Por ende, en el análisis realizado en este estudio, se puede comprobar que el modelo local de resolución a 1 km², sin variables mixtas, se ajusta a lo esperado para la distribución potencial actual de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, tanto en el escenario actual, de acuerdo a los registros de presencia y las características ambientales y topológicas del terreno conocidas para su desarrollo, como en los escenarios futuros (Figuras 8, 9 y 10), según el comportamiento de los insectos en general frente a los efectos del cambio climático y la proyección de las variables de interés para el modelo de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*. En este modelo se aprecia un incremento del área de distribución de este vector a medida que se intensifican los efectos del cambio climático, desde 39.353 km² en el escenario actual (Tabla 4), hasta 52.324 km² en promedio de los 3 modelos para el escenario RCP 4.5, y hasta 67.244 km² en promedio de los 3 modelos para el escenario RCP 8.5 (Tabla 8). Respecto a esto, se observa un corredor continuo de alta probabilidad de presencia (50% hasta 100% de probabilidad) que se extiende desde Arica hasta el norte de Antofagasta a lo largo de la Cordillera de Los Andes, probablemente debido a características similares de la topología del terreno, el comportamiento de la temperatura ambiental y de las precipitaciones y de la vegetación de tipo desierto tropical interior con vegetación escasa (Luebert & Pliscosff, 2017). Pese a que en este análisis no se incluyó la vegetación como variable, las demás condiciones mencionadas son inherentes al tipo de vegetación del desierto.

En cambio, en el caso de los modelos en los que sí se consideraron las variables mixtas, tanto a nivel local (Figuras 5, 6 y 7) como a nivel global (Figuras 15, 16 y 17) en ambos escenarios, al igual

que la proyección RCP 8.5 en comparación al RCP 4.5 del modelo Can del análisis global sin variables mixtas (Figura18), se observa una disminución del área de distribución de la especie, lo que no coincide con la respuesta a las proyecciones climáticas esperada para *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, tomando en cuenta los requisitos de su ciclo biológico de temperaturas altas y precipitaciones ocasionales. Pese a que los insectos, en general, se ven beneficiados por estos incrementos de temperatura, poseen un límite máximo de tolerancia, en los que empiezan a perecer (Kingsolver *et al.*, 2011), lo que podría explicar la disminución del área de extensión de probabilidad del vector en los modelos mencionados. Además, de acuerdo al IPCC (2014), las zonas tropicales son las que sufrirán mayores alzas de la temperatura ambiental. Esto quizás explique la disminución del área de extensión de los modelos proyectados bajo escenarios de cambio climático en el análisis global, donde se reduce la probabilidad de presencia de esta especie a 0, en las zonas cercanas al Ecuador, de clima tropical.

Además, en el modelo local de distribución actual con variables mixtas, aparece una probabilidad de presencia baja (10% de probabilidad) de esta especie al noreste de la región de Atacama a lo largo de la Cordillera de Claudio Gay entre los salares de Pedernales y de Maricunga (Figuras 3a. y 3c.), sin ninguna continuidad con el corredor formado por la población de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, que tiene probabilidad de presencia desde Arica hasta el norte de Antofagasta. Es poco probable que, en las condiciones actuales pueda establecerse, una población de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, en esa zona, debido a que se encuentra aislada de la población actual descrita, aunque se cumplan ciertas condiciones ambientales y de topología del terreno necesarias para su establecimiento y desarrollo de su ciclo biológico. Sin embargo, en la zona hay una gran cantidad de salares que, probablemente, el análisis esté considerando como cursos de agua para el desarrollo del vector. No obstante, debido a que este vector se cría en aguas dulces y no se ha descrito su

desarrollo en aguas salobres, la salinidad de estos recursos de agua impide su posible instauración. Esto mismo debe suceder en el análisis global actual con variables mixtas y sin considerar la capa de “*Densidad poblacional humana*” (Figura 13b), en que la probabilidad de presencia de esta especie se extiende hasta el sur de la región de Atacama (latitud 25°S aproximadamente). Cabe recordar que el análisis global es menos preciso a nivel local debido a la resolución de 10 km², por lo que sólo se puede precisar que esta probabilidad de presencia recorre el largo de la Cordillera de Los Andes desde la frontera norte de Chile hasta esta latitud.

En relación a las variables topográficas, se observa que, en ambos análisis, tanto local como global, “*TPI*” y “*Proximidad a los ríos*” son variables determinantes (Figuras 4, 12 y 14) que se relacionan de forma negativa con la probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* (Tablas 2 y 9), es decir en terrenos con capacidad de cuenca y cercanos a cursos de agua. Esto se debe a la preferencia de pozas de agua estancada formadas por el crecimiento de los ríos como criaderos por parte de la especie (Manguin *et al.*, 1996). Además, para el análisis global sin variables mixtas, otra variable determinante es la “*altitud*” (Figuras 12 y 14), la cual se relaciona positivamente con el modelo (Tabla 9). Esto se explica porque *An. (Ano.) pseudopunctipennis* se caracteriza por ser el vector de Malaria de zonas sobre los 2.800 m.s.n.m (Rueda *et al.*, 2004), inclusive se ha descrito su presencia hasta los 3.200 m.s.n.m en Perú (Vargas, 2003). Adicionalmente a las variables topográficas, se observó que tanto la temperatura como las precipitaciones tienen un impacto en la probabilidad de presencia de esta especie en ambos análisis, aunque la temperatura del cuarto más húmedo (BIO8) resultó no ser significativa para el modelo (Tabla 9). Se conoce que el incremento de la temperatura ambiental tiene efectos relevantes en el ciclo biológico de los insectos: disminuye los tiempos de generación y aumenta la fecundidad, la supervivencia, la densidad poblacional y la capacidad de dispersión (Bale *et al.*, 2002; Musolin, 2007; Ogden & Lindsay, 2016). Por lo que el

incremento de la temperatura ambiental, proyectado en ambos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5), aumentaría la extensión de la probabilidad de presencia del vector. En el análisis global se observa que las variables asociadas con la temperatura, relacionadas a una baja variación de la temperatura durante el año y temperaturas altas (Tabla 9, Figuras 12 y 14), aportan de gran manera a los modelos. Adicionalmente, las precipitaciones durante el cuarto más frío (BIO19) se relacionan de forma negativa a la probabilidad de presencia de esta especie (Tabla 9). Probablemente, esto se deba a la gran variedad de hábitats que presenta esta especie, a lo largo del continente americano, donde, en la mayoría de los casos, se asocian a climas tropicales con precipitaciones estivales frecuentes. Por lo tanto, la temperatura, de características ya mencionadas, sería una variable determinante en la probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* a nivel del continente. A nivel local, altas temperaturas, de acuerdo a la literatura sobre los 16°C hasta los 35°C (Lardeux *et al.*, 2008), y bajos rangos de temperaturas durante el día (Tabla 2) también son importantes, sin embargo, las precipitaciones son las que más aportan al modelo (Figura 4). En cuanto a las precipitaciones, pese a que también están asociadas al incremento de la tasa de reproducción y rango de distribución, es una variable controversial en el desarrollo de *An. (Ano.) pseudopunctipennis*, ya que precipitaciones intensas están asociadas al arrastre de sus criaderos. Sin embargo, éstas son necesarias, sobre todo en ambientes áridos como el hábitat de este vector en Chile, para generar el estancamiento de agua donde se crían los estados juveniles. Por lo anterior, las variables que más aportaron al modelo local están relacionadas a altas precipitaciones durante el mes más húmedo (BIO13) (Figura 4). Sin embargo, cabe recordar que, en la regresión logística, esta variable no fue significativa para el modelo, quitándole relevancia dentro del análisis, debido a que, probablemente, las precipitaciones tienen un rol positivo en la reproducción del vector cuando son bajas, por la formación de pozas de agua estancada, pero negativo cuando son altas, por el aumento de la escorrentía del agua y el arrastre de los criaderos, no pudiendo el modelo lineal

discriminar entre estos dos efectos contrapuestos. Asimismo, las precipitaciones durante el cuarto más cálido (BIO 18) se asocian negativamente a la probabilidad de presencia de esta especie (Tabla 2), lo cual se contradice a la temporada de máximas precipitaciones en el norte grande de Chile en verano. Actualmente, se asocia un incremento de las poblaciones de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* posterior a la ocurrencia del “Invierno Altiplánico”, fenómeno que se produce en el periodo estival. No obstante, pese a que se proyecta un incremento leve en las precipitaciones en el norte grande, en los escenarios de cambio climático, no es posible predecir cómo se comportará este fenómeno climático, puesto que éste depende del comportamiento del anticiclón del Pacífico Sur (Luebert & Plischoff, 2017). Sin embargo, se ha observado en los últimos años, un aumento en la intensidad de este tipo de fenómenos asociados justamente al cambio climático (Villaruel, 2018), por lo que se podría esperar que las precipitaciones durante el periodo estival en el norte grande de Chile también se vieran intensificadas en los escenarios RCP 4.5 y 8.5. Sin embargo, de acuerdo al análisis local, esta intensificación de las precipitaciones pudiese tener un efecto negativo en la probabilidad de presencia del vector, posiblemente debido al arrastre de sus criaderos.

Por otro lado, se puede observar que, las variables de importancia para la distribución potencial del vector, no son las mismas para el análisis nacional que para el global. Esto, probablemente, se deba a la gran variedad de hábitats en los que se puede desarrollar el vector en su rango de distribución a lo largo del continente americano (Pinault & Hunter, 2012a). Un claro ejemplo corresponde a la capa de “*Densidad poblacional humana*”, de importancia para la distribución potencial global (Figura 12), pero no así para la distribución potencial actual de Chile (Figura 4), tal como se observa en las Figuras 11 a y b, en las que la probabilidad de presencia del vector se extiende hasta aproximadamente las latitudes 25°S (por la costa) y 30°S (por la cordillera), respectivamente, sin coincidir con los registros actuales del vector en Chile. Esto se debe, probablemente, a la capa de

“*Densidad de población humana*”, puesto que la población en Chile se concentra en la costa del norte (Romero *et al.*, 2003) y, en gran medida, en la zona centro sur de Chile (INE, 2017). En consecuencia, al integrar esta capa al análisis, las áreas de extensión de presencia probable del vector son un 57% más extensas que en los modelos que no integraron esta capa (Tablas 11 y 12), describiendo zonas como adecuadas para el establecimiento del vector mucho más al sur de las presencias registradas. Por ende la capa de “*Densidad poblacional humana*” no es predictora para la distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile, lo que concuerda con las zonas de registros de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en sitios rurales, generalmente alejados de la población humana, en el norte de Chile (González *et al.*, 2016b). Esto se debe a la estrategia alimenticia oportunista de este vector, pudiendo alimentarse de los hospederos que tenga al alcance (Lardeux *et al.*, 2007; Sinka *et al.*, 2010) y a la preferencia de crianza en criaderos naturales asociados a cursos de agua y terreno escarpado. Se observa un comportamiento similar en *Anopheles quadriannulatus* Theobald, una especie del sur de África, de hábitos alimenticios zoofílicos, evitando, generalmente, a la población humana (Takken *et al.*, 1999; Victoria, 2002). Aunque existen registros de picaduras en personas por esta especie, no es un comportamiento frecuente (Takken *et al.*, 1999).

En cambio, como ya se mencionó, en otras zonas este vector sí puede desarrollarse en zonas más cercanas a la urbe, transformándose en el principal vector de Malaria en México, Guatemala, Nicaragua, Bolivia, Ecuador, Perú y Argentina (Manguin *et al.*, 2016). Esta diferencia de preferencia de hábitats también se puede observar en *Anopheles gambiae* Giles *sensu stricto*, especie en la que se han demostrado 2 variantes moleculares: “*M*” y “*S*”, siendo la primera asociada a criaderos antropogénicos, en hábitats de vegetación xérica, y la segunda a charcos naturales temporales en regiones menos áridas (Kamdem *et al.*, 2012). Esta observación reafirma la

importancia del estudio de la biología, de cualquier vector, en cada nueva zona colonizada, puesto que las características del ciclo biológico y, por ende, los requisitos para su sobrevivencia y reproducción, pueden diferir debido a una adaptación a las condiciones a las que se ve enfrentado (Sternberg & Thomas, 2014). Adicionalmente Estrada-Franco *et al.* (1993) afirman que *An. (Ano.) pseudopunctipennis* corresponde a un complejo de 2 especies: “*An. (Ano.) pseudopunctipennis A*”, con una distribución concordante con México Central, y “*An. (Ano.) pseudopunctipennis B*” que se distribuye en Bolivia, Perú y Chile, a lo largo de la Cordillera de Los Andes. De acuerdo a los autores, la existencia de estas dos especies se debe a una especiación alopátrica producida por el crecimiento de la Cordillera de Los Andes (Estrada-Franco *et al.*, 1992; Estrada-Franco *et al.*, 1993), lo que explicaría la variedad de hábitats observados para *An. (Ano.) pseudopunctipennis* entre ambas regiones geográficas, así como la gran distancia que existe entre ambas poblaciones a lo largo de su rango de distribución. Posteriormente, Coetze *et al.* (1999) determinaron la existencia de una tercera especie “*An. (Ano.) pseudopunctipennis C*” proveniente de la isla de Granada, abriendo la discusión a la posibilidad de la existencia de diversas especies dentro del complejo *An. (Ano.) pseudopunctipennis*. Otra posible explicación acerca de la relevancia de la capa de “*Densidad poblacional humana*” en el análisis global es la resolución de 10 km², puesto que, al ser una resolución baja, cada píxel está integrado por una alta concentración de mosquitos y de población humana, sobre todo en México, provocando que la implicancia de dicha variable esté sesgada.

El análisis local actual y proyectado, sin variables mixtas (Figuras 3b, 3d, 8,9 y 10), se ajusta a lo esperado para esta especie, una distribución en el norte grande de Chile, siguiendo la continuidad de la Cordillera de Los Andes, asociada a los cursos de agua que fluyen por las quebradas del norte de Chile. No obstante, se proyecta hasta un 30% (0,3) de probabilidad de presencia en la proyección RCP 8.5 en el salar de Atacama. Tal como en el caso del río Loa, es poco probable que este vector

pueda colonizar y desarrollarse en este lugar debido a la salinidad del agua (Espinoza *et al.*, 2000). Sin embargo, esta zona, seguramente, cumple con otros requisitos necesarios para el desarrollo del ciclo biológico de esta especie, por lo que sería aconsejable eliminar esta zona previo al análisis. Por otra parte, en el análisis global, se observan ciertas discordancias en la distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en el este de Bolivia y en Brasil (Figuras 13 a y b). En el caso de Bolivia, probablemente esto se deba a la falta de registros de este vector (sólo se consideró 1 registro en el análisis proveniente de este país). No obstante, pese a que el este de Bolivia, donde no se ha registrado esta especie, se predice una probabilidad de presencia media (0,5), también se predice una alta probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en la zona montañosa cercana a Cochabamba (latitud 17°S aproximadamente), coincidente con el único registro de presencia utilizado para este país. En el caso de Brasil, es posible que sea necesario agregar alguna variable, por ejemplo, el tipo de vegetación, que descarte Brasil, país en el que no se ha registrado la presencia de este vector (Rosa-Freitas *et al.*, 1998), como parte de la distribución potencial actual de éste, al presentar un tipo de vegetación distinta a la presente en el norte de Chile. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la vegetación es una capa no proyectable bajo escenarios de cambio climático. Por esta razón, es posible que, para un análisis global más ajustado, se necesite agregar alguna variable adicional que descarte Brasil como parte de la distribución potencial actual de este. Por otro lado, existen otras especies pertenecientes al subgénero *Anopheles* (*An. (Ano.) punctimacula*, *An. (Ano.) malefactor*, *An. (Ano.) calderoni*) con distribución a ambos costados de la Cordillera de Los Andes y en Centroamérica, sin embargo, se describen en zonas costeras y de menor altitud (Loaiza *et al.*, 2008; Pinault & Hunter, 2012b; Berti *et al.*, 2016; Rodríguez-Zabala *et al.*, 2016, Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2019). Por lo tanto, se puede diferir que este subgénero es propio de Centro América y del norte y el centro de Sudamérica, quedando confinado a ambos lados de los Andes con el crecimiento de la cordillera.

Adicionalmente, cabe recordar que este análisis se enfocó en la distribución potencial de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile, por lo que el análisis global se ajustó considerando los requisitos del vector en el país. Es por esta razón que se realizó una limpieza exhaustiva de los registros de presencia provenientes de México (distancia mayor a 100 km entre los puntos, debido a la gran cantidad de registros que presenta este país) y de Sudamérica sin considerar Chile (distancia mayor a 60 km entre los puntos), de forma que los valores de los puntos de Chile tuvieran mayor impacto en el modelo. Durante los análisis preliminares, se realizaron distintas pruebas de limpieza considerando la misma distancia entre los registros totales, sin embargo, la distribución potencial actual de la especie en Chile no coincidía con la observada, distribuyéndose hasta el sur del país. Esto se podría deber a la existencia de las dos o más variedades de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* con diferentes nichos ambientales. Pese a lo anterior, la totalidad de las presencias utilizadas en el análisis global (Figura 2) coincidieron con las zonas de mayor probabilidad de presencia de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* (Figura 13), lo que implica cierta validación al modelo.

Adicionalmente, al comparar ambos análisis, el local y el global, se pueden notar ciertas diferencias en la distribución potencial actual de la especie en Chile. No obstante, en ambos casos, la mayor probabilidad de presencia se restringe, en su mayoría, en la zona interior del norte grande de Chile (entre las latitudes 18°S y 27°S aproximadamente), lo que coincide con los registros de presencia utilizados para el análisis. Se debe tener en cuenta que el análisis local, al presentar una resolución mayor (1 km²), presenta un resultado más ajustado a la distribución actual conocida del vector en Chile, observándose una mayor probabilidad de presencia a lo largo de las quebradas de las regiones de Arica y Parinacota y de Tarapacá (Figura 3). Cabe destacar que, durante el desarrollo de este trabajo, se registró un nuevo punto de presencia, no descrito en los últimos 70 años, en la localidad de Matilla (longitud=-69.3614, latitud=-20.5142), región de Tarapacá. Este nuevo registro coincidió

con la zona de mayor probabilidad de presencia de los análisis preliminares, lo que indudablemente aporta validez a éstos. El poblado de Matilla fue parte de la distribución histórica de este vector hasta antes de la campaña de erradicación de Malaria desarrollada en el norte del país (Gutiérrez *et al.*, 1950; Neghme, 1960), por lo que se podría hipotetizar que *An. (Ano.) pseudopunctipennis* estaría recuperando su distribución histórica, acercándose a la población humana que se ha instalado en las proximidades de los cursos de agua para desarrollar principalmente actividades agrícolas dadas las óptimas características de las aguas subterráneas de la zona (Herrera *et al.*, 2018). No obstante, debido a que este estudio demostró que la presencia *An. (Ano.) pseudopunctipennis* está asociada, además de la proximidad de cursos de agua (ríos), a terrenos con capacidad de cuenca, el vector debiese limitarse a terrenos con estas características, las cuales no se suelen cumplir en la costa, donde se concentra la mayoría de la población humana en el norte grande de Chile (Romero *et al.*, 2003). Sin embargo, es importante recordar que se han registrado 9 hallazgos en la ciudad de Arica en los últimos 3 años y en las cercanías de centro poblados de la región de Tarapacá (dato sin publicar, Laboratorio de Referencia de Entomología ISP; Cancino, 2018), lo que se podría explicar porque el vector está recuperando su distribución histórica y/o porque se está adaptando a nuevas condiciones para su desarrollo. Esto supone un riesgo de reintroducción de la transmisión de Malaria en Chile, ya que Arica, y el norte grande en general, es una zona de tránsito e inmigración importante desde países endémicos de esta enfermedad (Urzúa *et al.*, 2015).

VIII. CONCLUSIONES

Distintos estudios han puesto en evidencia que el cambio climático, ocasionado por la actividad humana así como los cambios en la dinámica del uso de la tierra y pérdida de la biodiversidad, incrementarán significativamente las poblaciones de distintas especies de *Anopheles*, vectores del patógeno causante de la Malaria. Este estudio explora el efecto del cambio climático en dos escenarios, de bajas y altas emisiones, y su efecto sobre la distribución potencial de la especie *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en su rango de distribución preferentemente en las vertientes occidental y oriental de la Cordillera de Los Andes y en Chile.

De acuerdo a lo observado en los análisis, pese a que las precipitaciones y la temperatura son las variables que más influyen en la distribución potencial actual y proyectada de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* en Chile, las variables “TPI” y “Proximidad a los ríos” son relevantes para modelar la distribución del vector, puesto que se presentaron como variables seleccionadas en todos los modelos realizados en este estudio. Por ende, se cumple la hipótesis en la cual se afirma que, debido a los requisitos para el desarrollo de sus estados inmaduros, la distribución de *An. (Ano.) pseudopunctipennis* se determina por la proximidad de cursos de agua y la capacidad de estancamiento de agua en estos terrenos, aunque las precipitaciones y temperatura ambiental hayan demostrado un rol más importante en el análisis local y global, respectivamente.

Adicionalmente, se observa que, en los análisis proyectados bajo escenarios de cambio climático que mejor se ajustaron a los registros de presencia actuales, hay un incremento del área de extensión de la probabilidad de presencia de esta especie, tanto a una mayor latitud (hacia el sur) como a una mayor altitud (hacia el este, debido a la presencia de la Cordillera de Los Andes), cumpliéndose entonces la segunda hipótesis. No obstante, se debe tener en cuenta que este aumento de la extensión

del vector se limita de acuerdo a un máximo de temperatura tolerable, en el que empieza a disminuir la probabilidad de presencia hasta llegar a 0, tal como se vio en algunos de los análisis de este estudio.

Es importante analizar con cautela los estudios de distribución de especies, siempre tomando en cuenta el ciclo biológico del vector, su capacidad de adaptación, las características de los distintos hábitats en los que se puede desarrollar y la mayor cantidad de variables posibles de los territorios donde se conoce su presencia, para que el modelo obtenido se ajuste lo más posible, tanto a las necesidades de la especie a estudiar, como a las características bióticas y abióticas de los lugares donde se ha registrado su presencia. Por lo anterior, estos modelos de distribución no son absolutos y siempre se pueden ir mejorando a medida que se genere más conocimiento relacionado con la especie, con su distribución y con la metodología misma. No obstante, no cabe duda de que este tipo de estudio puede generar información relevante, como por ejemplo en la planificación de los programas de control vectorial.

Finalmente, este es el primer trabajo realizado sobre esta especie en Chile, por lo que se aporta información relevante acerca de su distribución y de los requisitos para su desarrollo a nivel local. Además, teniendo en cuenta que *An. (Ano.) pseudopunctipennis* es el vector histórico de Malaria en Chile y que, actualmente, existe un escenario de emergencia y reemergencia de las enfermedades vectoriales a nivel global, el que se ve acentuado por los efectos del cambio climático, este estudio podría dar pie a un análisis de riesgo relativo de reintroducción de Paludismo en Chile.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Akpan, G. E., Adepoju, K. A., Oladosu, O. R., Adelabu S. A. (2018). Dominant malaria vector species in Nigeria: Modelling potential distribution of *Anopheles gambiae sensu lato* and its siblings with MaxEnt. *PLoS ONE*, 13(10), e0204233

Alimi, T. O., Fuller, D. O., Qualls, W. A., Herrera, S. V., Arevalo-Herrera, M., Quinones, M. L., Lacerda, M. V.G., Beier, J. C. (2015). Predicting potential ranges of primary malaria vectors and malaria in northern South America based on projected changes in climate, land cover and human population. *Parasites and Vectors*, 8(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1033-9>

Arcgis. (s.f.a). Creación y análisis de superficies. Extraído el 10-04-2020, desde <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/analyze/commonly-used-tools/surface-creation-and-analysis.htm>

Arcgis. (s.f.b) Análisis de proximidad. Extraído el 10-04- 2020, desde <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/analyze/commonly-used-tools/proximity-analysis.htm#GUID-D82D5ED7-F938-44EB-B671-71AF81DAD057>

Astorga, F., Escobar, L. E., Poo-Muñoz, D., Escobar-Dodero, J., Rojas-Hucks, S., Alvarado-Rybak, M., Duclos, M., Romero-Alvarez, D., Molina-Burgos, B. E., Peñafiel-Ricaurte, A.,

Toro, F. Peña-Gómez, F. T. & Peterson, A. T. (2018). Distributional ecology of Andes hantavirus: A macroecological approach. *International Journal of Health Geographics*, 17(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12942-018-0142-z>

Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J. C., Farrar, J., Good, J. E.G., Harrington, R., Hartley, S.,

Jones, T. Hefin, Lindroth, R. L., Press, M. C., Symrnioudis, I., Watt, A. & D. Whittaker, J. B. (2002). Herbivory in global climate change research: Direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8(1), 1–16. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x>

Beijing Climate Center. (s.f.). Models - Climate System Model. Extraído el 19-07-2020 desde <http://forecast.bcccsn.ncc-cma.net/web/channel-43.htm>

Bentsen, M., Bethke, I., Debernard, J. B., Iversen, T., Kirkevåg, A., Seland, Ø., Drange, H., Roelandt, C., Seierstad, I. A., Hoose, C., Kristjánsson, J. E. (2013). The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M – Part 1: Description and basic evaluation of the physical climate. *Geoscientific Model Development*, 6(3), 687–720. <https://doi.org/10.5194/gmd-6-687-2013>

Berti, J., Ramírez, R., Estrada, Y., Guzmán, H. & Arias, L. (2016). Registros de altitud de mosquitos anofelinos (Diptera: Culicidae: Anophelinae) del Municipio Gran Sabana, estado Bolívar, Venezuela, y nuevos datos altitudinales de importancia. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 56(1).

Biber-Freudenberger, L., Ziemacki, J., Tonnang, H. E. Z., & Borgemeister, C. (2016). Future risks of pest species under changing climatic conditions. *PLoS ONE*, 11(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153237>

Bivand, R., & Lewin-Koh, N. (2019). mapproj: Tools for Handling Spatial Objects. *R Package*. Extraído el 09-08-2020 desde <https://cran.r-project.org/package=mapproj>

Burnham, K. P., & Anderson, R. P. (2004). Multimodel Inference Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods and Research*, 33(2), 261–304. <https://doi.org/10.1177/0049124104268644>

Cancino, B. (2018). Study of presence of Flavivirus and Dirofilaria by molecular tools in mosquitoes (Diptera: Culicidae) in a desertic zone of Chile. Proyecto Fondecyt N° 11180156. Universidad Católica del Maule.

CESM. (s.f.). CESM Models. Extraído el 19-07-20 desde <http://www.cesm.ucar.edu/models/ccsm4.0/>

Coetzee, M., Estrada-Franco, J. G., Wunderlich, C. A., & Hunt, R. H. (1999). Cytogenetic evidence for a species complex within *Anopheles pseudopunctipennis* Theobald (Diptera: Culicidae). *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 60(4), 649–653. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.1999.60.649>

Colless, D. H., & McAlpine, D. K. (1991). Diptera (Flies). En Division of Entomology Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Ed.), *The Insects of Australia* (2da ed., pp. 718–786). Melbourne, Australia, Melbourne University Press.

Collier, M., & Uhe, P. (2012). CMIP5 datasets from the ACCESS1.0 and ACCESS1.3 coupled climate models. *CAWCR Technical Report*, 59. <https://doi.org/ISBN: 20978-1-922173-29-4>

Crutcher, J. M. & Hoffman, S.L.(1996). Chapter 83 Malaria. En Baron, S. (Ed.), *Medical Microbiology* (4ta ed). University of Texas Medical Branch at Galveston, Galveston, EEUU. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8584/>

Dufresne, J. L., Foujols, M. A., Denvil, S., Caubel, A., Marti, O., Aumont, O., Balkanski, Y., Bekki, S., Bellenger, H., Benshila, R., Bony, S., Bopp, L., Braconnot, P., Brockmann, P., Cadule, P., Cheruy, F., Codron, F., Cozic, A., Cugnet, D., de Noblet, N., Duvel, J. P., Ethé, C., Fairhead, L., Fichefet, T., Flavoni, S., Friedlingstein, P., Grandpeix, J. Y., Guez, L., Guilyardi, E., Hauglustaine, D., Hourdin, F., Idelkadi, A., Ghattas, J., Joussaume, S., Kageyama, M., Krinner, G., Labetoulle, S., Lahellec, A., Lefebvre, M. P., Lefevre, F., Levy, C., Li, Z. X., Lloyd, J., Lott, F., Madec, G., Mancip, M., Marchand, M., Masson, S., Meurdesoif, Y., Mignot, J., Musat, I., Parouty, S., Polcher, J., Rio, C., Schulz, M., Swingedouw, D., Szopa, S., Talandier, C., Terray, P., Viovy, N., Vuichard, N. (2013). Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: From CMIP3 to CMIP5. *Climate Dynamics*, 40. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1636-1>

Duane, J., & Gubler, S. (2008). The Global Threat of Emergent/Remergent Vector-Borne Diseases. En Institute of Medicine (Ed.), *Vector-Borne Diseases: Understanding the Environmental, Human Health, and Ecological Connections*, Workshop Summary. (pp. 43–64). Washington D.C, EEUU. <https://doi.org/10.17226/11950>

Durden, L. A., & Mullen, G. R. (2002). Introduction. En L. A. Durden & G. R. Mullen (Eds.), *Medical and Veterinary Entomology* (2d ed., pp. 1–12). San Diego, EEUU., Elsevier.

Endries, M. (2001). *Aquatic species mapping in North Carolina using Maxent*. Asheville North Carolina. Extraído el 09-08-20 desde [https://www.fws.gov/asheville/htmls/maxent/Aquatic Species Mapping in North Carolina using Maxent V2.pdf](https://www.fws.gov/asheville/htmls/maxent/Aquatic%20Species%20Mapping%20in%20North%20Carolina%20using%20Maxent%20V2.pdf)

Erfanfar, D., Sarafrazi, A., Ghanbalani, G. N., & Ostovan, H. (2014). Claims of potential expansion and future climatic scenarios for *Orius* species (Hemiptera: Anthocoridae) throughout Iran. *European Journal of Zoological Research*, 3(2), 43–55.

Escobar, L. E., Peterson, A. T., Papeş, M., Favi, M., Yung, V., Restif, O., Qiao, Huijie, Medina-Vogel, G. (2015). Ecological approaches in veterinary epidemiology: mapping the risk of bat-borne rabies using vegetation indices and night-time light satellite imagery. *Veterinary Research*, 46(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13567-015-0235-7>

Espinoza, S., Keegan, T., Fanfani, L., Alonso, H., & Droguett, F. (2000). Resultados preliminares de un estudio de sedimentos de fondo en el río Loa, 2ª region, Chile . En *VI Congreso Internacional Ciencias de la Tierra Chile. Ponencias Ciencias Físicas y Humanas*.

ESRI (2011). ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Estrada-Franco, J. G., Ma, M. C., Lanzaro, G. C., Gwadz, R., Galván-Sánchez, C., Céspedes, J. L., Vargas-Sagarnaga, R., Rodríguez, R. (1992). Evidencia genética de un complejo de especie en *Anopheles pseudopunctipennis pseudopunctipennis*. *Boletín de La Oficina Sanitaria Panamericana*, 113(4), 297–300.

Estrada-Franco, J. G., Ma, M. C., Gwadz, R. W., Sakai, R., Lanzaro, G. C., Laughinghouse, A., Galvan-Sanchez, C., Céspedes, J. L. & Vargas-Sagarnaga, R. (1993). Evidence through crossmating experiments of a species complex in *Anopheles pseudopunctipennis sensu lato*: A primary malaria vector of the American continent. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 49(6), 746–755. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.1993.49.746>

Fick, S.E. and R.J. Hijmans, (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37(12): 4302-4315.

Figuroa, D., Scott, S., Hamilton-West, C., González, C.R. & Canals, M. (2015). Mosquitoes : disease vectors in context of climate change in Chile . *Parasitologia Latinoamericana*, 64, 42–53.

Figuroa, D. P., Scott, S., González, C. R., Bizama, G., Flores-, R., Bustamante, R., & Canals, M. (2020). Estimating the climate change consequences on the potential distribution of *Culex pipiens* L . 1758 , to assess the risk of West Nile virus establishment in Chile. *Gayana*, 84(1), 46–53.

Forattini, O. P. (2002). Gênero *Anopheles*. Subgênero *Anopheles*. En Forattini, O. P. , *Culicidologia Médica* (Volume 2, pp. 249–278). Sao Paulo, Brasil. Universidad de Sao Paulo.

Foster, P. G., de Oliveira, T. M. P., Bergo, E. S., Conn, J. E., Sant’Ana, D. C., Nagaki, S. S., Nihei, S., Lamas, C.E., González, C.R., Moreira, C. C., Sallum, M. A. M. (2017). Phylogeny of Anophelinae using mitochondrial protein coding genes. *Royal Society Open Sciences*, 4(11).
<https://doi.org/10.1098/rsos.170758>

Freeman, E. (2015). Package “PresenceAbsence.” *R Package*. Extraído el 12-08-2020 desde <https://doi.org/10.18637/jss.v023.i11>

Garreaud, R. D. (2011). Cambio Climático : Bases Físicas e Impactos en Chile. *Revista Tierra Adentro - INIA*, (93).

GBIF. (2019). *Anopheles pseudopunctipennis* Theobald, 1901. GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset. Extraído el 09-01-2020 desde <https://doi.org/https://doi.org/10.15468/39omei>

GFDL. (s.f.). GFDL Models. Extraído el 19-07-20 desde <https://www.gfdl.noaa.gov/about-models/>

González, C. R., Henry, A., Reyes, C., Aylwin, M. P., Escobar, D., Fernández, J. & Saldarriaga-Córdoba, M. (2016a). Reintroducción del invasivo mosquito *Aedes aegypti* (Linnaeus) (Diptera: Culicidae) en el norte de Chile. *IDESIA (Arica)*, 34(4), 49–54.

González, C. R., Reyes, C., Jercic, M. I., Rada, V., Saldarriaga, M., Pavletic, C., & Parra, A. (2016b). Manual de Culícidos (Diptera: Culicidae) de la zona Norte y Centro de Chile, incluyendo Isla de Pascua. (2d ed.). Santiago, Chile, Instituto de Salud Pública de Chile, Ministerio de Salud de Chile.

Gratz, N. G. (1999). Emerging and Resurging Vector-Borne Diseases. *Annual Review of Entomology*, 44(1), 51–75. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.51>

Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), 993–1009. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792>

Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2014). The importance, diversity and conservation of insects. In I. John Wiley & Sons (Ed.), *The insects: an outline of entomology* (5ta ed., pp. 1–25). Chichester, West Sussex, Reino Unido ; Hoboken, EEUU.

Gutiérrez F. J. , Neghme, A., Albi de la Fuente, H. (1950). Estado actual del control del anofelismo en Chile. *Revista Chilena de Higiene y Medicina Preventiva*, 12: 67-71

Hajima, T., Watanabe, M., Yamamoto, A., Tatebe, H., Noguchi, M. A., Abe, M., Ohgaito, U., Ito, A., Yamazaki, D., Okajima, H., Ito, A. I., Takata, K., Ogochi, K., Watanabe, S. & Kawamiya, M. (2020). Development of the MIROC-ES2L Earth system model and the evaluation of biogeochemical processes and feedback. *Geoscientific Model Development*, 13(5), 2197–2244. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-2197-2020>

Harbach R. Culicidae classification [Internet] Mosquito taxonomic inventory. 2017 Extraído 11-11-2019, desde <http://mosquito-taxonomic-inventory.info/simpletaxonomy/term/6045>

Herrera Apablaza, V., Gutiérrez Roa, N., Córdova Molina, S., Luque Marín, J., Idelfonso Carpanchay, M., Flores Riveras, A., & Romero A., L. (2018). Calidad del agua subterránea para el riego en el Oasis de Pica, norte de Chile. *Idesia (Arica)*, <https://doi.org/10.4067/s0718-34292018005000101>

Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>

Hijmans, R. J., & Elith, J. (2017). Species distribution modeling with R Introduction. Extraído el 10-12-2018, desde <https://cran.r-project.org/web/packages/dismo/vignettes/sdm.pdf>

Hijmans, R. J., Etten, J. Van, Sumner, M., Cheng, J., Bevan, A., Bivand, R., Busetto, L., Canty, M., Forrest, D., Ghosh, A., Golicher, D., Gray, J., Greenberg, J. A., Hiemstra, P., Hingee, K., Institute for Mathematics Applied Geosciences, Karney, C., Mattiuzzi, M., Mosher, S.,

Nowosad, J., Pebesma, E., Perpinan Lamigueiro, O., Racine, E. B., Rowlingson, B., Shortridge, A., Venables, B. & Wueest, R. (2020a). Package ‘raster’. *R package*. Extraído el 11-08-2020 desde <https://rspatial.org/raster/>

Hijmans, R., Sumner, M., Macqueen, D., Lemon, J., Brien, J. O., & Rourke, J. O. (2020b). Package “sp” Title Classes and Methods for Spatial Data. *R Package*. Extraído el 11-08-2020 desde <https://cran.r-project.org/web/packages/sp/sp.pdf>

Hijmans, R. J., Bivand, R., Forner, K., Ooms, J., & Pebesma, E. (2020c). Package ‘terra.’ *R Package*. Extraído el 08-08-2020 desde <https://cran.r-project.org/web/packages/terra/terra.pdf>

Hollister, J., & Shah, T. (2018). Package ‘elevatr.’ *R package*. Extraído el 3-06-2020 desde <https://www.github.com/jhollist/elevatr>

Instituto Nacional de Estadísticas INE (2017). XIX Censo Nacional de Población y VIII de Vivienda. Gobierno de Chile.

IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, R.K. Pachauri & L.A. Meyer (Eds). Ginebra, Suiza, IPCC; pp. 1-151.

ISP. (2019). Vigilancia de Malaria. Chile, 2011 – 2018. Boletín Vigilancia de Laboratorio ISP, 9(7), 2011–2018. Extraído el 05-04-2019, desde http://www.ispch.cl/sites/default/files/Boletin%20Malaria-final_2019.pdf

Kamdem, C., Tene Fossog, B., Simard, F., Etouna, J., Ndo, C., Kengne, P., Bousse, P., Etoa, F. X., Awono-Ambene, P., Fontenille, D., Antonio-Nkondjio, C., Besansky, N. J., Costantini, C. (2012). Anthropogenic habitat disturbance and ecological divergence between incipient species

of the malaria mosquito *Anopheles gambiae*. *PLoS ONE*, 7(6).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039453>

Kienast, F., Bolliger, J., & Zimmermann, N. E. (2012). Species Distribution Modeling (SDM) with GLM, GAM and CART Dependent vs. independent variables: a conceptual ecological view. *Advanced Landscape Ecology*, 11, 1–16.

Kingsolver, J. G., Arthur Woods, H., Buckley, L. B., Potter, K. A., MacLean, H. J., & Higgins, J. K. (2011). Complex life cycles and the responses of insects to climate change. *Integrative and Comparative Biology*, 51(5), 719–732. <https://doi.org/10.1093/icb/icr015>

Kiszewski, A., Mellinger, A., Spielman, A., Malaney, P., Ehrlich, S., & Sachs, J. (2004). A global index of the stability of malaria transmission. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 70(5), 486–498.

Lardeux, F., Loayza, P., Bouchité, B., & Chavez, T. (2007). Host choice and human blood index of *Anopheles pseudopunctipennis* in a village of the Andean valleys of Bolivia. *Malaria Journal*, 6, 1–14. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-6-8>

Lardeux, F. J., Tejerina, R. H., Quispe, V., & Chavez, T. K. (2008). A physiological time analysis of the duration of the gonotrophic cycle of *Anopheles pseudopunctipennis* and its implications for malaria transmission in Bolivia. *Malaria Journal*, 7. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-7-141>

Lawrence, M., & Kluiver, T. (2019). Package ‘evaluate.’ *R Package*, 1–6. Extraído el 11-08-2020 desde <https://cran.r-project.org/web/packages/evaluate/evaluate.pdf>

Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P., & Pearson, R. G. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28(3), 385–393.

<https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x>

Loaiza, J. R., Bermingham, E., Scott, M. E., Rovira, J. R., & Conn, J. E. (2008). Species composition and distribution of adult *Anopheles* (Diptera: Culicidae) in Panama. *Journal of Medical Entomology*, 45(5), 841–851. <https://doi.org/10.1093/jmedent/45.5.841>

Londono-Renteria, B., Drame, P. M., Montiel, J., Vasquez, A. M., Tobón-Castaño, A., Taylor, M., Vizcaino, L. & Lenhart, A. (2020) Identification and pilot evaluation of salivary peptides from *Anopheles albimanus* as biomarkers for bite exposure and malaria infection in Colombia. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3):1-15. <https://doi:10.3390/ijms21030691>

Luebert, F., & Plissock, P. (2017). *Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile*. (2da ed.). Santiago, Chile: Editorial Universitaria S.A.

Manguin, S., Roberts, D. R., Peyton, E. L., Fernandez-Salas, I., Barreto, M., Loayza, R. F., Spinola, R. E., Granaou, R. M. & Rodriguez, M. H. (1995). Biochemical systematics and population genetic structure of *Anopheles pseudopunctipennis*, vector of malaria in Central and South America. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 53(4), 362–377.

<https://doi.org/10.4269/ajtmh.1995.53.362>

Manguin, S., Roberts, D. R., Peyton, E. L., Rejmankova, E., & Pecor, J. (1996). Characterization of *Anopheles pseudopunctipennis* larval habitats. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 12(4), 619–626.

Martin, G. M., Bellouin, N., Collins, W. J., Culverwell, I. D., Halloran, P. R., Hardiman, S. C., Hinton, T. J., Jones, C. D., McDonald, R. E., McLaren, A. J., O'Connor, F. M., Roberts, M. J., Rodriguez, J. M., Woodward, S., Best, M. J., Brooks, M. E., Brown, A. R., Butchart, N., Dearden, C., Derbyshire, S. H., Dharssi, I., Doutriaux-Boucher, M., Edwards, J. M., Falloon, P. D., Gedney, N., Gray, L. J., Hewitt, H. T., Hobson, M., Huddleston, M. R., Hughes, J., Ineson, S., Ingram, W. J., James, P. M., Johns, T. C., Johnson, C. E., Jones, A., Jones, C. P., Joshi, M. M., Keen, A. B., Liddicoat, S., Lock, A. P., Maidens, A. V., Manners, J. C., Milton, S. F., Rae, J. G.L., Ridley, J. K., Sellar, A., Senior, C. A., Totterdell, I. J., Verhoef, A., Vidale, P. L. & Wiltshire, A. (2011). The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Geoscientific Model Development*, 4(3), 723–757. <https://doi.org/10.5194/gmd-4-723-2011>

Mateo, R., G., Felicísimo, A. M. & Muñoz, J. (2011). Modelos de Distribución de Especies: Una Revisión Sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* 84(2): 217–240.

Mendonça, M. (2017). Monzón sudamericano: la integración de la circulación amazónica y altiplánica y las variabilidades climáticas del altiplano andino chileno. *Diálogo Andino*, (54), 21-30.

Milesi, F. A. & López de Casenave, J. (2005). El concepto de nicho en Ecología aplicada: Del nicho al hecho hay mucho trecho. *Ecología Austral*, 15(2), 131–148. [https://doi.org/10.1016/S0186-1042\(13\)71195-1](https://doi.org/10.1016/S0186-1042(13)71195-1)

Ministerio de Medio Ambiente. (2017). Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022. Gobierno de Chile, 1–252. <https://doi.org/10.3738/1982-227872>

Ministerio de Salud y Desarrollo Social (2019). Guía de vigilancia entomológica y control vectorial para la prevención del restablecimiento del Paludismo en Argentina. pp. 60. República Argentina: Buenos Aires, Argentina.

Moua, Y., Roux, E., Girod, R., Dusfour, I., Thoisy, B. De, Seyler, F., & Briolant, S. (2016). Dispersal Distribution of the Habitat Suitability of the Main Malaria Vector in French Guiana Using Maximum Entropy Modeling. *Journal of Medical Entomology*, *0*(0), 1–16. <https://doi.org/10.1093/jme/tjw199>

Moya A., A. S., Ortega L. José M., & Jurado P., X. (2015). Evaluación del Modelo Climático Global MIROC5 y estimaciones de temperatura y precipitaciones para las zonas sur y norte del Perú. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, *05*(02), 1–8. <https://doi.org/10.18259/acs.2015028>

Mughini-Gras, L., Mulatti, P., Severini, F., Boccolini, D., Romi, R., Bongiorno, G., Khoury, C., Bianchi, R., Montarsi, F., Patregnani, T., Bonfanti, L., Rezza, G., Capelli, G. & Busani, L. (2014). Ecological niche modelling of potential west nile virus vector mosquito species and their geographical association with equine epizootics in Italy. *EcoHealth*, *11*(1), 120–132. <https://doi.org/10.1007/s10393-013-0878-7>

Muscarella, R., Galante, P. J., Soley-Guardia, M., Boria, R. A., Kass, J. M., Uriarte, M., & Anderson, R. P. (2014). ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for <sc>Maxent</sc> ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution*, *5*(11), 1198–1205. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12261>

Muscarella, R., Galante, P. J., Soley-Guardia, M., Boria, R. A., Kass, J. M., Uriarte, M., & Anderson, R. P. (2018). ENMeval: Automated runs and evaluations of ecological niche models. *R package*. Extraído el 11-08-2020 desde <https://cran.r-project.org/web/packages/ENMeval/index.html>

Musolin, D. L. (2007). Insects in a warmer world: Ecological, physiological and life-history responses of true bugs (Heteroptera) to climate change. *Global Change Biology*, *13*(8), 1565–1585. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01395.x>

Neghme, A. (1960). La erradicación de la Malaria, un desafío al mundo. *Revista Médica de Chile*, *88*, 247-250.

Nie, S., Fu, S., Cao, W., & Jia, X. (2020). Comparison of monthly air and land surface temperature extremes simulated using CMIP5 and CMIP6 versions of the Beijing Climate Center climate model. *Theoretical and Applied Climatology*, *140*(1–2), 487–502. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03090-x>

Noe J, Bertín V, Gutiérrez J & Neghme A. (1949) Diez años de lucha antimalárica en Chile. *Rivista di Parassitologia*, *10*, 5–24.

Ogden, N. H., & Lindsay, L. R. (2016). Effects of Climate and Climate Change on vectors and vector-Borne Diseases: Ticks are different. *Trends in Parasitology*, *32*(8), 646–656. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2016.04.015>

Organización Mundial de la Salud (OMS). World Malaria Report 2019. Geneva. [Internet]. 2019. 1–232 p. Extraído el 11-08-2020 desde <https://www.who.int/publications-detail/world-malaria-report-2019>

Ovando-Hidalgo, N., Tun-Garrido, J., Mendoza-González, G. & Parra-Tabla V. (2020). Efecto del Cambio Climático en la distribución de especies clave en la vegetación de duna costera en la península de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91, e912883

Padilla, O., Rosas, P., Moreno, W., & Toulkeridis, T. (2017). Modeling of the ecological niches of the *Anopheles* spp in Ecuador by the use of geo-informatic tools. *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*, 21, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2016.12.001>

Pakdad, K., Hanafi-Bojd, A. A., Vatandoost, H., Sedaghat, M. M., Raeisi, A., Moghaddam, A. S., & Foroushani, A. R. (2017). Predicting the potential distribution of main malaria vectors *Anopheles stephensi*, *An. culicifacies* s.l. and *An. fluviatilis* s.l. in Iran based on maximum entropy model. *Acta Tropica*, 169, 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2017.02.004>

Pérez C., C., Baudrand B., R., Labarca L., J., Perret P., C., Andresen H., M., & Guzmán D., A. M. (2006). Malaria: revisión retrospectiva de 12 casos no autóctonos en Chile. *Revista médica de Chile*, 134(4), 421–425.

Phillips, S. J., Avenue, P., & Park, F. (2004). A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. En *Twenty-First International Conference on Machine Learning*, (pp. 655–662).

Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (s.f.). Maxent software for modeling species niches and distributions. Extraído el 13-03-2018, desde http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent

Pinault, L. L., & Hunter, F. F. (2012a). Larval Habitat Associations with Human Land Uses, Roads, Rivers, and Land Cover for *Anopheles albimanus*, *A. pseudopunctipennis*, and *A. punctimacula* (Diptera: Culicidae) in Coastal and Highland Ecuador. *Frontiers in physiology*, 3, 59.

Pinault, L. L., & Hunter, F. F. (2012b). Characterization of larval habitats of *Anopheles albimanus*, *Anopheles pseudopunctipennis*, *Anopheles punctimacula*, and *Anopheles oswaldoi* s.l. populations in lowland and highland Ecuador. *Journal of Vector Ecology*, 37(1), 124–136. <https://doi.org/10.1111/j.1948-7134.2012.00209.x>

Pliscoff, P. & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio. *Revista de Geografía Norte Grande*, 48, 61–79. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022011000100005>

QGIS.org (2020). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.org>

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>

Raguso, R. A. (2020). Don't forget the flies: dipteran diversity and its consequences for floral ecology and evolution. *Applied Entomology and Zoology*, 55(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s13355-020-00668-9>

Reisen, W. (2017). Epidemiology. En C. Brisola M. (Ed.). *Arthropod Borne Diseases* (pp.7-34). Suiza: Springer International Publishing.

Roa-Lobo, J., & Kamp, U. (2012). Use of the topographic wetness index (TWI) for the diagnosis of the river overflow threat, Trujillo State-Venezuela. *Revista Geografica Venezolana*, 53(1), 109–126.

Rodríguez-Zabala, J., González, R., Correa, M. M., & Gómez, G. F. (2016). Análisis morfométrico de dos poblaciones de *Anopheles (Anopheles) calderoni* (Diptera: Culicidae) del suroccidente colombiano. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 966–971. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.005>

Roger, A., Rowlingson, B., Sumner, M., Hijmans, R., & Rouault, E. (2016). Package ‘rgdal.’ *R Package*. Extraído el 11-08-2020 desde <https://mran.microsoft.com/snapshot/2017-02-04/web/packages/rgdal/rgdal.pdf>

Romero, H., Vásquez, A., & Ordenes, F. (2003). Ordenamiento territorial y desarrollo sustentable a escala regional, ciudad de Santiago y ciudades intermedias en Chile. *Globalización y Biodiversidad: Oportunidades y Desafíos Para La Sociedad Chilena*, (167–224). Santiago, Chile. Editorial Universitaria S.A.

Rosa-Freitas, M. G., Lourenço-de-Oliveira, R., de Carvalho-Pinto, C. J., Flores-Mendoza, C., & Silva-do-Nascimento, T. F. (1998). Anopheline species complexes in Brazil. Current knowledge of those related to malaria transmission. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 93(5), 651–655.

Rueda, L. M., Peyton, E. L., & Manguin, S. (2004). *Anopheles (Anopheles) pseudopunctipennis* Theobald (Diptera: Culicidae): neotype designation and description. *Journal of Medical Entomology*, 41(1), 12–22. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.1.12>

Sarricolea, P., Meseguer Ruiz, O. & Romero Aravena, H. (2017). Tendencias de la Precipitación en el Norte Grande de Chile y su relación con las proyecciones de Cambio Climático. *Diálogo Andino*, 54, 41–50.

Schenone F, H., Olea N, A., Rojas S, A., & García D, N. (2002). Malaria en Chile: 1913-2001. *Revista Médica de Chile*, 130, 1170–1176.

Schulz, N., Boisier, J. P., & Aceituno, P. (2011). Climate change along the arid coast of northern Chile. *International Journal Of Climatology*, 32, 1803–1814. <https://doi.org/10.1002/joc.2395>

Séférián, R., Nabat, P., Michou, M., Saint-Martin, D., Voldoire, A., Colin, J., Decharme, B., Delire, C., Berthet, S., Chevallier, M., Sénési, S., Franchisteguy, L., Vial, J., Mallet, M., Joetzjer, E., Geoffroy, O., Guérémy, J. F., Moine, M., Msadek, R., Ribes, A., Rocher, M., Roehrig, R., Salasymélia, D., Sanchez, E., Terray, L., Valcke, S., Waldman, R., Aumont, O., Bopp, L., Deshayes, J., Éthé, C. & Madec, G. (2019). Evaluation of CNRM Earth System Model, CNRM-ESM2-1: Role of Earth System Processes in Present-Day and Future Climate. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(12), 4182–4227. <https://doi.org/10.1029/2019MS001791>

Servonnat, J., Albright, A. L., Aumont, O., Balkanski, Y., Bastrikov, V., Bekki, S., Bonnet, R., Bony, S., Bopp, L., Braconnot, P., Brockmann, P., Cadule, P., Caubel, A., Cheruy, F., Codron, F., Cozic, A., Cugnet, D., D'Andrea, F., Davini, P., de Lavergne, C., Denvil, S., Deshayes, J.,

Devilliers, M., Ducharne, A., Dufresne, J. L., Dupont, E., Éthé, C., Fairhead, L., Falletti, L., Flavoni, S., Foujols, M. A., Gardoll, S., Gastineau, G., Ghattas, J., Grandpeix, J. Y., Guenet, B., Guez, L., Guilyardi, E., Guimberteau, M., Hauglustaine, D., Hourdin, F., Idelkadi, A., Joussaume, S., Kageyama, M., Khodri, M., Krinner, G., Lebas, N., Levvasseur, G., Lévy, C., Li, L., Lott, F., Lurton, T., Luysaert, S., Madec, G., Madeleine, J. B., Maignan, F., Marchand, M., Marti, O., Mellul, L., Meurdesoif, Y., Mignot, J., Musat, I., Ottlé, C., Peylin, P., Planton, Y., Polcher, J., Rio, C., Rochetin, N., Rousset, C., Sepulchre, P., Sima, A., Swingedouw, D., Thiéblemont, R., Traore, A. K., Vancoppenolle, M., Vial, J., Vialard, J. & Viovy, N. (2020). Presentation and evaluation of the IPSL-CM6A-LR climate model. *Journal of Advances in Modeling Earth System*, 12(7), e2019MS002010.

Sinka, M. E., Rubio-Palis, Y., Manguin, S., Patil, A. P., Temperley, W. H., Gething, P. W., Van Boeckel, T., Kabaria, C. W., Harbach, R. E. & Hay, S. I. (2010). The dominant *Anopheles* vectors of human malaria in the Americas: Occurrence data, distribution maps and bionomic precis. *Parasites and Vectors*, 3(1), 72. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-3-72>

Soto, J., Chavez, P. & Pizarro, E. (2019). La Malaria en el extremo norte de Chile: nuevos indicios de una calamidad pasada (Arica, 1880-1930). *Interciencia*, 44(2), 108-115

Soucy, J.-P. R., Slatculescu, A. M., Nyiraneza, C., Ogden, N. H., Leighton, P. A., Kerr, J. T., & Kulkarni, M. A. (2018). High-Resolution ecological niche modeling of *Ixodes scapularis* Ticks based on passive surveillance data at the northern frontier of Lyme Disease emergence in North America. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 18(5). <https://doi.org/10.1089/vbz.2017.2234>

Sternberg, E. D., & Thomas, M. B. (2014). Local adaptation to temperature and the implications for vector-borne diseases. *Trends in Parasitology*, 30(3), 115–122.

<https://doi.org/10.1016/j.pt.2013.12.010>

Takken, W., Eling, W., Hooghof, J., Dekker, T., Hunt, R. & Coetzee, M. (1999). Susceptibility of *Anopheles quadriannulatus* Theobald (Diptera: Culicidae) to *Plasmodium falciparum*. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 93(6), 578–580.

[https://doi.org/10.1016/S0035-9203\(99\)90054-8](https://doi.org/10.1016/S0035-9203(99)90054-8)

Tatebe, H., Ogura, T., Nitta, T., Komuro, Y., Ogochi, K., Takemura, T., Sudo, K., Sekiguchi, M., Abe, M., Saito, F., Chikira, M., Watanabe, S., Mori, M., Hirota, N., Kawatani, Y., Mochizuki, T., Yoshimura, K., Takata, K., O'ishi, R., Kimoto, M. (2019). Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6.

Geoscientific Model Development, 12(7), 2727–2765. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-2727-2019>

Tonnang, H. E., Kangalawe, R. Y. & Yanda, P. Z. (2010). Predicting and mapping malaria under climate change scenarios: the potential redistribution of malaria vectors in Africa. *Malaria Journal*, 23, 9(111).

Urzúa, A., Vega, M., Jara, A., Trujillo, S., Muñoz, R. & Caqueo-Urizar, A. (2015). Calidad de vida percibida en inmigrantes sudamericanos en el norte de Chile. *Terapia Psicológica*, 33(2), 139–156. <https://doi.org/10.4067/S0718-48082015000200008>

Vander Wal, J., Shoo, L. P., Graham, C., & Williams, S. E. (2009). Selecting pseudo-absence data for presence-only distribution modeling: How far should you stray from what you know? *Ecological Modelling*, 220(4), 589–594. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.11.010>

Vásquez, R. (2019). Lo que Sabemos (y lo que no) sobre el Cambio Climático en Chile. Meteochile Blog. Blog Oficial de la Dirección Meteorológica de Chile. Extraído el 09-04-2020 desde <http://blog.meteochile.gob.cl/2019/09/12/lo-que-sabemos-y-lo-que-no-sobre-el-cambio-climatico-en-chile/>

Vargas, J. (2003). Prevención y control de la Malaria y otras enfermedades transmitidas por vectores en el Perú. *Revista Peruana de Epidemiología*, 11(1).

Victoria P. H. (2002). Behaviour in the *Anopheles gambiae* complex (Tesis de doctorado). London School of Hygiene and Tropical Medicine. Londres, Reino Unido.

Villarroel J.C. (2018). Evidencias y Proyecciones de Cambio Climático en Chile. En *Simposio: Anopheles pseudopunctipennis y el riesgo de aparición de Malaria, en el norte de Chile, bajo escenarios de Cambio Climático*. Santiago, Chile: Instituto de Salud Pública de Chile.

Voldoire, A., Sanchez-Gomez, E., Salas y Méliá, D., Decharme, B., Cassou, C., Sénési, S., Valcke, S., Beau, I., Alias, A., Chevallier, M., Déqué, M., Deshayes, J., Douville, H., Fernandez, E., Madec, G., Maisonnave, E., Moine, M. P., Planton, S., Saint-Martin, D., Szopa, S., Tyteca, S., Alkama, R., Belamari, S., Braun, A., Coquart, L. & Chauvin, F. (2013). The CNRM-CM5.1 global climate model: Description and basic evaluation. *Climate Dynamics*, 40(9–10), 2091–2121. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1259-y>

Voldoire, A., Saint-Martin, D., Sénési, S., Decharme, B., Alias, A., Chevallier, M., Colin, J., Guérémy, J. F., Michou, M., Moine, M. P., Nabat, P., Roehrig, R., Salas y Méliá, D., Séférian, R., Valcke, S., Beau, I., Belamari, S., Berthet, S., Cassou, C., Cattiaux, J., Deshayes, J., Douville, H., Ethé, C., Franchistéguy, L., Geoffroy, O., Lévy, C., Madec, G., Meurdesoif, Y., Msadek, R., Ribes, A., Sanchez-Gomez, E., Terray, L., Waldman, R. (2019). Evaluation of CMIP6 DECK Experiments With CNRM-CM6-1. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(7), 2177–2213. <https://doi.org/10.1029/2019MS001683>

Volodin, E. M., Diansky, N. A., & Gusev, A. V. (2013). Simulation and prediction of climate changes in the 19th to 21st centuries with the Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences, model of the Earth's climate system. *Izvestiya - Atmospheric and Ocean Physics*, 49(4), 347–366. <https://doi.org/10.1134/S0001433813040105>

Warren, D. L., & Seifert, S. (2011). Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Society of America*, 21(2), 335–342. <https://doi.org/10.1890/10-1171.1>

Watanabe, S., Hajima, T., Sudo, K., Nagashima, T., Takemura, T., Okajima, H., T. Nozawa, T., Kawase, H., Abe, M., Yokohata, T., Ise, T., Sato, H., Kato, E., Takata, K., Emori, S., Kawamiya, M. (2011). MIROC-ESM 2010: Model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments. *Geoscientific Model Development*, 4(4), 845–872. <https://doi.org/10.5194/gmd-4-845-2011>

Wildlife Conservation Society - WCS, and Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University (2005). Last of the Wild Project, Version 2, 2005 (LWP-2): Global Human Footprint Dataset (Geographic). Palisades, NY: NASA

Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H4M61H5F>.

Extraído el 03-06-2020.

Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A., ... Zimmermann, N. E. (2008). Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 14(5), 763–773. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00482.x>

Yang, X. Q., Kushwaha, S. P. S., Saran, S., Xu, J., & Roy, P. S. (2013). Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering*, 51, 83–87. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.004>

Zhang, Z. Q. (2011). Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. *Zootaxa*, 3148, 165–191. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3148.1.2>