

Proyección bioclimática de la *Eschscholzia californica* en la zona mediterránea de Chile central

Miguel Pavez Román¹, Martina Antonia Molina Benavides²

¹Geógrafo, Universidad de Chile, Magíster en Geografía mención en Recursos Territoriales, Universidad de Chile.

E-mail: miguepavrom@hotmail.com

²Licenciada en Geografía, Universidad de Chile.

E-mail: marti.molina@gmail.com

Fecha de recepción: 5 de Octubre 2019

Fecha de aceptación: 12 de Diciembre 2019.

RESUMEN

Las plantas introducidas o exóticas se han convertido en un componente importante de la vegetación de casi todos los países del mundo (Weber, 1997). Sin embargo, en el largo plazo, el cambio climático y los factores antrópicos potenciarán la colonización de las plantas invasoras en los ecosistemas mediterráneos, alterando gradualmente el equilibrio de los nichos ecológicos. A partir de la modelación bioclimática generada en Maxent, esta investigación estima, para el año 2050, una distribución potencial de la *Eschscholzia californica* con un amplio rango de distribución latitudinal y altitudinal en la zona mediterránea de Chile central, con una probabilidad de ocurrencia de un 100 por ciento en el frente andino occidental y el Cajón del Maipo. Mientras que, en la cuenca de Santiago y Rancagua, la probabilidad de ocurrencia de esta especie oscilará en un rango de distribución potencial de 80 a 90 por ciento.

Palabras clave: Escenario de Cambio Climático; Ecosistemas Mediterráneos; Plantas Invasoras; Nicho Ecológico; Distribución Potencial.

Bioclimatic projection of *Eschscholzia californica* in the Mediterranean area of central Chile

ABSTRACT

Introduced or exotic plants have become an important component of the vegetation of almost every country in the world (Weber, 1997). However, in the long term, climate change and anthropic factors will enhance the colonization of invasive plants in Mediterranean ecosystems, gradually altering the balance of ecological niches. Based on the bioclimatic modeling generated in Maxent, this research estimates, for the year 2050, a potential distribution of *Eschscholzia californica* with a wide range of latitudinal and altitudinal distribution in the Mediterranean zone of central Chile, with a probability of occurrence of 100 percent in the western Andean front and Cajon del Maipo. While, in the Santiago and Rancagua basin, the probability of occurrence of this species will oscillate in a potential distribution range of 80 to 90 percent.

Keywords: Climate Change Scenario; Mediterranean Ecosystems; Invasive Plants; Ecological Niche; Potential Distribution.

INTRODUCCIÓN

Se han realizado diferentes investigaciones y proyecciones climáticas en Chile y en otras regiones del mundo con Maxent,¹ ya sea para modelar nichos ecológicos o para determinar potenciales áreas de distribución de especies. Estos estudios han dado cuenta, a nivel país, de una posible disminución de la biodiversidad respecto de sus condiciones actuales hacia el futuro (Núñez, 2016) debido a factores antrópicos como incendios forestales y cambios de uso de suelo, y que potenciarán en el largo plazo el arribo y colonización de las plantas invasoras en la zona mediterránea de Chile central (Pavez, 2013). Por ende, la naturalización y adaptación de aquellas especies consideradas invasoras, representarán una amenaza para la biodiversidad y la flora vascular del país por su capacidad de adaptación y propagación (Pavez, 2013), afectando el hotspot chileno² que alberga un total de 3.893 especies nativas, de las cuales un 50,3 por ciento (1.957) de ellas son endémicas (Arroyo et al., 2008).

Esta condición de fragilidad, principalmente en los ecosistemas de la zona mediterránea de Chile central, por los factores climáticos y antrópicos abordados anteriormente, sitúa al dedal de oro, en adelante *Eschscholzia californica*³ (Cham.), como una especie de gran capacidad y adaptación a todo tipo de ecosistemas. Es una planta que crece, principalmente, en ambientes abiertos y perturbados (Cook, 1962; Frías, Godoy, Iturra, Koref-Santibáñez, Navarro, Pacheco y Stebbins, 1975), debido a que

¹ Maxent es un programa que trata de encontrar la distribución de probabilidad de máxima entropía (cercana a la uniforme), sujeta a limitaciones impuestas por la información disponible en torno a la distribución observada de las especies y las condiciones ambientales del área de estudio (Pliscoff y Fuentes, 2011).

² Según su definición actual, el hotspot se extiende desde la costa del Pacífico hasta las cumbres andinas entre los 25 y 47° S, incluyendo la estrecha franja costera entre los 25 y 19° S, más las islas de Juan Fernández, y una pequeña área de bosques adyacentes de Argentina (Arroyo, Marquet, Marticorena, Simonetti, Cavieres, Squeo, Rozzi y Massardo, 2008, p. 90).

³ Esta planta es una hierba perenne, autoincompatible y con polinización mediada por insectos de diferentes órdenes y por viento (Cook 1962). Las flores carecen de néctar y presentan una corola de 16 a 76 mm de diámetro, con un estilo filiforme y numerosos estambres, los cuales se cierran durante la noche y en días nublados o con lluvia (Villagrán, Marticorena y Armesto, 2007). Su fruto es una vaina con dehiscencia explosiva, la que genera una dispersión balística de sus semillas de hasta máximo 2 m de distancia desde la planta.

es una de las pocas especies de plantas vasculares (Baskin y Baskin, 2014) que posee semillas con fotoblastismo negativo⁴ (Castillo, Bustamante, Peña-Gómez, Gutiérrez, Reyes, Arredondo-Núñez y Marey, 2013; Goldthwaite, Bristol, Gentile y Klein, 1971), con un porcentaje de germinación (según Castillo et al., 2013) significativamente mayor en condiciones oscuras ($55.1\% \pm 2.5$) que en condiciones de luz ($28.2\% \pm 2.5$).

La *Eschscholzia californica* es descrita como invasora en una serie de ambientes mediterráneos (Arroyo, Marticorena, Matthei y Cavieres, 2000; Cook, 1962; Leger y Rice, 2003), entre ellos Chile, donde su introducción data de mediados de 1800 y principios de 1900. En su rango nativo esta especie se desarrolla desde los 0 a los 2000 m s. n. m. Probablemente, su capacidad para desarrollarse sobre diferentes tipos de suelo (Cook, 1965) y colonizar diversas condiciones ambientales (Leger y Rice, 2007), le ha permitido extenderse en Chile sobre un amplio rango de distribución latitudinal y altitudinal, entre las latitudes 30° y 38° S y desde los 0 a los 2.200 m s. n. m. (Arroyo et al., 2000; Peña-Gómez y Bustamante, 2012). Estudios recientes indican que presenta la potencialidad de expandir aún más su rango de distribución (Peña-Gómez, Guerrero, Bizama, Duarte y Bustamante, 2014), aunque en Chile central estaría en un equilibrio demográfico en su límite altitudinal (Peña-Gómez y Bustamante, 2012).

Propósito

Analizar y comprender la distribución potencial y los nuevos límites geográficos de la *Eschscholzia californica* en la zona mediterránea de Chile central proyectada para el año 2050.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Esta investigación se desarrolló dentro de los límites de la zona mediterránea de Chile central (Figura 1), cuya extensión latitudinal para esta investigación se abordó desde Petorca por la zona norte (Región de Valparaíso) hasta el Salto del Laja por la zona sur (Región del Biobío) entre los paralelos 32°15'98.12"S y 37°28'45.23"S. Esto, debido a la concentración de ejemplares de la *Eschscholzia californica* en esta zona geográfica de Chile y porque los mayores cambios y transformaciones ecosistémicos en el largo plazo, producto de las condiciones climáticas y de factores antrópicos, tendrán lugar en este macrorregión del país.

⁴ Se define como el efecto inhibitorio de la luz sobre la germinación de las semillas (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1993).

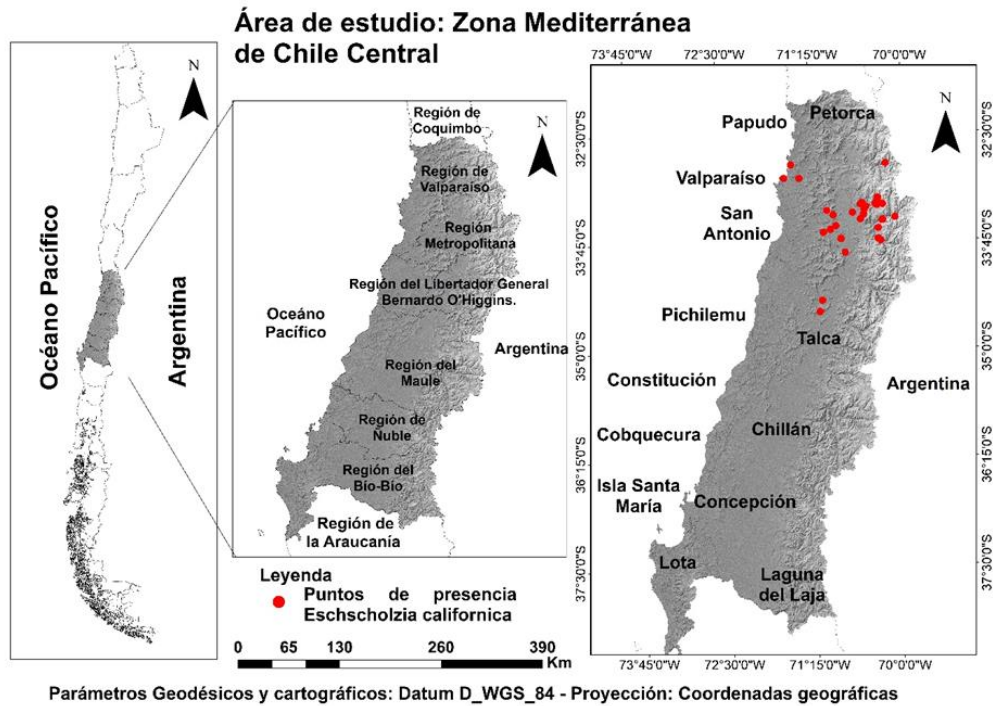


Figura 1: Área de estudio - Zona mediterránea de Chile central.

Procedimientos

Se seleccionó y eligió la *Eschscholzia californica* para realizar una proyección bioclimática en la zona mediterránea de Chile central para el año 2050, debido a su capacidad de adaptación a sitios abiertos y perturbados e incluso con nuevas condiciones ambientales. Posteriormente, se realizó una campaña de terreno desde Petorca hasta el Salto del Laja donde se recabaron 125 registros de presencia, los cuales se complementaron con 53 puntos adicionales de muestreo obtenidos de la plataforma Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2019).⁵ Después de levantar la información de terreno, se realizó una modelación espacial de la *Eschscholzia californica* con el software Maxent, utilizando para ello las 19 variables bioclimáticas (Tabla 1) obtenidas del sitio web WorldClim.org.⁶ Para calibrar la probabilidad de presencia de la especie con las variables climáticas (Jarvis, Williams, Williams, Guarino, Caballero y Mottram, 2005), se realizaron modelaciones de prueba y se determinó que las 19 variables bioclimáticas tenían una correlación y representación espacial acorde con la especie.

⁵ La Global Biodiversity Information Facility (GBIF) es una red internacional e infraestructura de investigación financiada por los Gobiernos del mundo y cuyo objetivo es proporcionar a cualquier persona, en cualquier lugar, acceso abierto a datos sobre todo tipo de vida en la Tierra.

⁶ Este sitio proporciona un conjunto de capas climáticas globales (datos climáticos cuadrículados) con una resolución espacial de aproximadamente 1 km². Estos datos pueden usarse para mapeo y modelado espacial (WorldClim - Global Climate Data, 2019).

Tabla 1: Variables bioclimáticas. Adaptada de WorldClim - Global Climate Data (2019).

VARIABLES BIOCLIMÁTICAS
BIO1 = Temperatura media anual
BIO2 = Rango diario medio [promedio mensual (temperatura máxima - temperatura mínima)]
BIO3 = Isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4 = Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100)
BIO5 = Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío
BIO7 = Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8 = Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO9 = Temperatura media del trimestre más seco
BIO10 = Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11 = Temperatura media del trimestre más frío
BIO12 = Precipitación anual
BIO13 = Precipitación del mes más húmedo
BIO14 = Precipitación del mes más seco
BIO15 = Estacionalidad de precipitación (coeficiente de variación)
BIO16 = Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17 = Precipitación del trimestre más seco
BIO18 = Precipitación del trimestre más cálido
BIO19 = Precipitación del trimestre más frío

Más adelante, se determinó la relación entre las variables bioclimáticas y los registros de las especies (Guisan y Thuiller, 2005) mediante el método de Jackknife (navaja), realizando una interpretación de la variable con mayor ganancia en forma aislada en el modelo y la variable que contiene más información, pero que no está contenida en las otras variables de la modelación, permitiendo entender la distribución potencial proyectada de la *Eschscholzia californica* para el año 2050.

Finalmente, el análisis espacial de *Eschscholzia californica* en Chile continental y en la zona mediterránea de Chile central proyectada para el año 2050, se caracterizó geográficamente mediante las unidades geomorfológicas de Börgel (1983) y de Albert (2015) para establecer los límites geográficos de probabilidad de ocurrencia de esta especie.

RESULTADOS

Los resultados del modelo muestran un AUC⁷ (Figura 2) para la modelación de la *Eschscolzia californica* de 0,996, lo que da cuenta de una buena precisión del modelo y de que existe una buena representación entre los puntos de presencia respecto al modelo bioclimático.

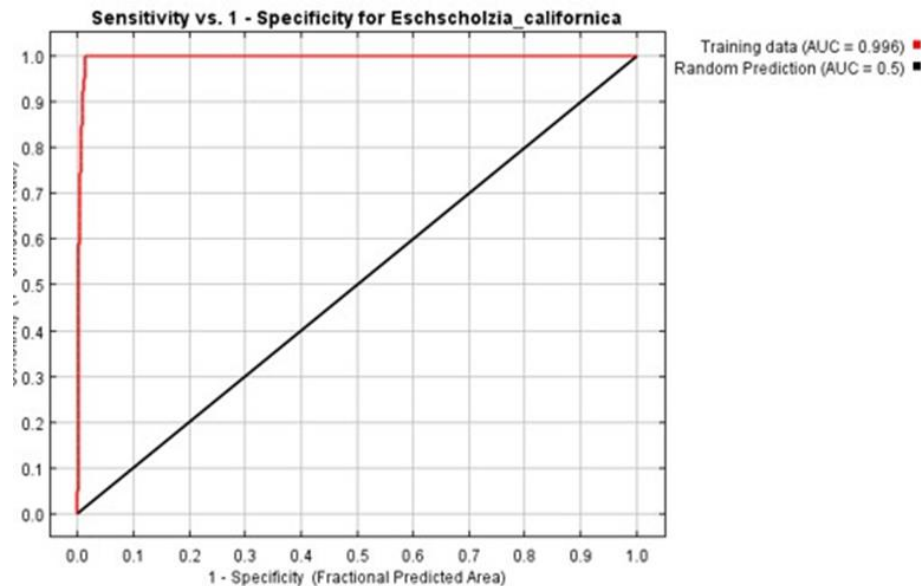


Figura 2: Curva de sensibilidad vs. Curva de especificidad (área fraccionada prevista), en base a Maxent.

La figura 2 muestra, a partir de la AUC, una buena precisión del modelo con un valor cercano a 0,996 para la *Eschscolzia californica*.

La distribución potencial de la *Eschscolzia californica* para el año 2050 se justifica por las 19 variables bioclimáticas, pero la Precipitación del trimestre más frío (Bio_19) presenta la mayor ganancia cuando se pondera en forma aislada con respecto a las variables bioclimáticas utilizadas en la modelación según el método de Jackknife (Figura 3), mientras que la variable Estacionalidad de temperatura (Bio_4) es la que tiene mayor cantidad de información para justificar el modelo, lo que nos permite entender la potencial distribución en la zona mediterránea de Chile central para el año 2050 a partir de estas dos variables.

⁷ Esta sigla en inglés corresponde a "Area under the curve", y al castellano se traduce como "Área bajo la curva", e indica un umbral que va desde 0 a 1, por ende, entre más cercano a 1 más confiable es el modelo.

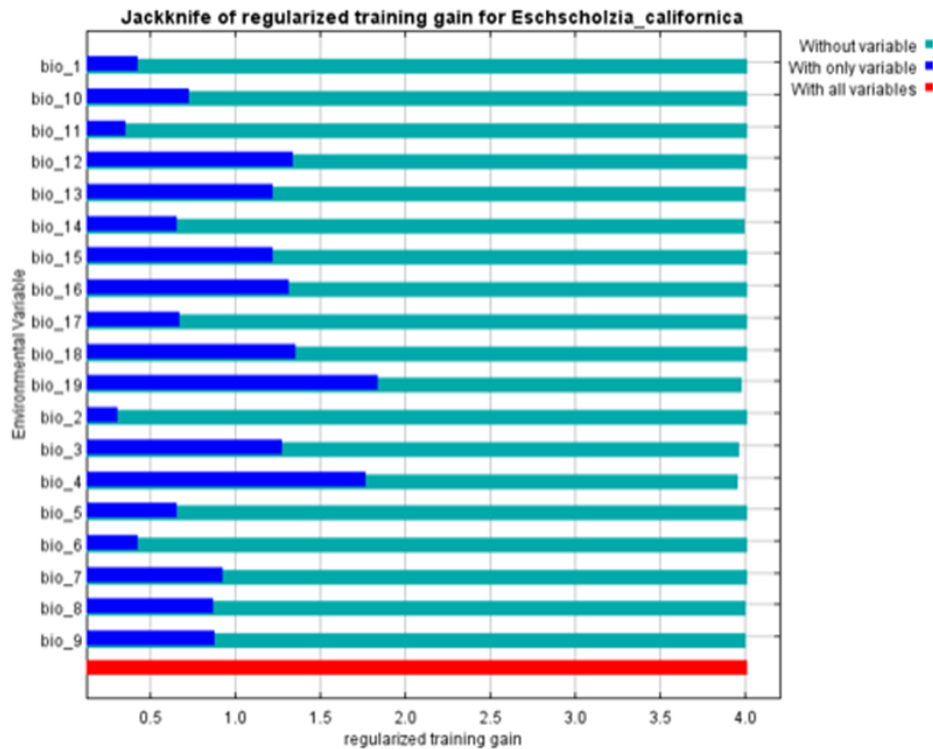


Figura 3: Ganancia de entrenamiento regularizado según el método de Jackknife para la *Eschscholzia californica*, en base a Maxent.

La figura 3 muestra los resultados de la prueba de Jackknife, en donde la variable ambiental con mayor ganancia cuando se usa de forma aislada, es la bio_19, que por lo tanto parece tener la información más útil por sí misma. La variable ambiental que disminuye más la ganancia cuando se omite, es la bio_4, que por lo tanto parece tener la mayor cantidad de información que no está presente en las otras variables. A continuación, se detallarán las implicancias que presentan estas variables en la justificación del modelo de la *Eschscholzia californica*.

Bio_19 Precipitación del trimestre más frío

Esta variable es la que presenta la correlación más fuerte respecto a todas las variables bioclimáticas utilizadas en el modelo, según el método de Jackknife. Aun cuando la *Eschscholzia californica* puede soportar bajas temperaturas y heladas ocasionales, no se descarta que los nuevos ejemplares presenten un grado de especiación a condiciones de aridez y escasas de precipitaciones. Por ende, puede existir una evolución de esta especie en todos los gradientes altitudinales, donde los orgánulos de esta hierba perenne evolucionen para soportar una estación seca prolongada más húmeda y con una reducción de las precipitaciones de un 40 por ciento en los meses más fríos.

Bio_4 Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100)

Esta variable tiene una implicancia significativa en la *Eschscholzia californica*, ya que sus condiciones de adaptabilidad a los cambios estacionales térmicos, la sitúan en comparación con las otras especies invasoras como un gran competidor respecto a las especies nativas y endémicas del bosque andino esclerófilo, bosque caducifolio y ejemplares del bosque siempreverde. Esto, debido a que presenta un umbral térmico que le permite soportar heladas ocasionales hasta aproximadamente los $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y temperaturas máximas cercanas a los $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Con respecto a la tasa de germinación de esta especie, esta se da en condiciones térmicas que oscilan entre los $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto implica que, dado el aumento de la sequedad hacia el sur de la zona mediterránea de Chile central, las condiciones de propagación serán más favorables, con un porcentaje de probabilidad de ocurrencia de un 60 por ciento.

Análisis espacial y climático de la *Eschscholzia californica* en Chile continental

Los resultados obtenidos del escenario climático previsto para el año 2050 para Chile continental (Figura 4), proyectan una distribución potencial de la *Eschscholzia californica* hacia la zona sur del valle longitudinal y parte de la cordillera de la Costa de Nahuelbuta, con un 40 por ciento de probabilidad de ocurrencia en la zona mediterránea de Chile central. Sin embargo, la distribución potencial a nivel país en otros ecosistemas y pisos vegetacionales, como el semiárido de la cuarta región y la llanura desértica del desierto florido, presentan una probabilidad de ocurrencia de un 20 por ciento, y en las localidades de Aysén, Balmaceda y Coyhaique se estima una probabilidad de ocurrencia de esta especie de un 10 por ciento para 2050.

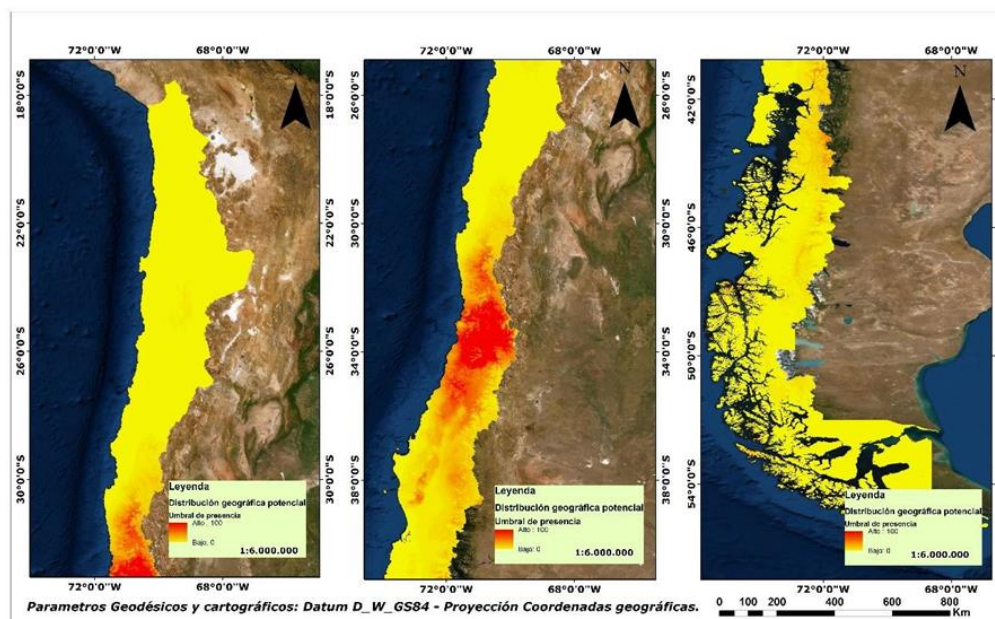


Figura 4: Distribución potencial de la *Eschscholzia californica* en Chile continental, en base a WorldClim - Global Climate Data (2019).

La figura 4 muestra la distribución potencial de la *Eschscholzia californica* proyectada para el año 2050 en la zona mediterránea de Chile central con una probabilidad de ocurrencia en las zonas cordilleranas de las regiones de los Lagos y Aysén de un 10 por ciento y más de un 80 por ciento en la cuenca de Santiago y Rancagua.

Análisis espacial y climático de la *Eschscholzia californica* en la zona mediterránea de Chile central

Los resultados en la zona mediterránea de Chile central (Figura 5), proyectan una probabilidad de distribución potencial de la *Eschscholzia californica* de un 100 por ciento de adaptación a las zonas montañosas del frente andino occidental de la Región Metropolitana, ponderando un rango altitudinal entre los 560-3.200 m s. n. m., y en las zonas montañosas del Cajón del Maipo será posible encontrarla entre los 1.120-2.240 m s. n. m.

Paralelamente, en el llano central de la cuenca de Santiago y Rancagua, la *Eschscholzia californica* tendrá una probabilidad de ocurrencia entre un 80 y 90 por ciento, mientras que en el límite sur de la zona mediterránea de Chile central, presentará, según el modelo, un 45 por ciento, tanto en el frente andino oriental de la cordillera de Nahuelbuta como también en el llano central fluvio-glacio-volcánico de las regiones de Ñuble y del Biobío.

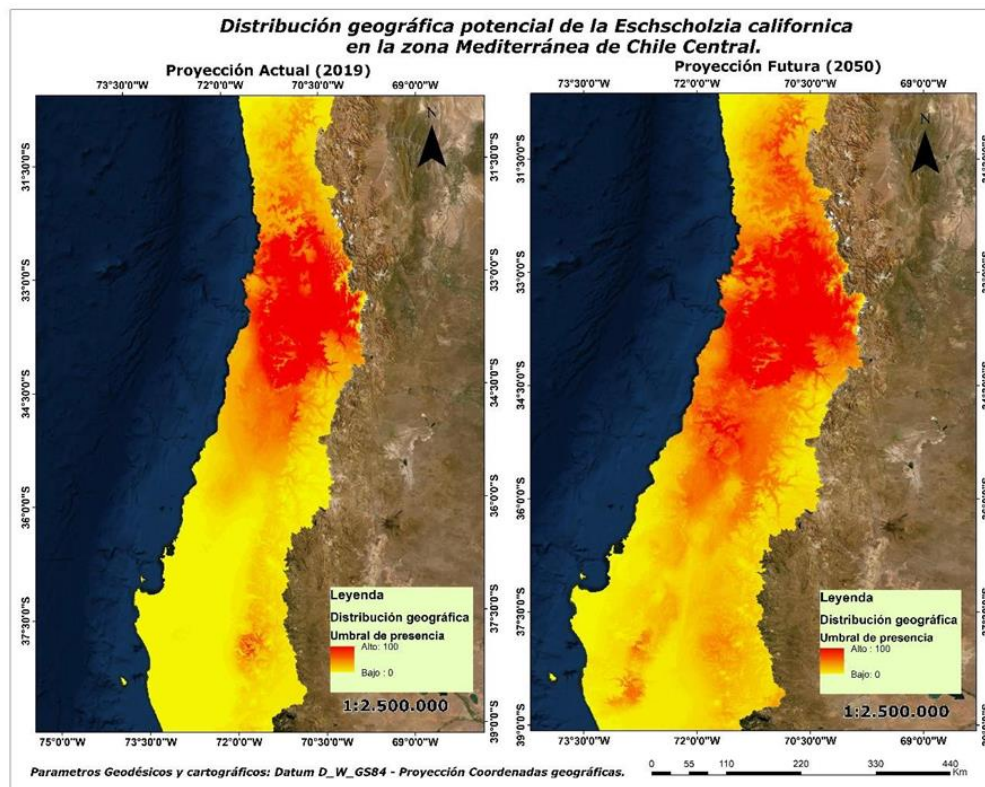


Figura 5: Distribución geográfica potencial de *Eschscholzia californica* en la zona mediterránea de Chile central, en base a WorldClim - Global Climate Data (2019).

La figura 5 sintetiza la probabilidad de ocurrencia de la *Eschscholzia californica* en una condición actual (2019) y futura (2050), proyectándose una distribución más marcada en las zonas semiáridas de la Región de Valparaíso y hasta la cordillera de Nahuelbuta, y en el margen andino occidental de la cordillera de los Andes, desde la Región de Valparaíso hasta la Región de la Araucanía, con una probabilidad de ocurrencia de un 15 por ciento.

DISCUSIÓN

Hay bastante literatura técnica sobre modelaciones climáticas con Maxent de especies invasoras y pisos vegetacionales en Chile y el mundo, pero para el caso de la *Eschscholzia californica* no existían estudios que pudieran estimar la distribución potencial modelada con este software para el año 2050. Por ende, es necesario profundizar y desarrollar más proyecciones bioclimáticas de especies invasoras con un alto grado de adaptación a nichos vacantes en la zona mediterránea de Chile central y que han pasado a formar parte de la flora vascular del territorio, como la *Acacia dealbata*, la *Alnus glutinosa* y el *Ulex europaeus*.

En relación a los factores detonantes de estas transformaciones en el ecosistema mediterráneo de Chile central, en parte se debe a las pérdidas de la biodiversidad respecto de sus condiciones actuales proyectadas hacia el futuro (Núñez, 2016) y a factores antrópicos como el cambio de uso de suelo y los incendios forestales (Pavez, 2013), como también debido a las implicancias que traerá el cambio climático en el corto y mediano plazo. Es por estos argumentos presentados que es imperante desarrollar más estudios de esta naturaleza en todo el hotspot de Chile.

Por otro lado, en relación a las condiciones de adaptabilidad y naturalización de la *Eschscholzia californica*, esta especie presenta una gran capacidad y adaptación a todo tipo de ecosistemas, creciendo principalmente en ambientes abiertos y perturbados (Cook 1962; Frías et al. 1975), debido a que es una de las pocas especies de plantas vasculares que posee semillas con fotoblastismo negativo (Castillo et al., 2013), con un porcentaje de germinación significativamente mayor en condiciones oscuras que en condiciones de luz, como ya se indicó. Este atributo se ve potenciado en las laderas de umbría de la cordillera de los Andes en la Región Metropolitana y en la cordillera de Nahuelbuta, donde la falta de luz y la cobertura vegetal ayudan a facilitar la tasa de germinación de la *Eschscholzia californica*.

Finalmente, a pesar de que la *Eschscholzia californica* tiene una amplia distribución latitudinal (30° S - 38° S) y altitudinal (de 0 a 2.200 m) en Chile (Arroyo et al., 2000), esta investigación demuestra que, dadas las condiciones climáticas proyectadas para el año 2050, el gradiente altitudinal de esta especie alcanzaría una altura sobre una probabilidad de ocurrencia, según la modelación de Maxent, de un 100 por ciento en el frente andino occidental de la Región Metropolitana de Santiago a una altura cercana a los 3.200 m s. n. m. Este antecedente es muy significativo porque está indicando que la especie incrementará su adaptación a un gradiente altitudinal más alto en un 50 por ciento en treinta años, presentando un alto grado de especiación que le permitirá adaptarse de mejor forma a los pisos montañosos, donde el bosque leñoso, el matorral esclerófilo y las cactáceas ya están naturalizadas.

Los resultados expuestos en este estudio, en relación con la investigación de Castillo et al. (2013), demuestran la gran capacidad de adaptación y competencia de esta especie en la zona mediterránea de Chile central, debido a la buena respuesta de estos ejemplares a la escasez de precipitaciones y que, en el modelo realizado en Maxent, se justifica con las variables bio_19 (Precipitación del trimestre más frío) y Bio_4 (Estacionalidad de temperatura, desviación estándar * 100), las que comprueban la adaptación térmica de la *Eschscholzia californica* a los cambios de estacionalidad.

En resumidas cuentas, esta proyección bioclimática proyectada para el año 2050, plantea un nuevo equilibrio demográfico del límite altitudinal de la *Eschscholzia californica* en Chile central que actualmente se encuentra estabilizado (Peña-Gómez y Bustamante 2012), pero que cambiará para ese período.

CONCLUSIÓN

En síntesis, las proyecciones bioclimáticas de las especies invasoras ayudan a determinar la distribución potencial de estos ejemplares en ecosistemas complejos y frágiles, como es el caso de la zona mediterránea de Chile central, donde se proyectan importantes cambios en los regímenes de precipitación y temperatura en el corto, mediano y largo plazo, como también debido a factores antrópicos (incendios forestales y cambios de uso del suelo).

Por lo tanto, haber contribuido a generar mediante Maxent una distribución potencial de la *Eschscholzia californica* para el año 2050, permite encontrar las variables climáticas que ayudan a darle consistencia a un modelo, el que arrojó, para este caso, que la variable Bio 19 (Precipitación del trimestre más frío) es la que presenta una correlación más fuerte respecto a todas las variables. Esto nos revela que esta especie presentará un grado de especiación a condiciones de aridez y germinación, que lo harán un competidor formidable en todos los gradientes altitudinales, donde los orgánulos de esta hierba perenne evolucionarán para soportar una estación seca prolongada más húmeda y con reducciones de precipitaciones de un 40 por ciento.

Con respecto a la variable Bio_4 Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100), el modelo permite comprender que la *Eschscholzia californica* no se verá afectada por los gradientes de la estacionalidad. Esto, debido a que esta especie presenta un umbral térmico que le permite soportar heladas ocasionales hasta aproximadamente los -5 °C y temperaturas máximas cercanas a los 35 °C, con una tasa de germinación térmica que oscila entre los 18 °C y los 22 °C, lo que implica que el aumento de la sequedad hacia el sur de la zona mediterránea de Chile central y las condiciones de propagación serán más favorables, con un porcentaje de probabilidad de ocurrencia de un 60 por ciento.

Finalmente, para el año 2050, se proyecta una distribución potencial de la *Eschscholzia californica* hacia la zona sur del valle longitudinal y parte de la cordillera de la Costa de Nahuelbuta, con un 40 por ciento de probabilidad de ocurrencia en la zona mediterránea de Chile central, mientras que en el semiárido de la cuarta región y la llanura desértica del desierto florido, presentará una probabilidad de ocurrencia de un 20 por ciento. En tanto, en las localidades de Aysén, Balmaceda y Coyhaique, la probabilidad de ocurrencia será de un 10 por ciento para 2050. Para el caso específico de la zona mediterránea de Chile central, en el frente andino occidental de la Región Metropolitana se proyecta una probabilidad de ocurrencia de un 100 por ciento sobre un gradiente altitudinal entre los 560 y 3.200

m s. n. m., mientras que en las zonas montañosas del Cajón del Maipo será posible encontrarla entre los 1.220 y 2.240 m s. n. m. Paralelamente, en el llano central de la cuenca de Santiago y Rancagua, la probabilidad de ocurrencia de esta especie tendrá un rango de adaptación entre un 80 y 90 por ciento.

LISTA DE REFERENCIAS

- Albert, C. 2015. Unidades geomorfológicas de Chile. Recuperado de http://datos.cedeus.cl/layers/geonode:cl_unidades_geomorfológicas_geo#more
- Arroyo, M., Marquet, P., Marticorena, C., Simonetti, J., Cavieres, L., Squeo, F. ... Massardo, F. 2008. El hotspot chileno, prioridad mundial para la conservación. En P. Saball, M. Arroyo, J. C. Castilla, C. Estades, S. Larraín, C. Moreno, ... F. Rivas (Eds.), Biodiversidad de Chile: patrimonio y desafíos. (2 ed.). (pp. 90-93). Santiago: Comisión Nacional del Medio Ambiente.
- Arroyo, M., Marticorena, C., Matthei, O. y Cavieres, L. 2000. Plant invasions in Chile: Present patterns and future predictions. En H. Mooney y R. Hobbs (Eds.), Invasive Species in a Changing World (pp. 385-421). Washington DC: Island Press.
- Baskin, C. y Baskin, J. 2014. Seeds. Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. San Diego: Academic Press.
- Börgel, R. 1983. Geomorfología. (Geografía de Chile. Tomo II). Santiago: Instituto Geográfico Militar.
- Castillo, M., Bustamante, R., Peña-Gómez, F., Gutiérrez, V., Reyes, C., Arredondo-Núñez, A. y Marey, M. 2013. Negative photoblastism in the invasive specie *Eschscholzia californica* Cham. (Papaveraceae): Patterns of altitudinal variation in native and invasive range. *Gayana Botánica*, 70(2), 330-336. DOI: 10.4067/S0717-66432013000200010
- Cook, S. 1962. Genetic system, variation, and adaptation in *Eschscholzia californica*. *Evolution. International Journal of Organic Evolution*, 16(3), 278-299. DOI: 10.1111/j.1558-5646.1962.tb03220.x
- _____. 1965. Population regulation of *Eschscholzia californica* by competition and edaphic conditions. *Journal of Ecology*, 53(3), 759-769. DOI: 10.2307/2257634
- Frías, D., Godoy, R., Iturra, P., Koref-Santibáñez, S., Navarro, J., Pacheco, N. y Stebbins, G. L. 1975. Polymorphism and geographic variation of flower color in chilean populations of *Eschscholzia californica*. *Plant Systematics and Evolution*, 123(3), 185-198. DOI: 10.1007/BF00989403
- Global Biodiversity Information Facility, GBIF. 2019. *Eschscholzia californica* Cham. Recuperado de <https://www.gbif.org/species/2888380>
- Guisan, A. y Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8, 993-1009. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x
- Goldthwaite, J., Bristol, J., Gentile, A. y Klein, R. 1971. Light-suppressed germination of California poppy seed. *Canadian Journal of Botany*, 49(9), 1655-1659. DOI: 10.1139/b71-233
- Jarvis, A., Williams, K., Williams, D., Guarino, L., Caballero, P. y Mottram, G. 2005. Use of GIS for optimizing a collecting mission for a rare wild pepper (*Capsicum flexuosum* Sendtn.) in Paraguay. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52(6), 671-682. DOI: 10.1007/s10722-003-6020-x
- Leger, E. y Rice, K. 2003. Invasive California poppies (*Eschscholzia californica* Cham.) grow larger than native individuals under reduced competition. *Ecology Letters*, 6(3), 257-264. DOI: 10.1046/j.1461-0248.2003.00423.x
- _____. 2007. Assessing the speed and predictability of local adaptation in invasive California poppies (*Eschscholzia californica*). *Journal of Evolutionary Biology*, 20(3), 1090-1103. DOI: 10.1111/j.1420-9101.2006.01292.x
- Núñez, I. 2016. Análisis de la variabilidad bioclimática para el año 2050 en la Región de Tarapacá mediante escenarios de cambio climático propuestos por el quinto informe del IPCC y modelos de circulación global de muy, muy alta resolución. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Pavez, M. 2013. Análisis prospectivo de las plantas invasoras y su repercusión en la vegetación endémica de la zona mediterránea del país. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Peña-Gómez, F. y Bustamante, R. 2012. Life history variation and demography of the invasive plant *Eschscholzia californica* Cham. (Papaveraceae), in two altitudinal extremes, Central Chile. *Gayana Botánica*, 69(1), 113-122. DOI: 10.4067/S0717-

- 66432012000100011
- Peña-Gómez, F., Guerrero, P., Bizama, G., Duarte, M. y Bustamante, R. 2014. Climatic Niche Conservatism and Biogeographical Non-Equilibrium in *Eschscholzia californica* (Papaveraceae), an Invasive Plant in the Chilean Mediterranean Region. *Plos One*, 9(8), 1-8. DOI: 10.1371/journal.pone.0105025
- Pliscoff, P. y Fuentes, T. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, (48), 61-79. DOI: 10.4067/S0718-34022011000100005
- Vázquez-Yanes, C. y Orozco-Segovia, A. 1993. Patterns of seed longevity and germination in the tropical rainforest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 24(1), 69-87. DOI: 10.1146/annurev.es.24.110193.000441
- Villagrán, C., Marticorena, C. y Armesto, J., Eds. 2007. *Flora de las Plantas Vasculares de Zapallar. Revisión ampliada e ilustrada de la obra de Federico Johow*. Santiago: Puntáaegles y Fondo Editorial UMCE.
- Weber, E. 1997. The alien flora of Europe: A taxonomic and biogeographic overview. *Journal of Vegetation Science*, 8(4), 565-572. DOI: 10.2307/3237208
- WorldClim – Global Climate Data. 2019. Bioclimatic variables. Recuperado de <https://worldclim.org/data/bioclim.html>