IPICYT
INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

INVASIBILIDAD DE HÁBITATS BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA PLANTAS EXÓTICAS PRESENTES EN MÉXICO

Tesis que presenta

Lic. en Biol. Adriana Alaniz Del Villar

Para obtener el grado de

Maestro en Ciencias Ambientales

Codirectores de la Tesis

Dr. Ernesto Iván Badano

Dr. Francisco Arturo Guerra Coss

San Luis Potosí, México, noviembre de 2026

IPICYT
INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.

Constancia de aprobación de tesis

La tesis “Invasibilidad de hábitats bajo escenarios de cambio climático para plantas exóticas presentes en México”, presentada para obtener el Grado de Maestro(a) en Ciencias Ambientales, fue elaborada por **Adriana Alaniz Del Villar** y aprobada el XX de XXX de 2026 por los suscritos, designados como jurado de tesis por el Colegio de Profesores de la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

_____
Dr. Ernesto Iván Badano
Codirector

_____
Dr. Francisco Arturo Guerra Coss
Codirector

_____
Dr. Joel David Flores Rivas
Sinodal

_____
Dr. Fredy Alexander Alvarado Roberto
Sinodal

_____
Dr. Felipe Barragán Torres
Sinodal

Créditos Institucionales

Esta tesis fue elaborada en la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., bajo la dirección del Dr. Ernesto Iván Badano.

Durante la realización del trabajo, el autor recibió una beca académica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Número de Registro 241678) y del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C.

Esta investigación de tesis fue financiada por el Fideicomiso 23871 del Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología mediante el proyecto “Herramientas para el diseño de programas de restauración ecológica climáticamente adaptativos para el Estado de San Luis Potosí”, aprobado mediante el acuerdo FME/2024/SE-04/41.

Acta de Examen

Dedicatoria

A mis papás, por su apoyo y su amor incondicional a la distancia, por creer y confiar en mí, por el esfuerzo que han hecho por mí y por enseñarme, con su ejemplo, el significado de la fortaleza y la perseverancia.

A Ozkar, por motivarme a ser una hermana mayor de la cual pueda sentirse orgulloso, y por recordarme la importancia de ser un buen ejemplo.

A mis abuelitos Sabina y Arturo, por enseñarme el significado del acompañamiento y del amor, y por seguir guiando mis pasos y acompañarme desde un lugar que trasciende lo terrenal.

A Chala, por creer en mí y por confiar tanto en lo que hago que, cada vez que encuentra un bicho, me llama para preguntarme si es bueno o peligroso.

A mis amigas Laura, Crystel, Ximena y Aracely, por convertirse en mi familia, por caminar a mi lado, sostenerme cuando lo he necesitado y hacer que este camino fuera más bonito y fácil con su compañía. En especial a Ceci, por su acompañamiento en las noches de desvelo, de tristeza y cansancio, por los consejos, por su cariño y por siempre tomar mi mano en los momentos buenos y malos.

A Andrés, por motivarme cuando sentía que ya no podía más, por darme ánimos en los momentos difíciles y por recordarme, con su cariño, que podía seguir adelante.

A Sofía, por ser una inspiración incluso desde la distancia, por su amistad, su amor incondicional y por seguir siendo una presencia importante en mi vida.

A Caro y Hans, por permanecer, por traerme siempre un poquito de Zacatecas a tierras ajenas, por escucharme y por demostrarme que la familia no se comparte solo por sangre, sino que también se construye con amor, lealtad y compañía.

A mí misma, por el esfuerzo físico y mental, por las noches sin dormir, por las dudas, el cansancio y las doce tazas de café al día que hicieron posible entregar todo a tiempo. Por no rendirme, incluso cuando parecía que ya no podía más, y por demostrarme que soy capaz de llegar hasta aquí.

Y, por supuesto, a la VSAP, por sobrevivir a ocho modelos ejecutándose al mismo tiempo durante días y noches consecutivos. Porque detrás de esta tesis también hubo una computadora que resistió tanto como yo.

Agradecimientos

Agradezco al Dr. Ernesto I. Badano, por su paciencia, guía y motivación. Por alentarme a ser mejor estudiante y científica, por las tantas veces que dedicó su tiempo a explicar el mismo tema, por atender mis dudas incluso estando cansado, gracias por ayudarme a finalizar este proyecto e impulsarme a ir por más.

Al Dr. Francisco Guerra-Coss, por su apoyo constante, por las asesorías y por sus recomendaciones académicas y de vida.

Al Dr. Felipe Barragán, el Dr. Joel Flores y el Dr. Fredy Alvarado, por las asesorías y apoyo durante el desarrollo de la tesis.

Al equipo que estuvo trabajando en conjunto para sacar adelante este proyecto, Evelyn Orozco, Natalia Aguilar y Pablo Siller, a quienes agradezco su colaboración y acompañamiento, por compartir risas, aprendizajes y experiencias que hicieron más ameno el camino.

Agradezco al M. en C. Juan Pablo Rodas Ortíz por el apoyo técnico brindando en la depuración de datos y confección de modelos.

A la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, por permitirme realizar mi proyecto de maestría en sus instalaciones, además de las facilidades otorgadas para su desarrollo.

Se agradece el apoyo financiero para la investigación aportado por el Fideicomiso 23871 del Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología mediante el proyecto “Herramientas para el diseño de programas de restauración ecológica climáticamente adaptativos para el Estado de San Luis Potosí” (acuerdo FME/2024/SE-04/41), del cual el Dr. Ernesto I. Badano es responsable técnico.

Contenidos

..... II

Constancia de aprobación de tesis II

Créditos Institucionales III

Acta de Examen IV

Dedicatoria V

Agradecimientos VI

RESUMEN IX

ABSTRACT X

INTRODUCCIÓN 11

Ecología de las invasiones biológicas 11

Nicho climático y distribución de plantas exóticas 12

Cambio climático e invasiones biológicas 13

Plantas exóticas en México 15

HIPÓTESIS 20

OBJETIVOS 20

MÉTODOS 21

Área de estudio ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Especies exóticas invasoras en México 21

Modelos de distribución basados en el clima para plantas exóticas 22

Predicciones de la distribución futura de las plantas exóticas 26

Invasibilidad de los hábitats en escenarios de cambio climático 28

RESULTADOS 30

Desempeño de los modelos de distribución basados en el clima 30

Cambios en la invasibilidad de hábitats a nivel de México 31

Cambios en la invasibilidad de hábitats a nivel de ecorregiones de México 33

Desiertos de Norteamérica 33

Elevaciones Semiáridas Meridionales 35

California Mediterránea 36

Grandes Planicies 38

Sierras Templadas 39

Selvas Cálido-Secas 41
Selvas Cálido-Húmedas 42
DISCUSIÓN 44
CONCLUSIONES 48
REFERENCIAS 49
Apéndices 59
Apéndice A 59
Apéndice B 67
Apéndice C 75
Apéndice D 83
Apéndice E 91
Apéndice F 99
Apéndice G 107
Apéndice H 115
Apéndice I 123

RESUMEN

La introducción de plantas exóticas puede promover invasiones biológicas cuando las condiciones ambientales de las regiones receptoras son adecuadas para su establecimiento. El cambio climático puede modificar estas condiciones y, con ello, la disponibilidad de hábitats adecuados para estas especies. En México, donde se han introducido numerosas especies vegetales, evaluar su probabilidad de ocurrencia bajo condiciones climáticas actuales y futuras permite identificar cambios potenciales en la invasibilidad de sus hábitats. No obstante, los patrones de cambio en invasibilidad detectados a escala nacional pueden ser diferentes a los detectados en extensiones más pequeñas dentro del territorio mexicano que presentan condiciones climáticas distintivas, o ecorregiones. Para determinar cambios in invasibilidad atribuibles al cambio climático se calibraron modelos de distribución de especies basados en el clima para 174 plantas exóticas presentes en México. Estos modelos se transfirieron a escenarios de cambio climático que consideran tres horizontes temporales (2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100) con tres niveles de forzamiento radiativo cada uno (2.6, 4.5 y 8.5 W/m^2) y se calculó la diferencia promedio entre de probabilidades de ocurrencia futuras y actuales, o diferencia en invasibilidad. En general, los resultados mostraron una tendencia hacia la disminución de la invasibilidad de los hábitats conforme aumenta el forzamiento radiativo y avanza el horizonte temporal. El análisis a escala nacional identificó una disminución de la invasibilidad potencial bajo condiciones de cambio climático. No obstante, los patrones de cambio en invasibilidad dentro de las ecorregiones de México difirieron de los observados a escala nacional. Estas diferencias pueden atribuirse a que las plantas invasoras provienen de ecosistemas que tiene diferentes tipos de clima y, por lo tanto, presentan diferentes grados de afinidad con los climas de las ecorregiones de México. En conclusión, el cambio climático podría modificar la distribución de hábitats favorables para las plantas exóticas invasoras que hay en México, aunque la magnitud y dirección de estos cambios dependerán de las características de cada especie y del escenario climático considerado.

Palabras Clave: Ecorregiones, Especies exóticas, Invasibilidad, Cambio climático.

ABSTRACT

The introduction of exotic plants can promote biological invasions when the environmental conditions of receiver regions are suitable for their establishment. Climate change can modify these conditions and, consequently, the availability of suitable habitats for these species. In Mexico, where numerous plant species have been introduced, assessing their occurrence probabilities under current and future climatic conditions allows for the identification of potential changes in the invasibility of habitats. However, the patterns of invasibility change detected at national scale may differ from those detected at smaller spatial extents within Mexican territory with distinctive climatic conditions, or ecoregions. To determine changes in invasibility attributable to climate change, climate-based species distribution models were calibrated for 174 exotic plants present in Mexico. These models were transferred to climate change scenarios considering three time-horizons (2041–2060, 2061–2080, and 2081–2100) with three radiative forcing levels each (2.6, 4.5, and 8.5 W/m²), and the mean difference between future and current occurrence probabilities, or invasibility difference, was calculated. Overall, the results showed a trend of decreased habitat invasibility as radiative forcing increases and time horizon advances. The national-scale analysis identified a decrease in potential invasibility under climate change conditions. However, the patterns of invasibility change within Mexican ecoregions differed from those observed at the national scale. These differences can be attributed to the fact that invasive plants originate from ecosystems with different climate types and, therefore, exhibit varying degrees of affinity with the climates of Mexican ecoregions. In conclusion, climate change can modify the distribution of favorable habitats for invasive exotic plants in Mexico, although the magnitude and direction of these changes will depend on the characteristics of each species and the climate scenario considered.

Keywords: Climate change, Ecoregions, Exotic species, Invasibility.

INTRODUCCIÓN

Ecología de las invasiones biológicas

Las migraciones humanas siempre han movilizado otras especies, desde parásitos y enfermedades hasta mascotas y plantas de cultivo, facilitando que crucen barreras de dispersión que no pueden superar por sus propios medios (Nentwig 2008). Sin embargo, el intercambio de especies entre diferentes regiones del planeta ha incrementado considerablemente en los últimos 100 años con el avance de la globalización comercial (Westphal et al., 2008). Estos organismos introducidos en nuevas regiones por las actividades humanas se denominan especies exóticas (Richardson et al., 2000). Algunas de ellas pueden establecer poblaciones viables en sus sitios de introducción y, desde allí, dispersarse hacia otros hábitats de la región receptora para establecer poblaciones viables, desencadenando invasiones biológicas (Richardson & Pyšek, 2012).

El creciente número de especies invasoras ha generado preocupación en la comunidad científica debido a sus impactos ambientales. Estos organismos pueden desplazar especies nativas de las comunidades receptoras (Colautti et al., 2004; Shea & Chesson, 2002), alterar el funcionamiento de los ecosistemas (Haubrock et al., 2026; Wilsey et al., 2024), constituir riesgos para la salud humana y especies de interés agropecuario (Nentwig et al., 2017), dañar a la infraestructura urbana (Booy et al., 2017), impedir el desarrollo de actividades productivas (Paini et al., 2016), y dificultar la restauración de áreas degradadas (McNeely, 2005; Norton, 2009). Por estos motivos, las invasiones biológicas son consideradas un componente importante del cambio ambiental global (McGeoch et al., 2010).

La ecología de las invasiones biológicas estudia los mecanismos subyacentes a estos procesos para identificar qué especies exóticas pueden volverse invasoras, esto permite controlar sus poblaciones y mitigar sus impactos ambientales (Simberloff et al., 2013). Estos estudios analizan los rasgos adaptativos de las especies exóticas para evaluar su invasividad, entendida como su potencial para sobrevivir, reproducirse y propagarse en las regiones receptoras (Fournier et al., 2019; Kolar & Lodge, 2001). Los rasgos adaptativos de cualquier especie

resultan de su historia evolutiva en su región nativa, y estos determinan su nicho ecológico fundamental –conjunto de condiciones y recursos que requiere para sobrevivir y reproducirse, cuyos límites están definidos por sus umbrales de tolerancia fisiológica ante variaciones en esos factores (Hutchinson, 1957; Leibold, 1995; Soberon & Peterson, 2005). Los estudios de invasividad asumen que las especies exóticas tienden a conservar sus nichos ecológicos a través del espacio y el tiempo, más que evolucionar tras su arribo a nuevas regiones (Petitpierre et al., 2012; Wiens et al., 2010; Wiens & Graham, 2005). Este principio de conservación de nicho permite analizar la invasibilidad de los hábitats, que es su vulnerabilidad de ser ocupados por una especie exótica (Catford et al., 2012; Davis et al., 2000). Así, la invasibilidad de los diferentes hábitats que componen una región geográfica dependerá de cuánto coincidan las condiciones y los recursos que esas unidades espaciales ofrecen a una especie exótica con su nicho fundamental (Liu et al., 2025).

Nicho climático y distribución de plantas exóticas

El clima es un determinante primario de los rasgos adaptativos de las plantas y, por lo tanto, de su nicho fundamental (Schellenberger-Costa et al., 2018; Treurnicht et al., 2020). Esto ha llevado a proponer que la invasividad de una planta exótica se relaciona con su nicho climático, entendido como la fracción de su nicho fundamental que abarca las dimensiones climáticas que determinan su supervivencia (Pearman et al., 2008; Perez-Navarro et al., 2021). Así, el principio de conservación de nicho indica que una planta exótica solamente invadirá hábitats donde las condiciones climáticas locales permitan su supervivencia (Petitpierre et al., 2012; Thuiller et al., 2005).

Los principales componentes del clima que afectan la distribución de las plantas son la temperatura y precipitación (Kreft & Jetz, 2007; Stephenson, 1990). De esta manera, si se conocen los umbrales de tolerancia de una especie exótica ante estas condiciones ambientales, pudiera predecirse qué especies exóticas pueden convertirse en invasoras y cuáles hábitats de la región receptora pudieran ser invadidos (Peterson, 2003; Theoharides & Dukes, 2007). Sin embargo, para la

mayoría de las especies se desconoce su nicho climático (Araújo & Peterson, 2012; Hortal et al., 2015). Estas limitaciones llevaron a desarrollar modelos de distribución de especies basados en el clima (de aquí en adelante MDBC). Para cualquier especie, su MDBC puede calibrarse estableciendo relaciones estadísticas entre la distribución de sus poblaciones dentro de una región y un conjunto de variables bioclimáticas que se derivan de registros de temperatura y precipitación (Elith & Leathwick, 2009). Este proceso estima el nicho climático de la especie, que es una función matemática que indica qué tan adecuado es el clima en cada unidad especial (hábitats) para su supervivencia (Peterson et al., 2011; Soberón & Nakamura, 2009).

Diferentes autores emplearon MDBC para estimar la propagación de plantas exóticas. Por ejemplo, Pattison & Mack (2008) calibraron el MDBC de un árbol exótico (*Triadica sebifera*, Euphorbiaceae) que fue introducido en el sureste de Estados Unidos, indicando que la especie continuaría propagándose en la región porque muchos hábitats que aún no fueron invadidos ofrecen condiciones climáticas favorables para su supervivencia. Por otra parte, Ramírez-Albores et al. (2016) emplearon un MDBC para estimar la propagación de un árbol exótico introducido en México hace casi 500 años (*Schinus molle*, Anacardiaceae), concluyendo que esta invasión biológica ya ha alcanzado su equilibrio biogeográfico –es decir, la especie ha ocupado todos los hábitats que son climáticamente favorables para su supervivencia. Estos estudios, entre otros, demuestran que los MDBC son herramientas útiles para determinar qué plantas exóticas pueden desencadenar invasiones biológicas dentro de la región que las recibe.

Cambio climático e invasiones biológicas

El cambio climático se define como una alteración a largo plazo de los patrones de temperatura y precipitación en la Tierra (Kotru et al., 2025). El planeta ha atravesado varios cambios climáticos naturales a lo largo de su historia, que se han traducido en períodos sucesivos de calentamiento y enfriamiento. Las principales causas de estos cambios climáticos han sido alteraciones recurrentes en los movimientos del planeta, o Ciclos de Milankovitch. Estos ciclos comprenden

alteraciones de la órbita de la Tierra, acercándola y alejándola del Sol, variaciones en el ángulo de rotación y la oscilación natural de su eje (Berger, 1988). Otro factor que induce cambios climáticos es la tectónica de placas, donde la redistribución de las masas de tierra en el planeta altera las corrientes oceánicas y, en consecuencia, la forma en que el calor se mueve del ecuador a los polos (Zachos et al., 2001). Los cambios climáticos del pasado también se han debido a la acumulación atmosférica de gases que absorben y emiten radiación térmica (gases radiativamente activos o gases de efecto invernadero), principalmente dióxido de carbono que se liberó durante periodos de vulcanismo muy intenso (Royer, 2006). Estos gases permanecieron en altas concentraciones durante siglos o milenios e incrementaron el forzamiento radiativo del sistema terrestre (diferencia entre la energía que ingresa al planeta y la que reemite al espacio), lo que generó aumentos en la temperatura (Zachos et al., 2008; Zalasiewicz & Williams, 2021).

Estudios paloeclimáticos recientes sugieren que la Tierra estaría entrando en un período de enfriamiento (Marcott et al., 2013; Tzedakis et al., 2012). Sin embargo, la temperatura global ha aumentado de manera constante desde mediados del siglo XIX debido a la creciente liberación de gases de efecto invernadero por parte de las sociedades humanas (Santer et al., 2013). Esto, a su vez, está causando alteraciones en los regímenes de precipitación, provocando sequías intensas en algunas regiones del planeta e inundaciones recurrentes en otras (Trenberth, 2011).

El cambio climático atribuible a las actividades humanas avanza más rápido que aquellos debidos a procesos naturales (Marcott et al., 2013). De hecho, los modelos de circulación general del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas predicen que las alteraciones en temperatura y precipitación se intensificarán a lo largo de este siglo si las sociedades humanas no reducen sus emisiones de gases de efecto invernadero (Eyring et al., 2016). Esto constituye un riesgo para la biodiversidad, ya que se puede incrementar el riesgo de extinción para especies que no sean tolerantes a las nuevas condiciones climáticas (Thomas et al., 2004; Urban, 2015). Sin embargo, el cambio climático también puede generar nuevos hábitats favorables para algunas especies, promoviendo su migración hacia esos

sitios (Chen et al., 2011; Pecl et al., 2017). Esto último incluye a las plantas exóticas, pero sus respuestas ante el cambio climático dependerán de sus rasgos adaptativos (Peterson, 2011; Wiens et al., 2010). Es previsible que las plantas exóticas que evolucionaron bajo condiciones climáticas similares a las proyectadas para la región receptora colonicen nuevos hábitats (Hellmann et al., 2008; Petitpierre et al., 2012; Thuiller et al., 2005), mientras que aquellas que carezcan de adaptaciones para tolerar el nuevo clima pierdan hábitats favorables para su supervivencia (Bradley et al., 2010; Guo et al., 2025).

Debido a estos efectos opuestos del cambio climático sobre diferentes plantas exóticas, predecir su distribución futura permitiría tomar decisiones para erradicar y controlar las invasiones biológicas en la región receptora (Hellmann et al., 2008). Los MDBC son una herramienta eficaz para estos fines porque, aunque se calibran bajo el clima actual, pueden transferirse a escenarios de cambio climático para estimar la distribución futura de las especies (Elith et al., 2010). Estas predicciones también descansan sobre el principio de la conservación del nicho, ya que asumen que las especies exóticas ocuparán hábitats climáticamente análogos a los que habitan en el presente (Pearman et al., 2008; Petitpierre et al., 2012).

Plantas exóticas en México

Debido a su topografía compleja y su ubicación entre las regiones Neártica y Neotropical, México alberga una gran diversidad de ecosistemas, incluyendo desiertos, selvas tropicales, bosques templados y zonas alpinas, entre otros (Escobar et al., 2008). Pese a ser un país megadiverso que alberga entre el 10-12% de las especies que existen en el planeta (Martínez-Meyer et al., 2014), la perdida de hábitats naturales, el cambio en el uso del suelo, la sobreexplotación de los recursos naturales y las especies exóticas están afectando la biodiversidad de México (Sarukhan et al., 2015).

En México hay más 2,660 especies exóticas que se han introducido desde Europa, Asia, África, Oceanía y Sudamérica, las cuales están presentes en diferentes tipos de ecosistemas (Ramírez-Albores et al., 2019). El grupo más representativo de especies exóticas son las plantas terrestres, constituido por 1584

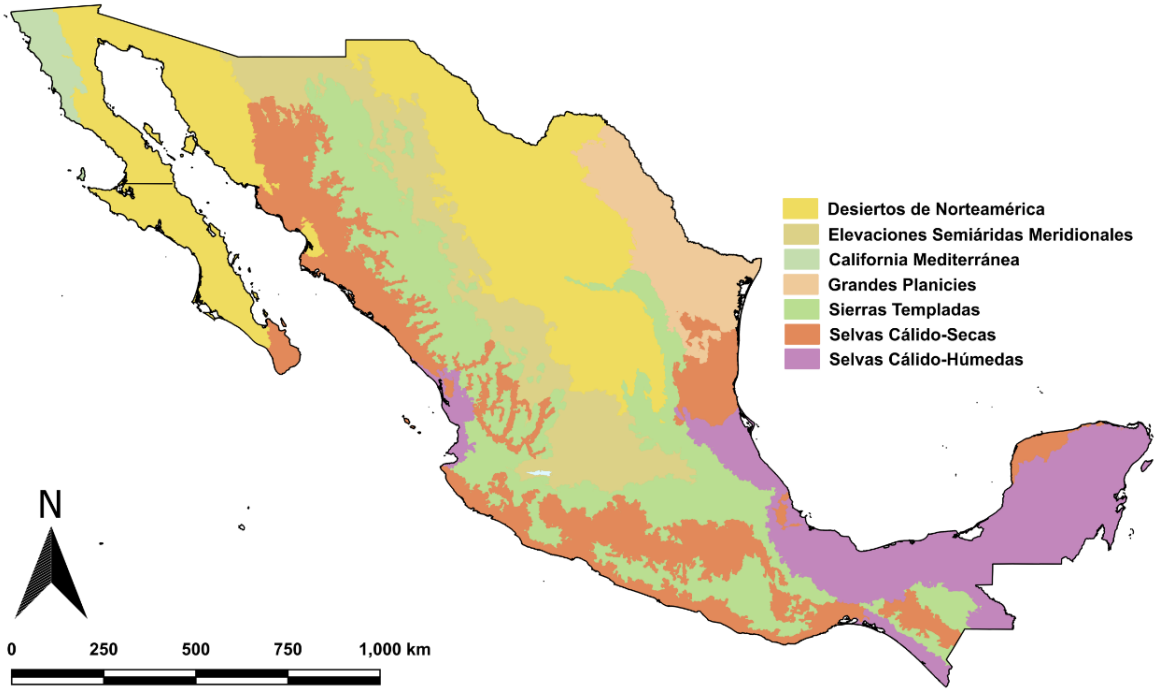
taxones (Ramírez-Albores & Badano, 2021). Aunque pocos autores han evaluado los efectos de estas especies sobre la vegetación de México, esos estudios sugieren que pueden desplazar a las plantas nativas y modificar el funcionamiento de los ecosistemas (Avendaño-González et al., 2016; Badano & Siller-Clavel, 2024; Martínez et al., 2021). Estas plantas exóticas también afectan las actividades económicas, especialmente la agricultura, causando pérdidas por 66 millones de dólares americanos al año –aproximadamente 1.3 billones de pesos mexicanos (Rico-Sanchez et al., 2021). Sin embargo, se desconoce el potencial de propagación para la mayoría de estas especies. Debido a este vacío de información, en esta investigación se usan MDBC para establecer el nivel de invasibilidad de los hábitats que conforman el territorio mexicano para diferentes plantas exóticas. Esto permitiría anticipar la expansión de invasiones biológicas y planificar estrategias orientadas a prevenir, contener o erradicar esas especies.

Un factor importante que debe considerarse al momento de planificar acciones dirigidas a controlar la propagación de plantas exóticas son las respuestas que estas especies pueden mostrar ante el avance del cambio climático (Guerra-Coss et al., 2021; Hellmann et al., 2008). Las proyecciones climáticas más recientes indican que la temperatura media en México se incrementará progresivamente durante este siglo, especialmente en el sur y sureste del país, mientras que la precipitación anual disminuirá, principalmente en las costas del Pacífico y del Golfo de México (Almazroui et al., 2021; Colorado-Ruiz et al., 2018). Estos cambios climáticos afectarán de manera diferencial a plantas exóticas con diferentes rasgos adaptativos (Theoharides & Dukes, 2007; Walther et al., 2009), permitiendo proponer que aquellas provenientes de ecosistemas con climas cálidos y secos colonizarán nuevos hábitats, mientras que las provenientes de ecosistemas fríos, templados y húmedos perderán hábitats climáticamente favorables.

A pesar de lo anterior, es importante considerar que el territorio mexicano comprende las regiones Neártica y Neotropical, lo que resulta en un mosaico de ecosistemas que difieren en su clima y su biota (Mendoza-Ponce et al., 2020; Morrone, 2019). Esta elevada diversidad de ecosistemas se evidencia en la clasificación cartográfica de las ecorregiones terrestres –extensiones de territorio

que presentan un conjunto característico de condiciones físicas y biológicas (Dinerstein et al., 2017; Olson et al., 2001)– donde México abarca siete de las 15 ecorregiones de Norteamérica (Figura 1).

Figura 1. Ecorregiones terrestres de México. Mapa confeccionado a partir de las capas geográficas provistas por la Comisión para la Cooperación Ambiental (1997).



La Comisión para la Cooperación Ambiental (1997) caracteriza las ecorregiones de México de la siguiente manera:

- Los Desiertos de Norteamérica se extienden en el noroeste y centro-norte del país. El paisaje se compone de valles intercalados por cadenas montañosas. El clima es árido a semiárido, variando de templado a cálido con marcados extremos térmicos estacionales. Predomina el matorral xérico con arbustos y plantas suculentas, presentando muy pocos árboles.

- Las Elevaciones Semiáridas Meridionales se extienden por la zona central de México. El paisaje presenta colinas y valles. El clima es semiárido templado a cálido. La vegetación está dominada por matorrales de arbustos y bosques de árboles tolerantes a la sequía.
- La California Mediterránea es la ecorregión con menor extensión en el país, ubicada en su extremo noroeste. Su relieve está compuesto por colinas y llanuras. El clima varía de árido a subhúmedo, generalmente templado. Presenta diferentes tipos de vegetación, incluyendo matorrales, pastizales y bosques abiertos.
- Las Grandes Planicies se encuentran en el noreste del país y se distinguen por un relieve relativamente plano. El clima es árido templado, predominando los pastizales sobre otros tipos de vegetación.
- Las Sierras Templadas abarcan las principales cadenas montañosas de México. El clima varía de templado subhúmedo a templado semiseco, con extremos fríos en cimas de montañas y volcanes. Su vegetación característica son los bosques de encinos y pinos.
- Las Selvas Cálido-Secas se extienden principalmente en las planicies costeras del oeste y sur de México, con extensiones más reducidas en las planicies costeras del Golfo de México y la Península de Yucatán. Su clima es cálido, variando de semiseco a subhúmedo con episodios de lluvias intensas durante el verano. La vegetación predominante son bosques bajos, con árboles caducifolios o subcaducifolios.
- Las Selvas Cálido-Húmedas se distribuyen a lo largo de las planicies costeras del Golfo de México, con una representación extremadamente reducida en la costa del Océano Pacífico. El clima es cálido subhúmedo a muy húmedo, con una estación seca que dura menos de tres meses. La vegetación se compone de bosques perennifolios.

Considerando esta variabilidad entre ecorregiones, además de evaluarse la invasibilidad de los hábitats a través de México, en esta investigación también se evaluó en cada ecorregión. Esto se debe a que las ecorregiones presentan

características ambientales relativamente homogéneas que pueden coincidir con los requerimientos de supervivencia de algunas plantas exóticas, pero que también pueden impedir el establecimiento de otras. Esto facilita visualizar las diferencias que pueden existir en el nivel de invasibilidad de sus hábitats en función del origen de las especies exóticas, y comparar estos resultados con los obtenidos a nivel de país.

HIPÓTESIS

- Los MDBC permitirán predecir cómo el avance del cambio climático afectará la invasibilidad de los hábitats de México para diferentes plantas exóticas. En términos generales, se espera que el nivel de invasibilidad de los hábitats a nivel de país se incremente para plantas exóticas provenientes de climas cálidos y secos, mientras que debiera disminuir para especies provenientes de ecosistemas fríos, templados y húmedos.
- Los MDBC debieran predecir los mismos patrones que se plantean en la hipótesis anterior a nivel de cada ecorregión. Sin embargo, la invasibilidad futura puede variar entre ecorregiones debido a que cada una presenta características climáticas distintivas, que las diferencian de las demás ecorregiones.

OBJETIVOS

- Determinar los efectos potenciales del cambio climático sobre la invasibilidad futura de hábitats para plantas exóticas en México mediante el uso de MDBC.
- Definir la relación entre el origen climático de las especies exóticas y la disponibilidad de hábitats adecuados para su supervivencia bajo condiciones de cambio climático.

MÉTODOS

Especies exóticas invasoras en México

Aunque en México se ha reportado la presencia de más de 2,660 especies exóticas (Ramírez-Albores & Badano, 2021), el marco legal de este país establece que sólo pueden ser consideradas invasoras aquellas que constituyen una amenaza para la biodiversidad nativa, la economía y la salud pública (Koleff, 2017). Esta definición difiere de la empelada en ecología, donde una especie invasora es cualquier organismo que se disperse por sus propios medios desde su sitio de introducción hacia nuevos hábitats de la región receptora y establezca en ellos poblaciones viables, sin que esto necesariamente involucre sus impactos ambientales (Richardson et al., 2000; Richardson & Pyšek, 2012). No obstante, dado que existe un listado de especies exóticas que causan impactos ambientales en México (Ruiz-Guerra & Velázquez-Rosas, 2016), las mismas deberían ser prioritarias en los estudios dirigidos a establecer el nivel de invasibilidad de los hábitats.

Para establecer que plantas exóticas son consideradas invasoras en México, se consultó el portal Enciclovida de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (https://enciclovida.mx/exoticas-invasoras, consultado el 15 de junio de 2025). Aunque esta base de datos provee información sobre todas las plantas exóticas invasoras presentes en el país, este estudio se enfocó en plantas terrestres, omitiéndose plantas acuáticas, epífitas y parásitas. Esto resultó en un listado con 242 especies vegetales exóticas, que se clasificaron por familia taxonómica, nombre científico y región geográfica de origen. Además, estas plantas exóticas fueron clasificadas de acuerdo con el clima que predomina en su región de origen (árido-semiárido, tropical seco, tropical húmedo, subtropical seco, subtropical húmedo, y templado) con información obtenida de Plants of the World Online del Royal Botanic Gardens (https://powo.science.kew.org, consultada el 29 de enero de 2026).

Modelos de distribución basados en el clima para plantas exóticas

Los algoritmos computacionales tradicionales empleados para calibrar MDBC suelen requerir información georreferenciada de presencia y ausencia de la especie focal a través de la región que habita, pero estos últimos datos comúnmente no se reportan (Elith et al., 2006; Graham et al., 2004; Guisan & Zimmermann, 2000). Esto llevó a desarrollar rutinas computacionales que permitieran calibrar los MDBC solamente con datos de presencia, como ocurre con el software MaxEnt, cuyo algoritmo estima las probabilidades de ocurrencia de una especie a través de las unidades espaciales (hábitats) que componen una región geográfica en base a las restricciones impuestas por un conjunto de variables ambientales asociadas a las coordenadas geográficas donde la especie realmente está presente (Phillips et al., 2006, 2017). Una ventaja adicional de MaxEnt sobre otros algoritmos, es que requiere un tamaño muestral relativamente bajo (30 registros georreferenciados) para calibrar MDBC que estimen con alta precisión las probabilidades de ocurrencia de una especie (Warren & Seifert, 2011).

Para esta investigación, los registros georreferenciados de las 242 especies exóticas invasoras en México se obtuvieron de Global Biodiversity Information Facility (https://www.gbif.org, consultado entre el 20 y 25 de Julio de 2025). Para cada especie, la recopilación de registros abarcó el territorio continental de América del Norte y Central para cubrir la mayor heterogeneidad de condiciones ambientales donde está presente y, así, calibrar MDBC lo más generales posible. Estos registros se restringieron a observaciones directas registradas en publicaciones científicas o ejemplares depositados en herbarios, ya que suelen tener mayor confiabilidad en la identificación taxonómica de las plantas. Posteriormente, los registros de cada especie se visualizaron en el espacio geográfico usando Quantum GIS 3.3 (disponible en https://qgis.org) para eliminar aquellos que se localizaban dentro de asentamientos humanos, ya que muchas plantas exóticas se usan con fines ornamentales y su presencia en esos sitios podría estar siendo subsidiada (aplicación de riego y protección ante condiciones extremas) más que corresponder con el clima local (Ramírez-Albores et al., 2016).

Una vez obtenidos los datos de presencia de las especies, las variables bioclimáticas requeridas para calibrar los MDBC se obtuvieron de WorldClim (http://worldclim.org, consultado el 26 de julio de 2025). Esta plataforma ofrece capas geoespaciales globales en formato ráster con los valores cercanos al presente de 19 variables bioclimáticas, que son estimadas a partir de datos de temperatura y precipitación registrados por estaciones meteorológicas entre 1970 y 2000 (Fick & Hijmans, 2017). En términos generales, las variables bioclimáticas derivadas de datos de temperatura (Bio 01-11 en Tabla 1) se emplean en la calibración de los MDBC porque suelen regular procesos metabólicos y fenológicos de las plantas, mientras las variables bioclimáticas derivadas de datos de precipitación (Bio 12-19 en Tabla 1) suelen determinar la disponibilidad hídrica para esas especies (Booth, 2018). Esta información bioclimática se obtuvo a una resolución espacial de 2.5 arcmin (~20 km^2 por píxel). Se seleccionó esta resolución espacial porque suele ser la más adecuada para tomar decisiones en materia de conservación y manejo de la biodiversidad (Luoto et al., 2007). Para optimizar la calibración de los MDBC, estas capas bioclimáticas se recortaron para la superficie continental de América del Norte y Central, que es el territorio en el cual se enfocó la recopilación de datos de presencia de las plantas exóticas presentes en México.

Una vez definida la resolución espacial de los MDBC, los registros de presencia de las especies se depuraron para remover aquellos que estuvieran repetidos dentro de un mismo píxel de las capas bioclimáticas. Esto se realizó para prevenir el sobreajuste del MDBC, lo que pudiera conducir a sobreestimar las probabilidades de ocurrencia de las especies en la región de interés (Boria et al., 2014; Radosavljevic & Anderson, 2014). Para esto, considerando que cada píxel tiene un tamaño de ~20 km^2, se trazó un buffer circular de 5 km de diámetro alrededor de los puntos de ocurrencia de cada especie. Así, cuando dos o más buffers se solapaban, uno de esos registros se seleccionaba al azar y se eliminaron los demás.

Tabla 1. Variables bioclimáticas empleadas para calibrar los MDBC. La tabla indica el código de cada variable y su nombre, una breve descripción de cómo se calcula y la unidad de medida correspondiente.

Código en WordClim	Variable bioclimática	Descripción	Unidad de medida
Bio01	Temperatura media anual	Promedio de temperaturas medias a lo largo de un año.	°C
Bio02	Rango diario medio de temperatura	Promedio de los rangos mensuales de temperatura (diferencia entre la máxima y la mínima mensual	°C
Bio03	Isotermalidad	Amplitud de las oscilaciones de temperatura entre el día y la noche, en relación con las oscilaciones anuales entre verano e invierno.	%
Bio04	Estacionalidad de la temperatura	Medida la variación en la temperatura a lo largo del año. Cuanto mayor sea este porcentaje, mayor será la variabilidad de la temperatura.	%
Bio05	Temperatura máxima del mes más cálido	Promedio de los valores máximos de temperatura mensual.	°C
Bio06	Temperatura mínima del mes más frío	Promedio de los valores mínimos de temperatura mensual.	°C
Bio07	Rango anual de temperatura	Rango de variación de la temperatura a lo largo de un año.	°C
Bio08	Temperatura media del trimestre más húmedo	Temperatura media que prevalece durante la estación más lluviosa.	°C
Bio09	Temperatura media del trimestre más seco	Temperatura media que prevalece durante la estación más seca.	°C
Bio10	Temperatura media del trimestre más cálido	Temperatura media que prevalece durante la estación más cálida.	°C
Bio11	Temperatura media del trimestre más frío	Temperatura media que prevalece durante la estación más fría.	°C
Bio12	Precipitación anual	Precipitación acumulada a lo largo de un año.	mm
Bio13	Precipitación del mes más húmedo	Precipitación acumulada en el mes más húmedo del año.	mm
Bio14	Precipitación del mes más seco	Precipitación acumulada en el mes más seco del año.	mm
Bio15	Estacionalidad de la precipitación	Variabilidad en la precipitación mensual a lo largo del año.	%
Bio16	Precipitación del trimestre más húmedo	Precipitación acumulada en la estación más húmeda del año.	mm
Bio17	Precipitación del trimestre más seco	Precipitación acumulada en la estación más seca del año.	mm
Bio18	Precipitación del trimestre más cálido	Precipitación acumulada en la estación más cálida del año.	mm
Bio19	Precipitación del trimestre más frío	Precipitación acumulada en la estación más fría del año.	mm

Los procesos de depuración de los registros de presencia de plantas exóticas descritos en los párrafos anteriores permiten garantizar su calidad y confiabilidad. Sin embargo, en algunos casos, esas depuraciones resultaron en conjuntos de datos inferiores al tamaño muestral mínimo que MaxEnt requiere para calibrar MDCB robustos y confiables (30 registros de presencia). Por estos motivos, el número de plantas exóticas invasoras para las cuales finalmente se calibraron estos modelos se redujo de 242 a 174 (67 especies no satisficieron el tamaño muestral mínimo). La información referida a las especies incluidas en este estudio se provee en el apéndice A.

Además de eliminarse los registros repetidos de las especies dentro de un mismo píxel para evitar el sobreajuste de los MDBC, también se debe prevenir la inclusión de variables bioclimáticas espacialmente correlacionadas (Brun et al., 2020; Petitpierre et al., 2017). Para estos fines, se realizaron análisis de correlación considerando todas las combinaciones binarias posibles entre las 19 variables bioclimáticas. Debido a que los valores de estas variables no suelen seguir una distribución normal (Dormann et al., 2013), para estos análisis de correlación se utilizaron pruebas no-paramétricas de Spearman. En estos análisis, se buscaron coeficientes de correlación superiores a 0.70 y, cuando dos o más variables bioclimáticas se correlacionaron a este nivel, se retuvo aquella que tuviera el mayor número de correlaciones con las demás. Las variables bioclimáticas que se retuvieron mediante este proceso para cada especie se emplearon on como trasfondo ambiental para calibrar su MDBC.

La calibración de los MDBC bajo condiciones climáticas cercanas al presente (de aquí en adelante se las denominará condiciones climáticas actuales) se realizó seleccionando aleatoriamente el 75% de los registros de presencia de cada una como puntos de entrenamiento. El restante 25% de sus registros de presencia se utilizó para evaluar el desempeño del MDBC con curvas de característica operativa del receptor. Estas curvas indican cuál es el valor de probabilidad umbral a partir del cual una especie se encuentra presente o ausente dentro de una unidad espacial (píxel) de la región de interés y, así, el área debajo la curva (AUC) indica la precisión con que el MDBC discrimina los registros de prueba del trasfondo ambiental (Barry

& Elith, 2006). Valores AUC cercanos a 0.5 indican que el MDBC no diferencia entre ocurrencias aleatorias y aquellas atribuibles al clima de las unidades espaciales, mientras que valores AUC superiores a 0.9 indican que el MDBC estima las probabilidades de ocurrencia de las especies con alta precisión en función de los valores que adquieren las variables bioclimáticas en cada unidad espacial (Barry & Elith, 2006).

Debido a que los puntos de entrenamiento con que se calibra un MDBC se selecciona al azar, tanto las probabilidades de ocurrencia que estima para una especie a través del espacio geográfico como su valor AUC pueden variar a lo largo de calibraciones sucesivas (Phillips et al., 2017). Para evitar sesgos asociados a la selección aleatoria de estos puntos, el MDBC de cada especie se calibró 100 repeticiones consecutivas seleccionando sus puntos de entrenamiento con el algoritmo de remuestreo Bootstrap incluido en MaxEnt. Así, para cada especie se obtuvieron 100 MDBC, que se integraron en uno solo para estimar sus probabilidades de ocurrencia bajo el clima actual, mientras que la precisión del modelo se estimó promediando los valores de AUC correspondientes. Estos MDBC se proyectaron sobre Norte y Centroamérica utilizando como trasfondo ambiental los valores de las variables bioclimáticas correspondientes, generándose así un mapa de que indica la distribución de probabilidades de ocurrencia de cada planta exótica a lo largo de toda la región. Para simplificar la visualización de estos resultados, los pixeles se reclasificaron en deciles de probabilidad. Posteriormente, dado que la región de interés es México, estos mapas fueron acotados a la superficie de este país.

Predicciones de la distribución futura de las plantas exóticas

Los MDBC calibrados bajo el clima actual pueden trasladarse a capas bioclimáticas futuras para predecir como pudieran cambiar las probabilidades de ocurrencia de las especies en escenarios de cambio climático (Elith & Leathwick, 2009). En esta investigación se realizaron estas predicciones para las plantas exóticas solicitando a MexEnt que, tras cada una de las 100 calibraciones del MDBC

de cada especie, el mismo fuera transferido a capas bioclimáticas futuras. Estos resultados se visualizaron de la misma manera que la descrita en la sección anterior.

Las capas bioclimáticas futuras también se obtuvieron de WorldClim a una resolución espacial de ~20 km^2/píxel y se derivan de las predicciones de los últimos modelos de circulación general del Programa Mundial de Investigación Climática (modelos CMIP6). Los modelos CMIP6, sin embargo, provienen de diferentes centros de investigación (hay más de 100 modelos de este tipo) y, aunque comparten las mismas leyes fundamentales de la física, emplean distintas resoluciones espaciales, esquemas de simplificación y parametrizaciones para procesos atmosféricos complejos que ocurren a pequeña escala, como la formación de nubes, la liberación de aerosoles o el intercambio de calor de una superficie (Eyring et al., 2016). Esto resulta en una alta variabilidad en su sensibilidad climática en equilibrio (ECS, por sus siglas en inglés; indica cuánto cambiará la temperatura a largo plazo ante una duplicación en las concentraciones atmosféricas de CO_2), donde modelos con mayor ECS tienden a predecir cambios climáticos más intensos, en relación con el clima actual (Meehl et al., 2020). Debido a esta variabilidad en ECS, los estudios que analizan los efectos del cambio climático sobre fenómenos naturales comúnmente trabajan con ensambles multimodelo que resultan de agrupar las predicciones de diferentes modelos CMIP6 (Tebaldi et al., 2021). En esta investigación se empleó una aproximación multimodelo de este tipo para predecir las probabilidades de ocurrencia futuras de las plantas exóticas. Para esto, en WorldClim se seleccionaron tres modelos CMIP6, incluyendo uno con baja ECS (INM-CM5-0, ECS = 1.9, Russian Academy of Science), uno con moderada ECS (MIROC6, ECS = 2.6. University of Tokyo) y uno con elevada ECS (ACCESS-CM2, ECS = 4.7, Australian Research Council Centre of Excellence for Climate System Science). Los valores bioclimáticos predichos en cada píxel de estas capas se promediaron entre los tres modelos CMIP6 para integrarlos en una sola, obteniendo así un ensamble multimodelo.

Otra fuente de variabilidad que puede influir en la predicción de las probabilidades de ocurrencia de las plantas exóticas es el nivel de forzamiento radiativo que puede alcanzar el planeta en el futuro. Es muy probable que el

forzamiento radiativo continúe incrementándose en las próximas décadas debido a la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, pero su nivel dependerá de las decisiones que tomen las sociedades humanas para reducir sus emisiones (Lee et al., 2021). Debido a que existe incertidumbre respecto a lo que ocurrirá con esas emisiones, WorldClim estima las capas bioclimáticas futuras considerando diferentes niveles de forzamiento radiativo. Para esta investigación, se consideraron niveles de forzamiento radiativo bajo (2.6 W/m^2), moderado (4.5 W/m^2) y alto bajo (8.5 W/m^2). Además, para considerar la variabilidad temporal en estas predicciones climáticas, los MDBC se trasladaron sobre capas bioclimáticas estimadas a corto, mediano y largo plazo (períodos 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100). De esta manera, las probabilidades de ocurrencia futuras de las plantas exóticas se predijeron empleando nueve ensambles multimodelo para las variables bioclimáticas, correspondientes a los tres períodos de tiempo y contemplando los tres niveles de forzamiento radiativo dentro de cada uno. Estos resultados se visualizaron de la misma manera que la descrita en la sección anterior.

Invasibilidad de los hábitats en escenarios de cambio climático

En una primera instancia, los efectos potenciales del cambio climático sobre la invasibilidad de los hábitats se estimaron a nivel del territorio mexicano, independientemente de las ecorregiones que este abarca. Estos análisis consideraron que las probabilidades de ocurrencia de las plantas exóticas son indicadores directos de la susceptibilidad que tienen los hábitats de ser ocupados por ellas. Así, si la probabilidad de ocurrencia futura de una planta exótica es mayor que la actual en un hábitat determinado, se asume que el avance del cambio climático incrementará su invasibilidad, mientras que se asume lo contrario si las probabilidades de ocurrencia futuras son menores.

Con base en lo anterior, la forma más simple de analizar cambios en la invasibilidad de los hábitats sería calcular la diferencia entre las probabilidades de ocurrencia que el MDBC de cada especie estima bajo el clima actual y futuro (Δp) en cada una de las unidades espaciales que componen la región de estudio (píxeles de los mapas de probabilidad de ocurrencia). Esos valores luego podrían

promediarse y compararse estadísticamente contra un valor de referencia que refleje un escenario sin cambios en la invasibilidad (es decir, $\Delta p = 0$). Así, promedios superiores a la referencia indicarían aumentos en la invasibilidad de los hábitats, mientras que promedios inferiores indicarían reducciones. Sin embargo, dado que las respuestas de las especies ante gradientes ambientales rara vez siguen una distribución gaussiana o simétrica (Austin, 2007; Jamil & ter Braak, 2013), las probabilidades de ocurrencia que estiman sus MDBC no suelen distribuirse de manera normal dentro de la región de interés (Elith et al., 2011; Phillips et al., 2017). Esto implica que, para realizar comparaciones como las descritas anteriormente, se deben usar técnicas estadísticas no paramétricas. En este estudio, se usaron remuestreos Bootstrap con 100 interacciones, seleccionándose en cada interacción aleatoriamente y con reemplazo 1000 píxeles de los mapas de probabilidad de cada especie. Para cada píxel, se calculó el valor Δp en cada escenario de cambio climático (nueve escenarios: tres períodos de tiempo con tres niveles de forzamiento radiativo en cada uno) y esos valores se promediaron, obteniéndose los límites inferior y superior de su intervalo de confianza del 95 % con el método de percentiles (percentiles 2.5 y 97.5, respectivamente). Finalmente, el promedio Δp de cada especie se comparó contra el valor de referencia $\Delta p = 0$, asumiéndose diferencias significativas cuando este valor no quedaba contenido dentro del intervalo de confianza.

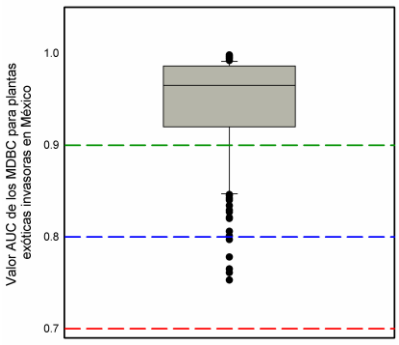
Tras evaluar los cambios en invasibilidad para el territorio mexicano, se procedió a realizar análisis de invasibilidad específicos para cada ecorregión del país. En estos casos, también se emplearon remuestreos Bootstrap con 100 interacciones para cada planta exótica, pero esta vez el área de los remuestreos se enfocó en la superficie que cubre cada ecorregión. Dentro de cada ecorregión se seleccionaron aleatoriamente y con reemplazo 1000 píxeles y se calcularon los valores Δp correspondientes. Esos valores se promediaron para cada ecorregión y se obtuvieron los límites inferior y superior de su intervalo de confianza del 95 % con el método de percentiles, asumiéndose diferencias significativas cuando este intervalo no contenía al valor $\Delta p = 0$.

RESULTADOS

Desempeño de los modelos de distribución basados en el clima

Las variables ambientales empeladas para calibrar los MDBC, como también su importancia para explicar la distribución de probabilidades de ocurrencia de cada especie, difirieron entre plantas exóticas. Esto indica que esas especies responden de manera diferencial ante diferentes condiciones climáticas que influyen sobre su supervivencia y distribución, probablemente debido a diferencias entre sus nichos climáticos. La mediana de valores AUC entre los 174 MDCB calibrados en este estudio fue de 0.96 (Figura 2). Esto indica que esos modelos, en general, estiman con alta precisión las probabilidades de ocurrencia de las especies a través de las unidades espaciales que componen el territorio mexicano en función de las variables bioclimáticas con las que fueron calibrados. Entre las especies analizadas, cinco MDBC tuvieron valores AUC entre 0.75 y 0.8, considerándose que su precisión es aceptable; 24 MDBC tuvieron valores AUC entre 0.8 y 0.9, por lo que se consideran con buena precisión; el resto de los MDBC tuvieron valores AUC mayores a 0.9 (83% de las especies), lo que indica que su precisión para estimar las probabilidades de ocurrencia de las especies es excelente.

Figura 2. Diagrama de caja de valores AUC de los MDBC calibrados para las plantas exóticas invasoras en México. La línea al interior de la caja es la mediana de la distribución, y los límites de la caja son los cuartiles 25% y 75%. Las líneas que se extienden fuera de la caja son los valores máximos y mínimos de la distribución, y los puntos más allá de ellos son valores extremos. La línea discontinua roja indica el umbral de AUC para una precisión aceptable (0.7 < AUC < 0.8) en la estimación de las probabilidades de ocurrencia de las especies, mientras que las líneas discontinuas azul y verde indican precisiones buenas (0.7 < AUC < 0.80) y excelentes (0.9 < AUC).



Cambios en la invasibilidad de hábitats a nivel de México

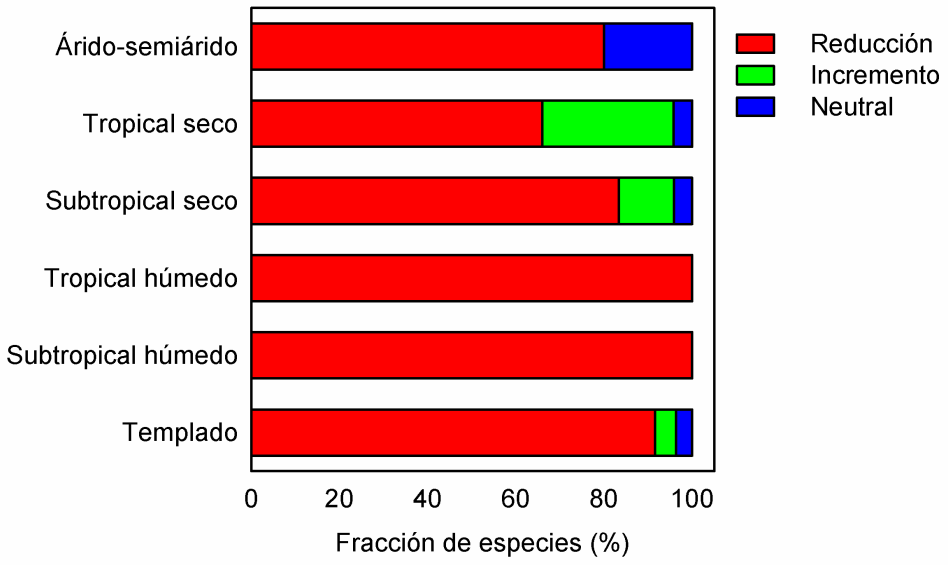
Entre las 174 plantas exóticas invasoras incluidas en este estudio, las más numerosas fueron aquellas provenientes de climas templados, con 83 especies (Apéndice A). Siguieron 47 especies provenientes de climas tropicales secos y 24 especies provenientes de climas subtropicales secos (Apéndice A). Las menos numerosas fueron aquellas provenientes de climas tropicales húmedos, con ocho especies, climas áridos-semiáridos, con cinco especies, y climas subtropicales húmedos, con siete especies (Apéndice A).

Las diferencias entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales a nivel de país indicaron que, en el corto plazo (período 2041-2060), el cambio climático reducirá significativamente la invasibilidad de los hábitats para el 83.9% (146 especies) de las plantas exóticas bajo todos los niveles de forzamiento radiativo (es decir, sus promedios Δp son negativos y los intervalos de confianza 95% correspondientes no contienen el valor $\Delta p = 0$; Apéndice B). Para la mayoría de estas especies, estas reducciones en invasibilidad serán más pronunciadas en horizontes temporales más lejanos (períodos 2061-2080 y 2081-2100), especialmente con niveles de forzamiento radiativo más altos (Apéndice B). Los MDBC predicen que estas reducciones en invasibilidad ocurrirán para todas las especies exóticas provenientes de climas tropicales y subtropicales húmedos, seguidas por la mayoría de las especies provenientes de climas templados, subtropicales secos, áridos-semiáridos y tropicales secos (Figura 3).

Los MDBC también predicen que, en el corto plazo y bajo la mayoría de los niveles de forzamiento radiativo, la invasibilidad de los hábitats en México se incrementará para el 12.1% (21 especies) de las plantas exóticas (es decir, sus promedios Δp son positivos y los intervalos de confianza 95% correspondientes no contienen el valor $\Delta p = 0$; Apéndice B). Sin embargo, estos incrementos en la invasibilidad serán menos marcados, e incluso algunas de estas especies pueden perder hábitats climáticamente favorables, al considerarse horizontes temporales más lejanos bajo mayores niveles de forzamiento radiativo (Apéndice B). Solamente para cuatro especies (*Azadirachta indica*, *Albizia lebbeck*, *Cryptostegia grandiflora*

y *Moringa oleífera*) se predicen aumentos en la invasibilidad de los hábitats a través del territorio mexicano conforme se incremente el tiempo y el forzamiento radiativo (Apéndice B). En términos proporcionales, los cambios climáticos al corto plazo beneficiarán a casi un tercio de las especies que provienen de climas tropicales secos (Figura 3). Otras especies que se verán favorecidas por el avance del cambio climático provienen, en menores proporciones, de climas templados y climas subtropicales secos, sin registrase ninguna proveniente de climas áridos-semiáridos o subtropicales húmedos (Figura 3).

Figura 3. Proporción de especies provenientes de cada tipo de climas para las que se predicen disminuciones (rojo), aumentos (verde) o ausencia de cambios (azul) en la invasibilidad futura de los hábitats a lo largo del territorio mexicano.



Para el 4.0% de las plantas exóticas (7 especies) se predice que no habrá cambios en la invasibilidad de los hábitats en el territorio mexicano en el corto plazo (es decir, los intervalos de confianza 95% de sus promedios Δp contienen el valor $\Delta p = 0$; Apéndice B). Sin embargo, conforme avance el tiempo y/o aumente el forzamiento, estos efectos neutrales del cambio climático pasarán a ser negativos para algunas de estas especies (Apéndice B). Estas plantas exóticas comprenden una quinta parte de las especies provenientes de climas áridos-semiáridos (Figura

3). En menores proporciones, estas especies provienen de climas tropicales secos, climas subtropicales secos y climas templados, sin registrase ninguna proveniente de climas tropicales o subtropicales húmedos (Figura 3).

Cambios en la invasibilidad de hábitats a nivel de ecorregiones de México

La sección anterior presenta los cambios en invasibilidad de los hábitats que se esperan con el avance del cambio climático a nivel de país, mientras que esa sección se enfoca en los análisis de invasibilidad dentro de cada ecorregión de México. Los resultados estadísticos que comparan las diferencias entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales (Δp) estimadas para cada planta exótica dentro de cada ecorregión con el valor teórico esperado en una situación donde la invasibilidad no cambia ($\Delta p = 0$) se entregan en los Apéndices C-I.

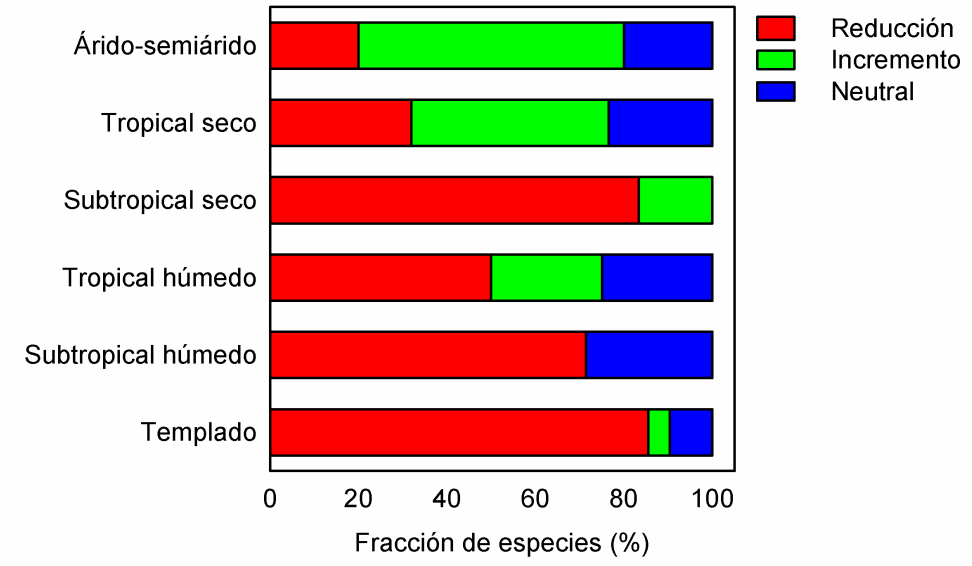
Desiertos de Norteamérica

En los Desiertos de Norteamérica, los MDBC estiman que el avance del cambio climático reducirá en el corto plazo invasibilidad de los hábitats para el 66.7% de las plantas exóticas (116 especies), siendo estos efectos más notables conforme aumente el horizonte temporal y el forzamiento radiativo para la mayoría de las especies (Apéndice C). Estas reducciones en invasibilidad afectarán mayoritariamente a especies provenientes de climas subtropicales secos, templados y subtropicales húmedos (Figura 4). Aproximadamente la mitad de las especies que provienen de climas tropicales húmedos también perderán hábitats climáticamente adecuados en el corto plazo, mientras que esto afectará a menores proporciones de especies provenientes de climas tropicales secos y áridos-semiáridos (Figura 4).

Para el 19.0% de las plantas exóticas se esperan incrementos en la invasibilidad dentro de esta ecorregión en el corto plazo (33 especies; Apéndice C). Para la mayoría de las especies, los MDBC predicen que estos efectos positivos serán menos marcados conforme avance el tiempo y aumente el forzamiento radiativo (Apéndice C). Más de la mitad de las especies exóticas que provienen de climas áridos-semiáridos, y más de un tercio de las provenientes de climas

tropicales secos, pudieran beneficiarse de estos efectos positivos del cambio climático (Figura 3). En oposición a lo esperado, en los Desiertos de Norteamérica los MDBC también predicen incrementos en la invasibilidad para pequeñas fracciones de especies provenientes de climas tropicales húmedos, subtropicales secos y templados, aunque estas predicciones no incluyeron a ninguna especie proveniente de climas subtropicales húmedos (Figura 4).

Figura 4. Proporción de especies provenientes de diferentes tipos de climas para las que se predicen disminuciones (rojo), aumentos (verde) o ausencia de cambios (azul) en la invasibilidad futura de los hábitats en la ecorregión de los Desiertos de Norteamérica.



Solamente para el 14.4% de las plantas exóticas se predijo que no habrá cambios en la invasibilidad dentro de los Desiertos de Norteamérica en el corto plazo (25 especies; Apéndice C). Estos efectos neutrales del cambio climático tenderán a mantenerse para la mayoría de las especies a través del tiempo, independientemente del nivel de forzamiento radiativo (Apéndice C). Estos efectos neutrales del avance de cambio climático afectarán, en mayores proporciones, a especies provenientes de climas subtropicales húmedos, tropicales húmedos y tropicales secos que a especies provenientes de climas templados y áridos-semiáridos (Figura 4). Para ninguna especie proveniente de climas subtropicales

secos, los MDBC predijeron estos efectos neutrales en la invasibilidad de los hábitats (Figura 4).

Elevaciones Semiáridas Meridionales

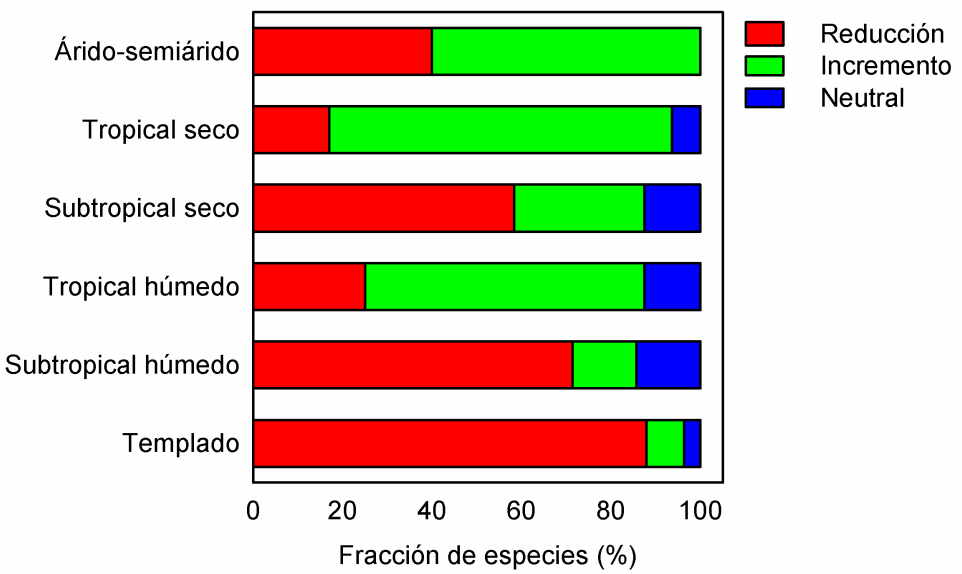
La disponibilidad de hábitats climáticamente adecuados en el corto plazo disminuirá para el 59.8% de las especies exóticas en las Elevaciones Semiáridas Meridionales (104 especies; Apéndice D). Para la mayoría de estas especies, esos efectos efecto negativos del cambio climático serán más intensos conforme aumente el tiempo y el forzamiento radiativo (Apéndice D). Estas reducciones en la invasibilidad afectarán a la mayor parte de las especies provenientes de climas templados y subtropicales húmedos, seguidas por las especies que provienen de climas subtropicales secos y áridos-semiáridos (Figura 5). Las especies proporcionalmente menos afectadas por esta pérdida de hábitats serán las provenientes de tropicales húmedos y tropicales secos (Figura 5).

En esta ecorregión, la invasibilidad de los hábitats se incrementará para el 33.9% de las especies analizadas en el corto plazo (59 especies; Apéndice D). Para la mayoría de estas plantas exóticas, los MDBC predicen que esos efectos del cambio climático se incrementarán al considerarse mayores horizontes temporales y/o niveles de forzamiento radiativo más altos (Apéndice D). Más de tres cuartos de las especies provenientes de climas tropicales secos se beneficiarán de estos cambios climáticos, a las que se suma aproximadamente dos tercios de las especies que provienen de climas tropicales húmedos y áridos-semiáridos (Figura 5). Para proporciones mucho menores de especies provenientes de climas tropicales secos, subtropicales húmedos y templados se predicen incrementos en la invasibilidad dentro de las Elevaciones Semiáridas Meridionales (Figura 5).

Los MDBC predicen que la invasibilidad de los hábitats en esta ecorregión no cambiará en el futuro para el 6.3% de las plantas exóticas (11 especies; Apéndice D). Para la mayoría de estas especies, esos efectos neutrales del cambio climático sobre la invasibilidad de los hábitats se mantendrán a través del tiempo y niveles de forzamiento radiativo (Apéndice D). Sin embargo, para las especies provenientes de todos los tipos de climas, la fracción donde se presentarán efectos neutrales del

cambio climático fue mucho menor que las fracciones para las que se predicen reducciones o incrementos en la invasibilidad, e incluso ninguna especie proveniente de climas áridos-semiáridos fue incluida en este grupo (Figura 5).

Figura 5. Proporción de especies provenientes de diferentes tipos de climas para las que se predicen disminuciones (rojo), aumentos (verde) o ausencia de cambios (azul) en la invasibilidad futura de los hábitats en la ecorregión de las Elevaciones Semiáridas Meridionales.

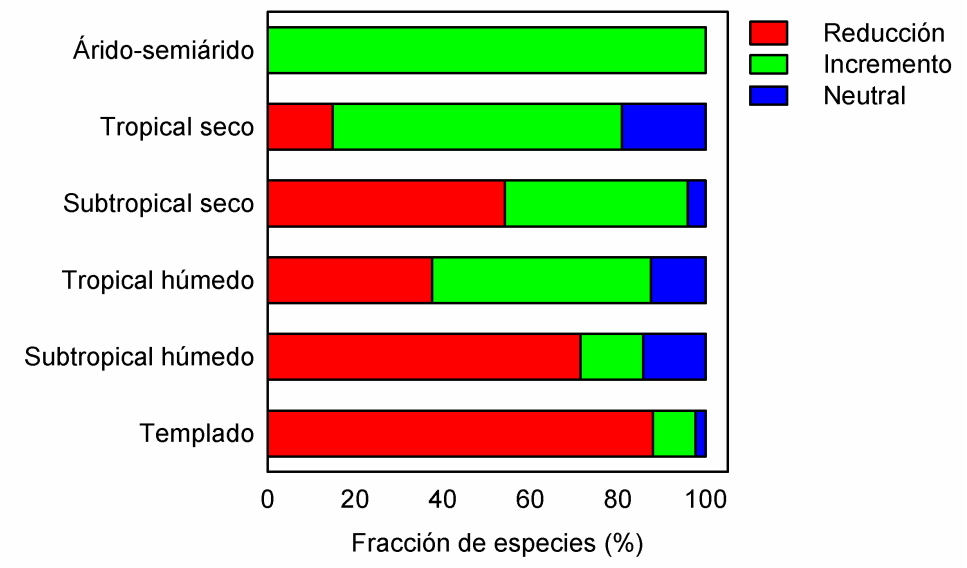


California Mediterránea

En el corto plazo y bajo todos los niveles de forzamiento radiativo, los MDBC predicen reducciones en la invasibilidad de los hábitats para el 58.0% de las plantas exóticas en la ecorregión de California Mediterránea (101 especies; Apéndice E). En la mayor parte de los casos, estos efectos negativos del cambio climático se intensificarán con el tiempo, especialmente a forzamientos radiativos más altos (Apéndice E). La invasibilidad se reducirá para la mayoría de las especies que provienen de climas templados, y subtropicales húmedos, seguidas por aquellas que provienen de climas subtropicales secos (Figura 6). Estas pérdidas de hábitats climáticamente adecuados afectarán menores fracciones de especies provenientes de climas tropicales secos y tropicales húmedos serán afectadas, mientras que para

ninguna especie proveniente de climas áridos-semiáridos se predicen reducciones en la invasibilidad (Figura 6).

Figura 6. Proporción de especies provenientes de diferentes tipos de climas para las que se predicen disminuciones (rojo), aumentos (verde) o ausencia de cambios (azul) en la invasibilidad futura de los hábitats en la ecorregión de California Mediterránea.



Para el 33.9% de las plantas exóticas se incrementará la invasibilidad de los hábitats en el corto plazo dentro de la ecorregión de California Mediterránea (59 especies) y los MDBC de la mayoría de las especies predicen que estos efectos positivos serán mayores conforme avance el tiempo y con mayores niveles de forzamiento radiativo (Apéndice E). Todas las especies provenientes de climas áridos-semiáridos se verán beneficiadas por el avance del cambio climático, seguidas por fracciones importantes que provienen de climas tropicales secos, tropicales húmedos y subtropicales secos (Figura 6). Solamente pequeñas fracciones de especies provenientes de climas templados y subtropicales húmedos experimentarán aumentos en invasibilidad dentro de California Mediterránea (Figura 6).

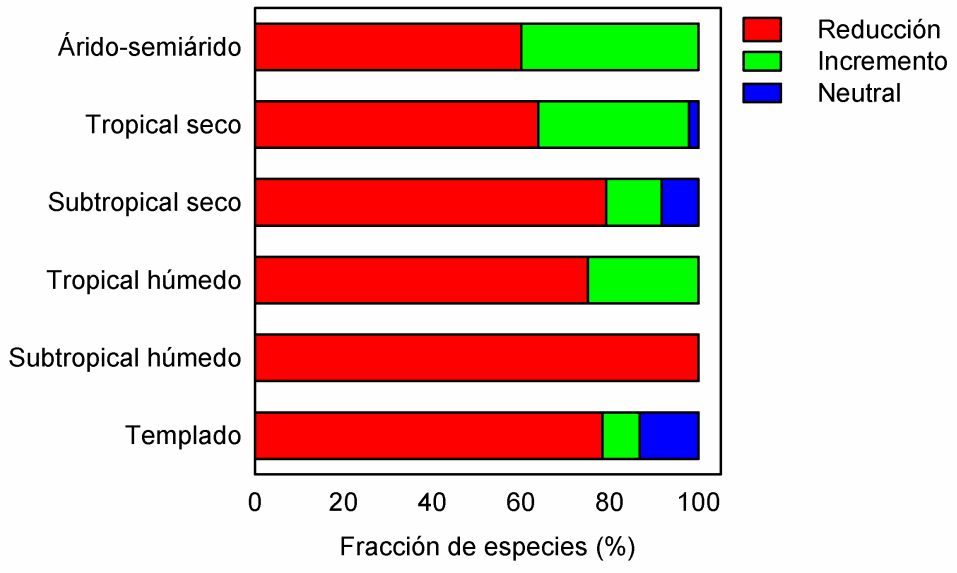
Los MDBC también predicen que la invasibilidad de los hábitats dentro de esta ecorregión no cambiará en el corto plazo para el 8.0% de las plantas exóticas

(14 especies) y, para la mayoría de estas especies, estos efectos se mantendrán a través del tiempo y niveles de forzamiento radiativo (Apéndice E). Estos efectos neutrales del cambio climático sobre la invasibilidad destacan entre las especies provenientes de climas tropicales secos, tropicales húmedos y subtropicales húmedos, mientras que para muy pocas especies provenientes de climas templados y subtropicales secos se predicen estos efectos (Figura 6).

Grandes Planicies

En la ecorregión de las Grandes Planicies, los MDBC predicen reducciones en la invasibilidad de los hábitats en el corto plazo que ocurrirán para el 74.7% de las plantas exóticas (130 especies; Apéndice F). Para casi todas las especies, estos efectos negativos del cambio climático serán más evidentes a mayor tiempo y forzamiento radiativo (Apéndice F). Estas pérdidas de hábitats climáticamente adecuados afectarán a todas las especies provenientes de climas subtropicales húmedos, a más de tres cuartos de las especies provenientes de climas templados, tropicales húmedos y subtropicales secos, y aproximadamente a dos tercios de las especies provenientes de climas tropicales secos y áridos-semiáridos (Figura 7).

Figura 7. Proporción de especies provenientes de diferentes tipos de climas para las que se predicen disminuciones (rojo), aumentos (verde) o ausencia de cambios (azul) en la invasibilidad futura de los hábitats en las Grandes Planicies.



Las predicciones de los MDBC también indican que, en el corto plazo, la invasibilidad en esta ecorregión solamente se incrementará para el 17.2% de las plantas exóticas (30 especies). Aproximadamente la mitad de estas especies experimentarán reducciones en la invasibilidad en el mediano y largo plazo, especialmente con niveles altos de forzamiento radiativo, mientras que la invasibilidad se incrementará para la otra mitad de las especies conforme avance el tiempo y aumente el forzamiento radiativo (Apéndice F). Las especies que provienen de climas áridos-semiáridos y tropicales secos se beneficiarían en mayores proporciones de estos cambios climáticos que las provenientes de otros tipos de climas (Figura 7).

Solamente para el 8.0% de las especies exóticas se espera que no haya cambios en la invasibilidad de los hábitats dentro de esta ecorregión (14 especies), siendo estos efectos relativamente estables a través de tiempo y niveles de forzamiento radiativo (Apéndice F). Estas especies provienen de climas templados, tropicales secos y subtropicales secos, sin detectarse ninguna proveniente de climas áridos-semiáridos o tropicales húmedos (Figura 7).

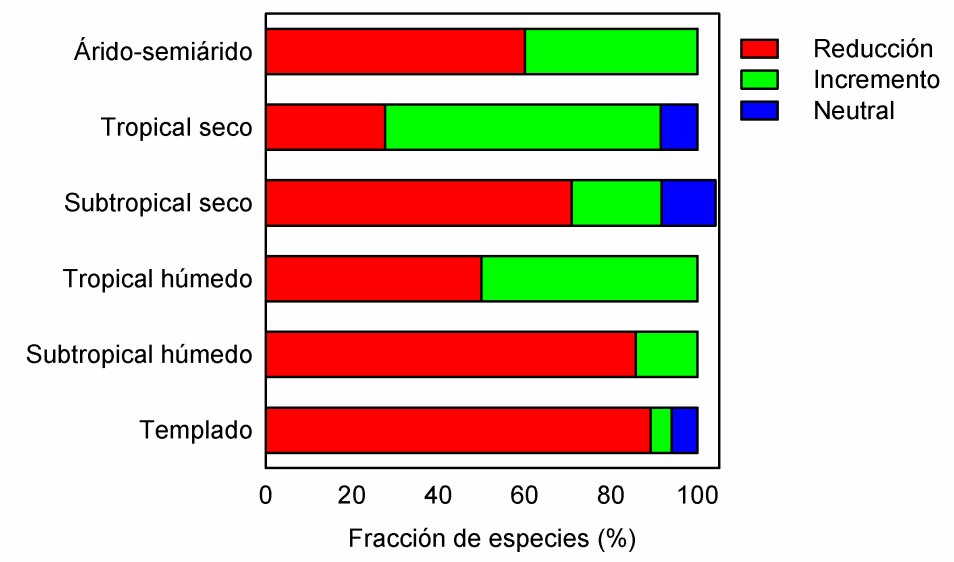
Sierras Templadas

En el corto plazo, los MDBC predicen que para el 67% de las plantas exóticas incluidas en este estudio se reducirá la invasibilidad de los hábitats en las Sierras Templadas (117 especies) y, para la mayoría de las especies, estos efectos negativos se incrementarán con el tiempo y el forzamiento radiativo (Apéndice G). Los MDBC predicen que estas reducciones en invasibilidad ocurrirán para la mayoría de las especies provenientes de climas templados, subtropicales secos y subtropicales húmedos (Figura 8). Las reducciones en invasibilidad también afectarán a la mitad de las especies provenientes de climas tropicales húmedos, mientras que los grupos de especies menos afectados serían las que provienen de climas tropicales secos y áridos-semiáridos (Figura 8).

Los MDBC también indican que, en el corto plazo, la invasibilidad de los hábitats en las Sierras Templadas se incrementará para el 26.4% de las plantas

exóticas bajo todos los niveles de forzamiento radiativo (46 especies; (Apéndice G). Para la mayoría de estas especies, se predice que la invasibilidad se incrementará con el tiempo y el forzamiento radiativo (Apéndice G). El avance del cambio climático beneficiará, principalmente, a especies provenientes de climas tropicales húmedos y tropicales secos, seguidas de las que provienen de climas áridos-semiáridos (Figura 8). Por el contrario, la invasibilidad en esta ecorregión se incrementará solamente para pequeñas fracciones de especies provenientes de climas subtropicales secos, subtropicales húmedos y templados (Figura 8).

Figura 8. Proporción de especies provenientes de diferentes tipos de climas para las que se predicen disminuciones (rojo), aumentos (verde) o ausencia de cambios (azul) en la invasibilidad futura de los hábitats en las Sierras Templadas.

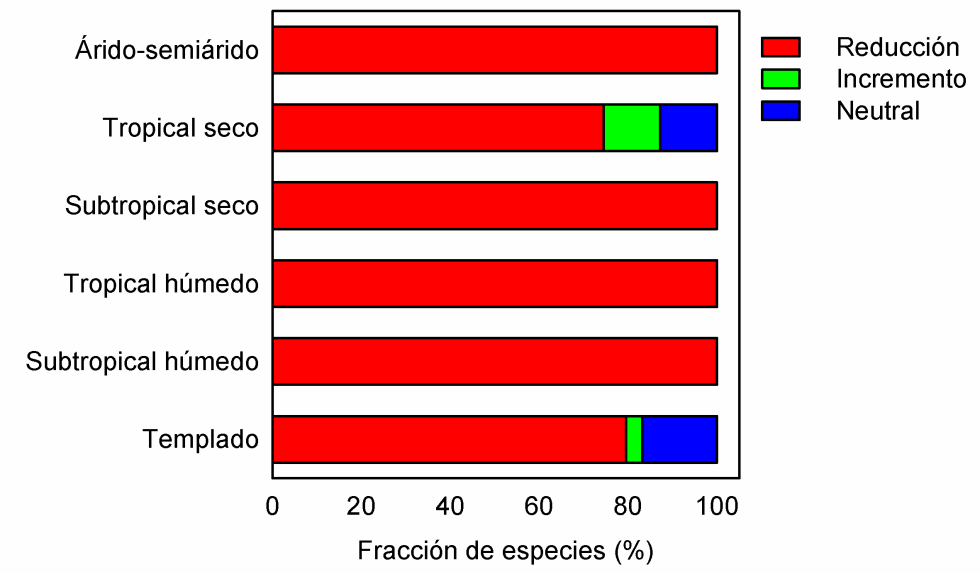


Solamente para el 6.9% de las plantas exóticas se predijo que la invasibilidad de los hábitats dentro de la ecorregión de las Sierras Templadas no cambiará en el futuro (12 especies), prediciéndose que estos efectos serán homogéneos a través de tiempo y niveles de forzamiento radiativo para la mayoría de las especies (Apéndice G). Estas especies provienen de climas templados, subtropicales secos y tropicales secos, sin detectarse ninguna especie proveniente de climas áridos-semiáridos o tropicales húmedos para la que habrá efectos neutros del cambio climático (Figura 8).

Selvas Cálido-Secas

En las Selvas Cálido-Secas, se predicen reducciones en la invasibilidad para el 83.3% de las plantas exóticas en el corto plazo (145 especies), esperándose que estos efectos negativos se incrementen conforme avance el tiempo y aumente el forzamiento radiativo (Apéndice H). Estas pérdidas de hábitats climáticamente favorables afectarán a todas las especies provenientes de climas subtropicales húmedos, subtropicales secos, tropicales húmedos y áridos-semiáridos, y a la mayoría de las especies provenientes de climas tropicales secos y templados (Figura 9).

Figura 9. Proporción de especies provenientes de diferentes tipos de climas para las que se predicen disminuciones (rojo), aumentos (verde) o ausencia de cambios (azul) en la invasibilidad futura de los hábitats en las Selvas Cálido-Secas.



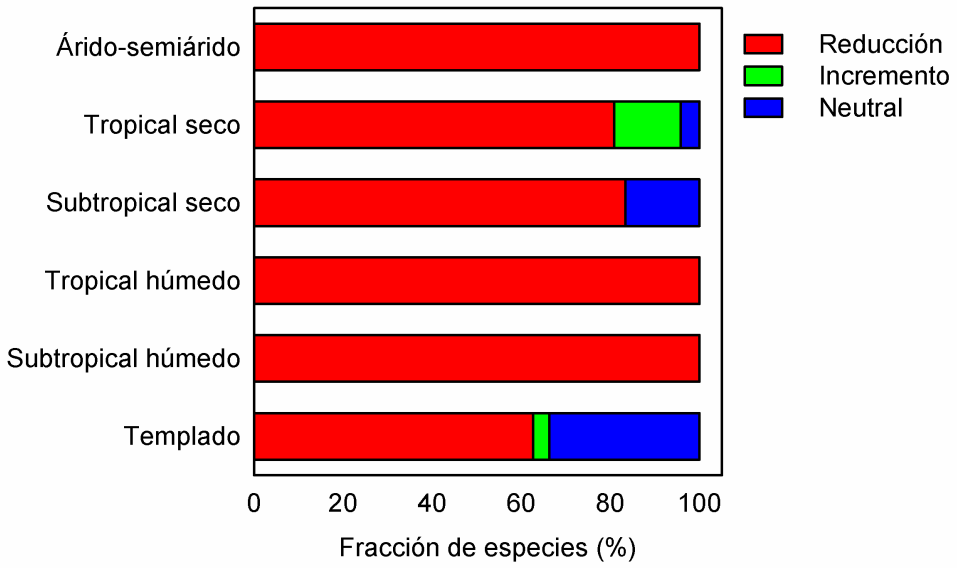
Para una fracción muy pequeña de las plantas exóticas (5.2%; 9 especies) se predicen incrementos en la invasibilidad de los hábitats en las Selvas Cálido-Secas en el corto plazo, pero esos efectos positivos del cambio climático serán menos notorios a mayores horizontes temporales y niveles de forzamiento radiativo para la mayoría de ellas (Apéndice H). También para fracciones pequeñas de

plantas exóticas (11.5%; 20 especies), los MDBC indican efectos neutrales del avance del cambio climático sobre la invasibilidad de los hábitats al corto plazo que, en la mayoría de los casos, se mantendrán estables a través del tiempo y niveles de forzamiento radiativo (Apéndice H). Las especies de estos dos grupos solamente provienen de climas templados y tropicales secos (Figura 9).

Selvas Cálido-Húmedas

Las predicciones de los MDBC indican que, en el corto plazo, la invasibilidad de los hábitats en las Selvas Cálido-Húmedas se reducirá para el 74.7% de las plantas invasoras (130 especies), siendo estos efectos negativos más intensos conforme se consideran mayores horizontes temporales y niveles de forzamiento radiativo (Apéndice I). Estos efectos negativos del cambio climático afectarán a todas las especies que provienen de climas subtropicales húmedos, tropicales húmedos y áridos-semiáridos, como también a la mayoría de las especies provenientes de climas subtropicales secos, tropicales secos y templados (Figura 10).

Figura 10. Proporción de especies provenientes de diferentes tipos de climas para las que se predicen disminuciones (rojo), aumentos (verde) o ausencia de cambios (azul) en la invasibilidad futura de los hábitats en las Selvas Cálido-Húmedas.



Para muy pocas especies, las MDBC proyectan incrementos en la invasibilidad dentro de esta ecorregión al corto plazo (5%; 10 especies) y, en casi todos los casos, los potenciales beneficios del cambio climático sobre la disponibilidad de hábitats favorables para su supervivencia se reducirán al considerar más tiempo y mayor forzamiento radiativo (Apéndice I). También para pocas especies se predicen efectos neutrales del cambio climático sobre la disponibilidad de hábitats favorables (19.5%; 34 especies), prediciéndose que estos efectos neutrales se mantendrán estables a través del tiempo y niveles de forzamiento radiativo para la mayoría de las especies (Apéndice I). Tanto las especies paras las que se esperan efectos positivos o neutrales sobre la invasibilidad provienen de climas templados, subtropicales secos y tropicales secos (Figura 10).

DISCUSIÓN

La invasibilidad de un hábitat depende del grado de coincidencia entre sus condiciones climáticas y las dimensiones del nicho climático de la especie focal (Hellmann et al., 2008; Liu et al., 2025). Siguiendo este principio, en este estudio se usaron MDBC para estimar las probabilidades de ocurrencia de un conjunto de plantas exóticas a través de las diferentes unidades espaciales que componen una extensión geográfica (es decir, sus hábitats), que en este caso abarcó la superficie continental de México sus diferentes ecorregiones. Al igual que en otros estudios, el grado de invasibilidad de los hábitats se establece a partir de las probabilidades de ocurrencia que los MDBC estiman para cada especie en esas unidades espaciales, mientras que la proyección de los MDBC sorbe escenarios de cambio climático permite estimar si la invasibilidad de los hábitats se incrementará, se mantendrá o disminuirá en el futuro (Goncalves et al., 2014; Ramírez-Albores et al., 2016; Siller-Clavel et al., 2022). En nuestro caso, los resultados evidenciaron que el avance del cambio climático alterará la invasibilidad de los hábitats para la mayoría de las plantas exóticas analizadas (174 especies). Sin embargo, las variables bioclimáticas con que se calibraron los MDBC difirieron entre especies, indicando que cada una tiene requerimientos climáticos particulares para su supervivencia. Por lo tanto, el cambio climático puede alterar la disponibilidad de hábitats adecuados para las especies de manera diferenciada. Estos efectos diferenciales dependen de múltiples factores, incluyendo el horizonte temporal sobre el cual se proyectan los MDBC, la intensidad de los cambios climáticos esperados, y del tipo de clima del cual proviene cada especie.

En contraste con la idea de que el calentamiento global favorecerá la expansión de muchas plantas exóticas (Bellard et al., 2013), los resultados de este estudio indican que la mayoría de ellas sufrirán reducciones en la disponibilidad de hábitats climáticamente favorables en México. Solo para pocas especies se predijo un incremento en la invasibilidad de los hábitats a través del país, siendo aún menos las especies para las que se predicen efectos neutrales sobre la disponibilidad de hábitats favorables. Estos resultados concuerdan con los de Bellard et al. (2018),

quienes analizaron 423 casos de modelación incluidos en 71 publicaciones sobre los efectos potenciales del cambio climático en especies exóticas invasoras. Esos autores encontraron que las pérdidas de hábitats favorables son más frecuentes que las expansiones, pero también señalaron que las respuestas variaban entre estudios y especies, por lo que no es posible asumir una respuesta universal de las especies exóticas ante el cambio climático. En nuestro caso, sin embargo, los resultados apoyan la segunda hipótesis planteada, que propone que la invasibilidad de los hábitats en México se incrementará para plantas exóticas provenientes de ecosistemas cálidos y secos, mientras que disminuirá para especies provenientes de ecosistemas fríos, templados y húmedos. No obstante, esta hipótesis se sustenta parcialmente porque las especies que serán favorecidas por el cambio climático serán relativamente pocas, en comparación con aquellas para las que se predicen reducciones en la invasibilidad de los hábitats a través de México.

Los resultados de los análisis por ecorregiones fueron diferentes a los obtenidos a escala nacional, demostrando que los efectos del cambio climático sobre la invasibilidad de los hábitats pueden variar entre extensiones geográficas que presentan condiciones ambientales relativamente homogéneas, distintivas y diferentes a las de otras áreas. Así, una misma especie puede presentar reducciones de sus probabilidades de ocurrencia a escala nacional y, al mismo tiempo, mostrar incrementos en algunas ecorregiones. En estos análisis se debe destacar que las disminuciones en invasibilidad predominaron en todas las ecorregiones, mostrando que la tendencia nacional negativa coexiste con una variación regional importante. Sin embargo, la proporción de especies para las que se predicen incrementos o efectos neutrales del cambio climático sobre invasibilidad difirieron entre ecoregiones. La invasibilidad de los hábitats se incrementó para una mayor proporción de especies en California Mediterránea y en las Elevaciones Semiáridas Meridionales que en las demás ecorregiones. Estos patrones se pueden explicar a partir del principio de conservación de nicho (Catford et al., 2012; Davis et al., 2000), donde la invariabilidad en el nicho climático de cada especie a través del espacio y el tiempo determina qué ecorregión de México es más susceptible de ser invadida en la actualidad, como también el grado de invasibilidad que presentará

en el futuro. En otras palabras, la combinación entre las características climáticas de cada ecorregión y los rasgos adaptativos de las especies determinan los grados de invasibilidad actuales y futuros en cada ecorregión.

Los resultados muestran que la relación entre el clima de origen de las especies y la disponibilidad futura de hábitats adecuados es variable. Aunque la invasibilidad se incrementó para especies provenientes de climas tropicales secos en California Mediterránea y Elevaciones Semiáridas Meridionales, especies provenientes de otros tipos de climas también mostraron aumentos en estas ecorregiones. Esto indica que la clasificación de las especies según el clima de sus regiones de procedencia permite identificar tendencias generales, pero no explica por sí sola la respuesta individual de cada especie. Una posible interpretación es que las condiciones climáticas de origen proporcionan información sobre el ambiente de procedencia de las especies, pero no representan completamente sus tolerancias climáticas ni la amplitud de sus nichos. Así, especies procedentes de regiones clasificadas dentro del mismo grupo climático pueden presentar diferentes asociaciones con la temperatura y la precipitación, por lo que sus respuestas a un mismo escenario de cambio climático pueden ser distintas.

Entre las limitaciones de este estudio se debe destacar que, aunque los MDBC son una herramienta ampliamente utilizada para estimar la invasibilidad de los hábitats a través de extensas regiones geográficas y los efectos del cambio climático sobre estos patrones (Pattison & Mack, 2008; Ramírez-Albores et al., 2021; Theoharides & Dukes, 2007), estos modelos sólo se basan en variables bioclimáticas y no incorporaron otros factores que pueden afectar la distribución de las especies, como perturbaciones antropogénicas, interacciones intraespecíficas o la capacidad adaptativa de las especies (Jarnevich et al., 2015). Además, se ha señalado que los patrones de invasión de plantas exóticas se relacionan con la presión de propágulos, esperándose mayores niveles de invasión en sitios que reciben una mayor cantidad de semillas (Catford et al., 2012), pero este factor tampoco es considerado por los MDBC empleados en este estudio.

A pesar de estas limitaciones, nuestros resultados tienen implicaciones para la prevención y el manejo de las plantas exóticas en México. Las especies para las

que se predicen incrementos en la invasibilidad dentro de determinadas ecorregiones podrían considerarse prioritarias para una vigilancia focalizada, especialmente cuando las proyecciones indiquen condiciones favorables en áreas donde actualmente tienen una presencia limitada. Esta priorización debería complementarse con información sobre la distribución actual de las especies, sus antecedentes de invasión, sus impactos ecológicos y las vías de dispersión, ya que el incremento de la idoneidad climática no garantiza por sí mismo la colonización de nuevas áreas. Por otra parte, las especies para las que se mantendrían los niveles de invasibilidad conforme aumente el cambio climático podrían seguir representando un riesgo potencial. Finalmente, las especies para las que se predicen reducciones en la invasibilidad debido al avance del cambio climático no deberían descartarse de los programas de manejo, pues podrían conservar hábitats favorables en ciertas regiones o persistir en sitios donde las condiciones climáticas sigan siendo adecuadas. En consecuencia, las estrategias de vigilancia y manejo deberían considerar tanto la tendencia general de cada especie como las diferencias espaciales observadas entre ecorregiones.

CONCLUSIONES

- Contrario a lo esperado para muchas especies invasoras, para la mayoría de las plantas exóticas que están invadiendo México se espera una reducción en la superficie climáticamente adecuada para su supervivencia, y solo muy pocas de ellas continuarían expandiéndose a consecuencia del cambio climático. Esto indica que las respuestas al cambio climático serán específicas para cada especie, dependiendo de sus requerimientos ecológicos y tolerancias ambientales.
- En términos ecorregionales, las Selvas Cálido-Secas, las Grandes Planicies y las Selvas Cálido-Húmedas destacaron por presentar las mayores reducciones en la invasibilidad de sus hábitats. En contraste, las Elevaciones Semiáridas Meridionales y California Mediterránea presentaron los mayores incrementos, lo que sugiere que podrían constituir ecorregiones particularmente favorables para el establecimiento futuro de determinadas plantas exóticas. En conjunto, estos resultados evidencian que el cambio climático modificará diferencialmente la invasibilidad de los hábitats en México, dependiendo de las condiciones climáticas particulares de cada ecorregión.
- Los MDBC permiten identificar regiones potencialmente vulnerables a futuras invasiones y podrían utilizarse como herramientas de apoyo para la toma de decisiones en estrategias de monitoreo, prevención, erradicación y control de plantas exóticas. La incorporación de escenarios de cambio climático en los programas de manejo resulta particularmente relevante debido a que las condiciones ambientales que determinan la invasibilidad de los ecosistemas podrían modificarse sustancialmente durante las próximas décadas.

REFERENCIAS

Almazroui, M., Islam, M. N., Saeed, F., Saeed, S., Ismail, M., Ehsan, M. A., Diallo, I., O'Brien, E., Ashfaq, M., Martínez-Castro, D., Cavazos, T., Cerezo-Mota, R., Tippett, M. K., Gutowski, W. J., Alfaro, E. J., Hidalgo, H. G., Vichot-Llano, A., Campbell, J. D., Kamil, S., … Barlow, M. (2021). Projected changes in temperature and precipitation over the United States, Central America, and the Caribbean in CMIP6 GCMs. *Earth Systems and Environment*, *5*(1), 1–24. https://doi.org/10.1007/S41748-021-00199-5

Araújo, M. B., & Peterson, A. T. (2012). Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology*, *93*(7), 1527–1539. https://doi.org/10.1890/11-1930.1

Austin, M. (2007). Species distribution models and ecological theory: a critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, *200*(1–2), 1–19. https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2006.07.005

Avendaño-González, M., Badano, E. I., Ramírez-Albores, J. E., Flores, J., & Flores-Cano, J. A. (2016). Differential allelopathy between genders of an invasive dioecious tree on desert plants. *Botanical Sciences*, *94*(2), 253–262. https://doi.org/10.17129/botsci.522

Badano, E. I., & Siller-Clavel, P. (2024). Limited seed dispersal, allelopathy and unfavorable microclimatic conditions prevent the recovery of oak forests within Eucalyptus plantations. *European Journal of Forest Research*, *143*(3), 943–953. https://doi.org/10.1007/S10342-024-01664-2/FIGURES/5

Barry, S., & Elith, J. (2006). Error and uncertainty in habitat models. *Journal of Applied Ecology*, *43*(3), 413–423. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01136.x

Bellard, C., Jeschke, J. M., Leroy, B., & Mace, G. M. (2018). Insights from modeling studies on how climate change affects invasive alien species geography. *Ecology and Evolution*, *8*(11), 5688–5700. https://doi.org/10.1002/ECE3.4098

Bellard, C., Thuiller, W., Leroy, B., Genovesi, P., Bakkenes, M., & Courchamp, F. (2013). Will climate change promote future invasions? *Global Change Biology*, *19*(12), 3740–3748. https://doi.org/10.1111/gcb.12344

Berger, A. (1988). Milankovitch Theory and climate. *Reviews of Geophysics*, *26*(4), 624–657. https://doi.org/10.1029/RG026I004P00624

Booth, T. H. (2018). Why understanding the pioneering and continuing contributions of BIOCLIM to species distribution modelling is important. *Austral Ecology*, *43*(8), 852–860. https://doi.org/10.1111/AEC.12628

Booy, O., Cornwell, L., Parrott, D., Sutton-Croft, M., Williams, F., Booy, O., Cornwell, L., Parrott, • D, Sutton-Croft, • M, & Williams, F. (2017). Impact of biological invasions on infrastructure. In M. Vilà & P. E. Hulme (Eds.), *Impact of Biological Invasions on Ecosystem Services* (Vol. 12, pp. 235–247). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45121-3_15

Boria, R. A., Olson, L. E., Goodman, S. M., & Anderson, R. P. (2014). Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological Modelling*, *275*, 73–77. https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2013.12.012

Bradley, B. A., Blumenthal, D. M., Wilcove, D. S., & Ziska, L. H. (2010). Predicting plant invasions in an era of global change. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 25, Issue 5, pp. 310–318). Elsevier Current Trends. https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.12.003

Brun, P., Thuiller, W., Chauvier, Y., Pellissier, L., Wüest, R. O., Wang, Z., & Zimmermann, N. E. (2020). Model complexity affects species distribution projections under climate change. *Journal of Biogeography*, *47*(1), 130–142. https://doi.org/10.1111/JBI.13734

Catford, J. A., Vesk, P. A., Richardson, D. M., & Pyšek, P. (2012). Quantifying levels of biological invasion: towards the objective classification of invaded and invasible ecosystems. *Global Change Biology*, *18*(1), 44–62. https://doi.org/10.1111/J.1365-2486.2011.02549.X

Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., & Thomas, C. D. (2011). Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, *333*(6045), 1024–1026. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1206432

Colautti, R. I., Ricciardi, A., Grigorovich, I. A., & MacIsaac, H. J. (2004). Is invasion success explained by the enemy release hypothesis? *Ecology Letters*, *7*(8), 721–733. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00616.x

Colorado-Ruiz, G., Cavazos, T., Salinas, J. A., De Grau, P., & Ayala, R. (2018). Climate change projections from Coupled Model Intercomparison Project phase 5 multi-model weighted ensembles for Mexico, the North American monsoon, and the mid-summer drought region. *International Journal of Climatology*, *38*(15), 5699–5716. https://doi.org/10.1002/joc.5773

Davis, M. A., Grime, J. P., & Thompson, K. (2000). Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *Journal of Ecology*, *88*(3), 528–534. https://doi.org/10.1046/J.1365-2745.2000.00473.X

Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N. D., Wikramanayake, E., Hahn, N., Palminteri, S., Hedao, P., Noss, R., Hansen, M., Locke, H., Ellis, E. C., Jones, B., Barber, C. V., Hayes, R., Kormos, C., Martin, V., Crist, E., … Saleem, M. (2017). An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. *BioScience*, *67*(6), 534–545. https://doi.org/10.1093/BIOSCI/BIX014

Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J. R. G., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P. J., Münkemüller, T., Mcclean, C., Osborne, P. E., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A. K., Zurell, D., & Lautenbach, S. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, *36*(1), 27–46. https://doi.org/10.1111/J.1600-0587.2012.07348.x

Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. M. M., Peterson, T. A., …

Zimmermann, N. E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, *29*(2), 129–151. https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x

Elith, J., Kearney, M., & Phillips, S. (2010). The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution*, *1*(4), 330–342. https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2010.00036.x

Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *40*, 677–697. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, *17*(1), 43–57. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x

Escobar, E., Maass, M., Alcocer-Durand, J., Azpra Romero, E., Falcón-Álvarez, L. I., Gallegos-García, A., Javier-García, F., García-Oliva, F., Jaramillo, V., Lecuanda-Camacho, R., Magaña, V., Martínez-Yrízar, A., Muhlia, A., Rodríguez-Sobreyra, R., & Zavala-Hidalgo, J. (2008). Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas. In J. Sarukhán, J. Soberón, G. Halffter, & J. Llorente-Bousquets (Eds.), *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad* (pp. 161–189). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol I/I06_Diversidadproc.pdf

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, *9*(5), 1937–1958. https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, *37*(12), 4302–4315. https://doi.org/10.1002/joc.5086

Fournier, A., Penone, C., Pennino, M. G., & Courchamp, F. (2019). Predicting future invaders and future invasions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *116*(16), 7905–7910. https://doi.org/10.1073/PNAS.1803456116

Goncalves, E., Herrera, I., Duarte, M., Bustamante, R. O., Lampo, M., Velásquez, G., Sharma, G. P., & García-Rangel, S. (2014). Global invasion of Lantana camara: has the climatic niche been conserved across continents? *PLoS ONE*, *9*(10), e111468. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111468

Graham, C. H., Ferrier, S., Huettman, F., Moritz, C., & Peterson, A. T. (2004). New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology and Evolution*, *19*(9), 497–503. https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.07.006

Guerra-Coss, F. A., Badano, E. I., Cedillo-Rodríguez, I. E., Ramírez-Albores, J. E., Flores, J., Barragán-Torres, F., & Flores-Cano, J. A. (2021). Modelling and validation of the spatial

distribution of suitable habitats for the recruitment of invasive plants on climate change scenarios: an approach from the regeneration niche. *Science of the Total Environment*, *777*, 146007. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146007

Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, *135*(2–3), 147–186. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9

Guo, Q., Qian, H., & Qian, S. (2025). Climate space, traits, and the spread of nonnative plants in North America. *Plant Diversity*, *47*(2), 255–263. https://doi.org/10.1016/J.PLD.2024.11.005

Haubrock, P. J., Everts, T., Abreo, N. A. S., Bojko, J., Deklerck, V., Dickey, J. W. E., Franco, A. C. S., García-Berthou, E., Katsanevakis, S., Kirichenko, N. I., Mammola, S., Nuñez, M. A., Parker, B., Scalera, R., Soto, I., Strubbe, D., Tarkan, A. S., Vilizzi, L., Adriaens, T., … Britton, J. R. (2026). The impacts of biological invasions. *Biological Reviews*, *101*(3), 1255–1310. https://doi.org/10.1002/BRV.70124

Hellmann, J. J., Byers, J. E., Bierwagen, B. G., & Dukes, J. S. (2008). Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*, *22*(3), 534–543. https://doi.org/10.1111/J.1523-1739.2008.00951.X

Hortal, J., De Bello, F., Diniz-Filho, J. A. F., Lewinsohn, T. M., Lobo, J. M., & Ladle, R. J. (2015). Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *46*(46), 523–549. https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ECOLSYS-112414-054400/1

Hutchinson, G. E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, *22*, 415–427. https://doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039

Jamil, T., & ter Braak, C. J. F. (2013). Generalized linear mixed models can detect unimodal species-environment relationships. *PeerJ*, *2013*(1), e95. https://doi.org/10.7717/PEERJ.95/SUPP-1

Jarnevich, C. S., Stohlgren, T. J., Kumar, S., Morisette, J. T., & Holcombe, T. R. (2015). Caveats for correlative species distribution modeling. In *Ecological Informatics* (Vol. 29, Issue P1, pp. 6–15). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.06.007

Kolar, C. S., & Lodge, D. M. (2001). Progress in invasion biology: predicting invaders. *Trends in Ecology and Evolution*, *16*(4), 199–204. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02101-2

Koleff, P. (2017). Conceptos básicos sobre las invasiones biológicas y sus impactos a la biodiversidad. In G. Born-Schmidt, F. de Alba, J. Parpal, & P. Koleff (Eds.), *Principales retos que enfrenta México ante las especies exóticas invasoras* (pp. 13–34). Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, Cámara de Diputados.

Kotru, V., Sullo, J., Ranjan, R., Mehta, C., & Suratwala, A. (2025). Climate change. In K. Inampudi & J. Rackoff (Eds.), *Standardising Carbon Markets* (pp. 1–26). Apress Media. https://doi.org/10.1007/979-8-8688-2037-3_1

Kreft, H., & Jetz, W. (2007). Global patterns and determinants of vascular plant diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *104*(14),

5925–5930. https://doi.org/10.1073/PNAS.0608361104

Lee, J. Y., Marotzke, J., Bala, G., Cao, L., Corti, S., Dunne, J. P., Engelbrecht, F., Fischer, E., Fyfe, J. C., Jones, C., Maycock, A., Mutemi, J., Ndiaye, O., Panickal, S., & Zhou, T. (2021). Future global climate: scenario-based projections and near-term Information. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), *Climate change 2021: the physical science basis* (pp. 553–672). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896.006

Leibold, M. A. (1995). The niche concept revisited: mechanistic models and community context. *Ecology*, *76*(5), 1371–1382. https://doi.org/10.2307/1938141

Liu, C., Bellard, C., & Jeschke, J. M. (2025). Understanding biological invasions through the lens of environmental niches. *Trends in Ecology and Evolution*, *40*(4), 385–394. https://doi.org/10.1016/j.tree.2025.01.006

Luoto, M., Virkkala, R., & Heikkinen, R. K. (2007). The role of land cover in bioclimatic models depends on spatial resolution. *Global Ecology and Biogeography*, *16*(1), 34–42. https://doi.org/10.1111/J.1466-8238.2006.00262.X

Marcott, S. A., Shakun, J. D., Clark, P. U., & Mix, A. C. (2013). A reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years. *Science*, *339*(6124), 1198–1201. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1228026

Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J. E., & Álvarez, F. (2014). El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *85*(SUPPL.), 1–9. https://doi.org/10.7550/RMB.43248

Martínez, M. L., Castillo-Campos, G., García-Franco, J. G., Pérez-Maqueo, O., Mendoza-González, G., & Pale-Pale, J. J. (2021). Mexican coastal dunes: recipients and donors of alien flora. *Diversity*, *13*(11), 530. https://doi.org/10.3390/D13110530

McGeoch, M. A., Butchart, S. H. M., Spear, D., Marais, E., Kleynhans, E. J., Symes, A., Chanson, J., & Hoffmann, M. (2010). Global indicators of biological invasion: species numbers, biodiversity impact and policy responses. *Diversity and Distributions*, *16*(1), 95–108. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2009.00633.x

McNeely, J. A. (2005). Managing the risk of invasive alien species in restoration. In S. Mansourian, D. Vallauri, & N. Dudley (Eds.), *Forest Restoration in Landscapes* (pp. 345–350). Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-29112-1_49

Meehl, G. A., Senior, C. A., Eyring, V., Flato, G., Lamarque, J. F., Stouffer, R. J., Taylor, K. E., & Schlund, M. (2020). Context for interpreting equilibrium climate sensitivity and transient climate response from the CMIP6 Earth system models. *Science Advances*, *6*(26), eaba1981. https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1981

Mendoza-Ponce, A. V., Corona-Núñez, R. O., Kraxner, F., & Estrada, F. (2020). Spatial prioritization for biodiversity conservation in a megadiverse country. *Anthropocene*, *32*,

100267. https://doi.org/10.1016/J.ANCENE.2020.100267

Morrone, J. J. (2019). Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *90*(4), e902980. https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2019.90.2980

Nentwig, W., Mebs, D., & Vilà, M. (2017). Impact of non-native animals and plants on human health. In M. Vilà & P. E. Hulme (Eds.), *Impact of Biological Invasions on Ecosystem Services* (Vol. 12, pp. 277–293). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45121-3_18

Norton, D. A. (2009). Species invasions and the limits to restoration: learning from the New Zealand experience. *Science*, *325*(5940), 569–571. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1172978

Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., D'amico, J. A., Itoua, I., Strand, H. E., Morrison, J. C., Loucks, C. J., Allnutt, T. F., Ricketts, T. H., Kura, Y., Lamoreux, J. F., Wettengel, W. W., Hedao, P., & Kassem, K. R. (2001). Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *BioScience*, *51*(11), 933–938. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2

Paini, D. R., Sheppard, A. W., Cook, D. C., De Barro, P. J., Worner, S. P., & Thomas, M. B. (2016). Global threat to agriculture from invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *113*(27), 7575–7579. https://doi.org/10.1073/PNAS.1602205113

Pattison, R. R., & Mack, R. N. (2008). Potential distribution of the invasive tree Triadica sebifera (Euphorbiaceae) in the United States: evaluating CLIMEX predictions with field trials. *Global Change Biology*, *14*(4), 813–826. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01528.x

Pearman, P. B., Guisan, A., Broennimann, O., & Randin, C. F. (2008). Niche dynamics in space and time. *Trends in Ecology and Evolution*, *23*(3), 149–158. https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.11.005

Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., … Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, *355*(6332). https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAI9214/SUPPL_FILE/PECL.SM.PDF

Perez-Navarro, M. A., Broennimann, O., Esteve, M. A., Moya-Perez, J. M., Carreño, M. F., Guisan, A., & Lloret, F. (2021). Temporal variability is key to modelling the climatic niche. *Diversity and Distributions*, *27*(3), 473–484. https://doi.org/10.1111/DDI.13207;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER

Peterson, A. T. (2003). Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *The Quarterly Review of Biology*, *78*(4), 419–433. https://doi.org/10.1086/378926

Peterson, A. T. (2011). Ecological niche conservatism: a time-structured review of evidence. *Journal of Biogeography*, *38*(5), 817–827. https://doi.org/10.1111/J.1365-2699.2010.02456.X

Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. B. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton University Press.

Petitpierre, B., Broennimann, O., Kueffer, C., Daehler, C., & Guisan, A. (2017). Selecting predictors to maximize the transferability of species distribution models: lessons from cross-continental plant invasions. *Global Ecology and Biogeography*, *26*(3), 275–287. https://doi.org/10.1111/GEB.12530

Petitpierre, B., Kueffer, C., Broennimann, O., Randin, C., Daehler, C., & Guisan, A. (2012). Climatic niche shifts are rare among terrestrial plant invaders. *Science*, *335*(6074), 344–1348. http://science.sciencemag.org/content/335/6074/1344

Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, *40*(7), 887–893. https://doi.org/10.1111/ecog.03049

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, *190*(3), 231–259. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Radosavljevic, A., & Anderson, R. P. (2014). Making better MaxEnt models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation. *Journal of Biogeography*, *41*(4), 629–643. https://doi.org/10.1111/JBI.12227

Ramírez-Albores, J. E., & Badano, E. I. (2021). Alien species as counterpart of a megadiverse country as Mexico. *Management of Biological Invasions*, *12*(4), 828–845. https://doi.org/10.3391/mbi.2021.12.4.04

Ramírez-Albores, J. E., Badano, E. I., Flores, J., Flores-Flores, J. L., & Yáñez-Espinosa, L. (2019). Scientific literature on invasive alien species in a megadiverse country: advances and challenges in Mexico. *NeoBiota*, *48*. https://doi.org/10.3897/neobiota.48.36201

Ramírez-Albores, J. E., Bustamante, R. O., & Badano, E. I. (2016). Improved predictions of the geographic distribution of invasive plants using climatic niche models. *PLoS One*, *11*(5), e0156029. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156029

Ramírez-Albores, J. E., Richardson, D. M., Stefenon, V. M., Bizama, G. A., Pérez-Suárez, M., & Badano, E. I. (2021). A global assessment of the potential distribution of naturalized and planted populations of the ornamental alien tree Schinus molle. *NeoBiota*, *68*, 105–126. https://doi.org/10.3897/NEOBIOTA.68.68572

Richardson, D. M., & Pyšek, P. (2012). Naturalization of introduced plants: ecological drivers of biogeographical patterns. *New Phytologist*, *196*(2), 383–396. https://doi.org/10.1111/J.1469-8137.2012.04292.X

Richardson, D. M., Pyšek, P., Rejmánek, M., Barbour, M. G., Panetta, F. D., & West, C. J. (2000). Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, *6*(2), 93–107. https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x

Rico-Sanchez, A. E., Haubrock, P. J., Cuthbert, R. N., Angulo, E., Ballesteros-Mejia, L., Lopez-Lopez, E., Duboscq-Carra, V. G., Nunez, M. A., Diagne, C., & Courchamp, F. (2021). Economic costs of invasive alien species in Mexico. *NeoBiota 67: 459-483*, *67*, 459–483. https://doi.org/10.3897/NEOBIOTA.67.63846

Royer, D. L. (2006). CO2-forced climate thresholds during the Phanerozoic. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *70*(23), 5665–5675. https://doi.org/10.1016/J.GCA.2005.11.031

Ruiz-Guerra, B., & Velázquez-Rosas, N. (2016). ¿Qué sabemos de la prevención, control y erradicación de especies invasoras en México? *Bioinvasiones*, *6*, 12–31.

Santer, B. D., Painter, J. F., Mears, C. A., Doutriaux, C., Caldwell, P., Arblaster, J. M., Cameron-Smith, P. J., Gillett, N. P., Gleckler, P. J., Lanzante, J., Perlwitz, J., Solomon, S., Stott, P. A., Taylor, K. E., Terray, L., Thorne, P. W., Wehner, M. F., Wentz, F. J., Wigley, T. M. L., … Zou, C. Z. (2013). Identifying human influences on atmospheric temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(1), 26–33. https://doi.org/10.1073/PNAS.1210514109

Sarukhan, J., Urquiza-Haas, T., Koleff, P., Carabias, J., Dirzo, R., Ezcurra, E., Cerdeira-Estrada, S., & Soberon, J. (2015). Strategic actions to value, conserve, and restore the natural capital of megadiversity countries: the case of Mexico. *BioScience*, *65*(2), 164–173. https://doi.org/10.1093/BIOSCI/BIU195

Schellenberger-Costa, D., Gerschlauer, F., Kiese, R., Fischer, M., Kleyer, M., & Hemp, A. (2018). Plant niche breadths along environmental gradients and their relationship to plant functional traits. *Diversity and Distributions*, *24*(12), 1869–1882. https://doi.org/10.1111/DDI.12815

Shea, K., & Chesson, P. (2002). Community ecology theory as a framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, *17*(4), 170–176. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02495-3

Siller-Clavel, P., Badano, E. I., Villarreal-Guerrero, F., Prieto-Amparán, J. A., Pinedo-Alvarez, A., Corrales-Lerma, R., Álvarez-Holguín, A., & Hernández-Quiroz, N. S. (2022). Distribution patterns of invasive buffelgrass (Cenchrus ciliaris) in Mexico estimated with climate niche models under the current and future climate. *Plants*, *11*(9), 1160. https://doi.org/10.3390/PLANTS11091160

Simberloff, D., Martin, J. L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D. A., Aronson, J., Courchamp, F., Galil, B., García-Berthou, E., Pascal, M., Pyšek, P., Sousa, R., Tabacchi, E., & Vilà, M. (2013). Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology and Evolution*, *28*(1), 58–66. https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013

Soberón, J., & Nakamura, M. (2009). Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *106*(SUPPL. 2), 19644–19650. https://doi.org/10.1073/pnas.0901637106

Soberon, J., & Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, *2*, 1–10. https://doi.org/10.17161/BI.V2I0.4

Stephenson, N. L. (1990). Climatic control of vegetation distribution: the role of the water balance. *The American Naturalist*, *135*(5), 649–670. https://doi.org/10.1086/285067

Tebaldi, C., Debeire, K., Eyring, V., Fischer, E., Fyfe, J., Friedlingstein, P., Knutti, R., Lowe, J., O'Neill, B., Sanderson, B., Van Vuuren, D., Riahi, K., Meinshausen, M., Nicholls, Z., Tokarska, K., Hurtt, G., Kriegler, E., Meehl, G., Moss, R., … Ziehn, T. (2021). Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth System Dynamics*, *12*(1), 253–293. https://doi.org/10.5194/ESD-12-253-2021

Theoharides, K. A., & Dukes, J. S. (2007). Plant invasion across space and time: factors affecting nonindigenous species success during four stages of invasion. *New Phytologist*, *176*(2), 256–273. https://doi.org/10.1111/J.1469-8137.2007.02207.X

Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus, B. F. N., de Siqueira, M. F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A. S., Midgley, G. F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. A., Peterson, A. T., Phillips, O. L., & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, *427*(6970), 145–148. https://doi.org/10.1038/nature02121

Thuiller, W., Richardson, D. M., Pyssek, P., Midgley, G. F., Hughes, G. O., & Rouget, M. (2005). Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale. *Global Change Biology*, *11*(12), 2234–2250. https://doi.org/10.1111/J.1365-2486.2005.001018.X

Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, *47*(1–2), 123–138. https://doi.org/10.3354/cr00953

Treurnicht, M., Pagel, J., Tonnabel, J., Esler, K. J., Slingsby, J. A., & Schurr, F. M. (2020). Functional traits explain the Hutchinsonian niches of plant species. *Global Ecology and Biogeography*, *29*(3), 534–545. https://doi.org/10.1111/GEB.13048

Tzedakis, P. C., Channell, J. E. T., Hodell, D. A., Kleiven, H. F., & Skinner, L. C. (2012). Determining the natural length of the current interglacial. *Nature Geoscience*, *5*(2), 138–141. https://doi.org/10.1038/ngeo1358

Urban, M. C. (2015). Accelerating extinction risk from climate change. *Science*, *348*(6234), 571–573. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAA4984

Walther, G. R., Roques, A., Hulme, P. E., Sykes, M. T., Pyšek, P., Kühn, I., Zobel, M., Bacher, S., Botta-Dukát, Z., Bugmann, H., Czúcz, B., Dauber, J., Hickler, T., Jarošík, V., Kenis, M., Klotz, S., Minchin, D., Moora, M., Nentwig, W., … Settele, J. (2009). Alien species in a warmer world: risks and opportunities. *Trends in Ecology and Evolution*, *24*(12), 686–693. https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.06.008

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

Westphal, M. I., Browne, M., MacKinnon, K., & Noble, I. (2008). The link between international trade

and the global distribution of invasive alien species. *Biological Invasions*, *10*(4), 391–398. https://doi.org/10.1007/s10530-007-9138-5

Wiens, J. J., Ackerly, D. D., Allen, A. P., Anacker, B. L., Buckley, L. B., Cornell, H. V., Damschen, E. I., Jonathan Davies, T., Grytnes, J. A., Harrison, S. P., Hawkins, B. A., Holt, R. D., McCain, C. M., & Stephens, P. R. (2010). Niche conservatism as an emerging principle in ecology and conservation biology. *Ecology Letters*, *13*(10), 1310–1324. https://doi.org/10.1111/J.1461-0248.2010.01515.X

Wiens, J. J., & Graham, C. H. (2005). Niche conservatism: integrating evolution, ecology, and conservation biology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *36*(1), 519–539. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102803.095431

Wilsey, B., Martin, L., Xu, X., Isbell, F., & Polley, H. W. (2024). Biodiversity: net primary productivity relationships are eliminated by invasive species dominance. *Ecology Letters*, *27*(1), e14342. https://doi.org/10.1111/ELE.14342

Zachos, J. C., Dickens, G. R., & Zeebe, R. E. (2008). An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. *Nature*, *451*(7176), 279–283. https://doi.org/10.1038/NATURE06588

Zachos, J. C., Pagani, H., Sloan, L., Thomas, E., & Billups, K. (2001). Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, *292*(5517), 686–693. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1059412

Zalasiewicz, J., & Williams, M. (2021). Climate change through Earth history. In T. M. Letcher (Ed.), *Climate Change* (3rd ed., pp. 49–65). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821575-3.00003-7

Apéndices

Apéndice A

Plantas exóticas invasoras en México incluidas en este estudio. La tabla indica la familia y nombre científico de la especie, su forma de crecimiento, su ciclo de vida, la región del planeta donde es nativa y el clima asociado a esa región. La última columna de la tabla indica el DOI (Digital Object Identifier) asignado por Global Biodiversity Information Facility a la base de datos que contiene los puntos georreferenciados de cada especie que se emplearon para construir sus modelos de distribución basados en el clima.

Familia	Especie	Forma de crecimiento	Ciclo de vida	Distribución nativa	Clima de origen	DOI de la base de datos
Acanthaceae	*Thunbergia alata*	Herbácea, trepadora	Perenne	África Oriental	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.r7e8vn
Aizoaceae	*Carpobrotus edulis*	Suculenta rastrera, formadora de tapetes	Perenne	Sur de África	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.rxqsms
Aizoaceae	*Mesembryanthemum crystallinum*	Suculenta rastrera, formadora de tapetes	Bienal o anual	Cuenca del Mediterráneo	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.dr4y5w
Amaranthaceae	*Atriplex semibaccata*	Arbusto	Perenne	Australia	Árido-Semiárido	https://doi.org/10.15468/dl.54mqeg
Amaranthaceae	*Bassia scoparia*	Herbácea	Anual	Este de Europa, Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.qsb48m
Amaranthaceae	*Salsola kali*	Herbácea	Anual	Norte de Europa, Cuenca del Mediterráneo	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.kf8j2j
Apiaceae	*Aethusa cynapium*	Herbácea	Bienal o anual	Europa	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.e5tpfc
Apiaceae	*Centella asiatica*	Herbácea	Perenne	África, Sur de Asia, Australia	Tropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.n98wqm
Apiaceae	*Conium maculatum*	Herbácea	Bienal o anual	Europa	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.byqt7c
Apiaceae	*Foeniculum vulgare*	Herbácea	Perenne	Cuenca del Mediterráneo, Suroeste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.va6pdr
Apiaceae	*Heracleum mantegazzianum*	Herbácea	Perenne	Este de Europa, Oeste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.cf8wg5
Apocynaceae	*Catharanthus roseus*	Subarbusto	Perenne	Madagascar	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.utyq5e
Apocynaceae	*Cryptostegia grandiflora*	Leñosa, trepadora	Perenne	Madagascar	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.89azhv
Apocynaceae	*Nerium oleander*	Arbusto	Perenne	Cuenca del Mediterráneo, Suroeste de Asia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.j6b9df
Araceae	*Zantedeschia aethiopica*	Geófita tuberosa	Perenne	Sur de África	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.5q2j5u
Araliaceae	*Hedera helix*	Herbácea, trepadora	Perenne	Europa	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.r8d7ew

Continúa →

Familia	Especie	Forma de crecimiento	Ciclo de vida	Distribución nativa	Clima de origen	DOI de la base de datos
Arecaceae	*Phoenix canariensis*	Palm	Perenne	Islas Canarias	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.er7frx
Asphodelaceae	*Asphodelus fistulosus*	Herbácea	Anual	Cuenca del Mediterráneo	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.smeam9
Asteraceae	*Acanthospermum australe*	Herbácea	Anual	Sudamérica	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.xx2bsw
Asteraceae	*Acanthospermum hispidum*	Herbácea	Anual	Norte de Sudamérica, Sur de Centroamérica	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.tgqq4w
Asteraceae	*Anthemis arvensis*	Herbácea	Anual	Cuenca del Mediterráneo, Europa	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.46ja6a
Asteraceae	*Anthemis cotula*	Herbácea	Anual	Cuenca del Mediterráneo, Europa	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.fr2rd7
Asteraceae	*Carduus acanthoides*	Herbácea	Bienal o anual	Europa y Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.b83eya
Asteraceae	*Centaurea calcitrapa*	Herbácea	Anual	Cuenca del Mediterráneo	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.ktd2mz
Asteraceae	*Centaurea melitensis*	Herbácea	Anual	Cuenca del Mediterráneo	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.48ke8s
Asteraceae	*Centaurea solstitialis*	Herbácea	Anual	Europa, Suroeste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.vrw9yw
Asteraceae	*Cirsium arvense*	Herbácea	Perenne	Europa, Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.c9sghg
Asteraceae	*Cirsium vulgare*	Herbácea	Bienal o anual	Europa, Suroeste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.85mm2n
Asteraceae	*Cotula australis*	Herbácea	Anual	Sur de África, Madagascar, Australasia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.t3g3tx
Asteraceae	*Crupina vulgaris*	Herbácea	Anual	Cuenca del Mediterráneo, Suroeste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.aucr7e
Asteraceae	*Cynara cardunculus*	Herbácea	Perenne	Cuenca del Mediterráneo	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.6rudm4
Asteraceae	*Emilia fosbergii*	Herbácea	Anual	África, Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.5a9drk
Asteraceae	*Emilia sonchifolia*	Herbácea	Anual	China, Sur de Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.bz8hcb
Asteraceae	*Euphrosyne xanthiifolia*	Herbácea	Anual	Sur de Canadá, EE. UU.	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.cyf4qa
Asteraceae	*Glebionis coronaria*	Herbácea	Anual	Cuenca del Mediterráneo	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.9fy2ws
Asteraceae	*Hypochaeris radicata*	Herbácea	Perenne	Cuenca del Mediterráneo, Europa	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.kr3s7z
Asteraceae	*Lactuca serriola*	Herbácea	Bienal o anual	Europa, Oeste de Asia, Norte de África	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.qcszvb
Asteraceae	*Phonus lanatus*	Herbácea	Anual	Cuenca del Mediterráneo	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.g8qgeu
Asteraceae	*Pseudognaphalium luteoalbum*	Herbácea	Bienal o anual	Europa, África, Oeste de Occidental	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.6myf6h
Asteraceae	*Senecio inaequidens*	Herbácea	Perenne	Sur de África	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.vfrw2r
Asteraceae	*Silybum marianum*	Herbácea	Bienal o anual	Cuenca del Mediterráneo, Suroeste de Asia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.tcfrb8
Asteraceae	*Soliva sessilis*	Herbácea	Anual	Sudamérica	Subtropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.5nf8zf
Asteraceae	*Sonchus arvensis*	Herbácea	Perenne	Europa, Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.hx9xj7
Asteraceae	*Tripleurospermum inodorum*	Herbácea	Bienal o anual	Europa, Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.hrpv3h

Continúa →

Familia	Especie	Forma de crecimiento	Ciclo de vida	Distribución nativa	Clima de origen	DOI de la base de datos
Balsaminaceae	*Impatiens walleriana*	Subarbusto	Perenne	Este de África	Tropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.ch7uqm
Bignoniaceae	*Spathodea campanulata*	Árbol	Perenne	África	Tropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.7uv3v6
Boraginaceae	*Buglossoides arvensis*	Herbácea	Bienal o anual	Europa, Asia, Norte de África	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.8w4hm9
Boraginaceae	*Cynoglossum amabile*	Herbácea	Bienal o anual	Suroeste de Asia	Subtropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.ke9v2g
Boraginaceae	*Echium plantagineum*	Herbácea	Anual	Cuenca del Mediterráneo	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.3p86ad
Brassicaceae	*Brassica tournefortii*	Herbácea	Anual	Norte de África, Oeste de Asia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.jzxmen
Brassicaceae	*Camelina sativa*	Herbácea	Anual	Este de Europa, Oeste y Centro de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.ay7fj2
Brassicaceae	*Cardamine hirsuta*	Herbácea	Anual	Europa, Norte de África, Suroeste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.qga4bf
Brassicaceae	*Conringia orientalis*	Herbácea	Anual	Sur de Europa, Norte de África, Suroeste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.jgm9ak
Brassicaceae	*Hirschfeldia incana*	Herbácea	Bienal o anual	Cuenca del Mediterráneo	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.5pcjhv
Brassicaceae	*Lepidium draba*	Herbácea	Perenne	Cuenca del Mediterráneo, Este de Europa	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.mpmwbw
Brassicaceae	*Lepidium latifolium*	Herbácea	Perenne	Europa, Asia, Norte de África	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.g92ycr
Brassicaceae	*Thlaspi arvense*	Herbácea	Anual	Europa, Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.mz98qy
Caryophyllaceae	*Agrostemma githago*	Herbácea	Anual	Este de Europa, Oeste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.axb3rf
Caryophyllaceae	*Gypsophila vaccaria*	Herbácea	Anual	Europa, Norte de África, Suroeste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.a39k2h
Caryophyllaceae	*Silene noctiflora*	Herbácea	Anual	Europa, Norte de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.bm2ekf
Caryophyllaceae	*Spergularia rubra*	Herbácea	Bienal o anual	Europa, Norte de África, Centro y Norte de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.6dq5bz
Casuarinaceae	*Casuarina cunninghamiana*	Árbol	Perenne	Nueva Guinea, Australia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.cctjab
Casuarinaceae	*Casuarina equisetifolia*	Árbol	Perenne	Sur de África, Australia	Tropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.jxzsmu
Combretaceae	*Terminalia catappa*	Árbol	Perenne	Madagascar, Sur de Asia, Australia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.qf3qc8
Commelinaceae	*Commelina benghalensis*	Herbácea	Anual	África, Sur de Asia	Tropical Seco	ttps://doi.org/10.15468/dl.yhpxw7
Crassulaceae	*Kalanchoe daigremontiana*	Subarbusto suculento	Perenne	Madagascar	Árido-Semiárido	https://doi.org/10.15468/dl.hc269p
Crassulaceae	*Kalanchoe delagoensis*	Subarbusto suculento	Perenne	Madagascar	Árido-Semiárido	https://doi.org/10.15468/dl.tppkg9
Crassulaceae	*Kalanchoe pinnata*	Subarbusto suculento	Perenne	Madagascar	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.h9n8hs

Continúa →

Familia	Especie	Forma de crecimiento	Ciclo de vida	Distribución nativa	Clima de origen	DOI de la base de datos
Cucurbitaceae	*Cucumis dipsaceus*	Herbácea, trepadora	Anual	Sur de África	Árido-Semiárido	https://doi.org/10.15468/dl.jfxfqa
Cucurbitaceae	*Lagenaria siceraria*	Herbácea, trepadora	Anual	Centro de África	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.faf8zj
Cucurbitaceae	*Momordica charantia*	Herbácea, trepadora	Anual	África, Sur de Asia, Australia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.4xhtfu
Cyperaceae	*Cyperus papyrus*	Geófita rizomatosa	Perenne	África	Tropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.ru24q6
Euphorbiaceae	*Euphorbia esula*	Subarbusto	Perenne	Europa, Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.wtgv6j
Euphorbiaceae	*Euphorbia helioscopia*	Herbácea	Anual	Europa, Centro de Asia, Norte de África	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.39xbcc
Euphorbiaceae	*Hevea brasiliensis*	Árbol	Perenne	Cuenca del Amazona	Tropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.6nfuc9
Euphorbiaceae	*Ricinus communis*	Arbusto	Perenne	Este de África	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.jtsrfd
Fabaceae	*Abrus precatorius*	Leñosa, trepadora	Perenne	Centro de África, Sur de Asia, Australia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.e8yw49
Fabaceae	*Acacia melanoxylon*	Árbol	Perenne	Australia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.p6527p
Fabaceae	*Albizia julibrissin*	Árbol	Perenne	Sur de Asia, Japan	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.hs7vh3
Fabaceae	*Albizia lebbeck*	Árbol	Perenne	Sur de Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.3778wz
Fabaceae	*Alhagi maurorum*	Subarbusto	Perenne	Sureste de Europa, Centro y Sur de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.arw52e
Fabaceae	*Alysicarpus vaginalis*	Subarbusto	Perenne	Centro de África, Sur y Sureste de Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.tag5nb
Fabaceae	*Cajanus cajan*	Arbusto	Perenne	Sur de Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.hbb9rj
Fabaceae	*Coronilla varia*	Herbácea	Perenne	Europa	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.mjhygn
Fabaceae	*Crotalaria retusa*	Herbácea	Anual	Centro de África, Sur y Sureste de Asia, Australia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.m5znk6
Fabaceae	*Galega officinalis*	Herbácea	Perenne	Centro y Sureste de Europa	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.t5d6de
Fabaceae	*Melilotus officinalis*	Herbácea	Anual	Europa, Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.fvtvkc
Fabaceae	*Mucuna pruriens*	Herbácea, trepadora	Perenne	Centro de África, Sur de Asia	Tropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.zztfb7
Fabaceae	*Neustanthus phaseoloides*	Herbácea, trepadora	Perenne	Sur de Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.qktkfj
Fabaceae	*Pueraria montana*	Herbácea, trepadora	Perenne	Sur de Asia	Subtropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.n475xc
Fabaceae	*Senna siamea*	Árbol	Perenne	Sur de Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.htz6q6
Fabaceae	*Spartium junceum*	Arbusto	Perenne	Sur de Europa	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.6ux8y2
Fabaceae	*Ulex europaeus*	Arbusto	Perenne	Europa	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.5utmct
Fabaceae	*Vicia villosa*	Herbácea	Bienal o anual	Cuenca del Mediterráneo	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.uv4mee
Geraniaceae	*Erodium cicutarium*	Herbácea	Anual	Europa, Norte de África	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.mfs5a5
Geraniaceae	*Geranium dissectum*	Herbácea	Anual	Europa, Centro y Oeste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.zf7myf

Continúa →

Familia	Especie	Forma de crecimiento	Ciclo de vida	Distribución nativa	Clima de origen	DOI de la base de datos
Lamiaceae	*Galeopsis tetrahit*	Herbácea	Anual	Europa, Centro y Oeste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.277y8v
Lamiaceae	*Leonotis nepetifolia*	Herbácea	Anual	Centro de África, Sur de Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.h6g4ch
Lamiaceae	*Leonurus japonicus*	Herbácea	Anual	Sur de Asia, Australia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.7maa3f
Malvaceae	*Abutilon theophrasti*	Herbácea	Anual	Centro de Asia	Subtropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.8f24re
Meliaceae	*Azadirachta indica*	Árbol	Perenne	Sur y Sureste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.yku8kz
Meliaceae	*Melia azedarach*	Árbol	Perenne	Sur de Asia, Australia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.h9vd6n
Moringaceae	*Moringa oleifera*	Árbol	Perenne	Sur de Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.rppgnr
Myrtaceae	*Eucalyptus camaldulensis*	Árbol	Perenne	Australia	Árido-Semiárido	https://doi.org/10.15468/dl.a83aws
Myrtaceae	*Eucalyptus globulus*	Árbol	Perenne	Australia, Tasmania	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.vsauf9
Myrtaceae	*Eucalyptus sideroxylon*	Árbol	Perenne	Australia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.j3nwza
Myrtaceae	*Melaleuca quinquenervia*	Árbol	Perenne	Nueva Guinea, Nueva Caledonia, Australia	Tropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.t2m4qk
Oleaceae	*Ligustrum lucidum*	Árbol	Perenne	Sureste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.5pvgzk
Oxalidaceae	*Oxalis articulata*	Geófita tuberosa	Perenne	Sur de Sudamérica	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.n9jsqz
Oxalidaceae	*Oxalis pes-caprae*	Geófita tuberosa	Perenne	Sur de África	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.hrvfah
Papaveraceae	*Fumaria officinalis*	Herbácea	Anual	Europa, Cuenca del Mediterráneo	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.9n33ku
Paulowniaceae	*Paulownia tomentosa*	Árbol	Perenne	_Centro y Este de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.zjvrdf
Plantaginaceae	*Digitalis purpurea*	Herbácea	Biennial	Suroeste de Europa, Marruecos	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.ppy8s6
Plantaginaceae	*Linaria vulgaris*	Herbácea	Perenne	Europa, Centro y Norte de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.9pwmac
Plantaginaceae	*Veronica arvensis*	Herbácea	Anual	Europa, Noroeste de África	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.xne3gw
Plantaginaceae	*Veronica hederifolia*	Herbácea	Anual	Europa, Cuenca del Mediterráneo, Noroeste de África	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.v3r4va
Poaceae	*Aegilops cylindrica*	Gramínea	Anual	Europa, Centro de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.2r9jd4
Poaceae	*Agrostis gigantea*	Gramínea	Perenne	Europa, Asia, Norte de África	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.tawqkg
Poaceae	*Agrostis stolonifera*	Gramínea	Perenne	Europa, Asia, Norte de África	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.24eg4h
Poaceae	*Aira elegans*	Gramínea	Anual	Cuenca del Mediterráneo	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.zufqpe
Poaceae	*Anthoxanthum aristatum*	Gramínea	Anual	Cuenca del Mediterráneo	Subtropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.5kfw5r

Continúa →

Familia	Especie	Forma de crecimiento	Ciclo de vida	Distribución nativa	Clima de origen	DOI de la base de datos
Poaceae	*Anthoxanthum odoratum*	Gramínea	Perenne	Europa, Oeste y Centro de Asia, Noroeste de áfrica	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.hvmken
Poaceae	*Arthraxon hispidus*	Gramínea	Anual	Centro de África, Sur de Asia, Australia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.h6kw5g
Poaceae	*Arundo donax*	Geófita rizomatosa	Perenne	Europa, Oeste y Centro de Asia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.qnbtgx
Poaceae	*Bambusa vulgaris*	Bamboo	Perenne	Sureste de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.n9ajm6
Poaceae	*Bothriochloa pertusa*	Gramínea	Perenne	Sur y Sureste de Asia, Australia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.jf39kg
Poaceae	*Bromus catharticus*	Gramínea	Anual	Sudamérica	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.ng8afd
Poaceae	*Bromus diandrus*	Gramínea	Anual	Cuenca del Mediterráneo	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.p5tgpy
Poaceae	*Bromus rigidus*	Gramínea	Anual	Cuenca del Mediterráneo	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.x829me
Poaceae	*Bromus rubens*	Gramínea	Anual	Cuenca del Mediterráneo	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.vueh95
Poaceae	*Bromus tectorum*	Gramínea	Anual	Europa, Cuenca del Mediterráneo, Centro y Sur de Asia,	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.fma2qb
Poaceae	*Cenchrus ciliaris*	Geófita rizomatosa	Perenne	Sur de Europa, África, Sur de Asia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.78a9qe
Poaceae	*Cenchrus clandestinus*	Geófita rizomatosa	Perenne	Este de África	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.jkr7ev
Poaceae	*Cenchrus purpureus*	Geófita rizomatosa	Perenne	Centro de África	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.cx4zv3
Poaceae	*Cenchrus setaceus*	Gramínea	Perenne	Norte y Este de África, Sur de Asia, Tanzania	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.gmqyec
Poaceae	*Cortaderia selloana*	Gramínea	Perenne	Sur de Sudamérica	Subtropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.xm3vfn
Poaceae	*Cynodon dactylon*	Geófita rizomatosa	Perenne	África, Sur de Europa, Sur de Asia, Australia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.47tbg2
Poaceae	*Cynodon nlemfuensis*	Gramínea	Perenne	Centro de África	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.82bs93
Poaceae	*Cynodon plectostachyus*	Gramínea	Perenne	Este de África	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.rq9xfb
Poaceae	*Dactyloctenium aegyptium*	Geófita rizomatosa	Perenne	África, Sur y Sureste de Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.kfwzqe
Poaceae	*Dichanthium annulatum*	Geófita rizomatosa	Perenne	África, Sur y Sureste de Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.v4wq77
Poaceae	*Echinochloa crus-galli*	Gramínea	Anual	Cuenca del Mediterráneo, Asia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.3a9rs3
Poaceae	*Eleusine indica*	Gramínea	Anual	Centro de África, Sur de Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.8gpvqt
Poaceae	*Eleusine multiflora*	Gramínea	Anual	Este de África, Sur de Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.4uk42v
Poaceae	*Elymus repens*	Geófita rizomatosa	Perenne	Cuenca del Mediterráneo, Europa, Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.xqp8e7

Continúa →

Familia	Especie	Forma de crecimiento	Ciclo de vida	Distribución nativa	Clima de origen	DOI de la base de datos
Poaceae	*Eragrostis cilianensis*	Gramínea	Anual	Cuenca del Mediterráneo, África, Sur de Asia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.zq5673
Poaceae	*Eragrostis curvula*	Gramínea	Perenne	Centro y Sur de África	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.7q2epv
Poaceae	*Eragrostis lehmanniana*	Gramínea	Perenne	Sur de África	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.e28cy7
Poaceae	*Hordeum murinum*	Gramínea	Anual	Europa, Cuenca del Mediterráneo, Centro de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.dkgur2
Poaceae	*Hyparrhenia rufa*	Gramínea	Perenne	Centro de África	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.xrgkf5
Poaceae	*Imperata cylindrica*	Geófita rizomatosa	Perenne	Cuenca del Mediterráneo, África	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.mca2ut
Poaceae	*Ischaemum rugosum*	Gramínea	Anual	Centro de África, Sur y Sureste de Asia, Australia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.wrsnp8
Poaceae	*Megathyrsus maximus*	Geófita rizomatosa	Perenne	África	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.v2dsj8
Poaceae	*Melinis minutiflora*	Gramínea	Anual	Centro de África	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.6t622r
Poaceae	*Melinis repens*	Gramínea	Anual	África	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.ymnxc7
Poaceae	*Panicum repens*	Geófita rizomatosa	Perenne	Cuenca del Mediterráneo, África, Sur y Sueste de Asia, Australia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.2pre7j
Poaceae	*Paspalum scrobiculatum*	Gramínea	Anual	Cuenca del Mediterráneo, África, Sur y Sueste de Asia, Australia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.6juqfe
Poaceae	*Polypogon monspeliensis*	Gramínea	Anual	Cuenca del Mediterráneo, Norte de África, Sur de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.jq2stz
Poaceae	*Rottboellia cochinchinensis*	Gramínea	Anual	Centro de África, Sur de Asia, Australia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.phhka4
Poaceae	*Setaria pumila*	Gramínea	Anual	Europa, África, Asia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.cz35ps
Poaceae	*Setaria viridis*	Gramínea	Anual	Europa, Norte de África, Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.qn896q
Poaceae	*Urochloa panicoides*	Gramínea	Anual	Este de África, Sur de Asia	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.kfc33x
Polygonaceae	*Fallopia convolvulus*	Herbácea	Anual	Europa, Norte de África, Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.6wxn4v
Polygonaceae	*Persicaria nepalensis*	Herbácea	Anual	Este de África, Sur de Asia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.6srxdf
Polygonaceae	*Rumex crispus*	Herbácea	Anual	Europa, Norte de África, Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.9wq3pe
Resedaceae	*Reseda luteola*	Herbácea	Biennial	Europa, Norte de África, Centro de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.d8gb96
Rubiaceae	*Richardia brasiliensis*	Herbácea	Anual	Sudamérica	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.gps6x5

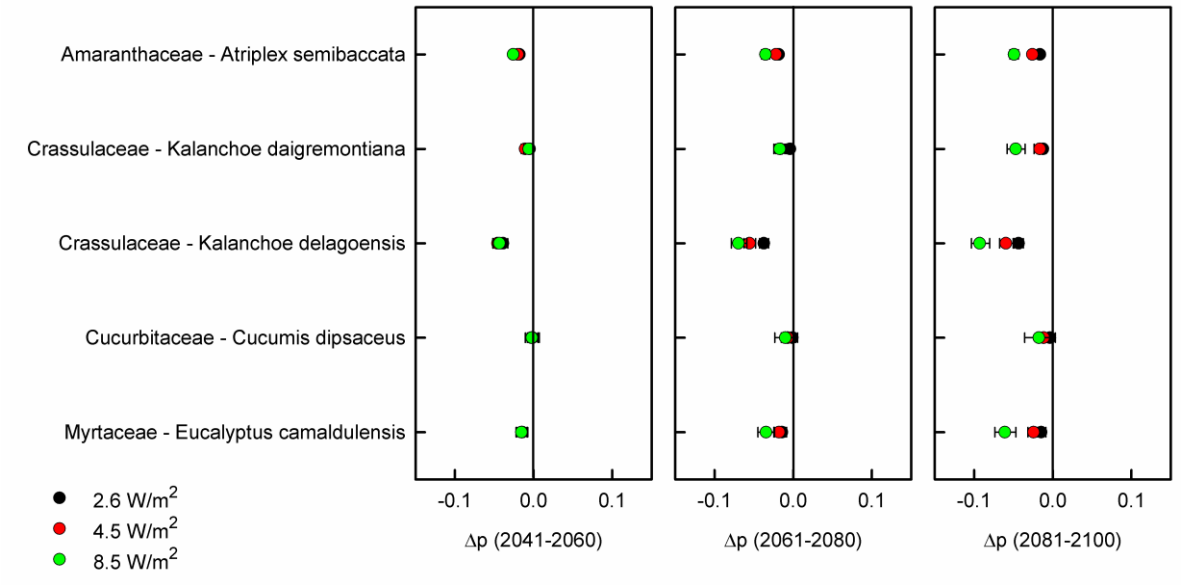
Continúa →

Familia	Especie	Forma de crecimiento	Ciclo de vida	Distribución nativa	Clima de origen	DOI de la base de datos
Solanaceae	*Solanum marginatum*	Subarbusto	Perenne	Centro de África	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.adeytn
Solanaceae	*Solanum viarum*	Arbusto	Perenne	Sudamérica	Tropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.egu9p7
Tamaricaceae	*Tamarix aphylla*	Árbol	Perenne	Norte de África, Sur de Asia	Subtropical Seco	https://doi.org/10.15468/dl.abm5eu
Tamaricaceae	*Tamarix chinensis*	Árbol	Perenne	Este de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.s4qvc3
Tamaricaceae	*Tamarix gallica*	Árbol	Perenne	Cuenca del Mediterráneo	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.r5ea2t
Tamaricaceae	*Tamarix ramosissima*	Árbol	Perenne	Este de Europa, Centro de Asia	Templado	https://doi.org/10.15468/dl.569cut
Zingiberaceae	*Hedychium coronarium*	Herbácea	Perenne	Sur de Asia	Subtropical Húmedo	https://doi.org/10.15468/dl.uxxxrn

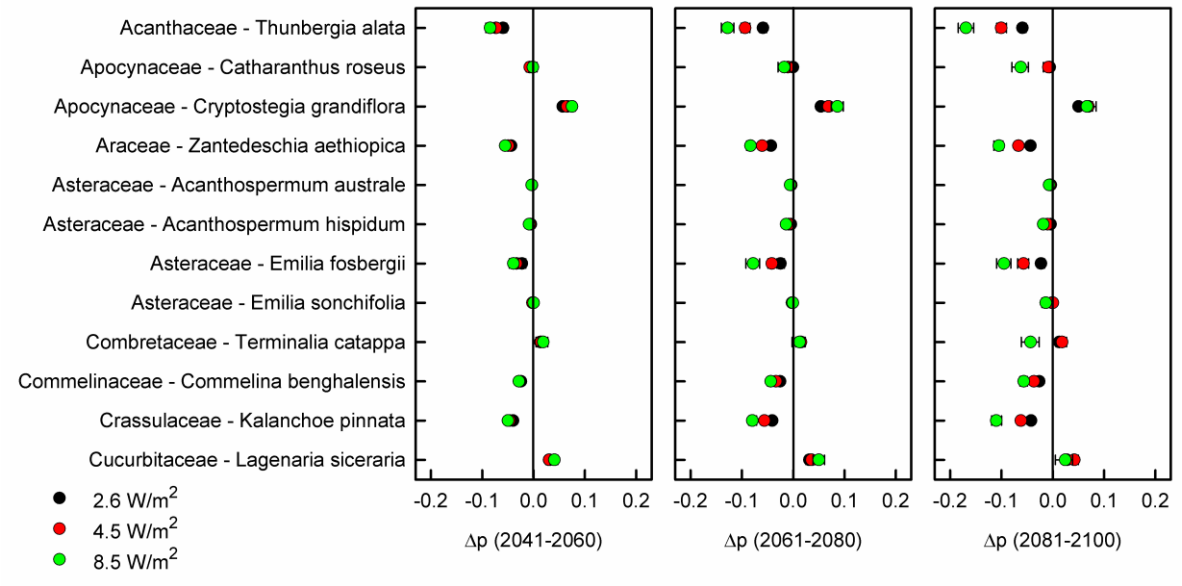
Apéndice B

Promedio (± 95% IC) de diferencias entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales (Δp), estimadas con MDBC, para las plantas exóticas invasoras presentes en México. En estas figuras, las especies se agrupan en función del tipo de clima del cual provienen y, en algunos casos, la figura se divide en diferentes partes para cubrir todas las especies. La línea negra al interior de cada figura indica $\Delta p = 0$, asumiéndose cambios significativos entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales cuando el intervalo 95% IC de los promedios Δp de cada especie no contiene ese valor.

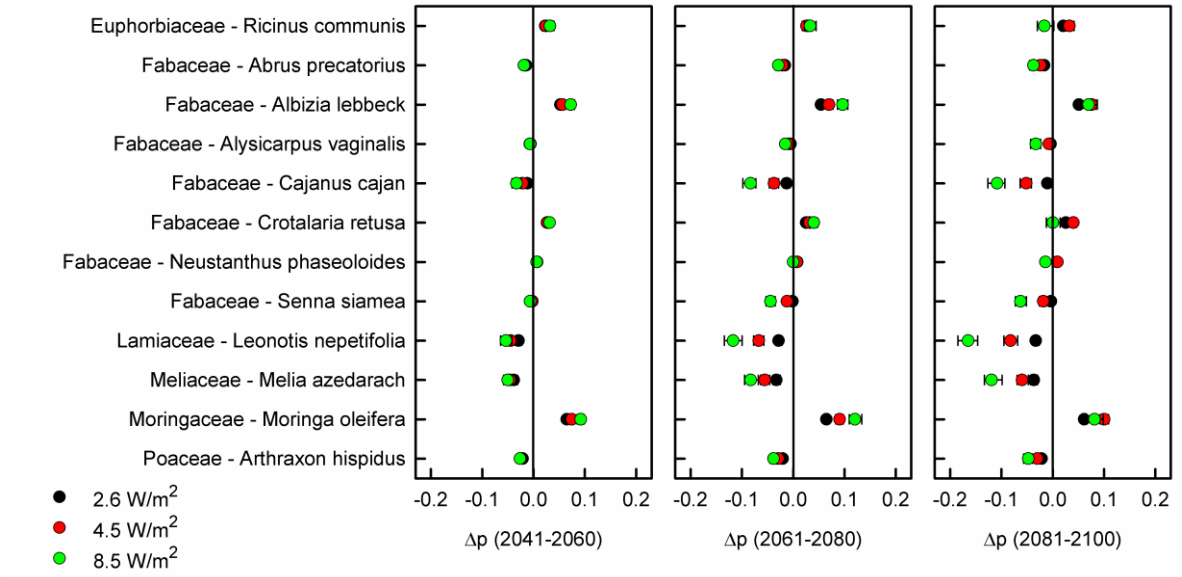
Especies provenientes de climas áridos-semiáridos



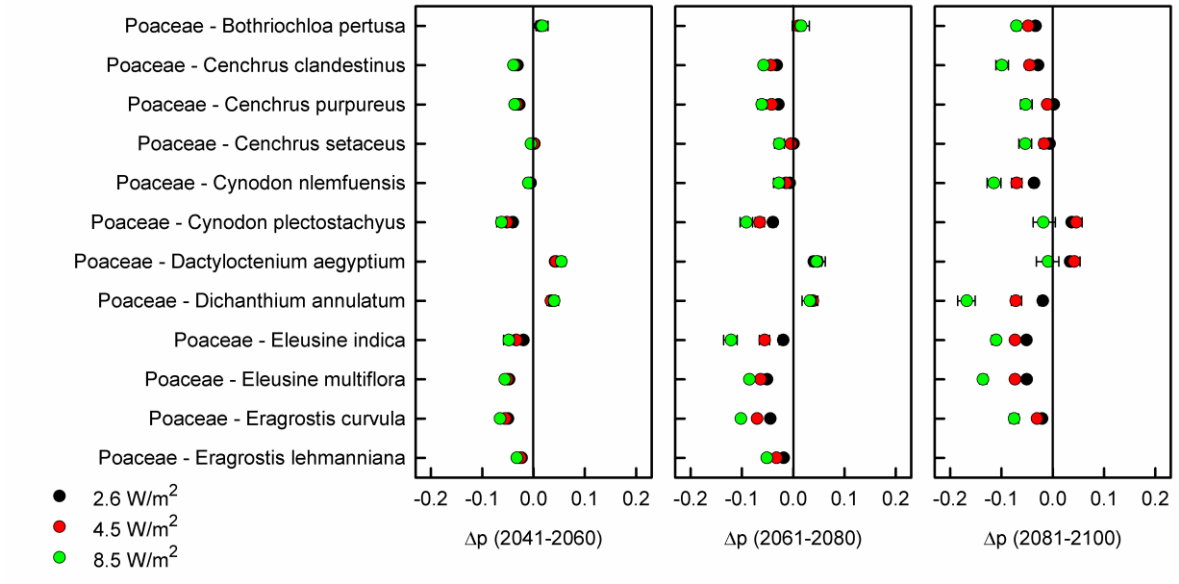
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 1)



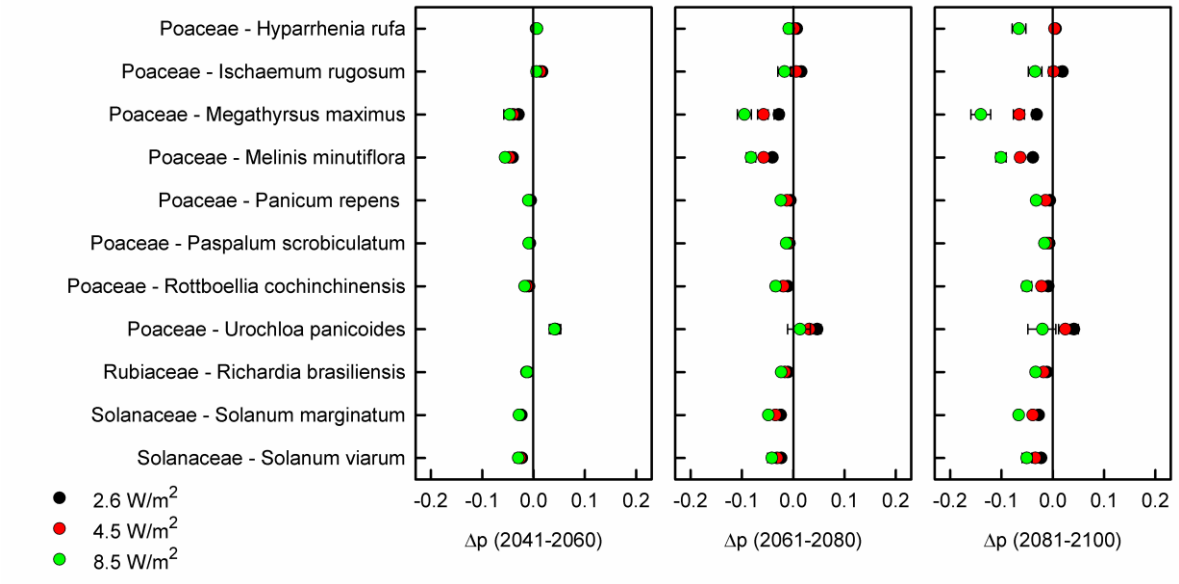
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 2)



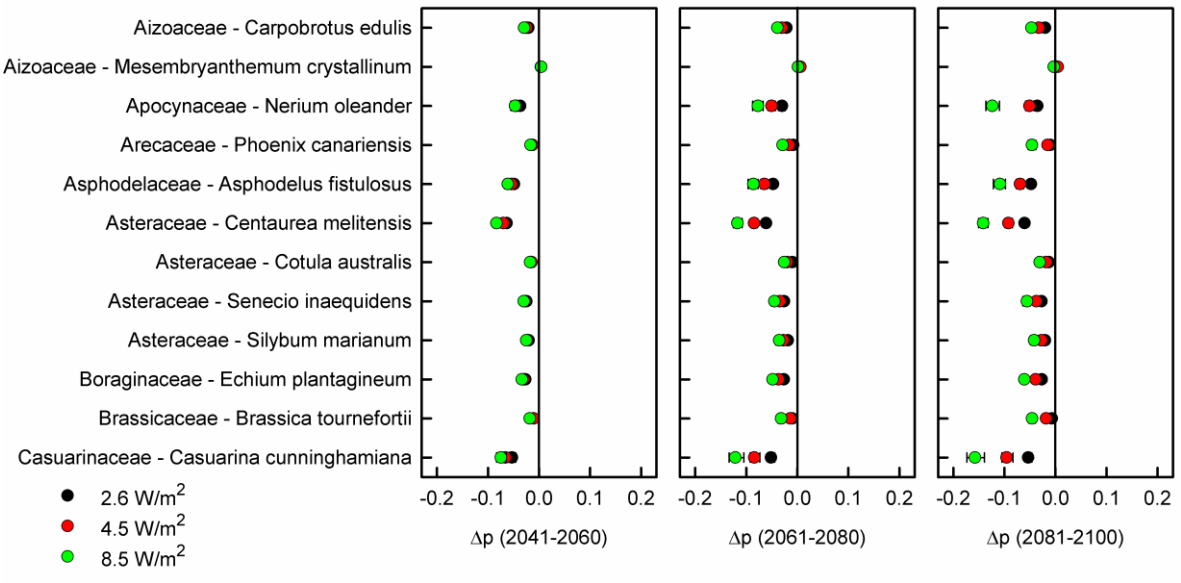
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 3)



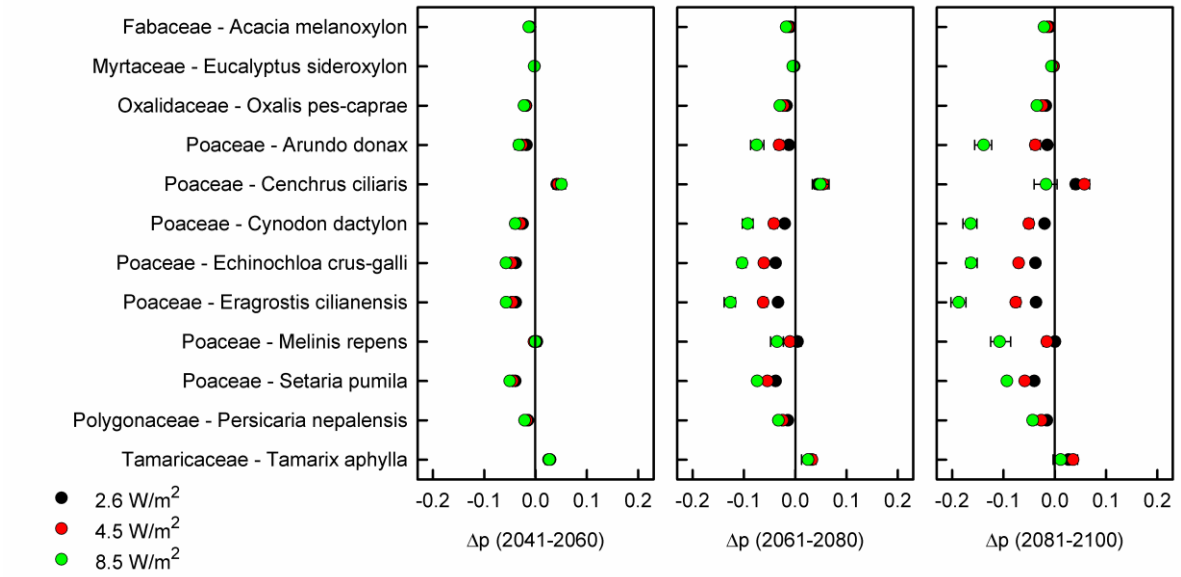
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 4)



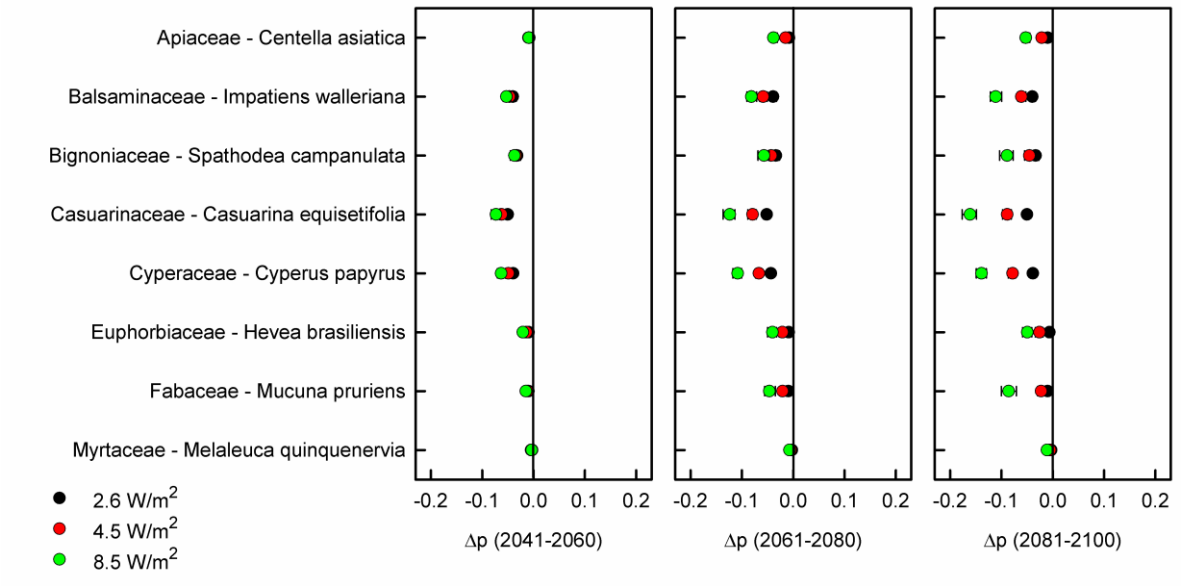
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 1)



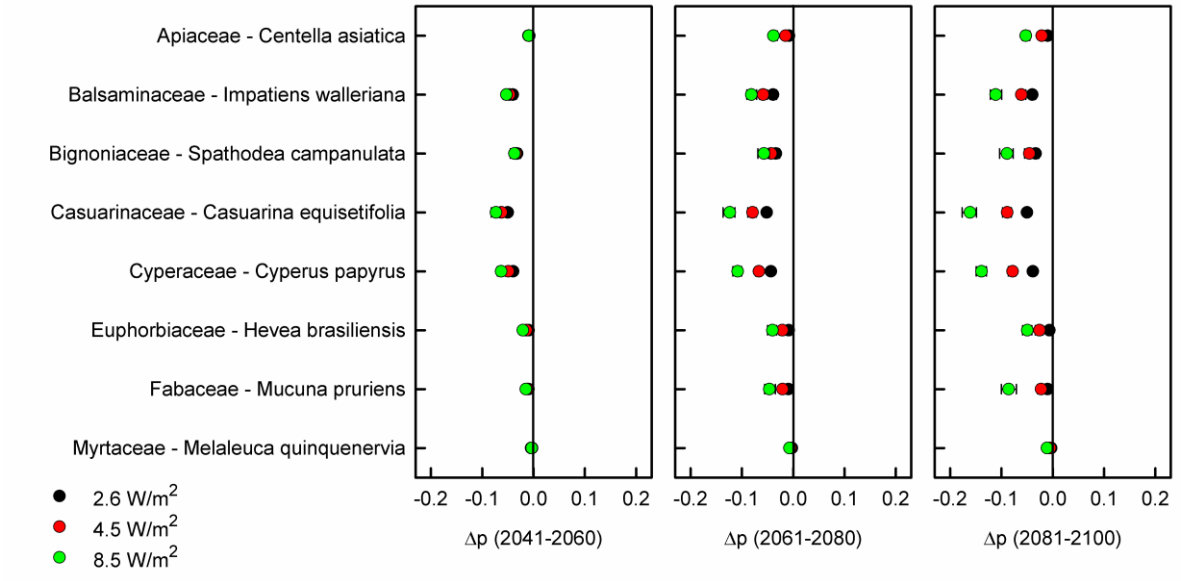
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 2)



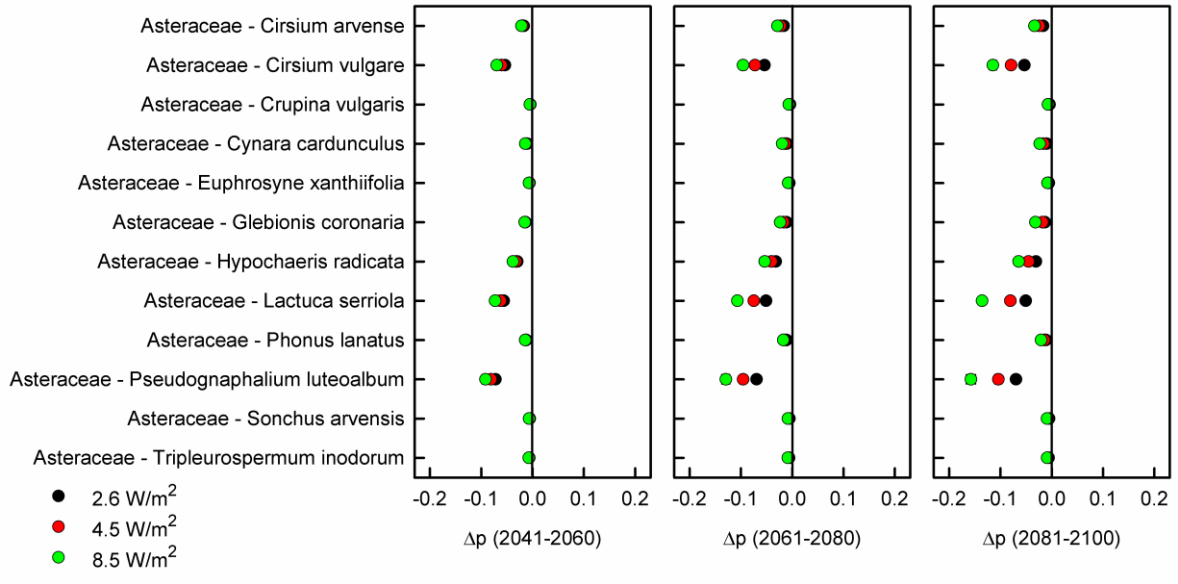
Especies provenientes de climas tropicales húmedos



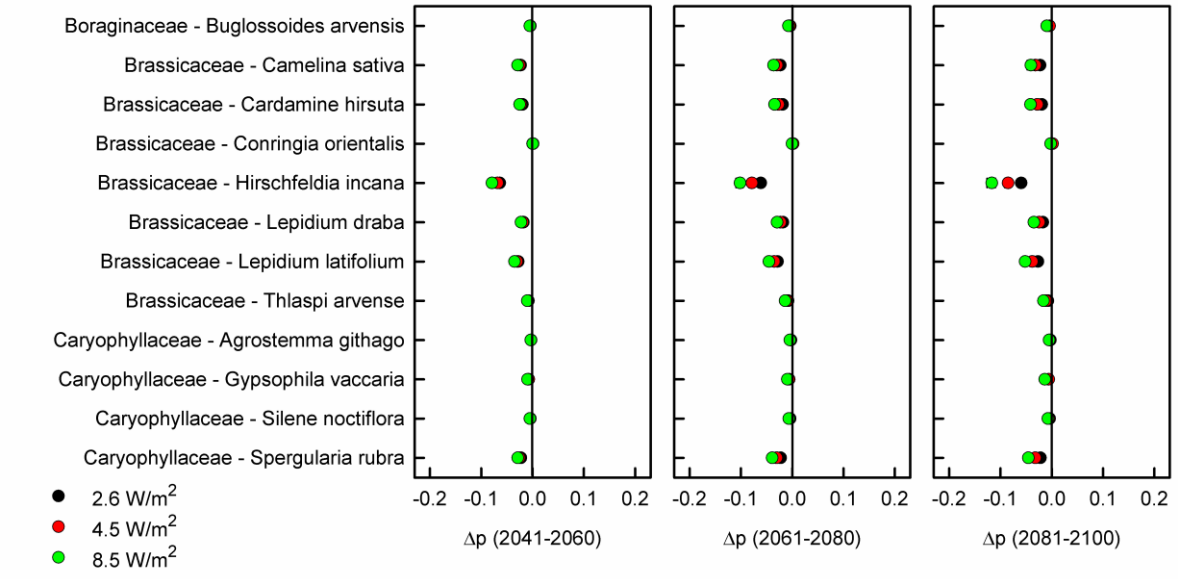
Especies provenientes de climas subtropicales húmedos



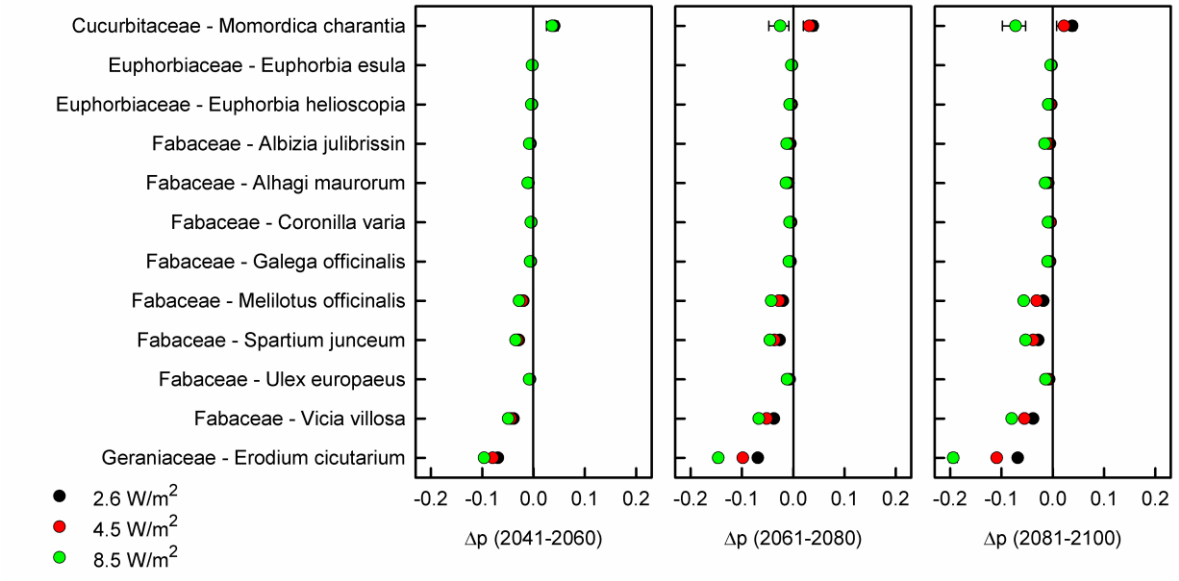
Especies provenientes de climas templados (parte 1)



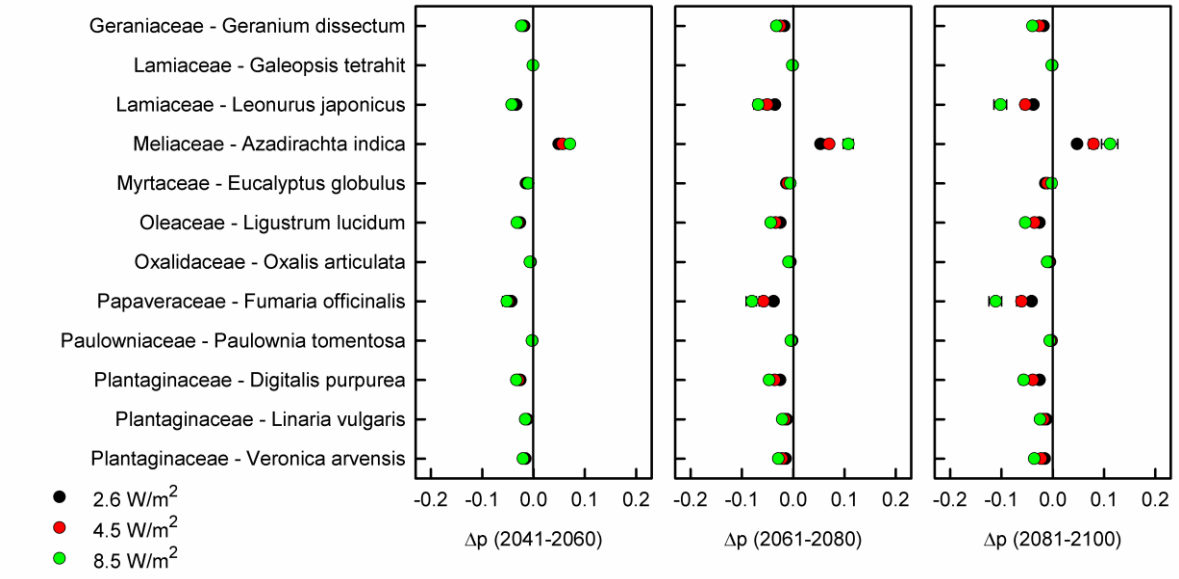
Especies provenientes de climas templados (parte 2)



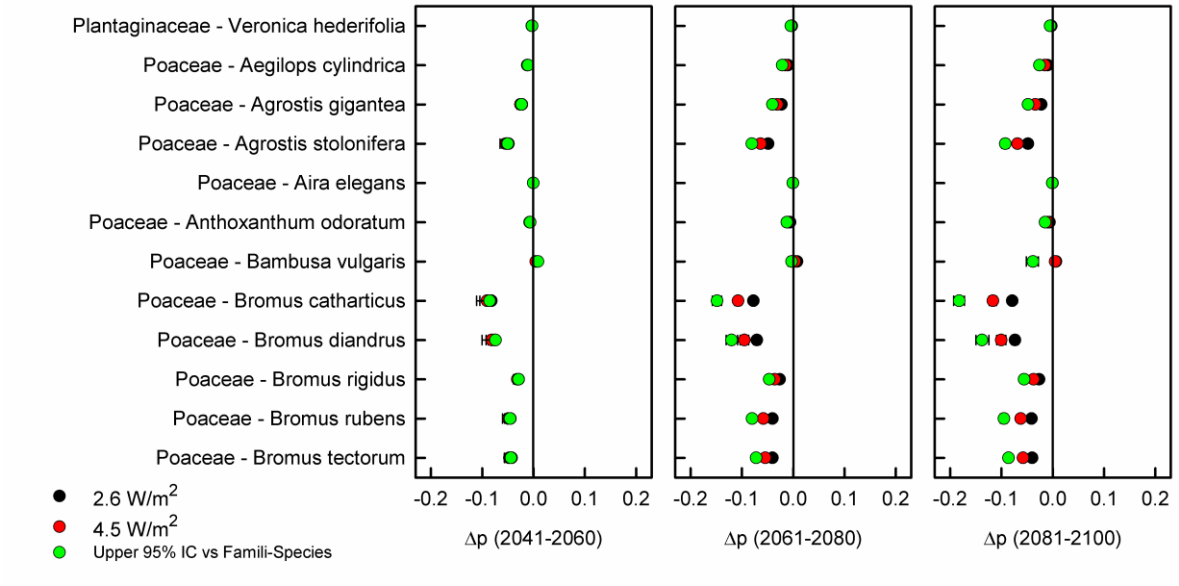
Especies provenientes de climas templados (parte 3)



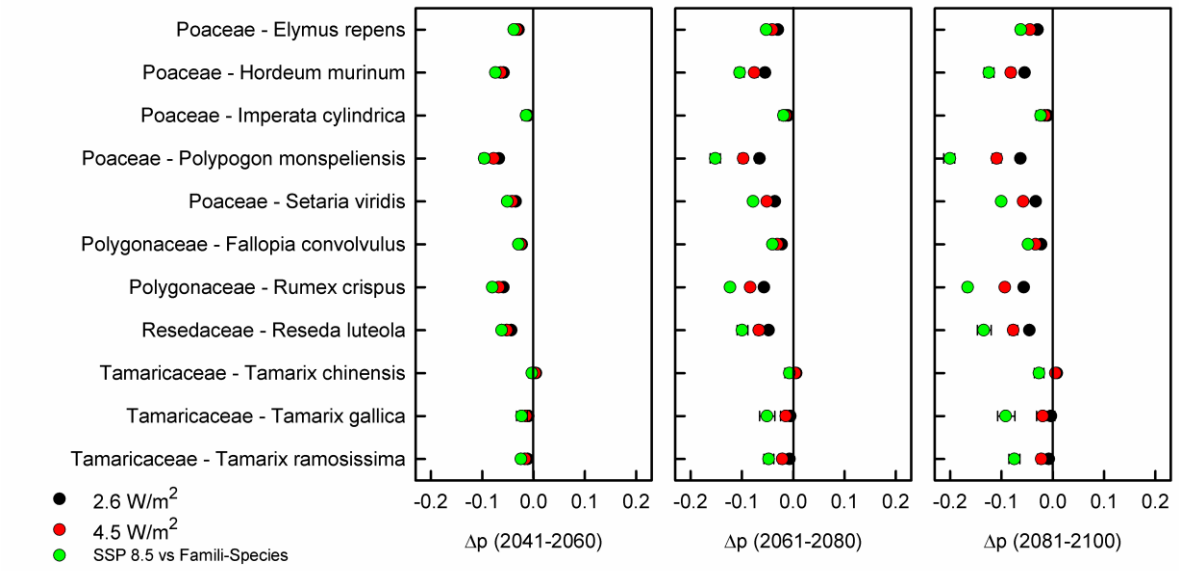
Especies provenientes de climas templados (parte 4)



Especies provenientes de climas templados (parte 5)



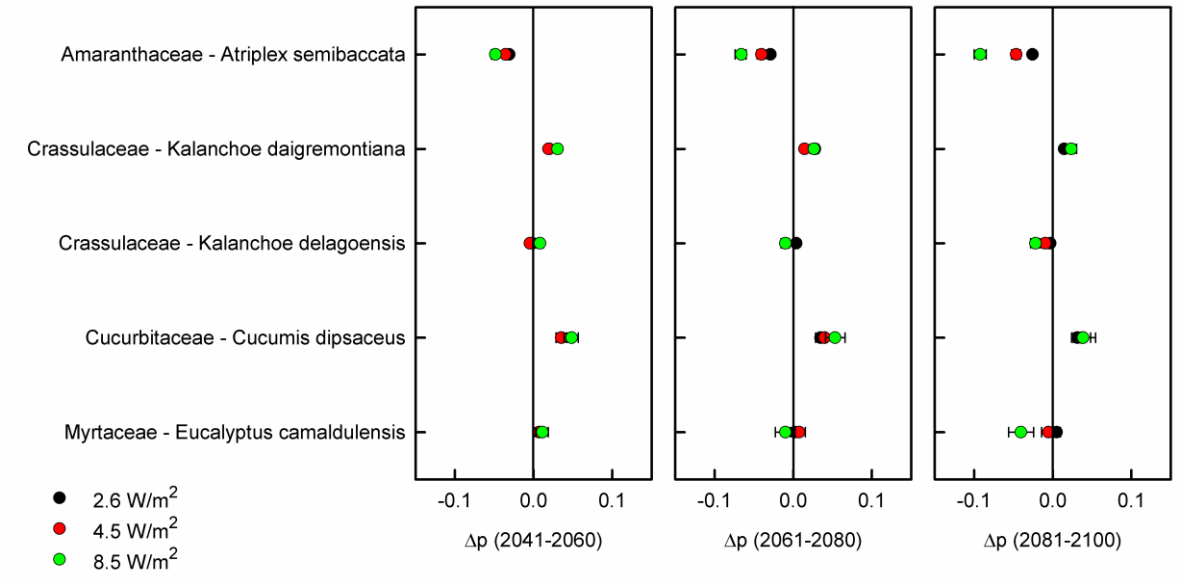
Especies provenientes de climas templados (parte 6)



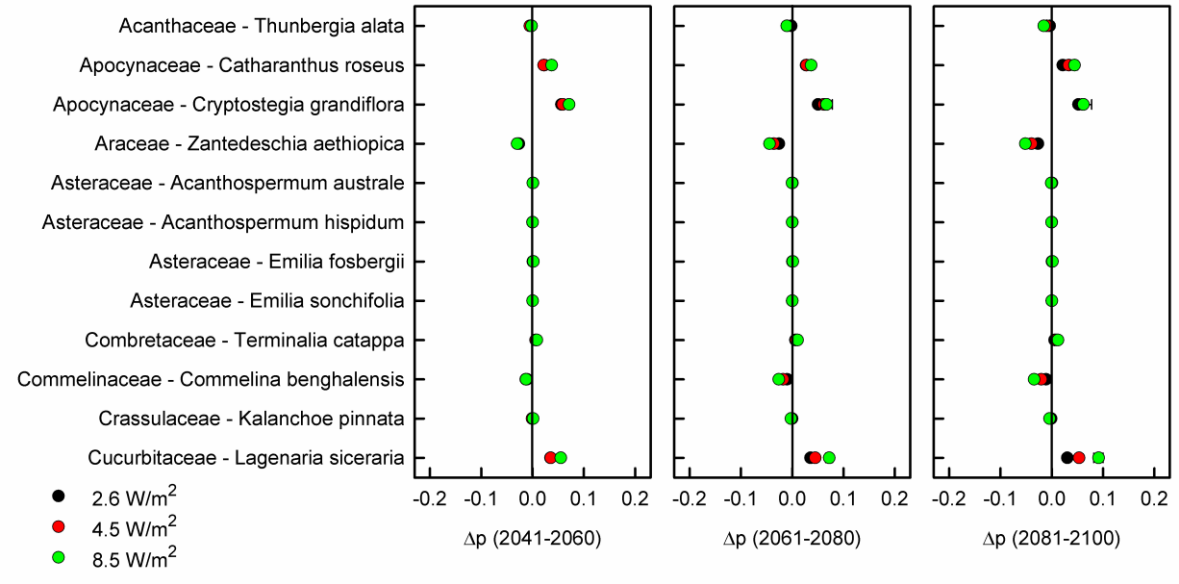
Apéndice C

Promedio (± 95% IC) de diferencias entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales (Δp), estimadas con MDBC, para las plantas exóticas invasoras dentro de la ecorregión de los Desiertos de Norteamérica. En estas figuras, las especies se agrupan en función del tipo de clima del cual provienen y, en algunos casos, la figura se divide en diferentes partes para cubrir todas las especies. La línea negra al interior de cada figura indica $\Delta p = 0$, asumiéndose cambios significativos entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales cuando el intervalo 95% IC de los promedios Δp de cada especie no contiene ese valor.

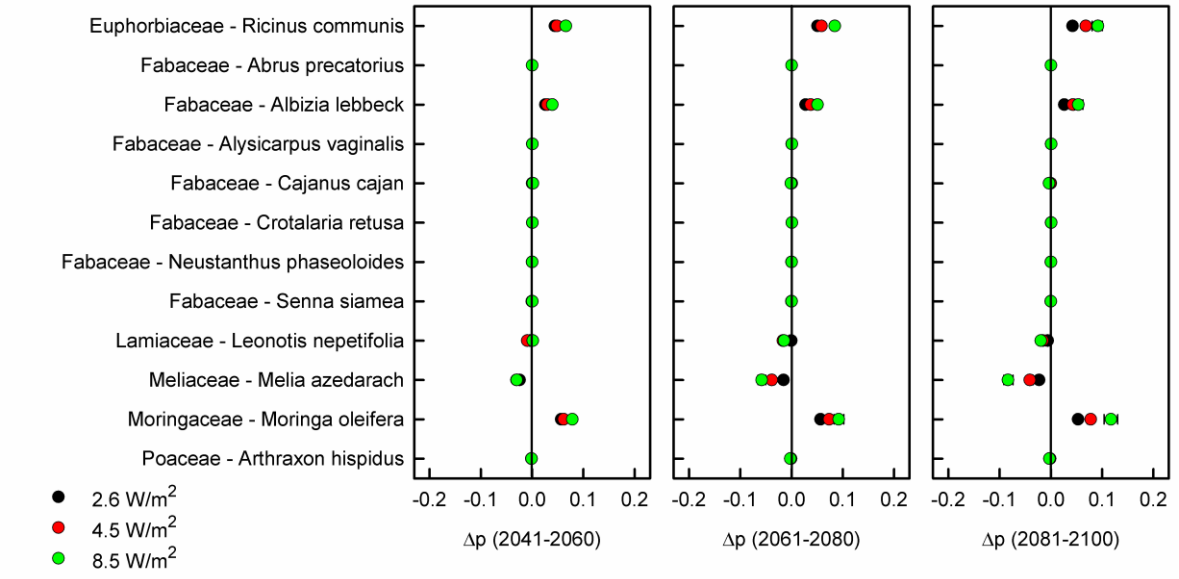
Especies provenientes de climas áridos-semiáridos



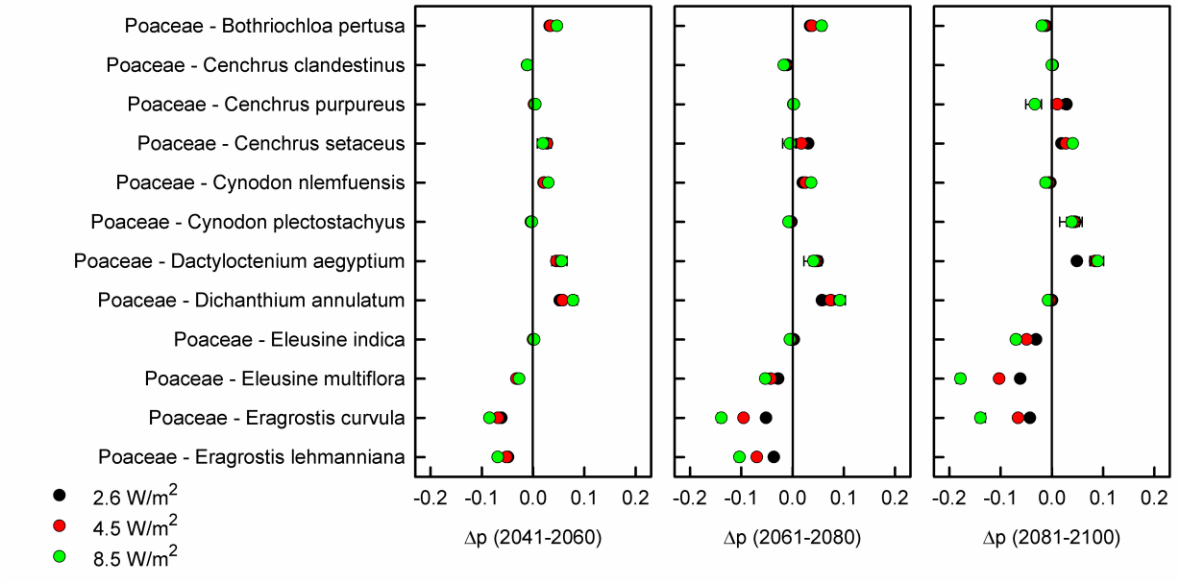
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 1)



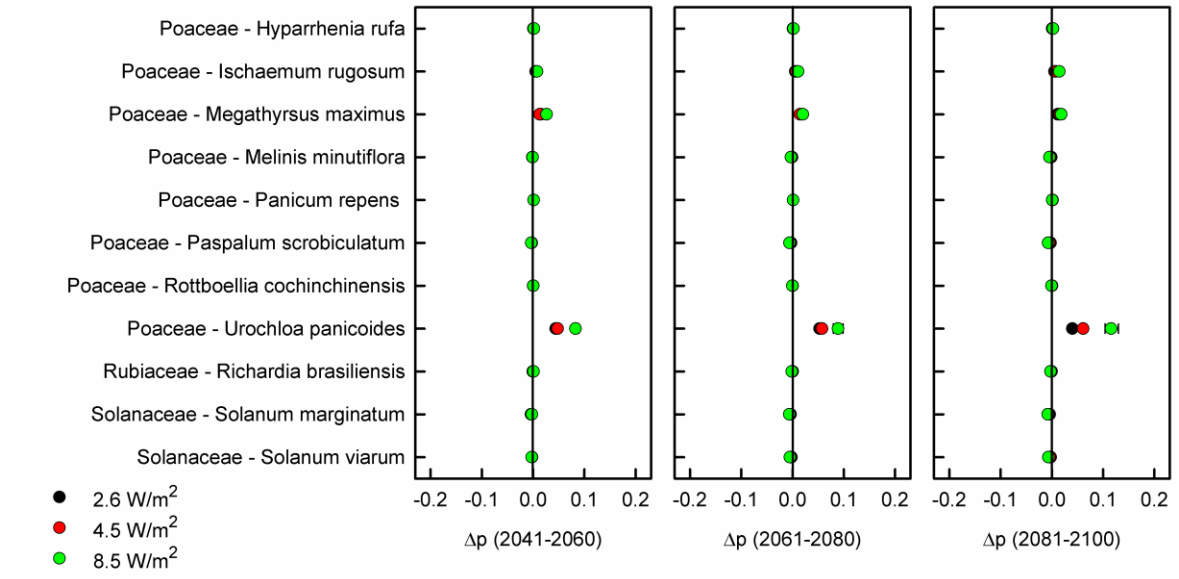
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 2)



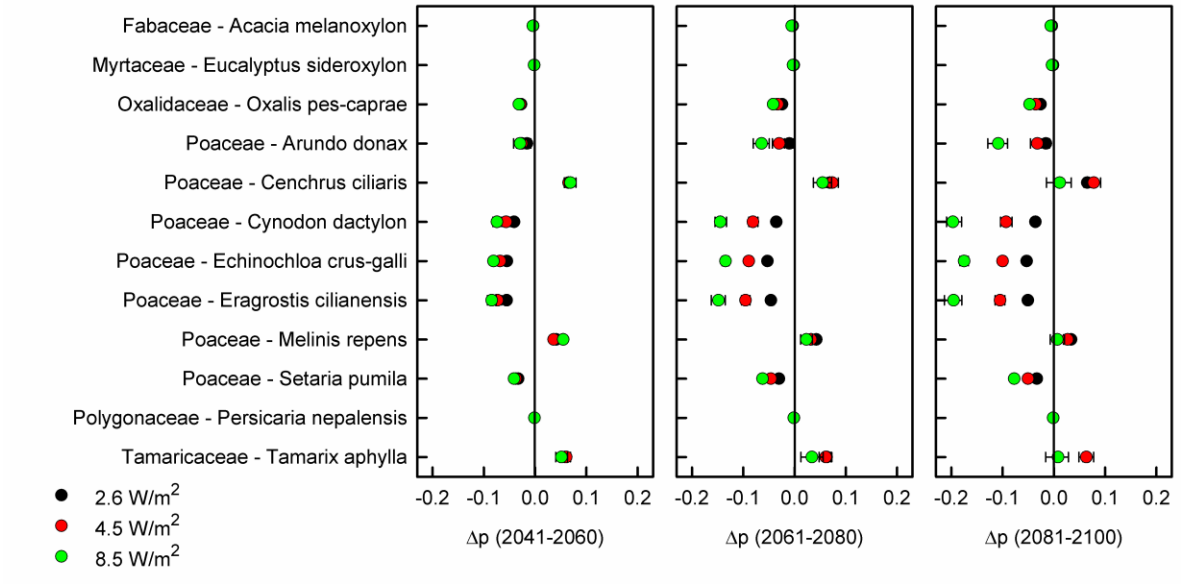
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 3)



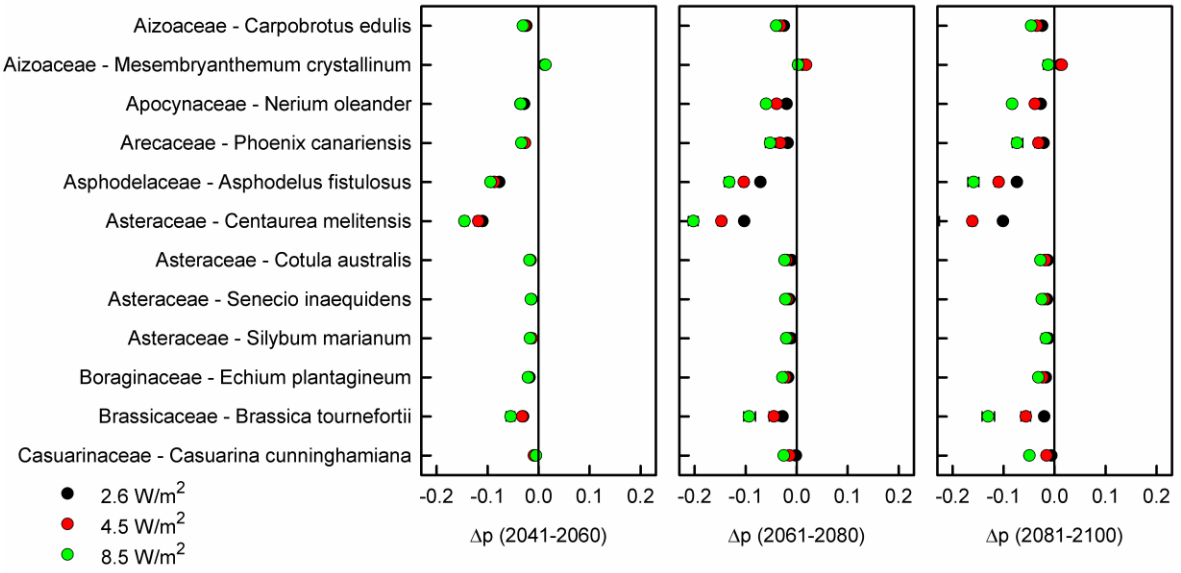
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 4)



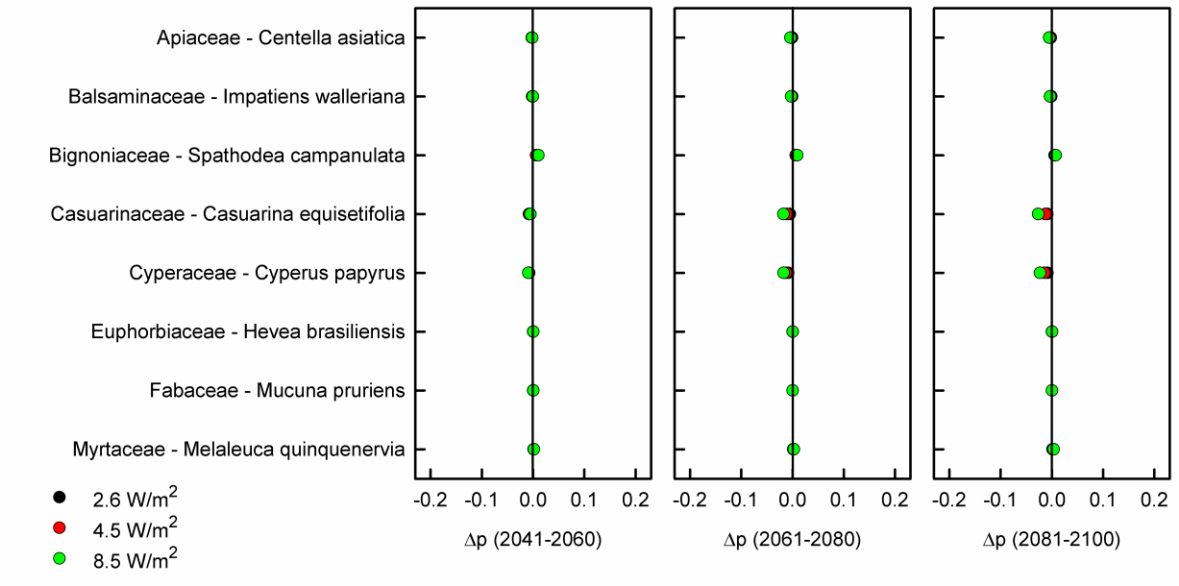
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 1)



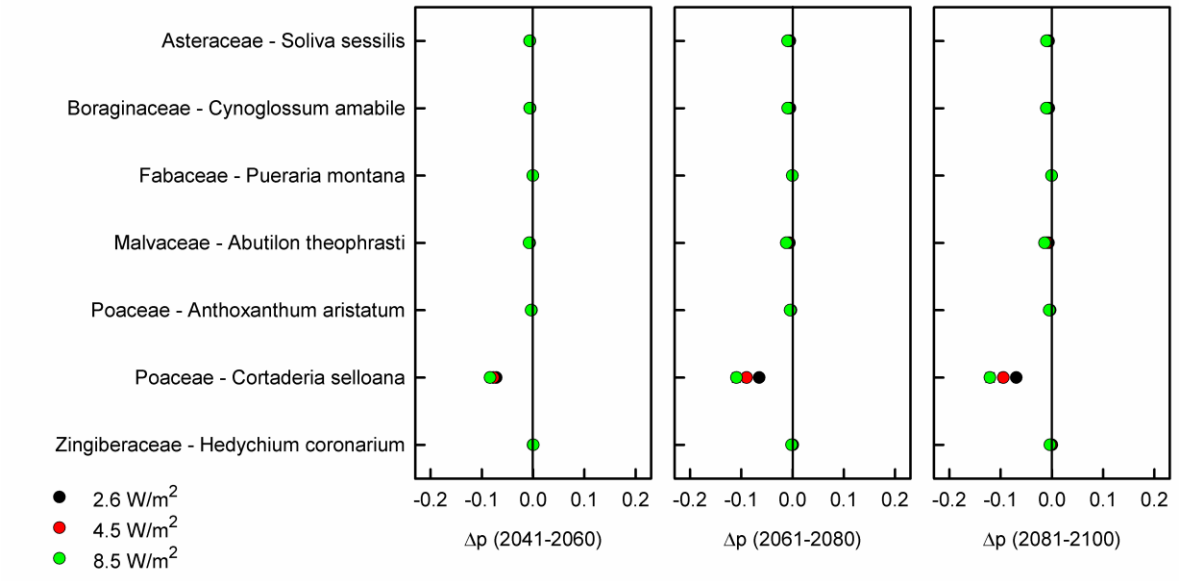
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 2)



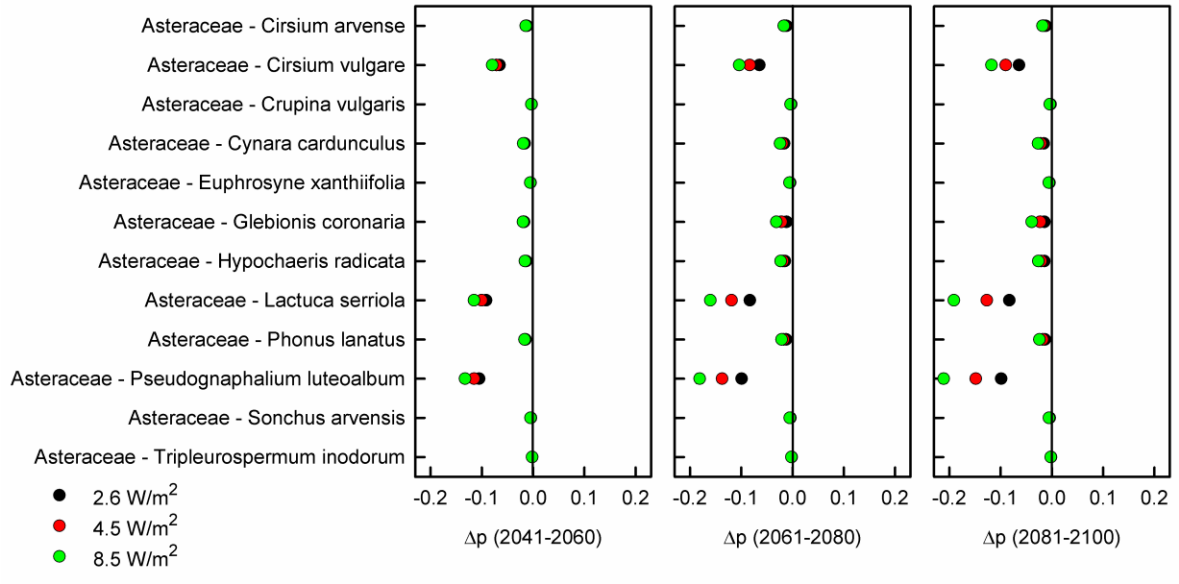
Especies provenientes de climas tropicales húmedos



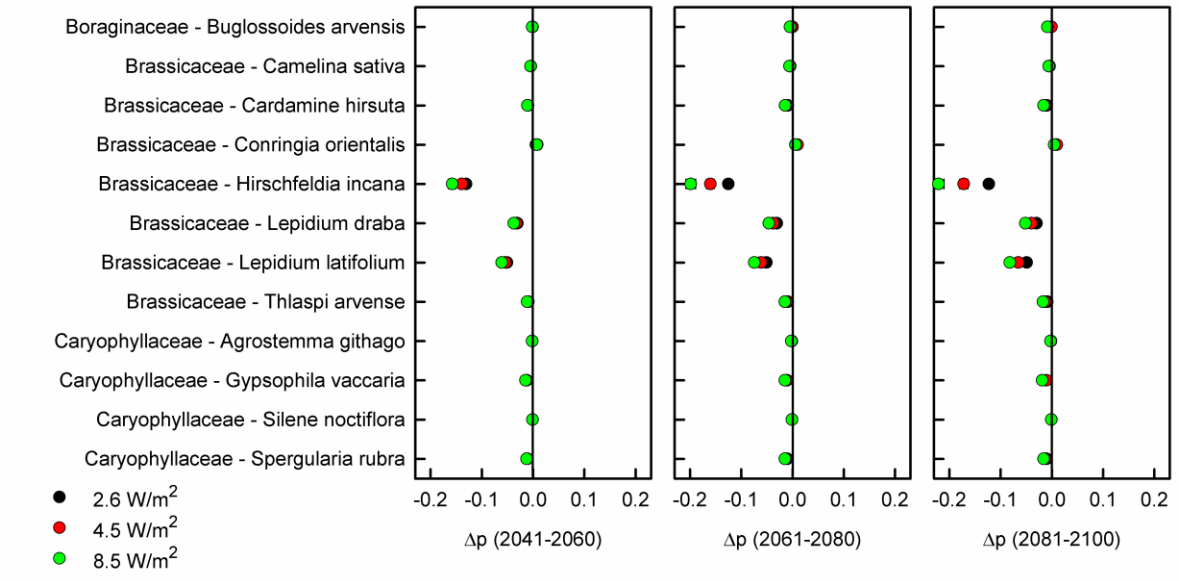
Especies provenientes de climas subtropicales húmedos



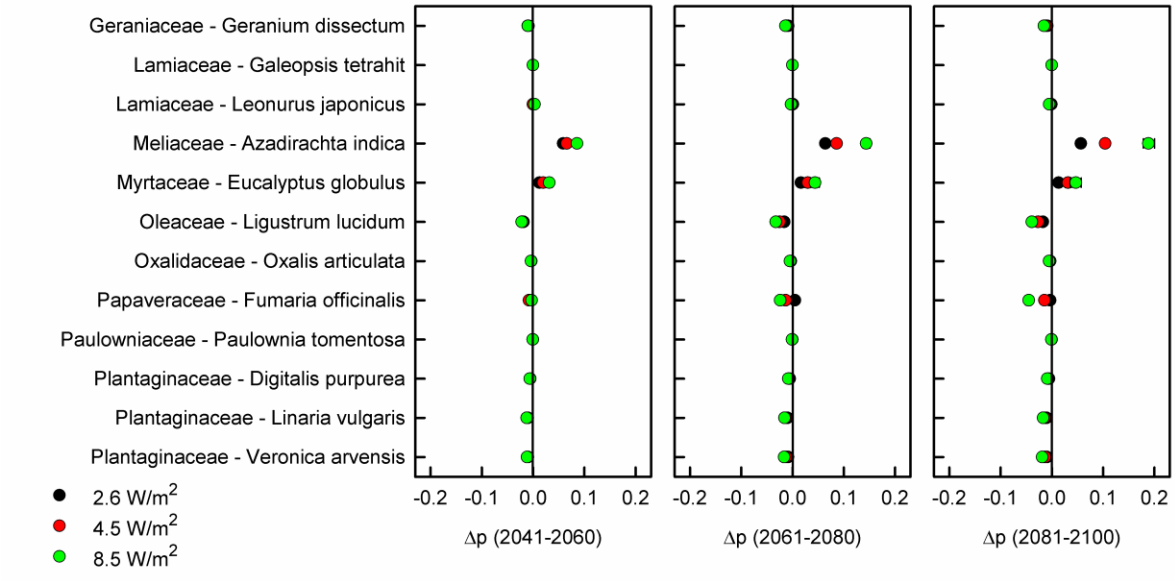
Especies provenientes de climas templados (parte 1)



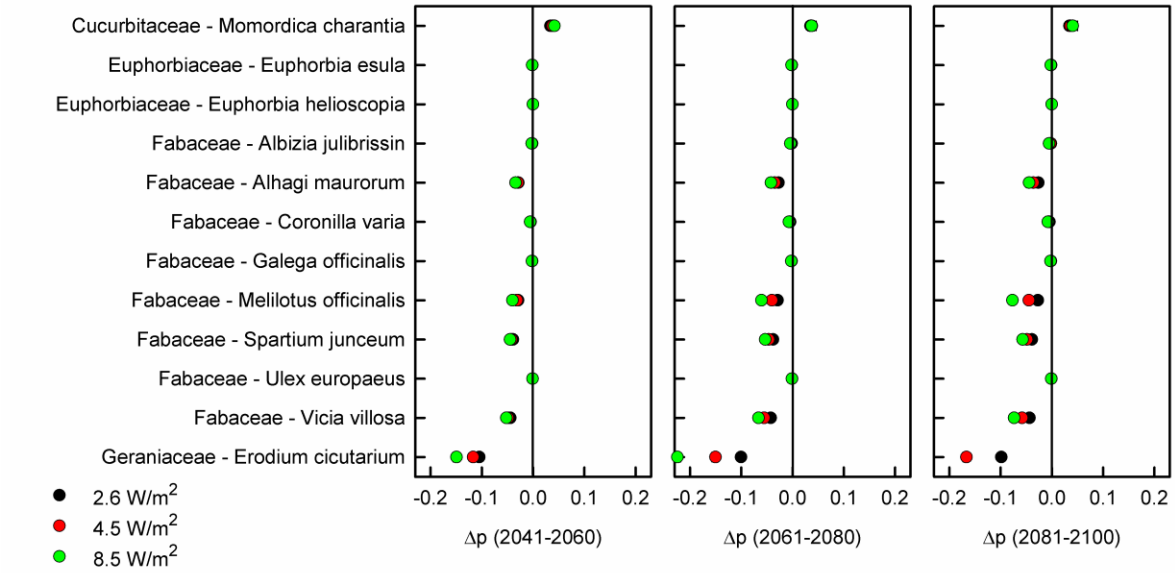
Especies provenientes de climas templados (parte 2)



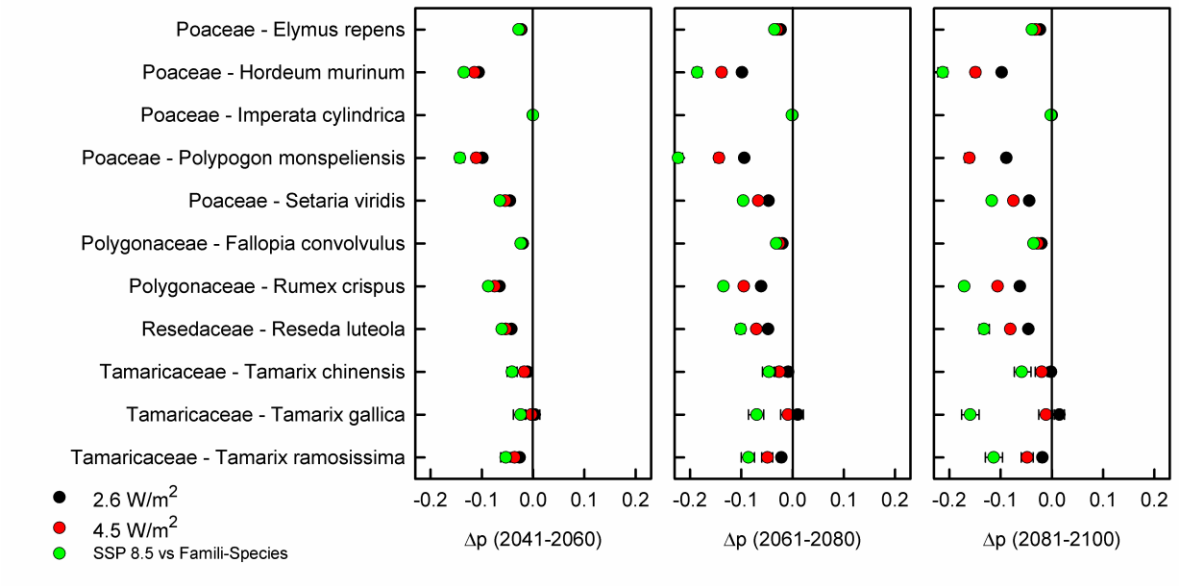
Especies provenientes de climas templados (parte 3)



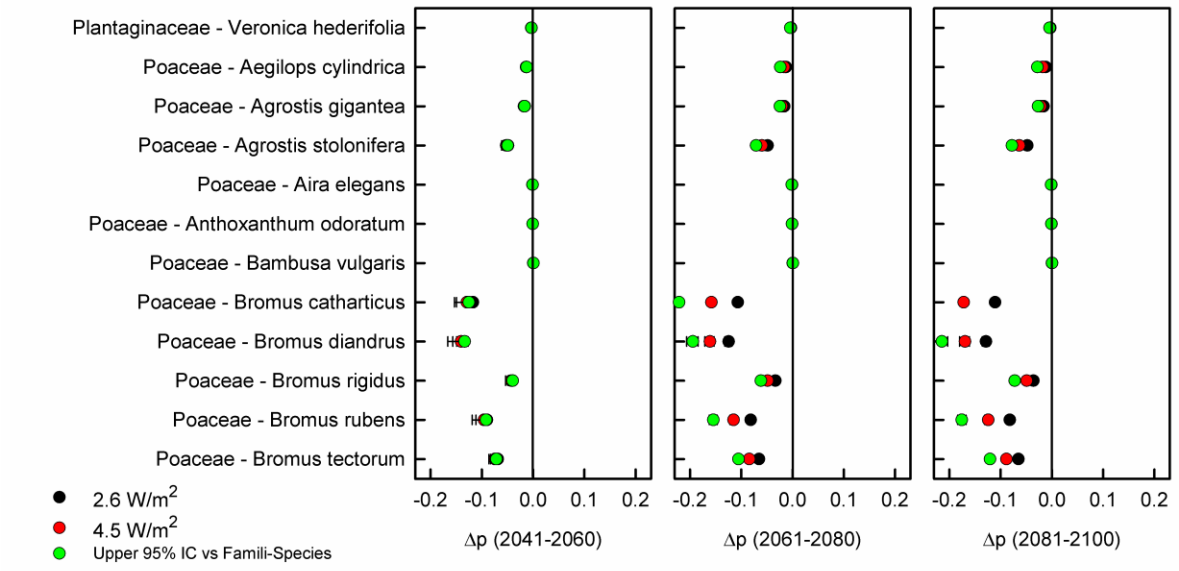
Especies provenientes de climas templados (parte 4)



Especies provenientes de climas templados (parte 5)



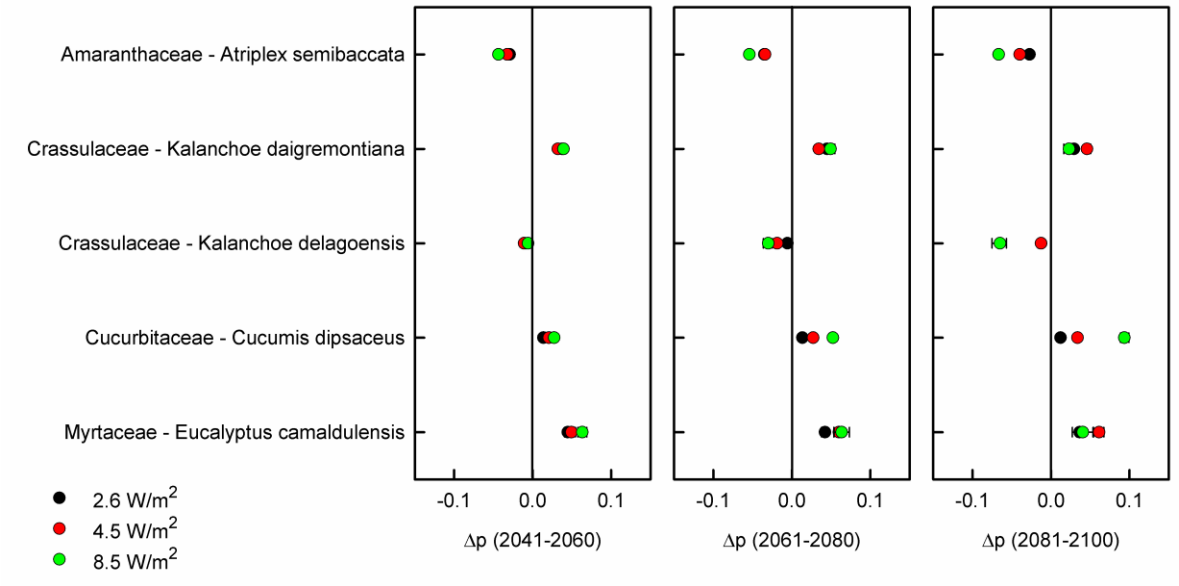
Especies provenientes de climas templados (parte 6)



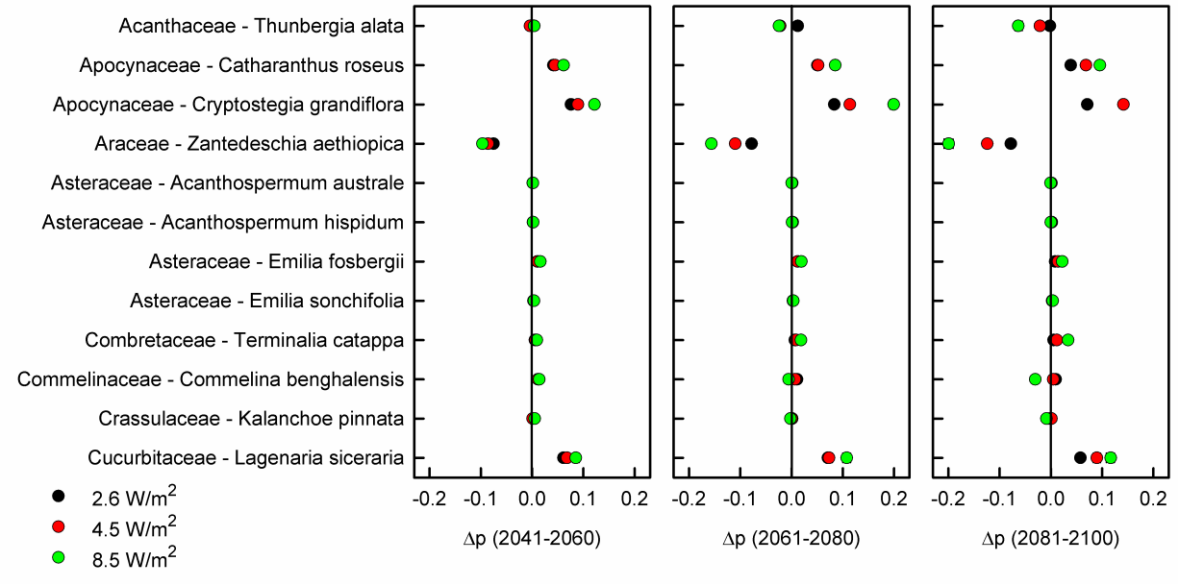
Apéndice D

Promedio (± 95% IC) de diferencias entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales (Δp), estimadas con MDBC, para las plantas exóticas invasoras dentro de la ecorregión de las Elevaciones Semiáridas Meridionales. En estas figuras, las especies se agrupan en función del tipo de clima del cual provienen y, en algunos casos, la figura se divide en diferentes partes para cubrir todas las especies. La línea negra al interior de cada figura indica $\Delta p = 0$, asumiéndose cambios significativos entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales cuando el intervalo 95% IC de los promedios Δp de cada especie no contiene ese valor.

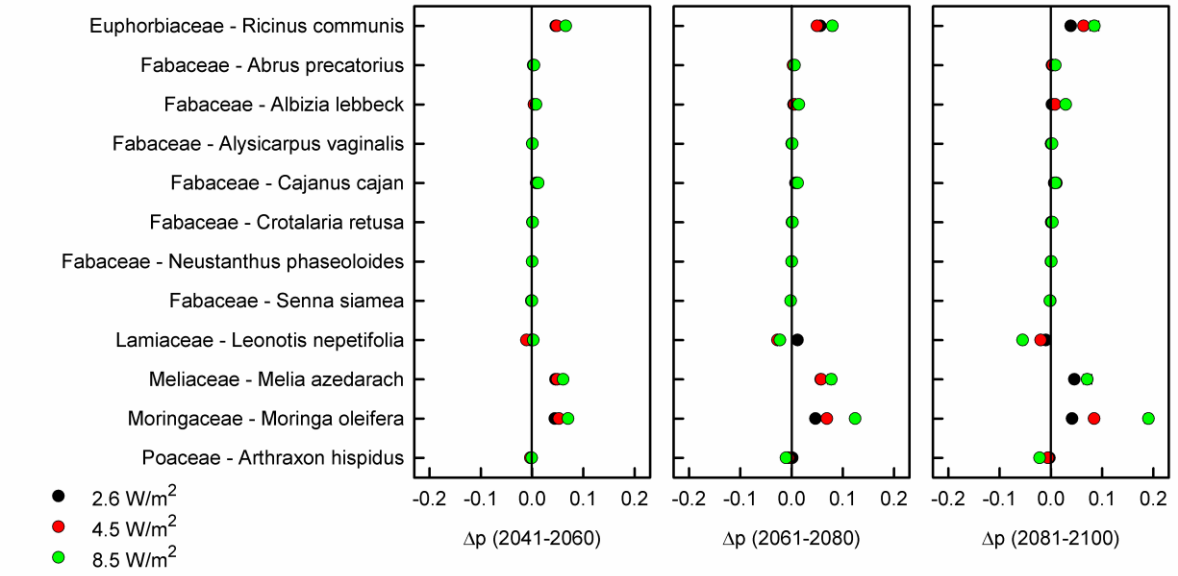
Especies provenientes de climas áridos-semiáridos



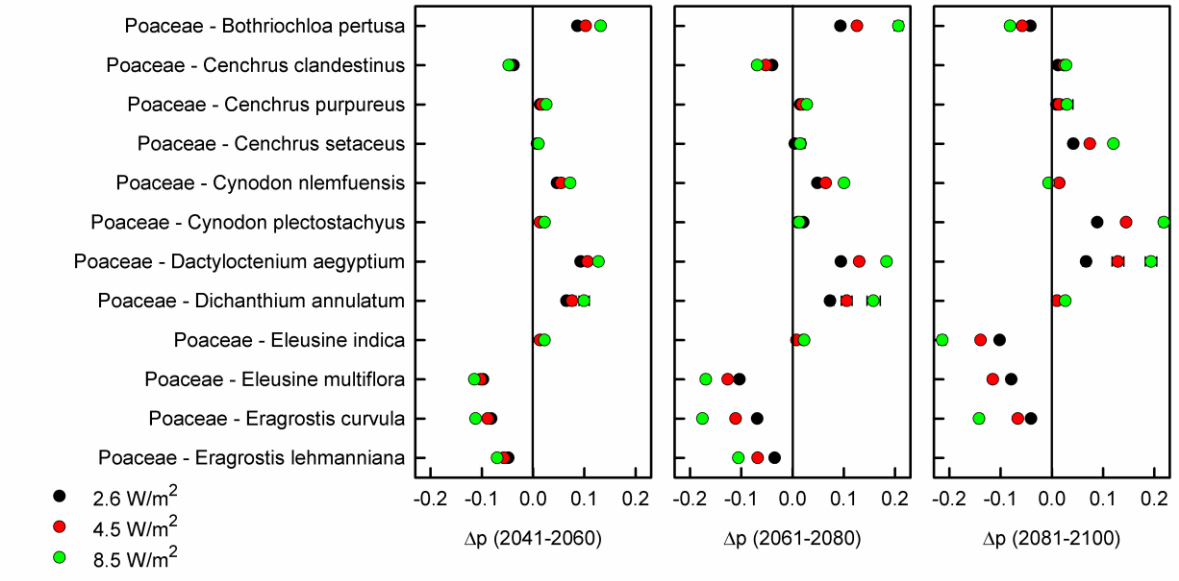
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 1)



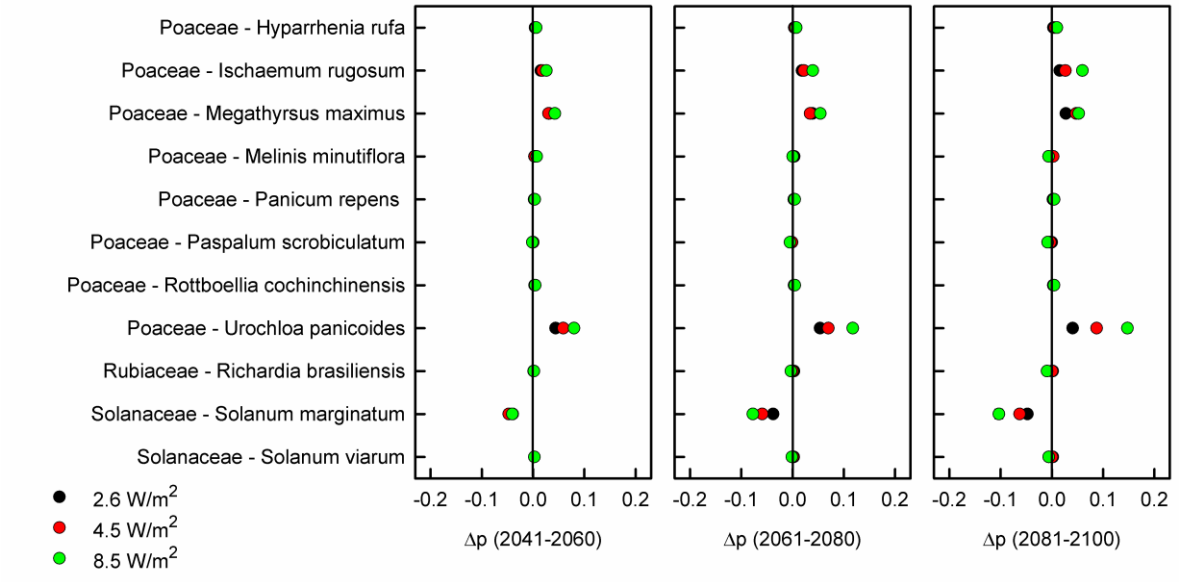
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 2)



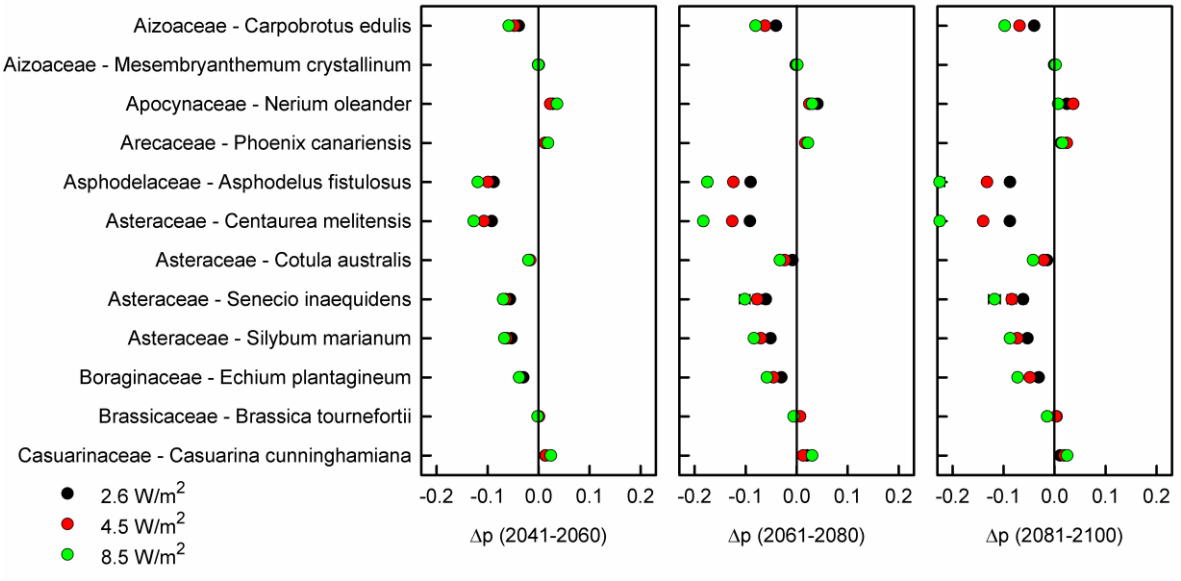
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 3)



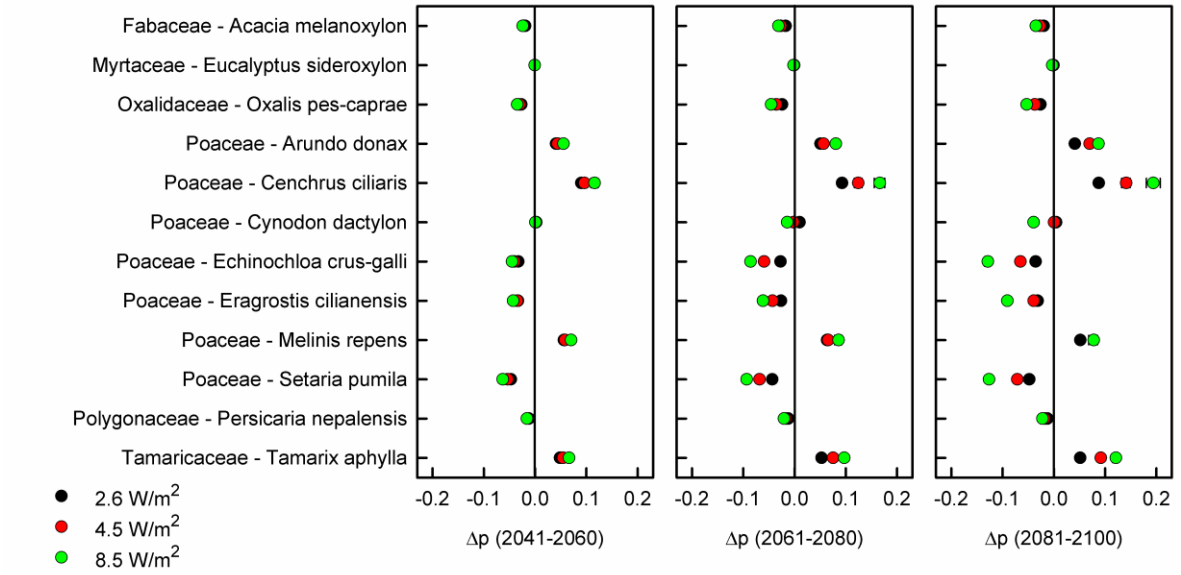
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 4)



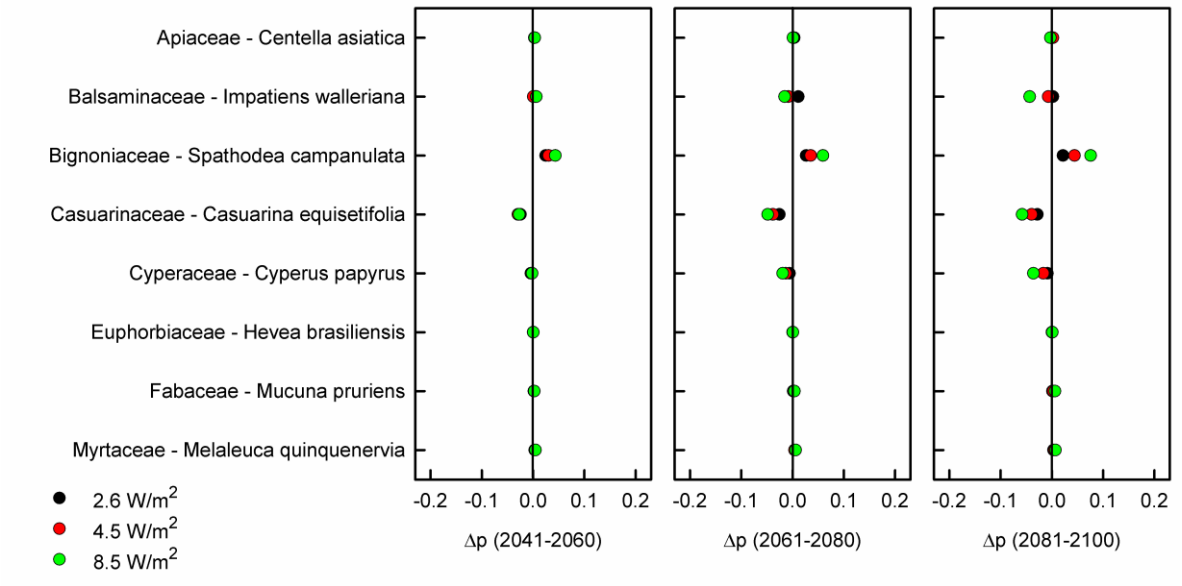
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 1)



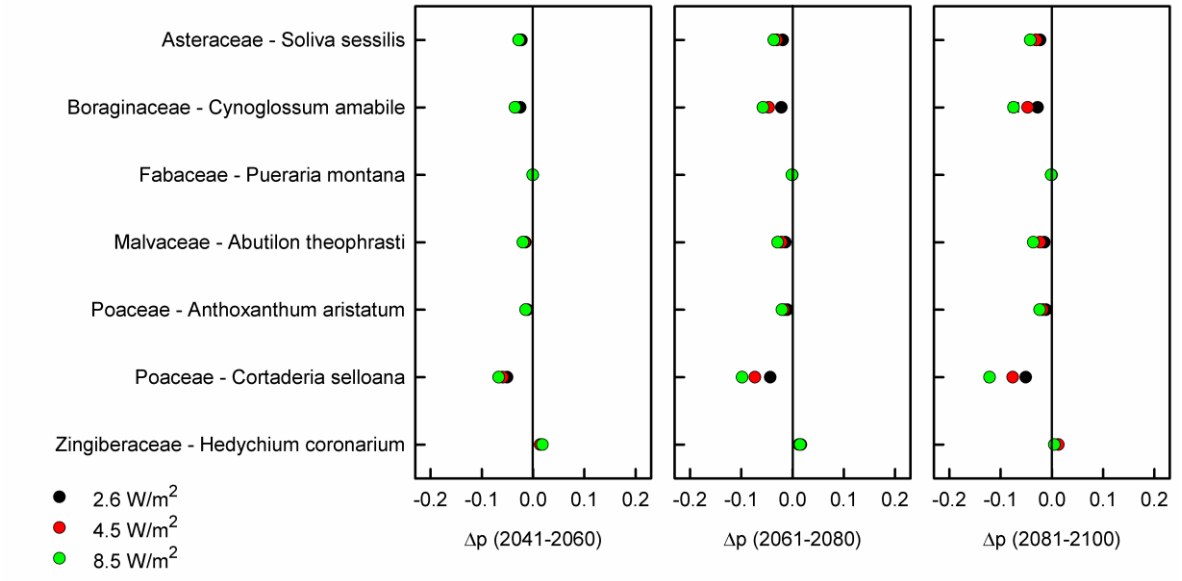
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 2)



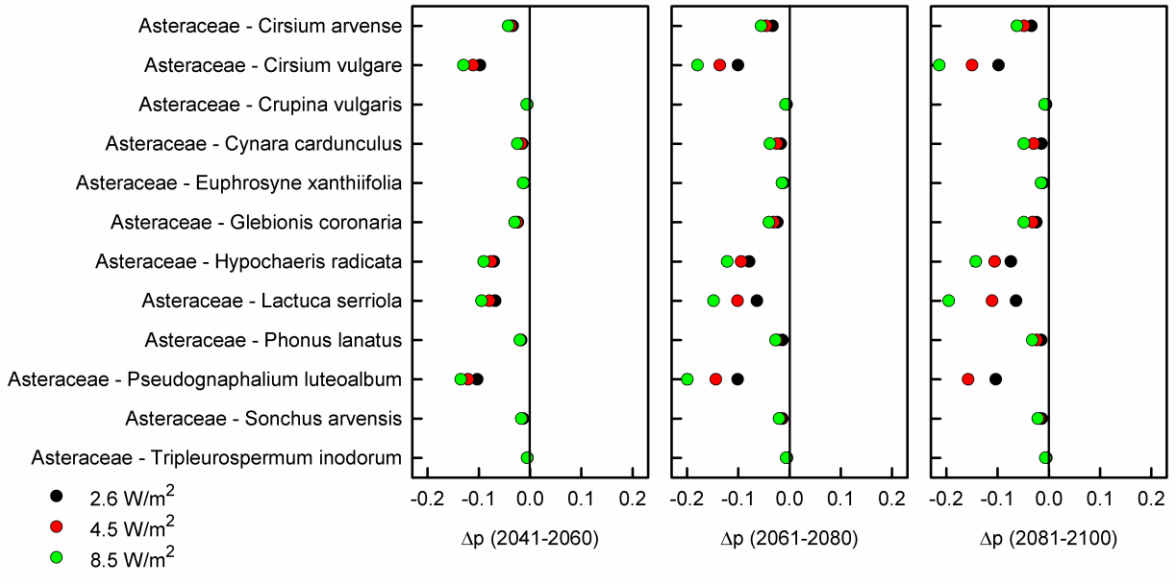
Especies provenientes de climas tropicales húmedos



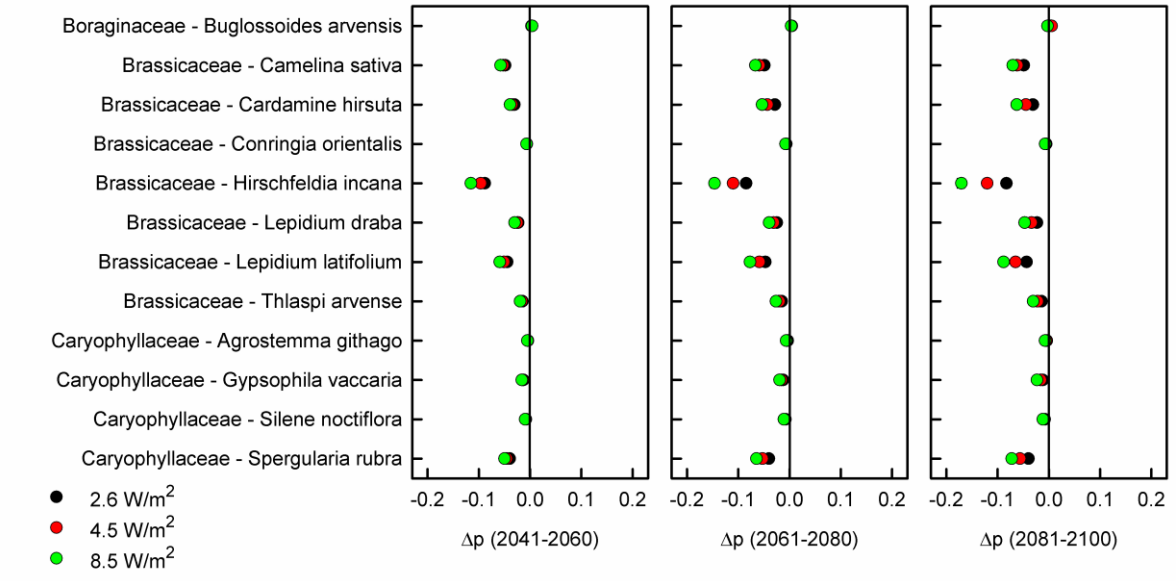
Especies provenientes de climas subtropicales húmedos



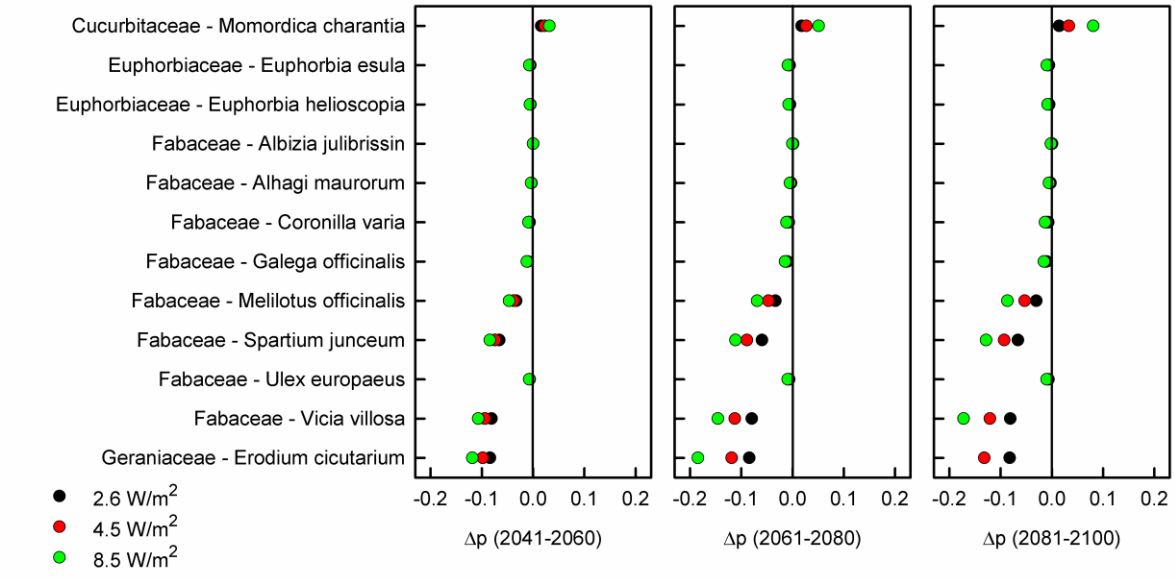
Especies provenientes de climas templados (parte 1)



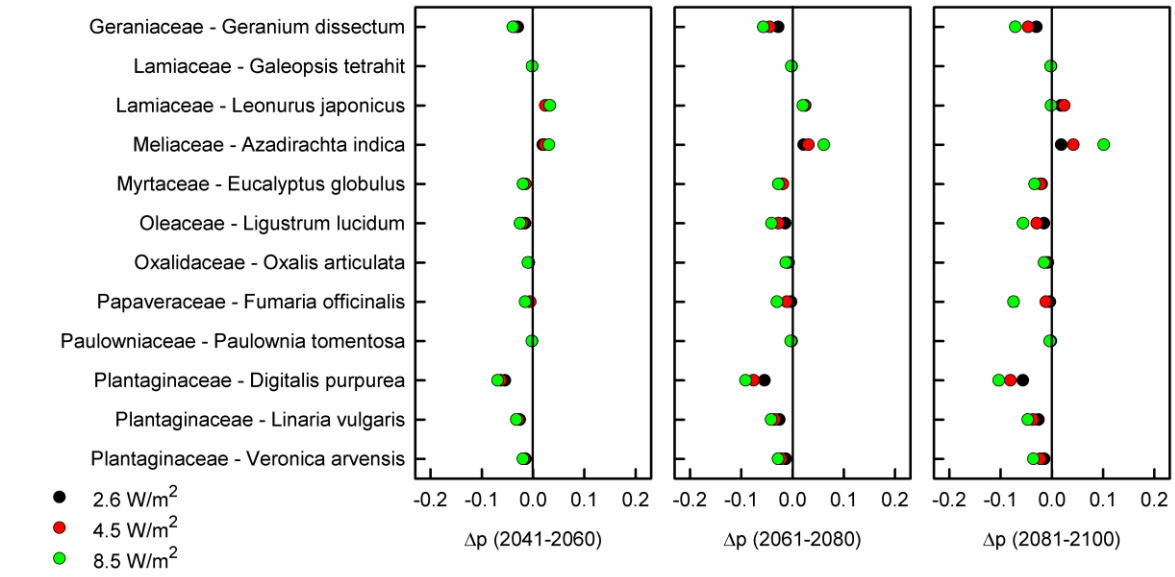
Especies provenientes de climas templados (parte 2)



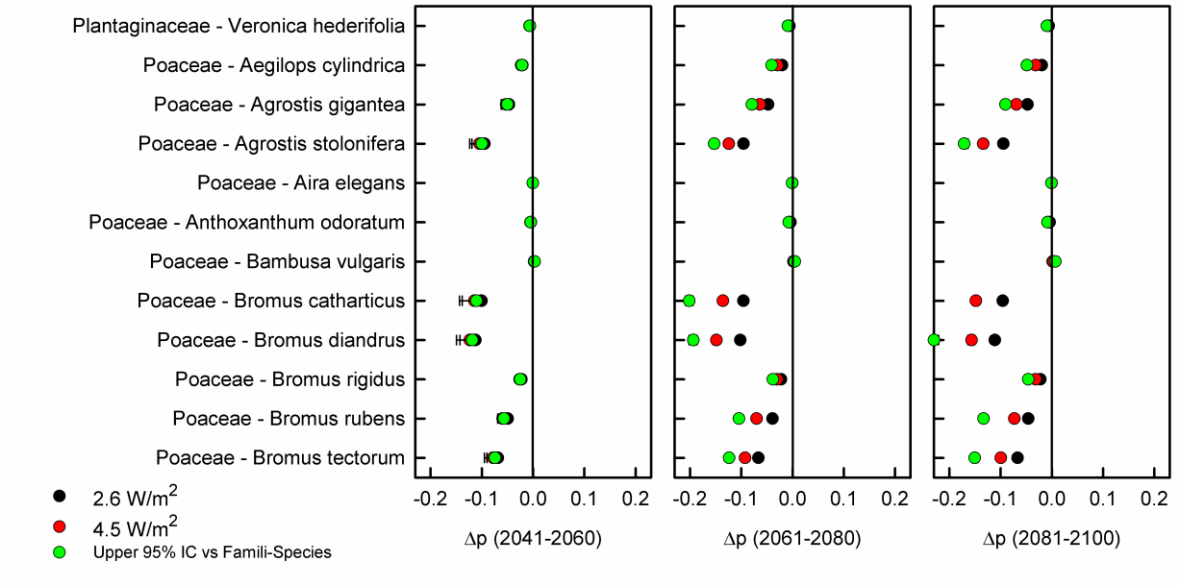
Especies provenientes de climas templados (parte 3)



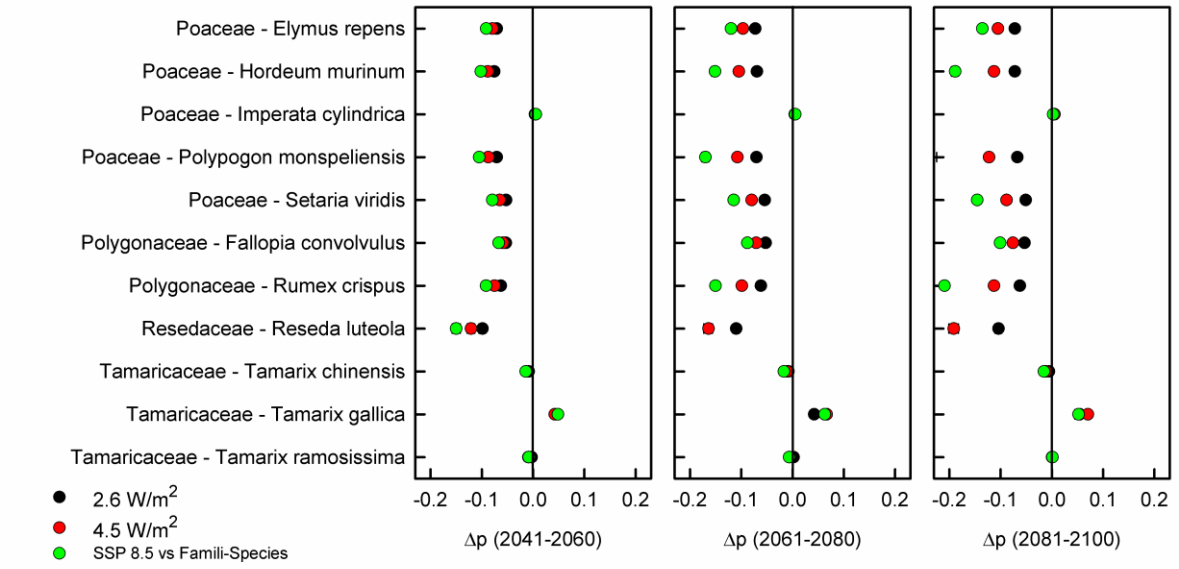
Especies provenientes de climas templados (parte 4)



Especies provenientes de climas templados (parte 5)



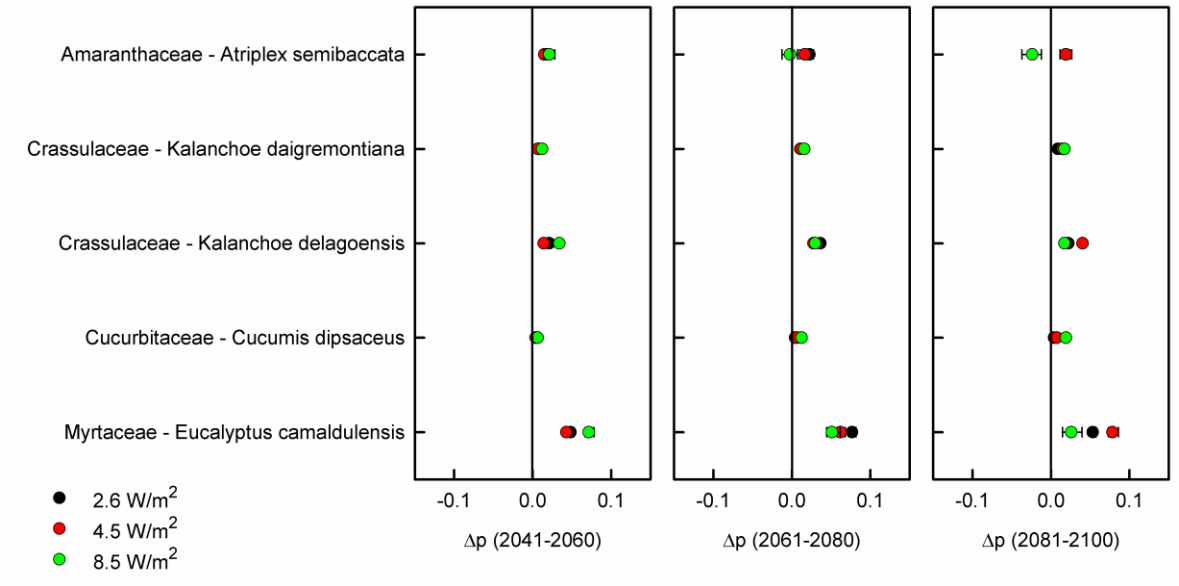
Especies provenientes de climas templados (parte 6)



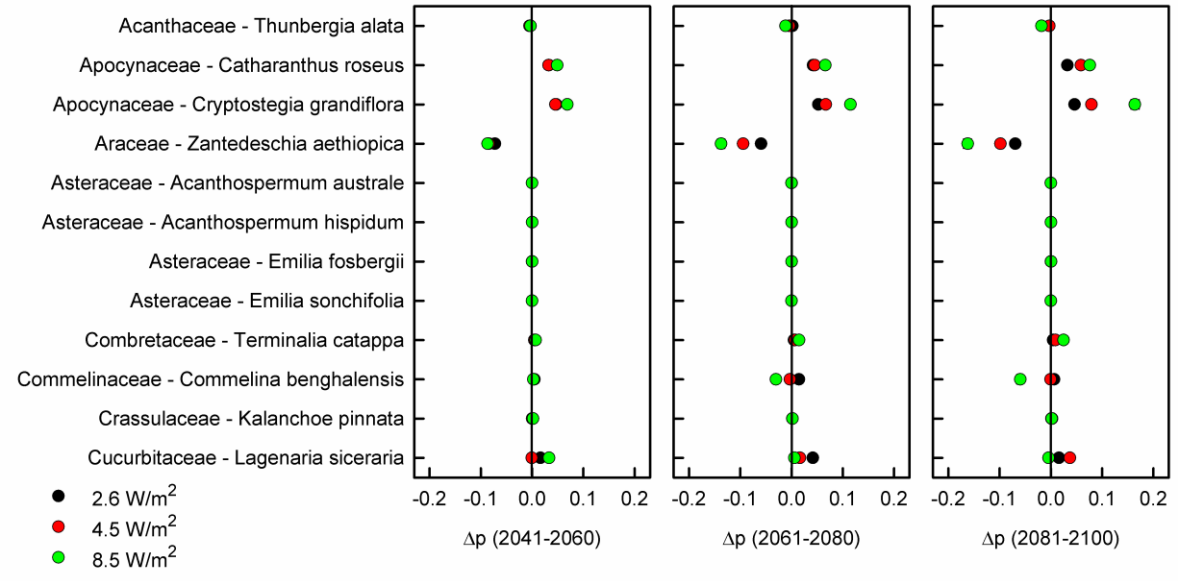
Apéndice E

Promedio (± 95% IC) de diferencias entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales (Δp), estimadas con MDBC, para las plantas exóticas invasoras dentro de la ecorregión de las California Mediterránea. En estas figuras, las especies se agrupan en función del tipo de clima del cual provienen y, en algunos casos, la figura se divide en diferentes partes para cubrir todas las especies. La línea negra al interior de cada figura indica $\Delta p = 0$, asumiéndose cambios significativos entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales cuando el intervalo 95% IC de los promedios Δp de cada especie no contiene ese valor.

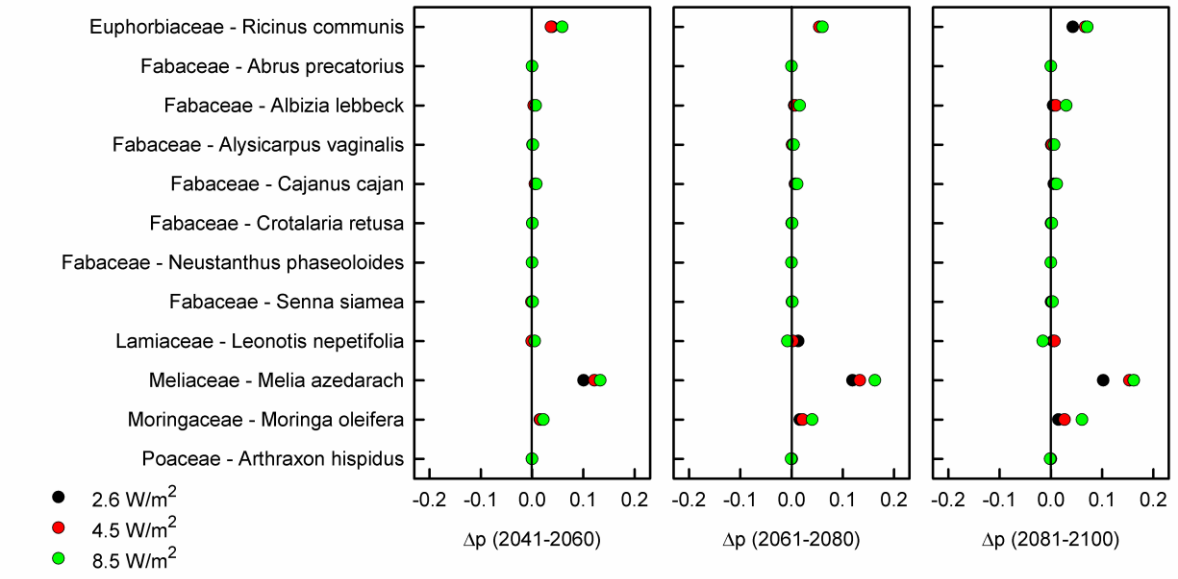
Especies provenientes de climas áridos-semiáridos



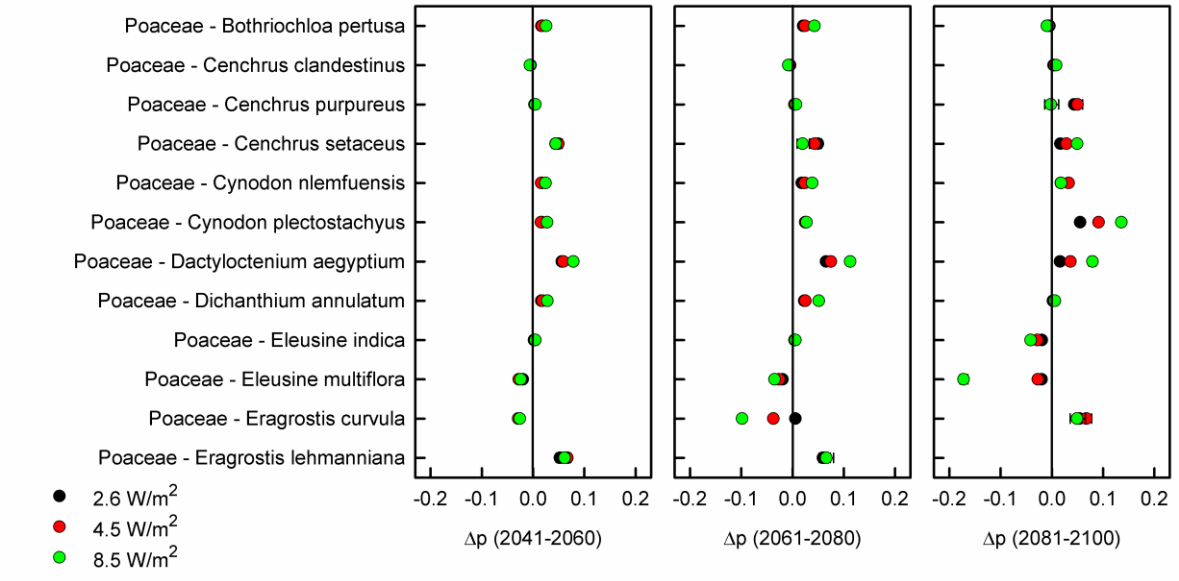
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 1)



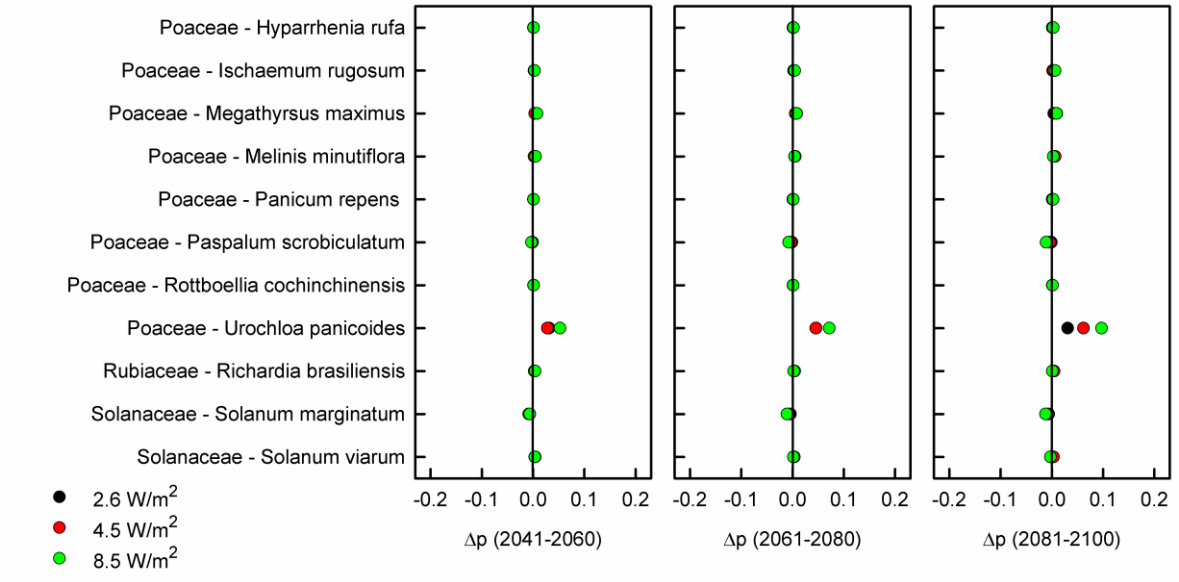
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 2)



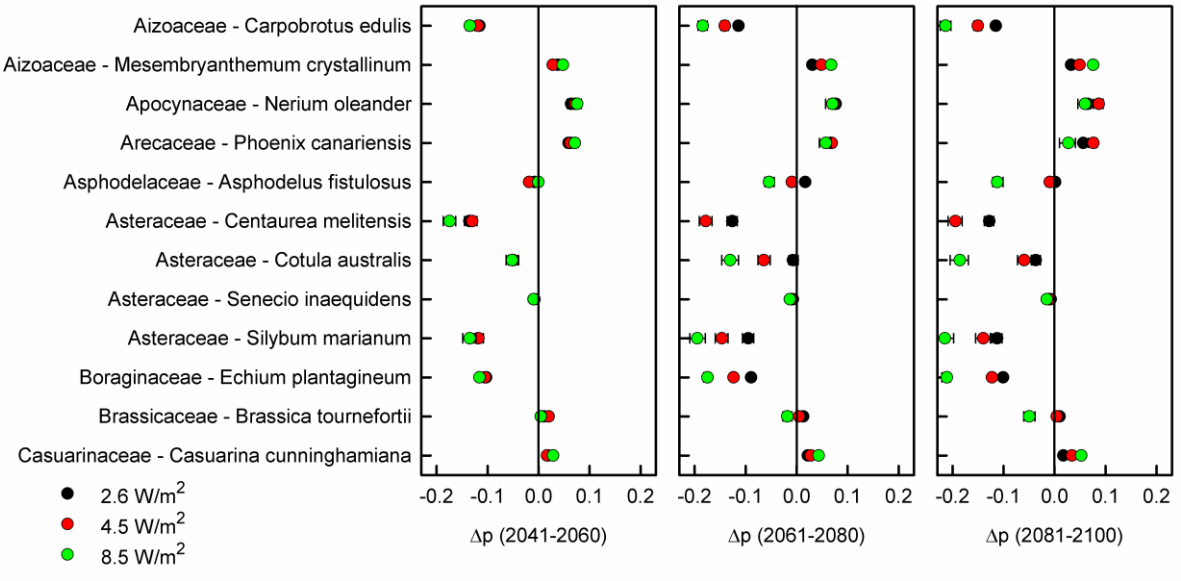
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 3)



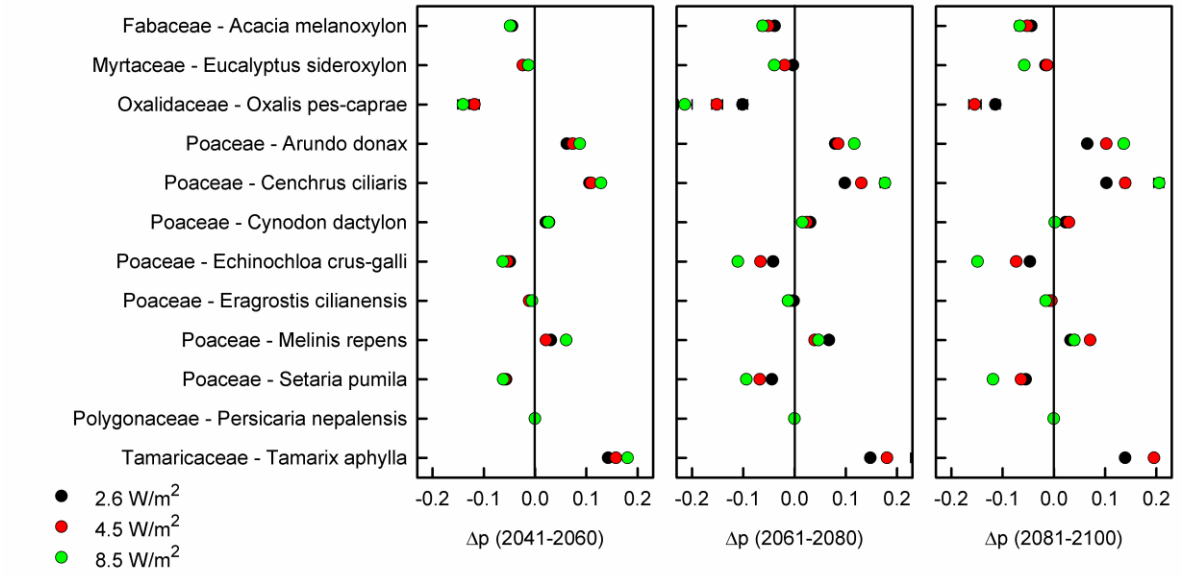
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 4)



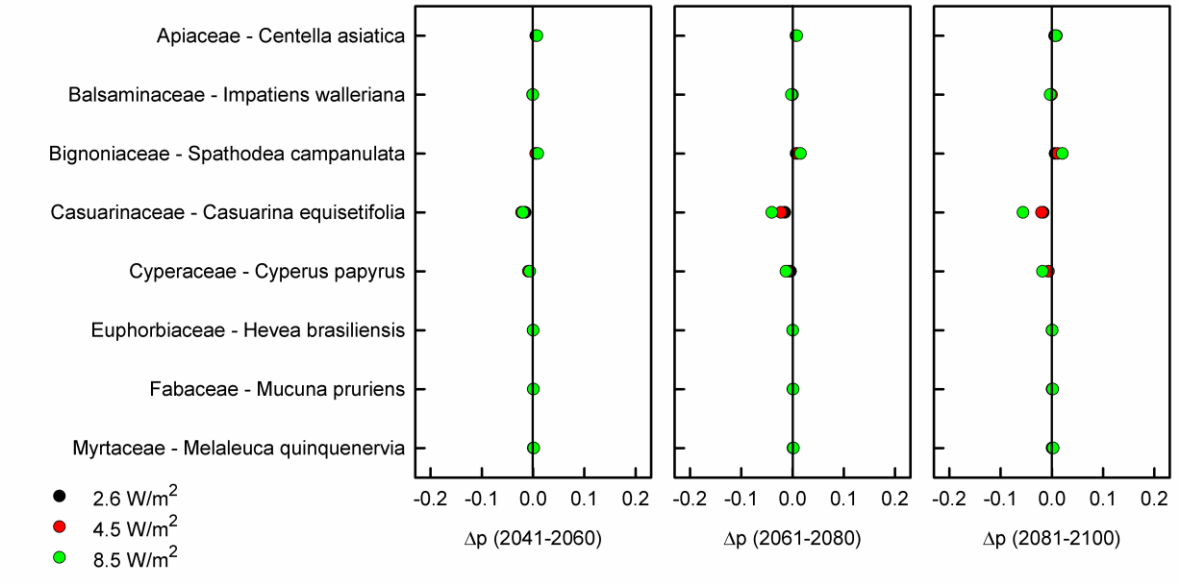
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 1)



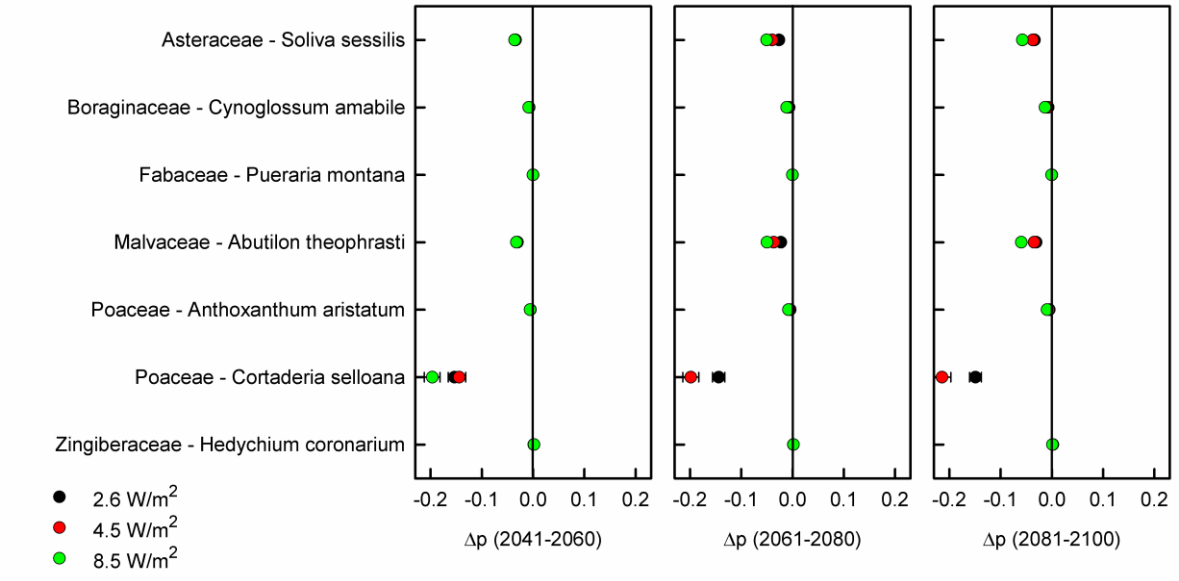
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 2)



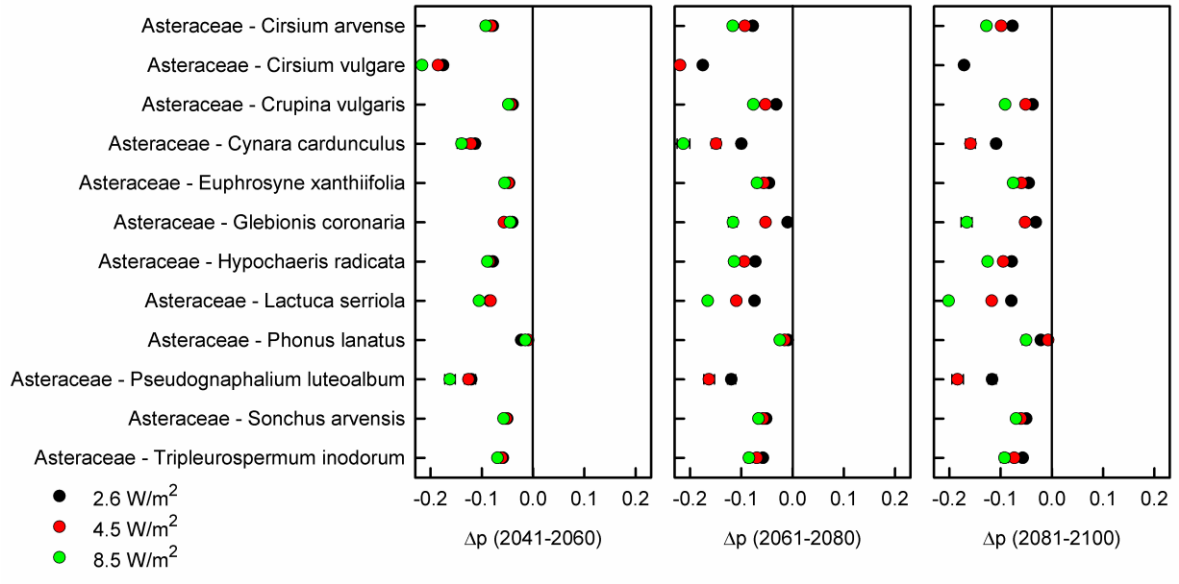
Especies provenientes de climas tropicales húmedos



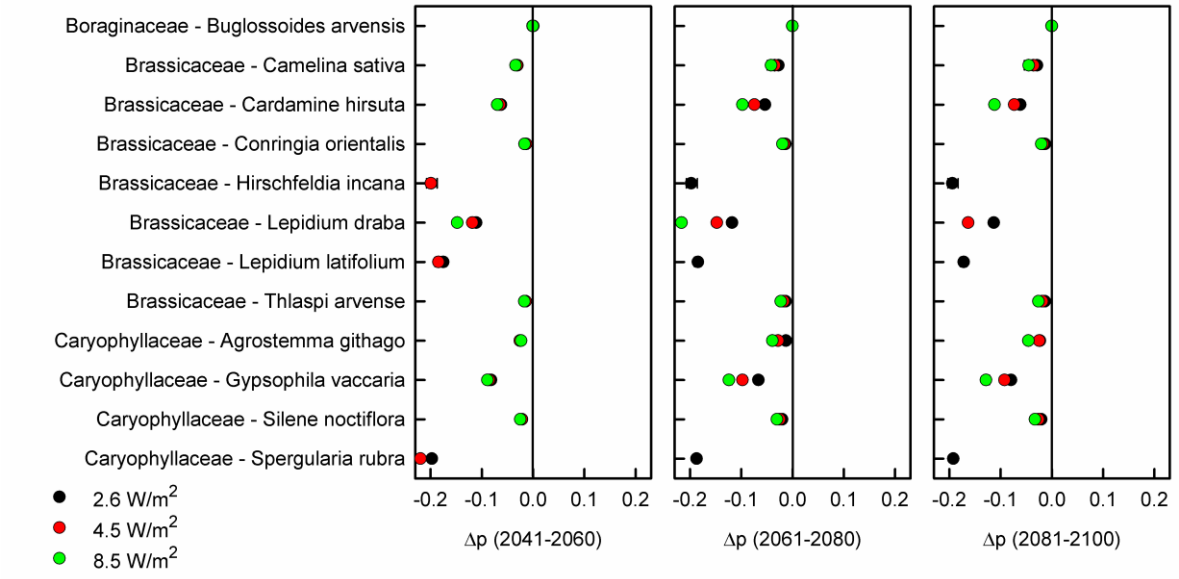
Especies provenientes de climas subtropicales húmedos



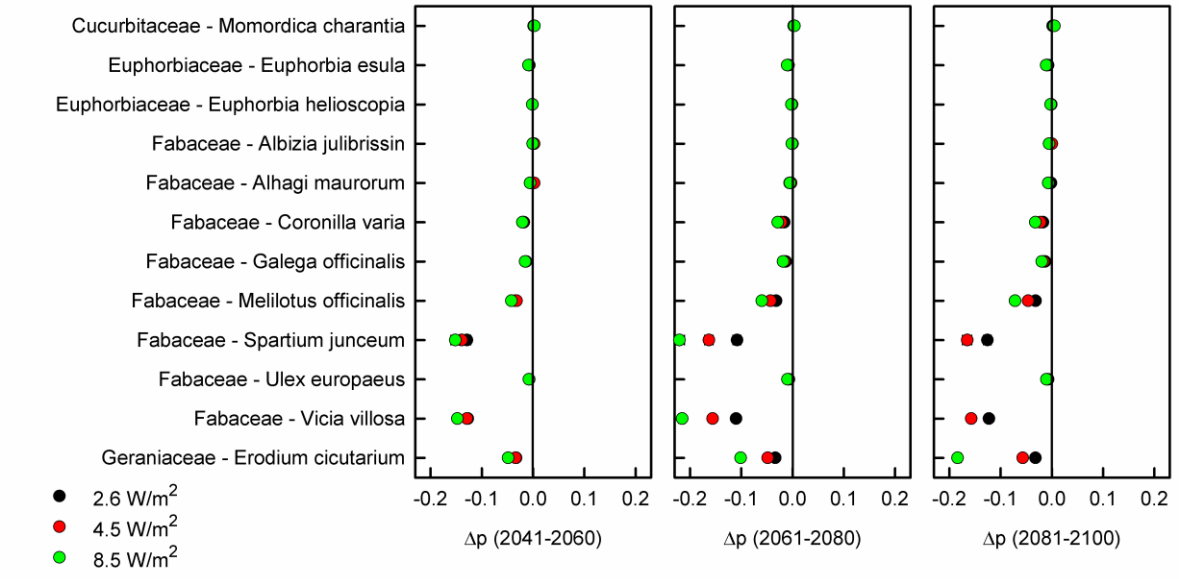
Especies provenientes de climas templados (parte 1)



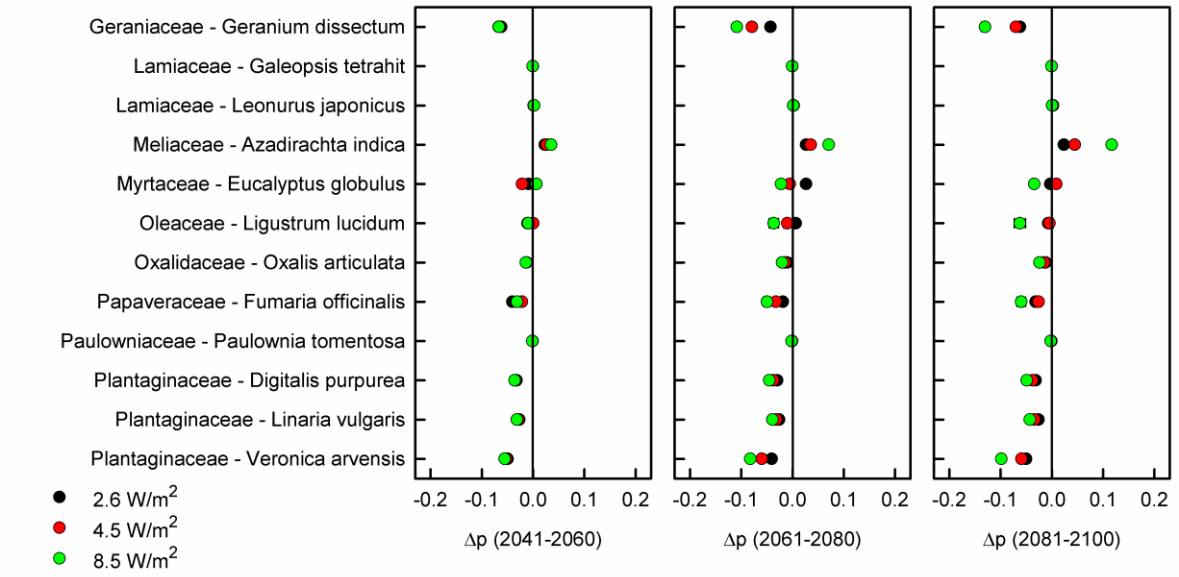
Especies provenientes de climas templados (parte 2)



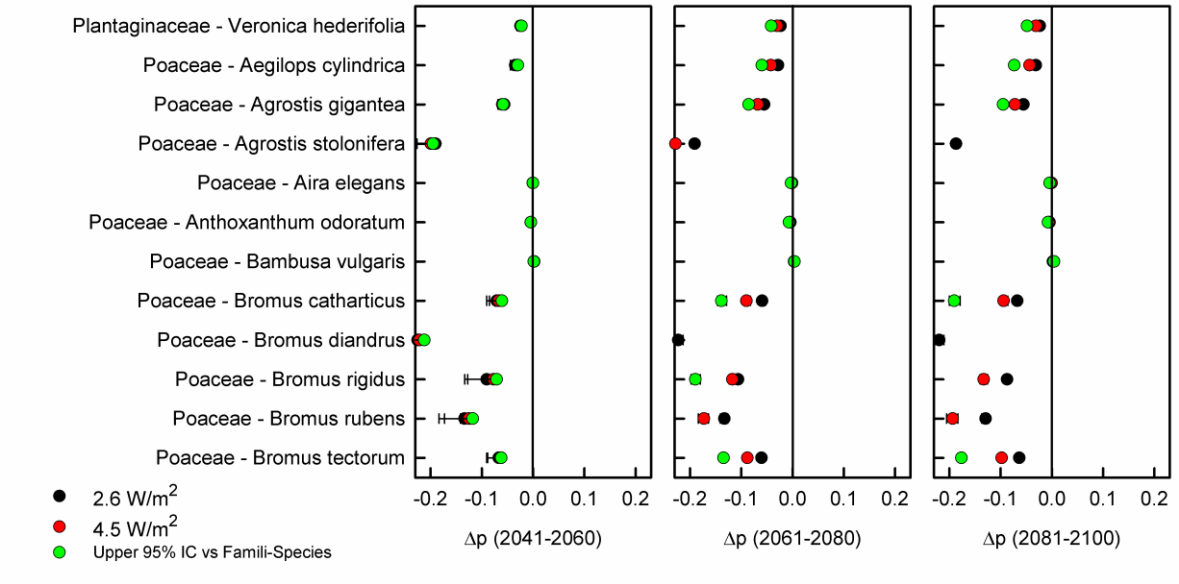
Especies provenientes de climas templados (parte 3)



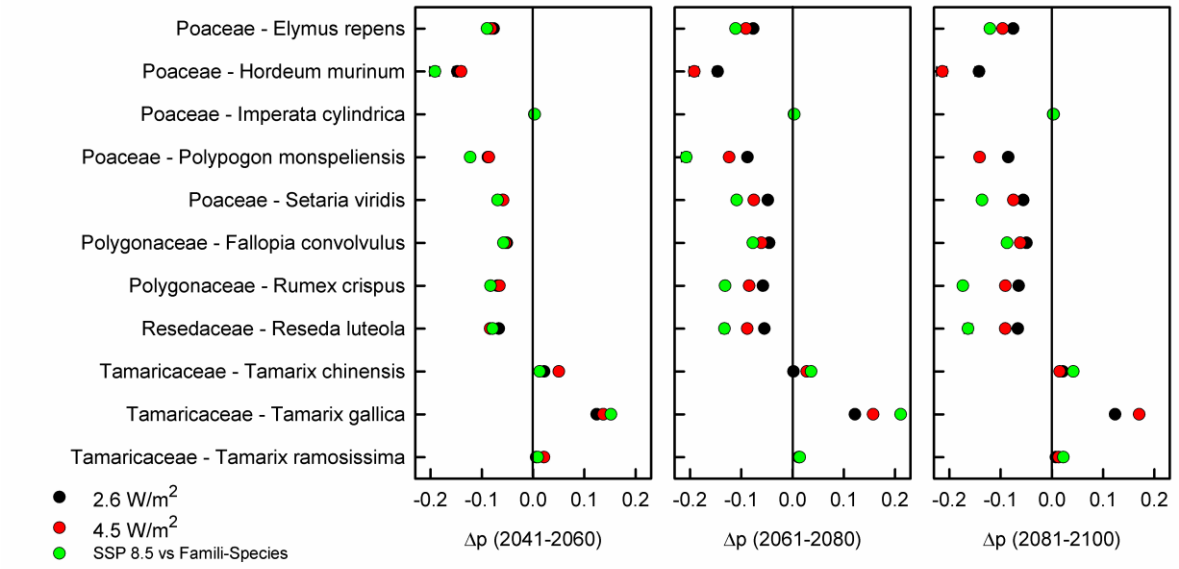
Especies provenientes de climas templados (parte 4)



Especies provenientes de climas templados (parte 5)



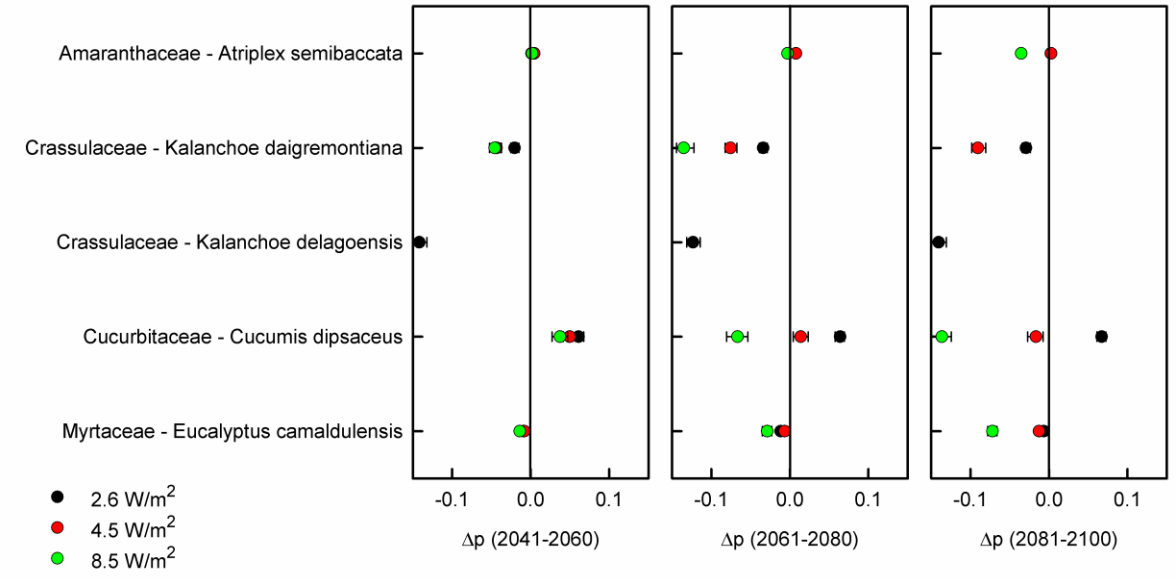
Especies provenientes de climas templados (parte 6)



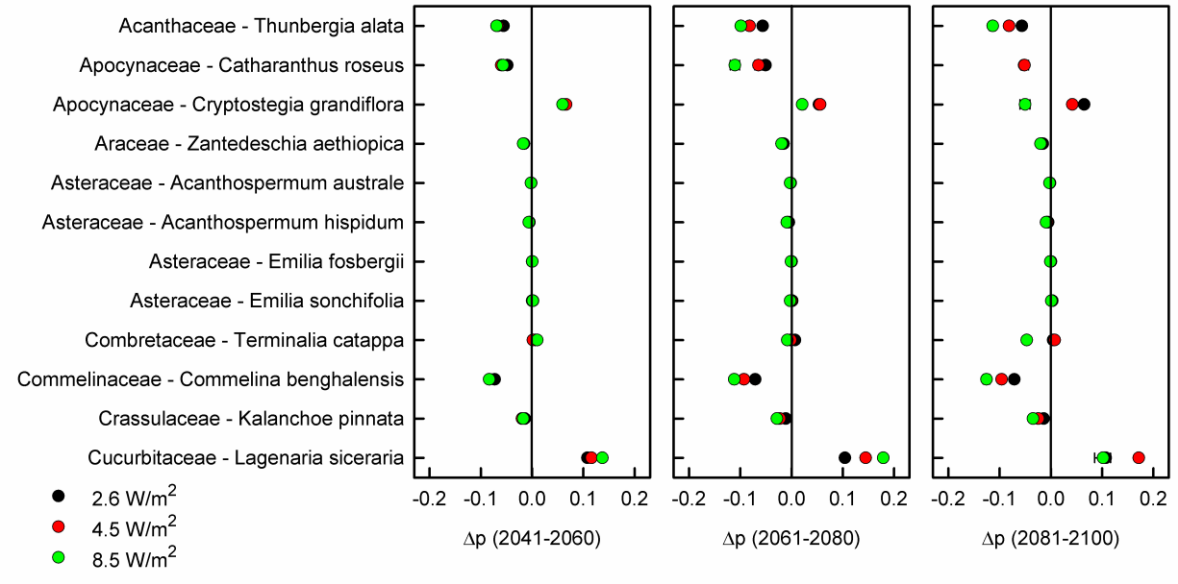
Apéndice F

Promedio (± 95% IC) de diferencias entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales (Δp), estimadas con MDBC, para las plantas exóticas invasoras dentro de la ecorregión de las Grandes Planicies. En estas figuras, las especies se agrupan en función del tipo de clima del cual provienen y, en algunos casos, la figura se divide en diferentes partes para cubrir todas las especies. La línea negra al interior de cada figura indica $\Delta p = 0$, asumiéndose cambios significativos entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales cuando el intervalo 95% IC de los promedios Δp de

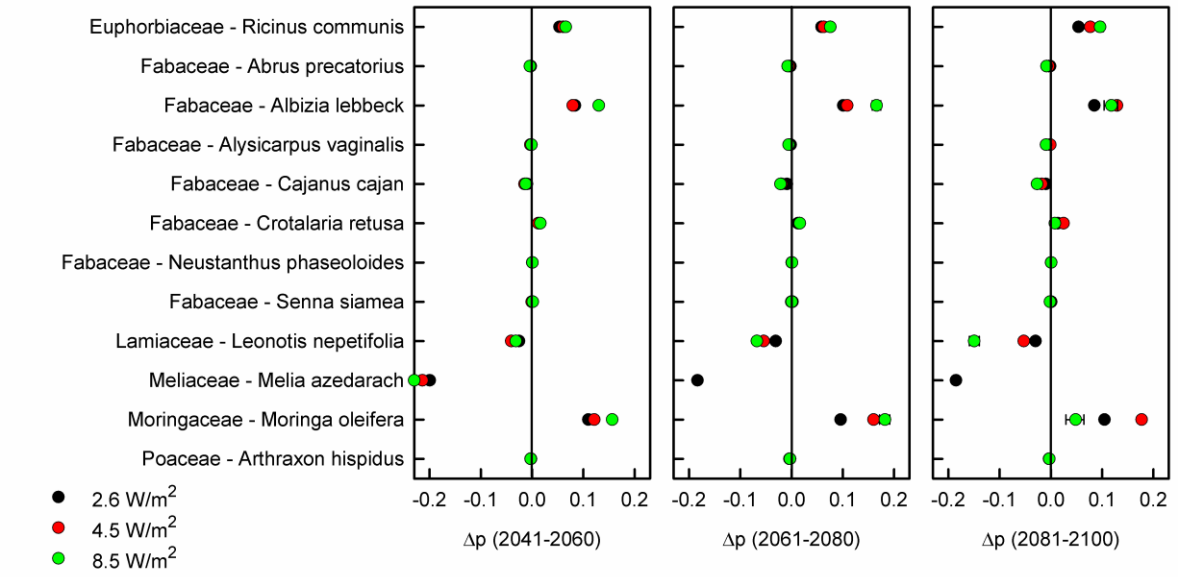
Especies provenientes de climas áridos-semiáridos



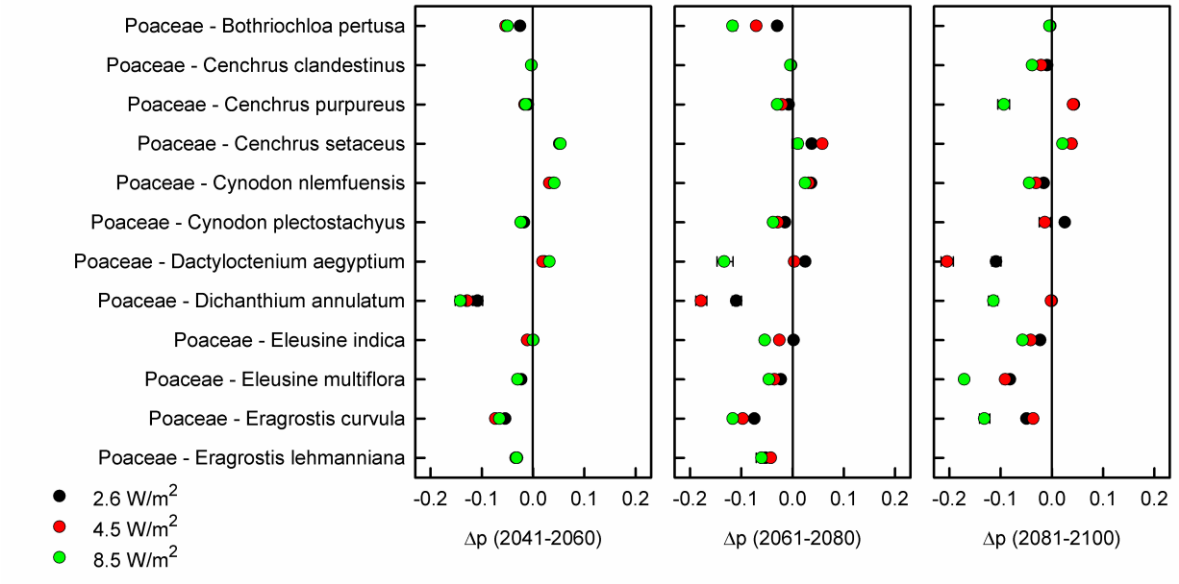
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 1)



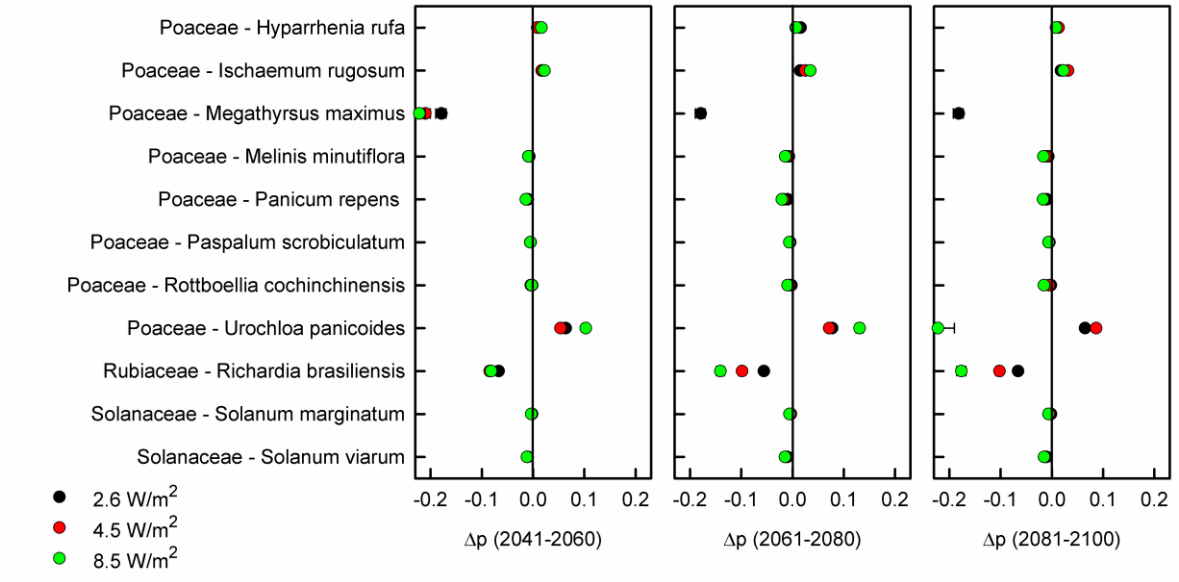
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 2)



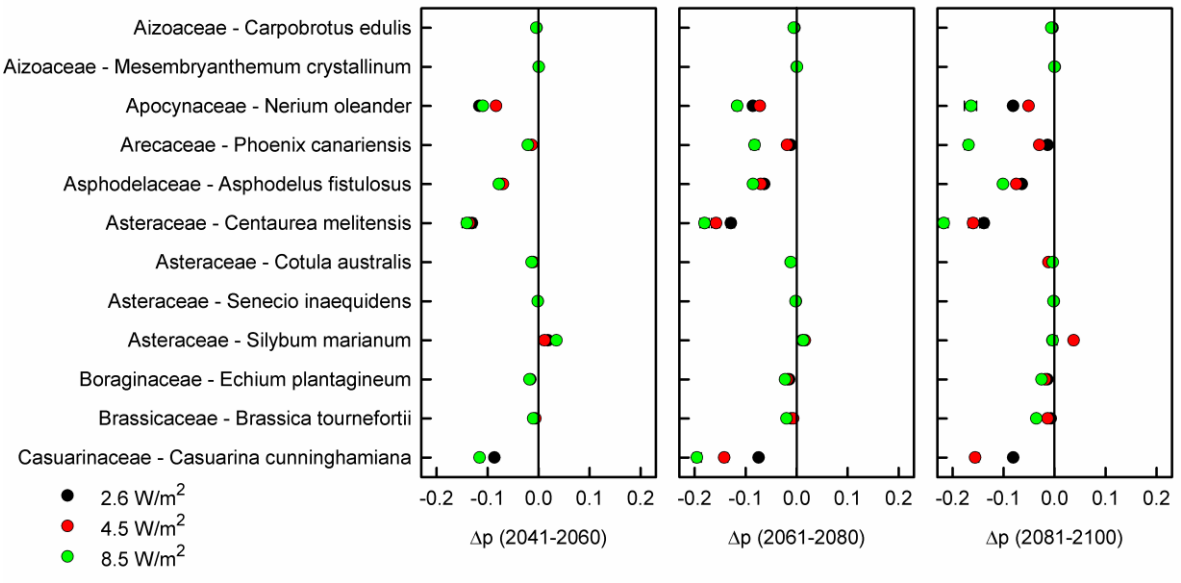
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 3)



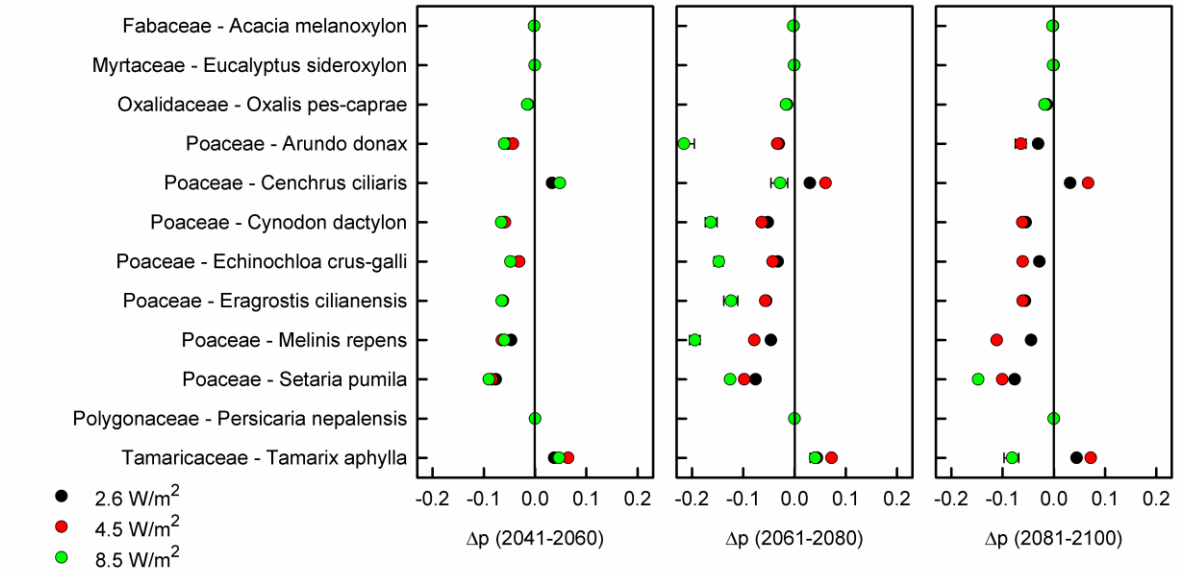
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 4)



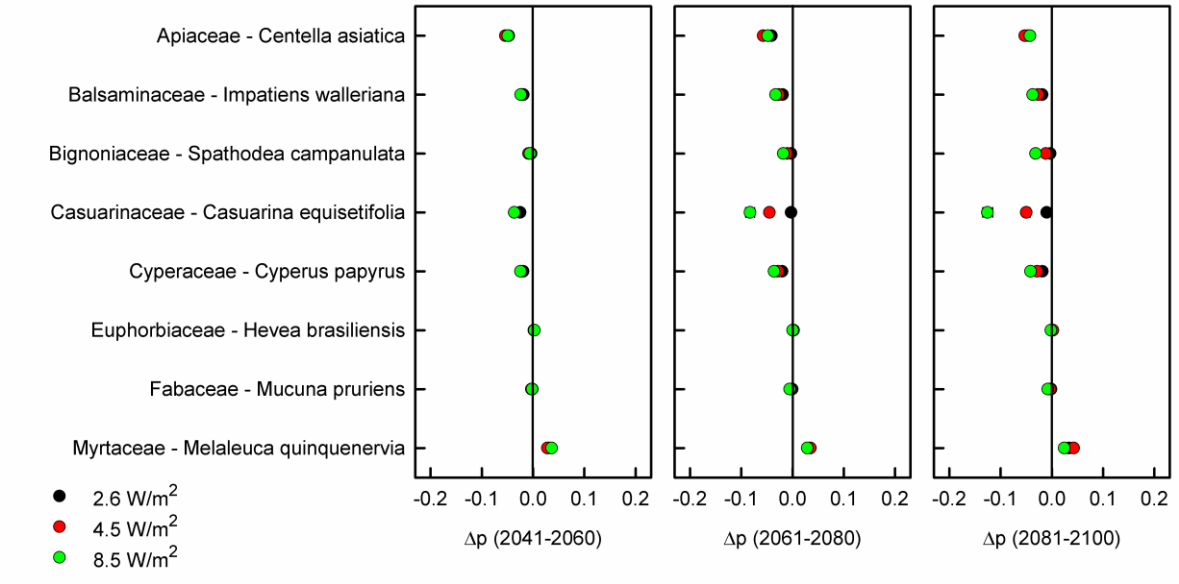
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 1)



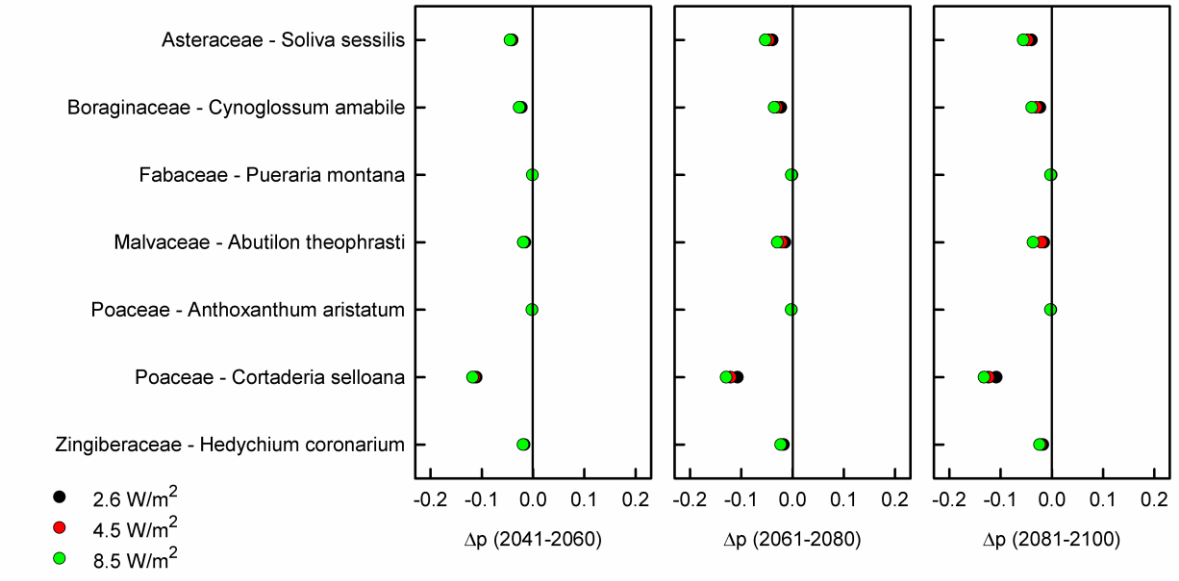
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 2)



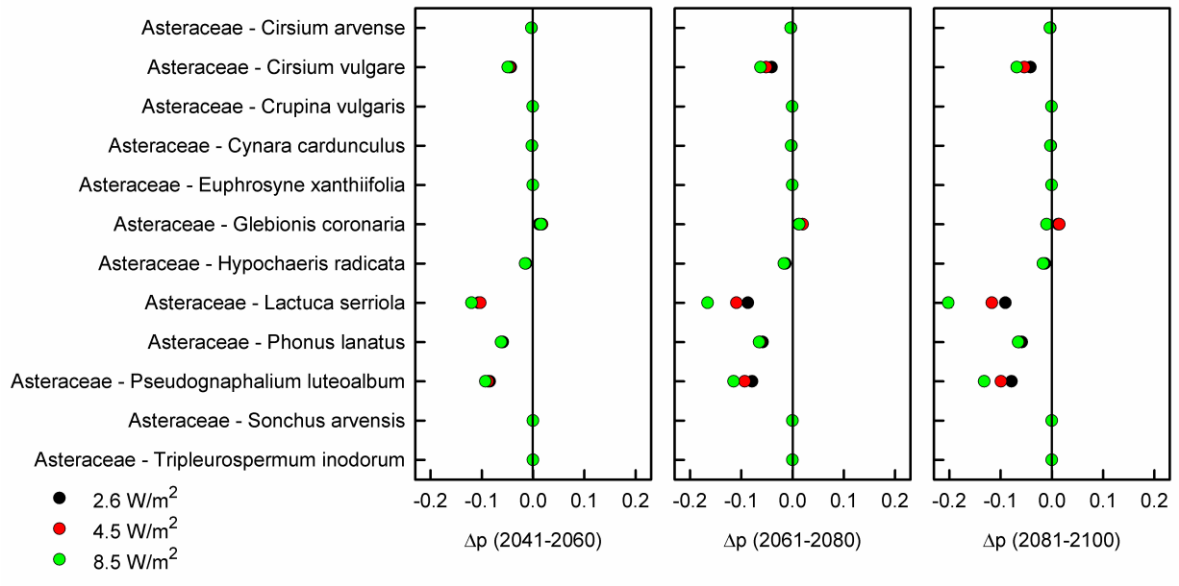
Especies provenientes de climas tropicales húmedos



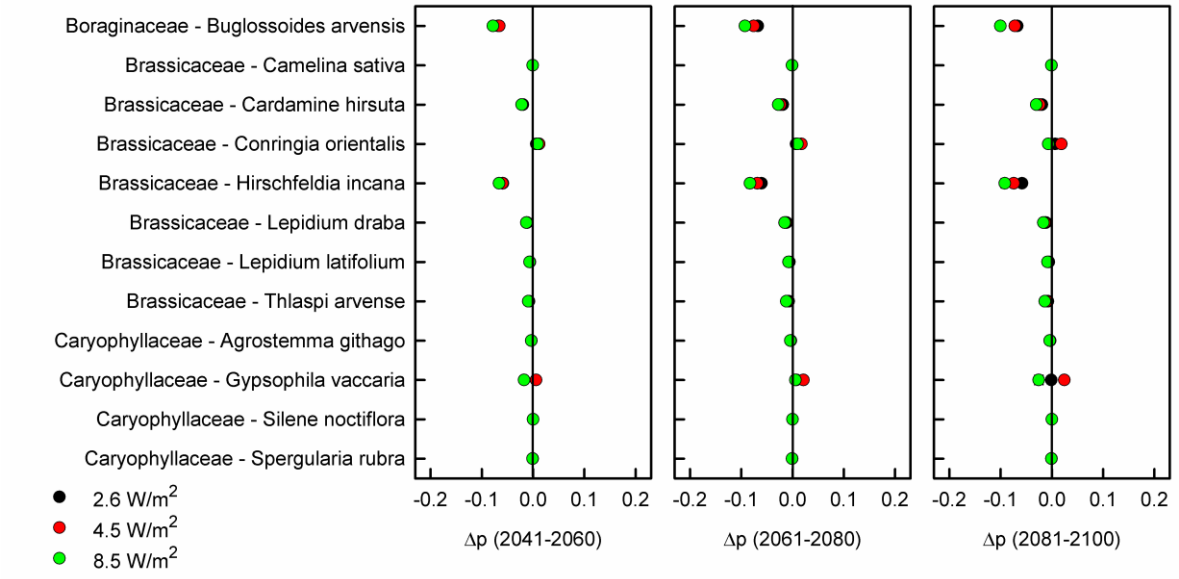
Especies provenientes de climas subtropicales húmedos



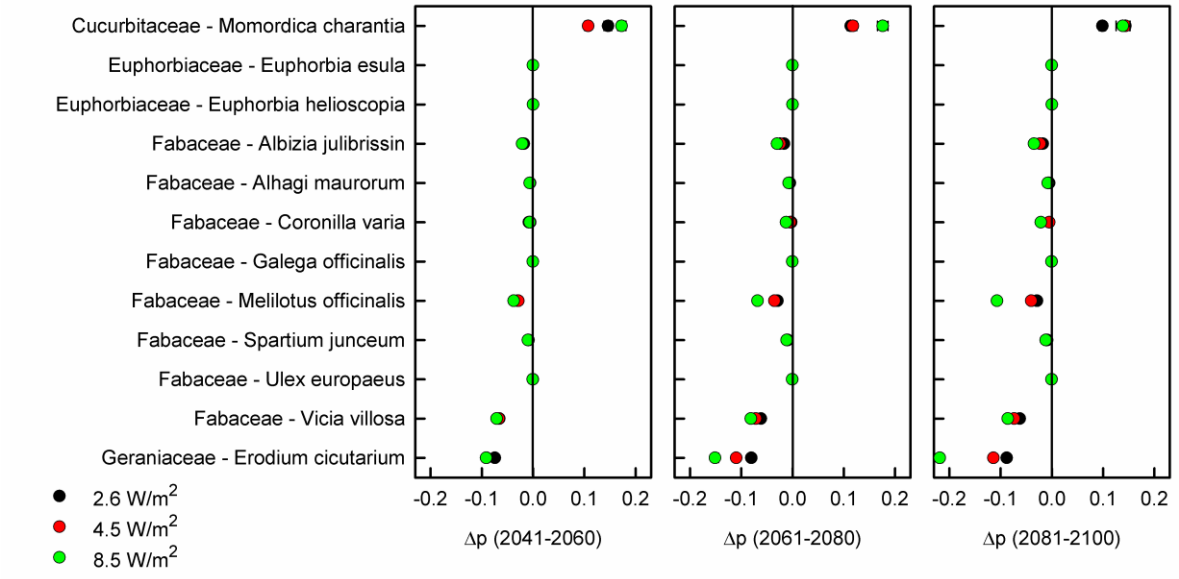
Especies provenientes de climas templados (parte 1)



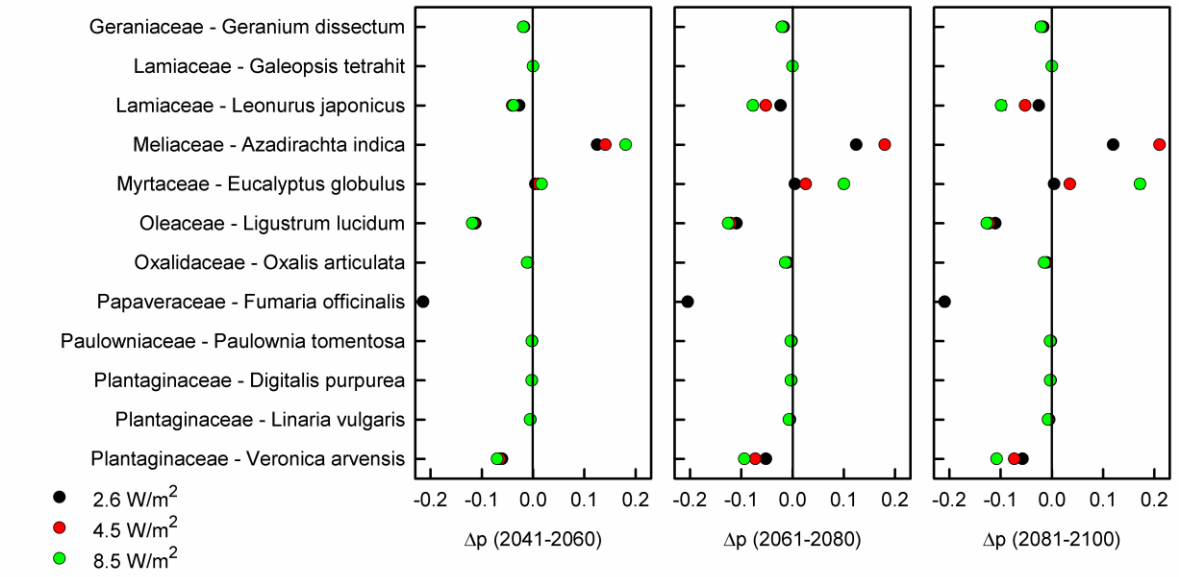
Especies provenientes de climas templados (parte 2)



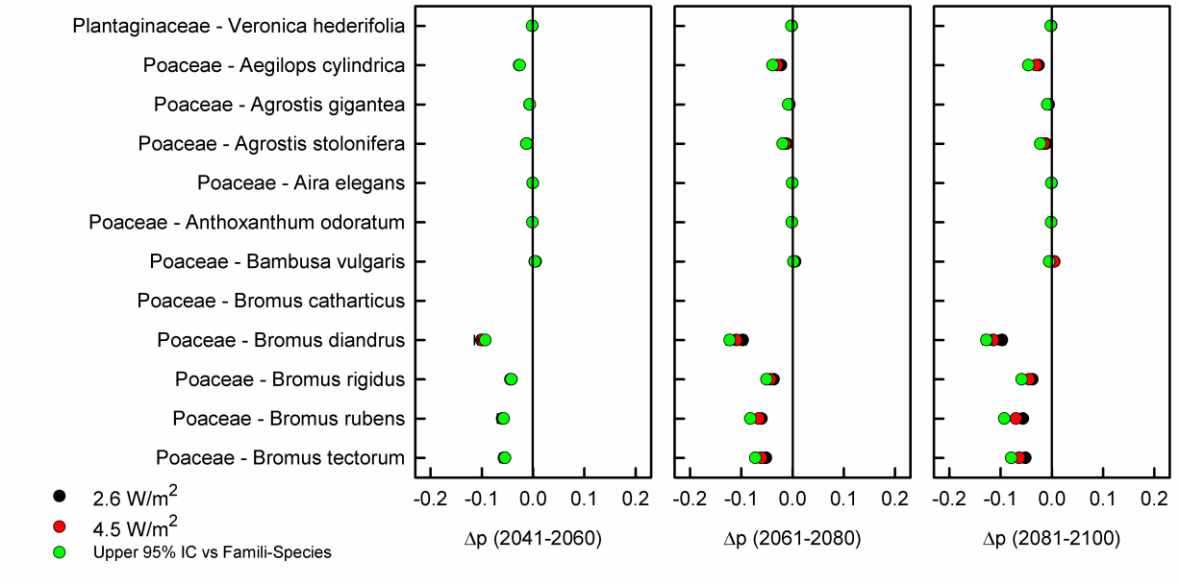
Especies provenientes de climas templados (parte 3)



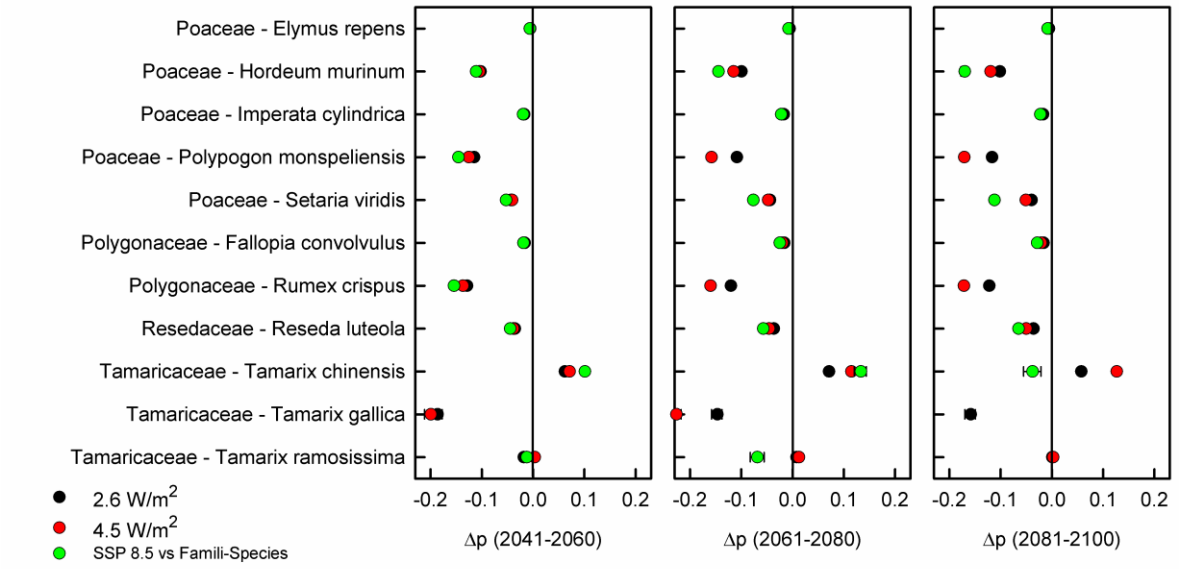
Especies provenientes de climas templados (parte 4)



Especies provenientes de climas templados (parte 5)



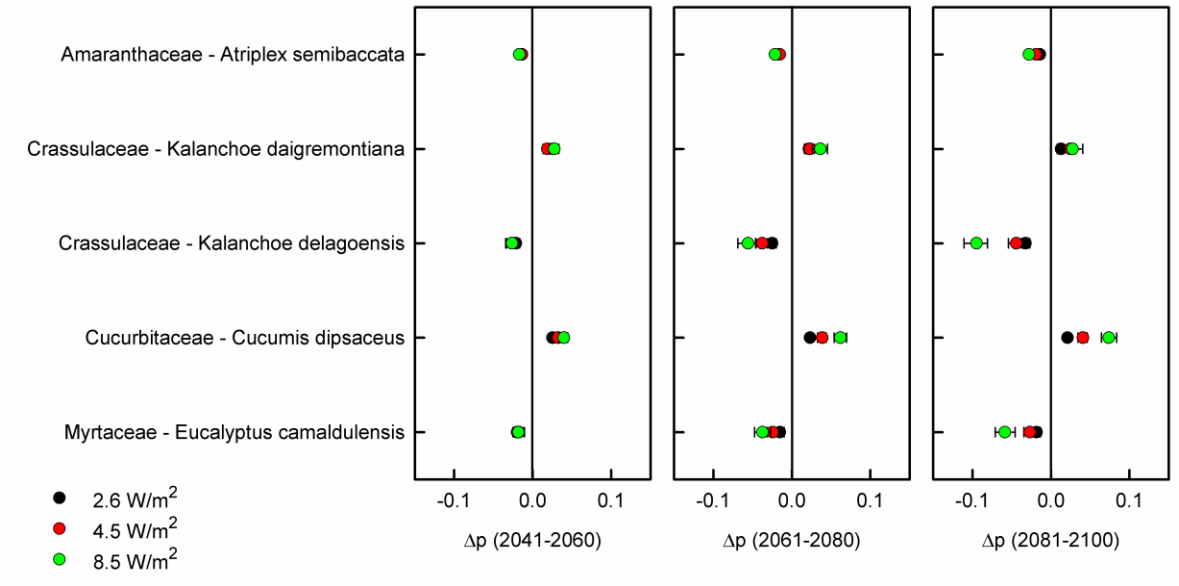
Especies provenientes de climas templados (parte 6)



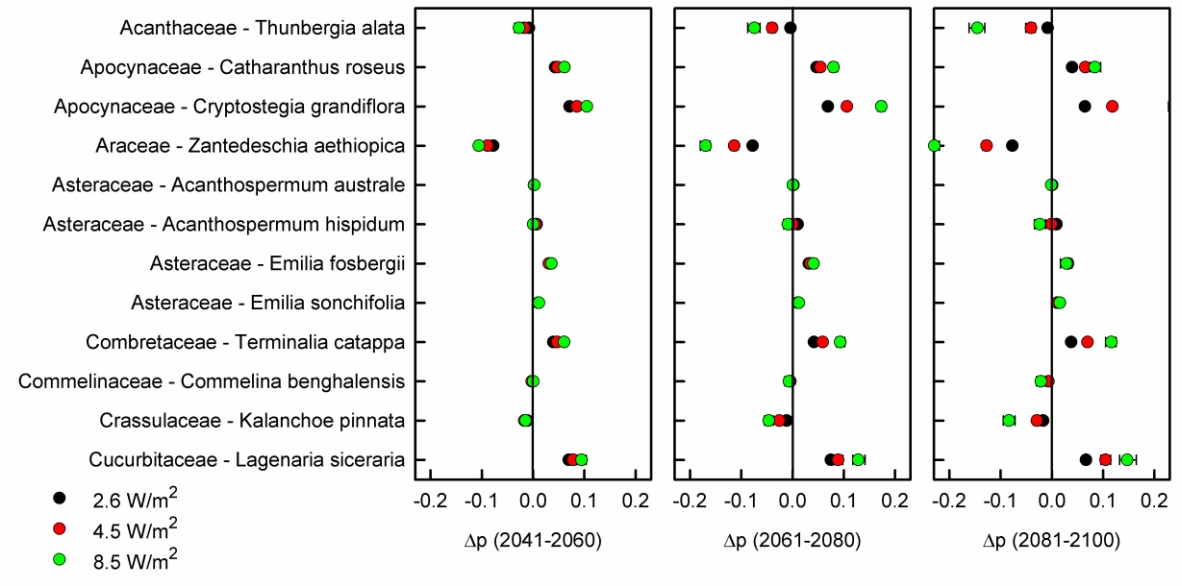
Apéndice G

Promedio (± 95% IC) de diferencias entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales (Δp), estimadas con MDBC, para las plantas exóticas invasoras dentro de la ecorregión de las Sierras Templadas. En estas figuras, las especies se agrupan en función del tipo de clima del cual provienen y, en algunos casos, la figura se divide en diferentes partes para cubrir todas las especies. La línea negra al interior de cada figura indica $\Delta p = 0$, asumiéndose cambios significativos entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales cuando el intervalo 95% IC de los promedios Δp de cada especie no contiene ese valor.

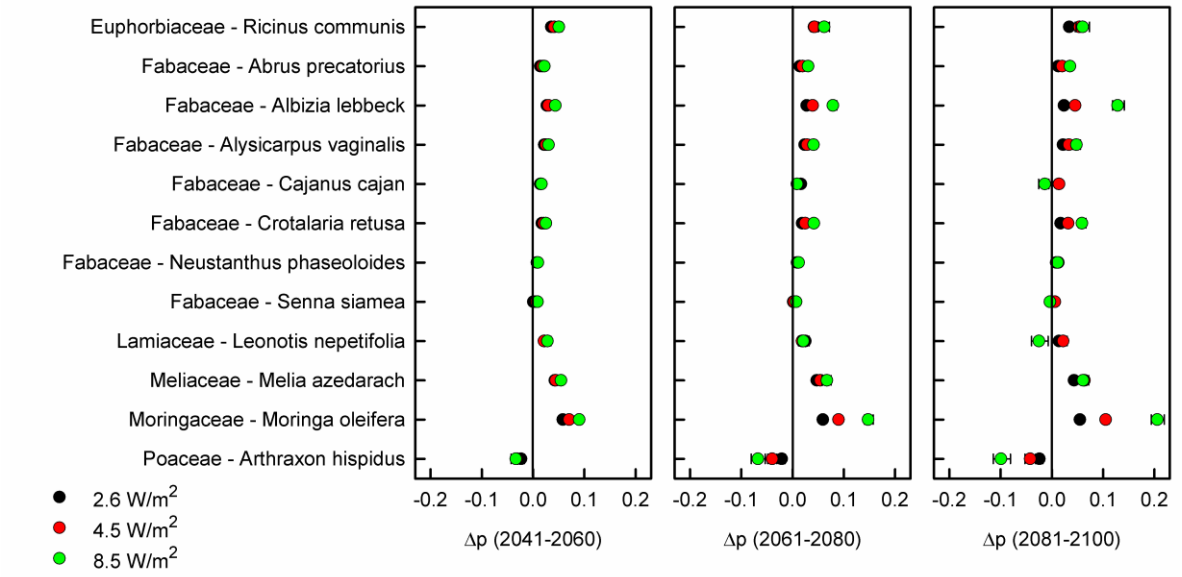
Especies provenientes de climas áridos-semiáridos



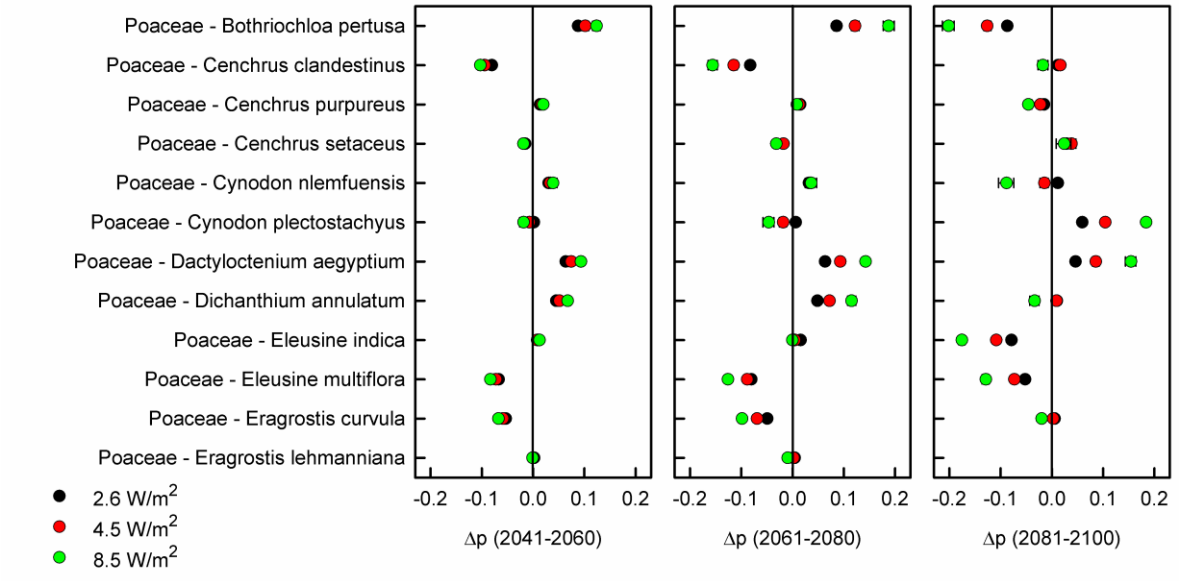
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 1)



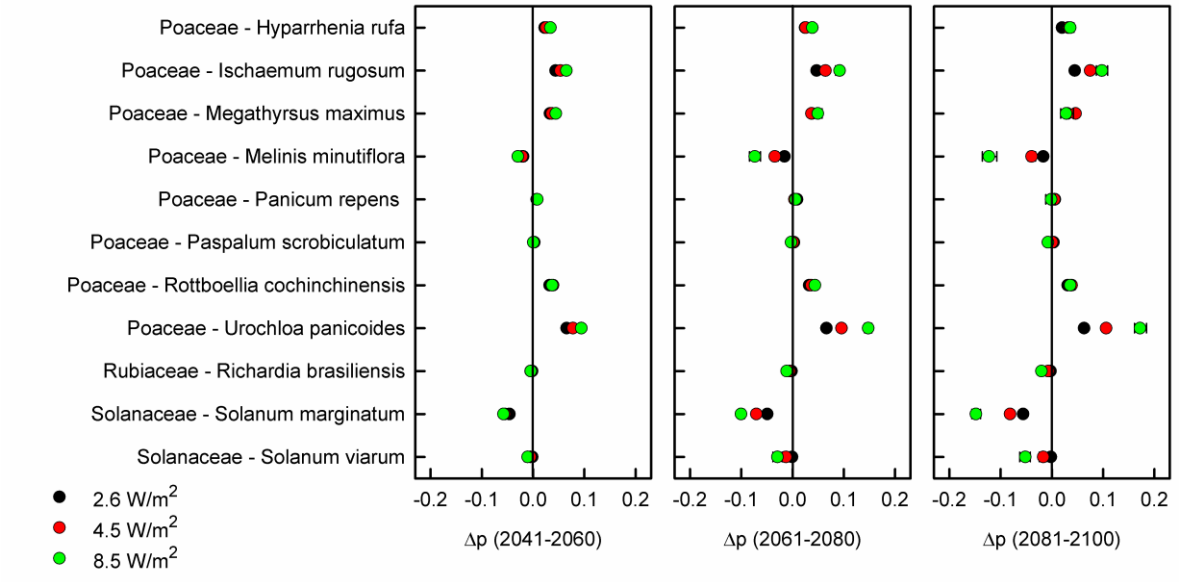
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 2)



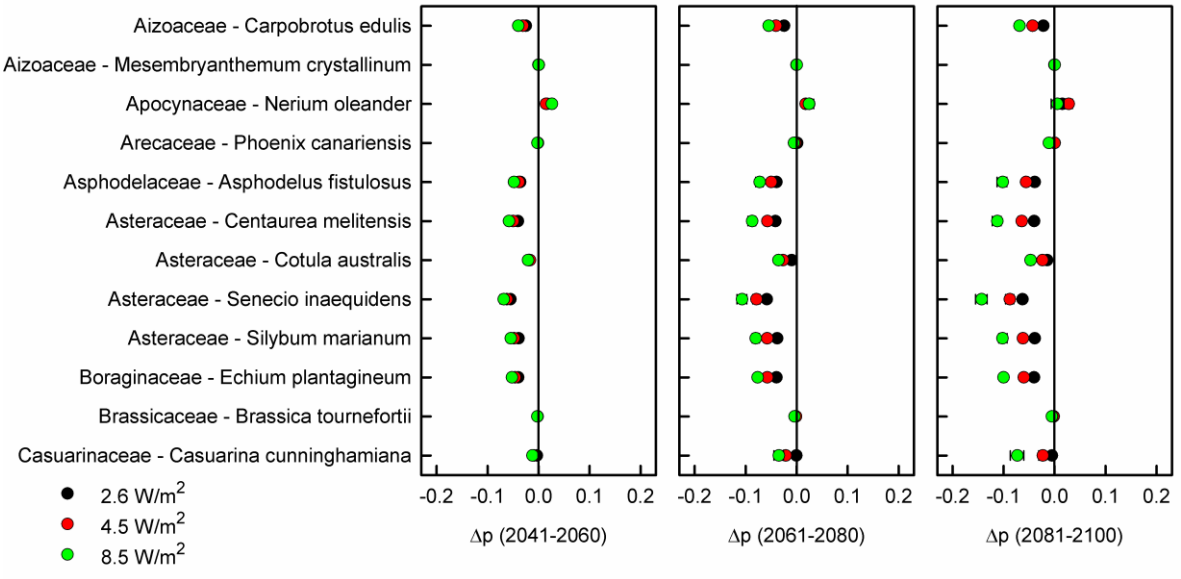
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 3)



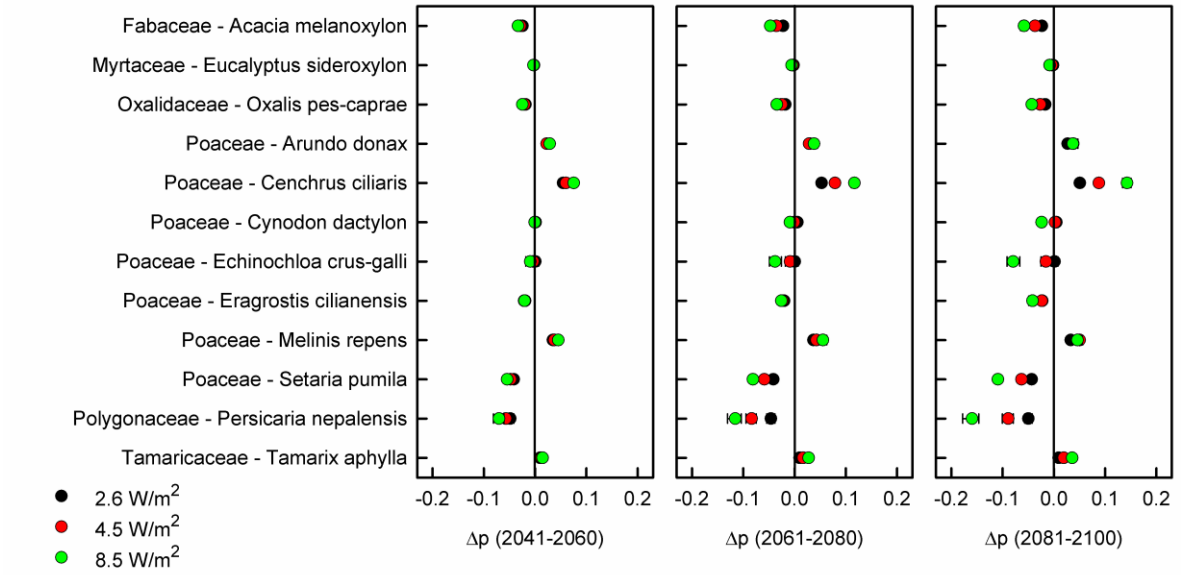
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 4)



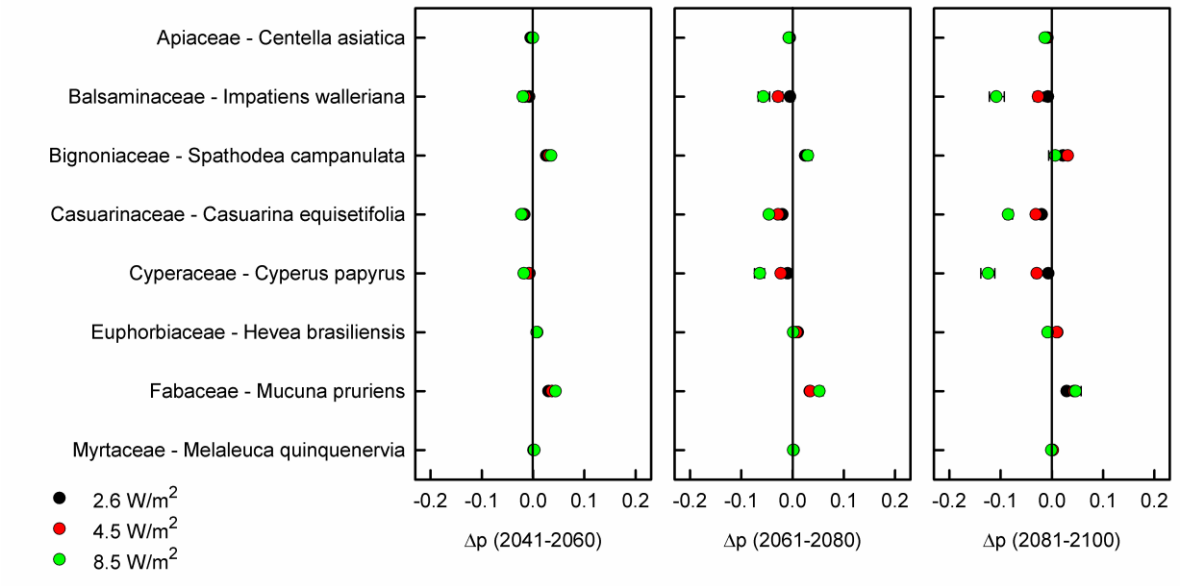
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 1)



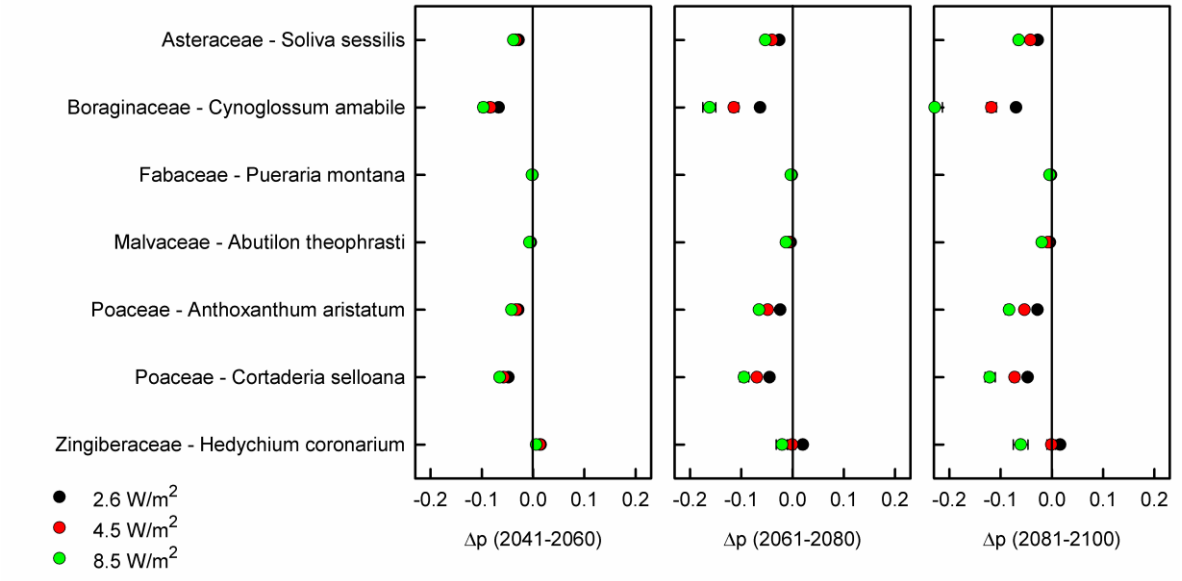
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 2)



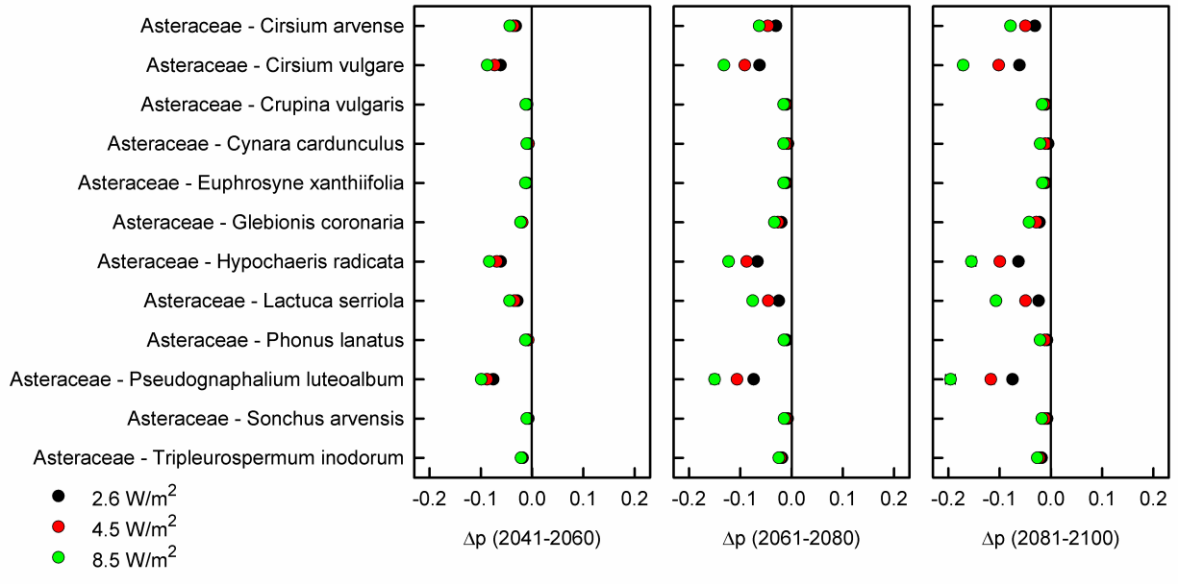
Especies provenientes de climas tropicales húmedos



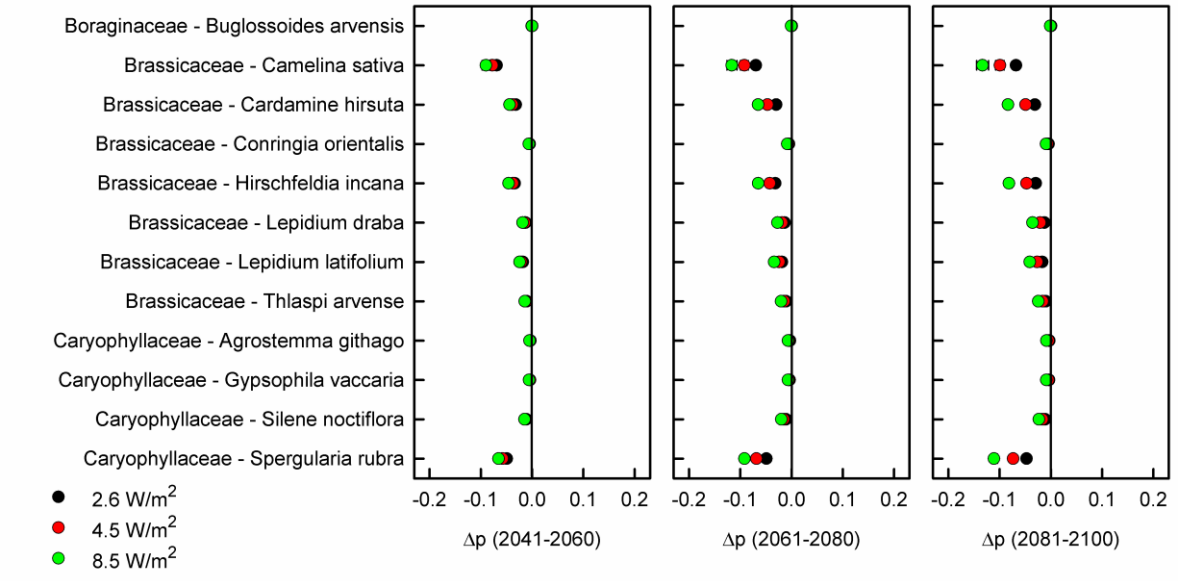
Especies provenientes de climas subtropicales húmedos



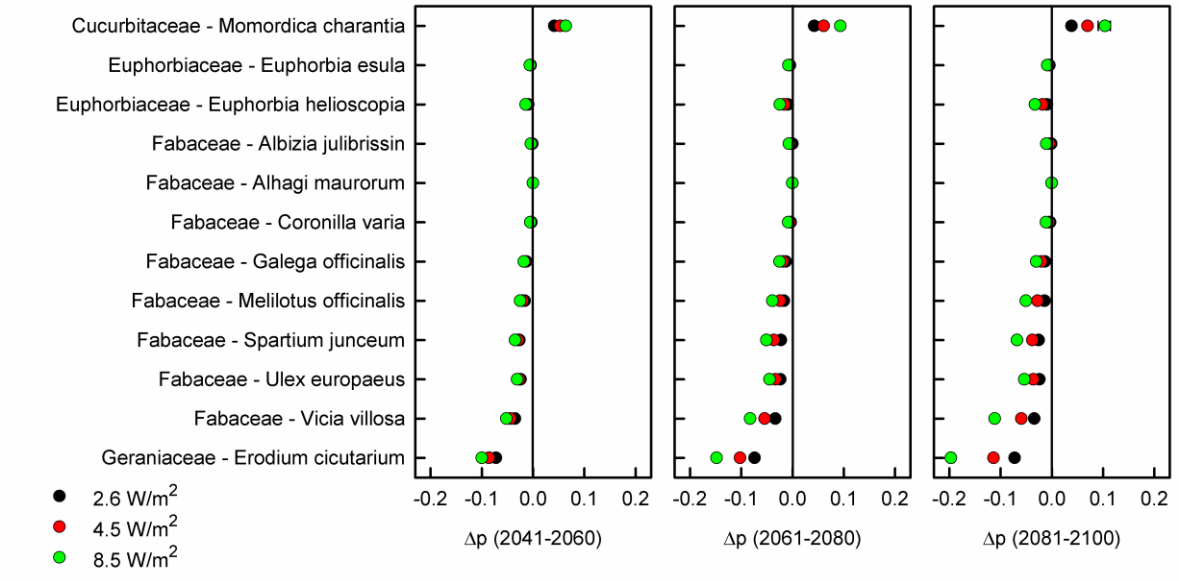
Especies provenientes de climas templados (parte 1)



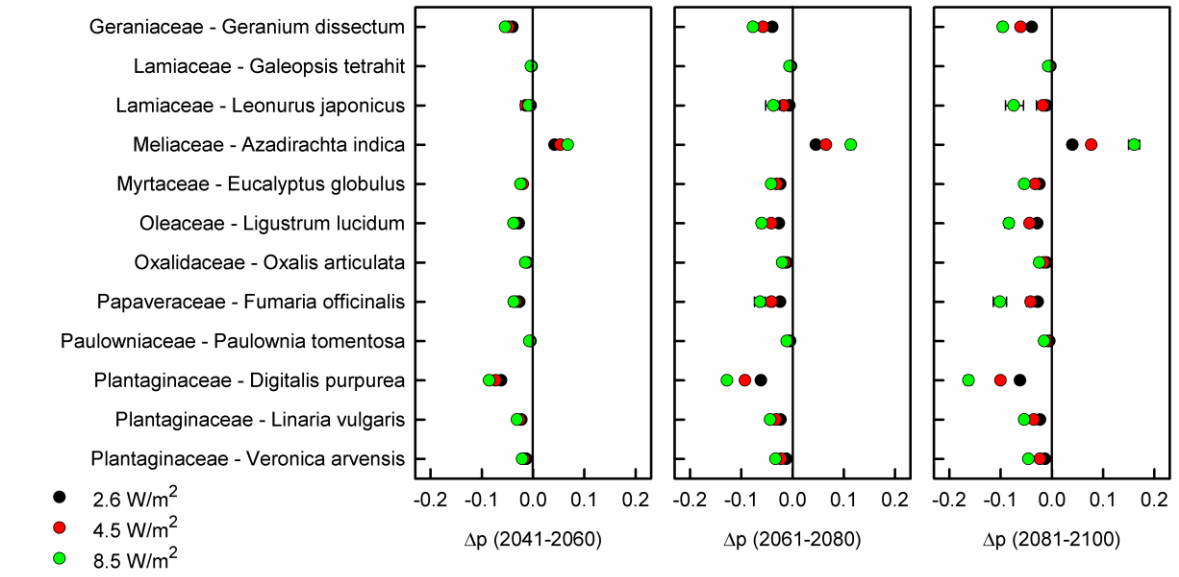
Especies provenientes de climas templados (parte 2)



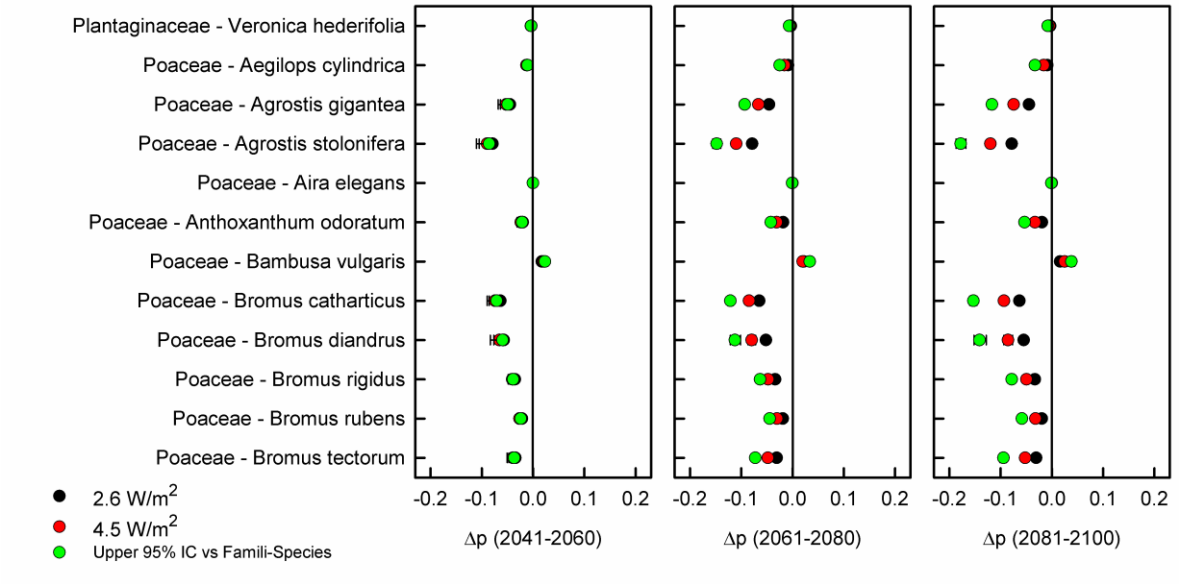
Especies provenientes de climas templados (parte 3)



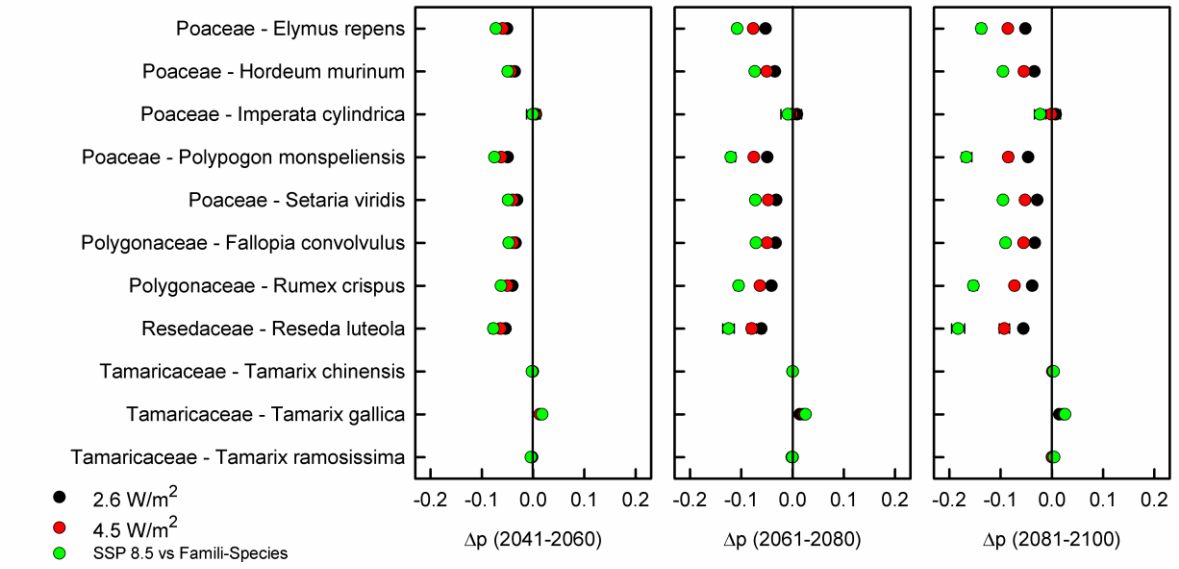
Especies provenientes de climas templados (parte 4)



Especies provenientes de climas templados (parte 5)



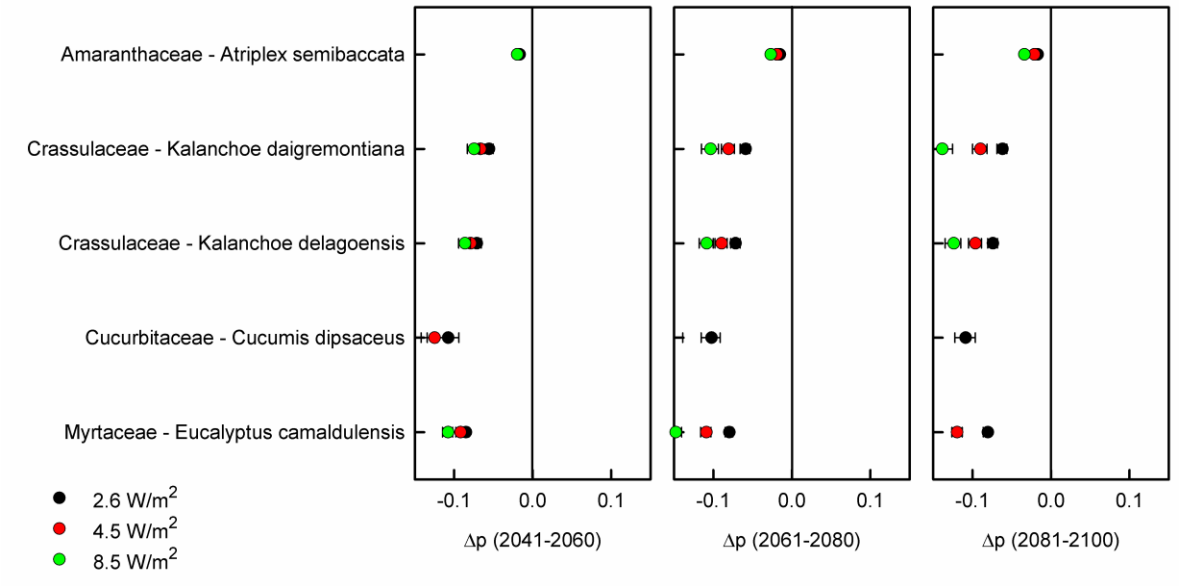
Especies provenientes de climas templados (parte 6)



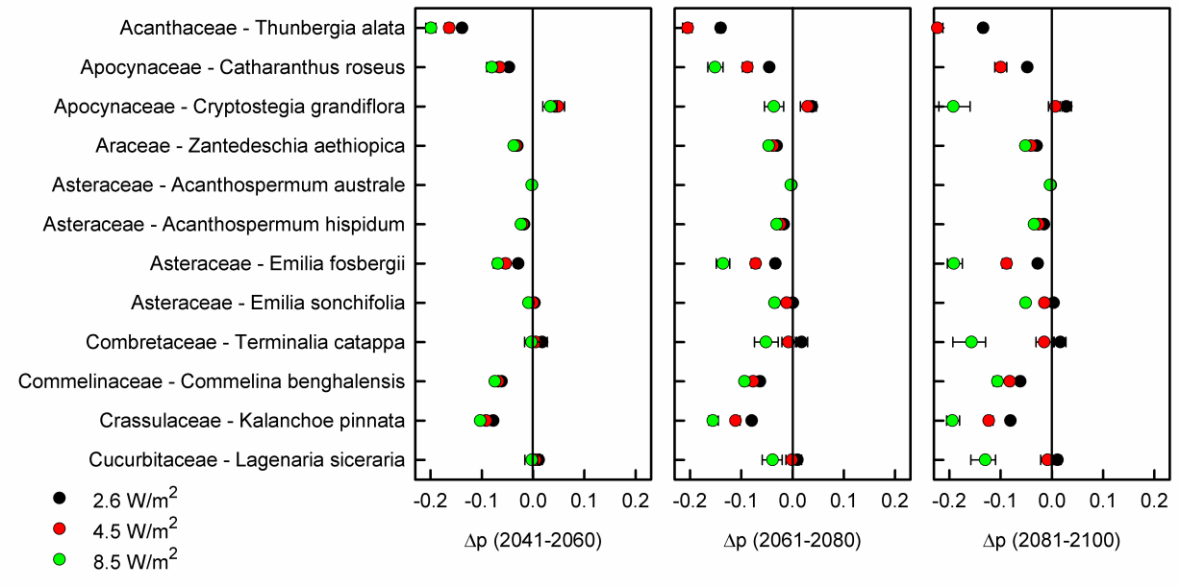
Apéndice H

Promedio (± 95% IC) de diferencias entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales (Δp), estimadas con MDBC, para las plantas exóticas invasoras dentro de la ecorregión de las Selvas Cálido-Secas. En estas figuras, las especies se agrupan en función del tipo de clima del cual provienen y, en algunos casos, la figura se divide en diferentes partes para cubrir todas las especies. La línea negra al interior de cada figura indica $\Delta p = 0$, asumiéndose cambios significativos entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales cuando el intervalo 95% IC de los promedios Δp de cada especie no contiene ese valor.

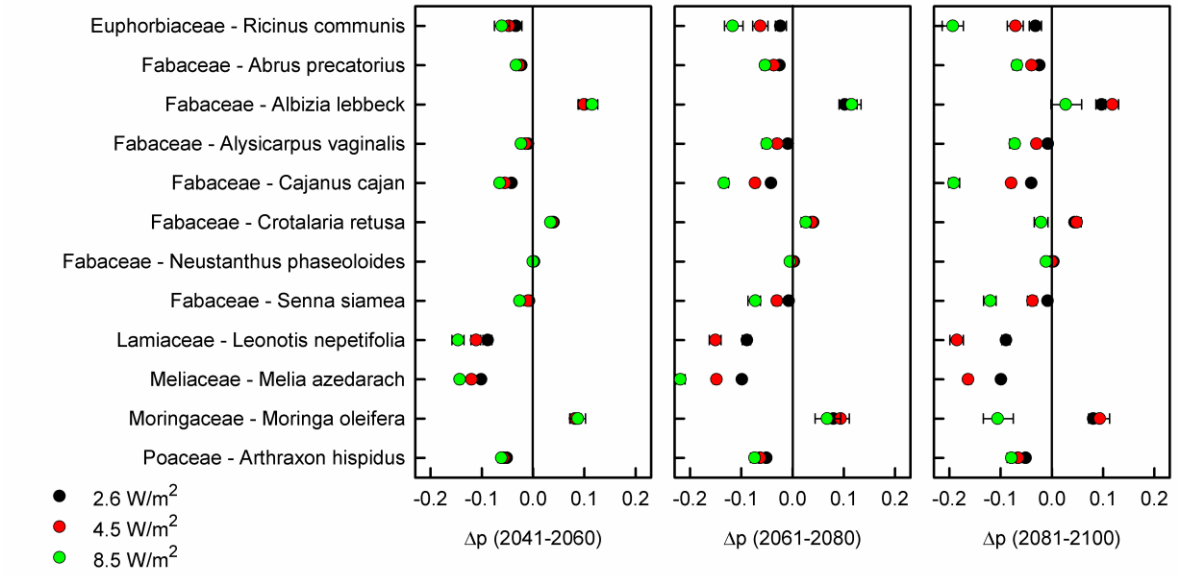
Especies provenientes de climas áridos-semiáridos



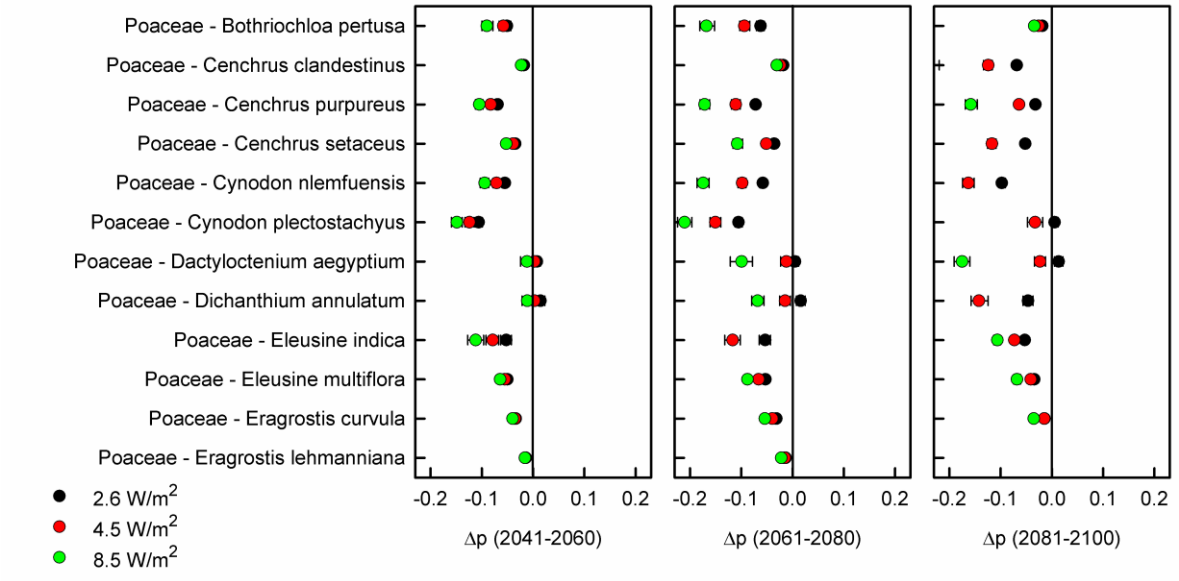
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 1)



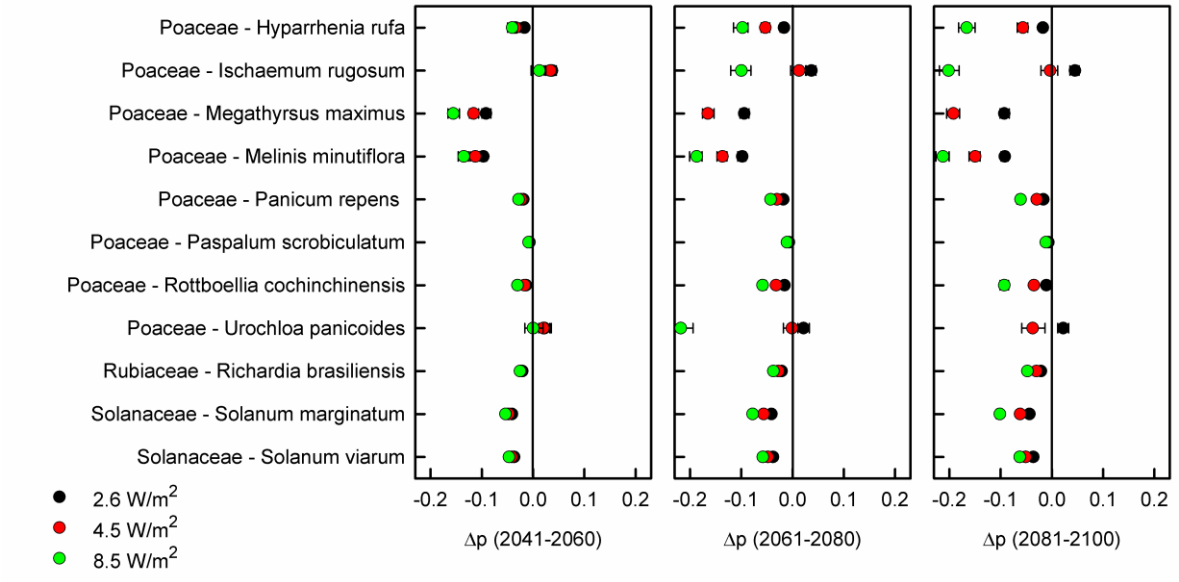
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 2)



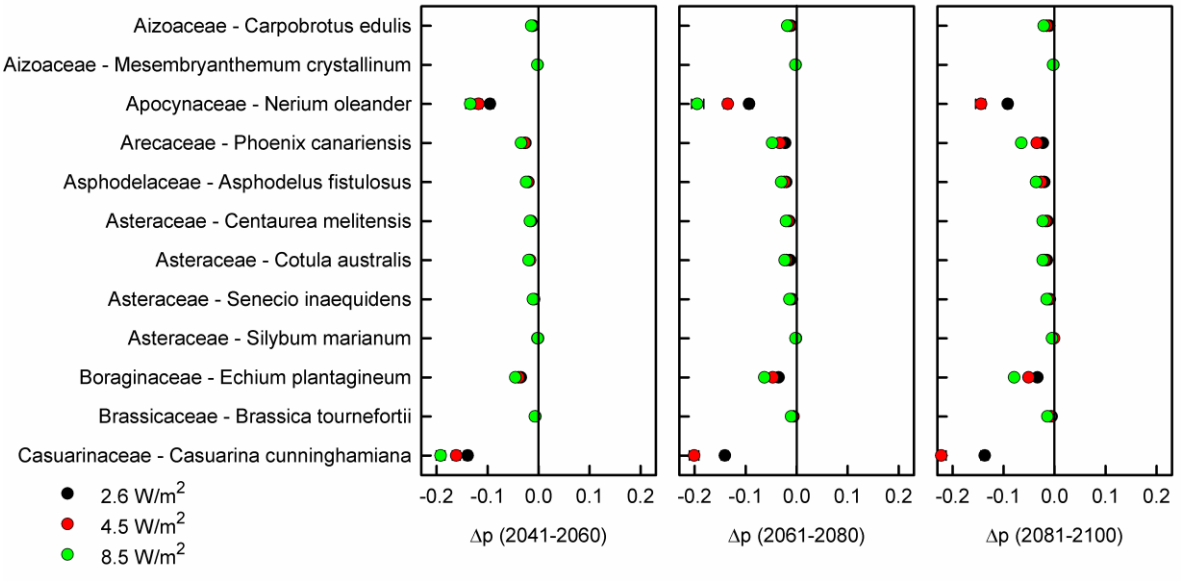
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 3)



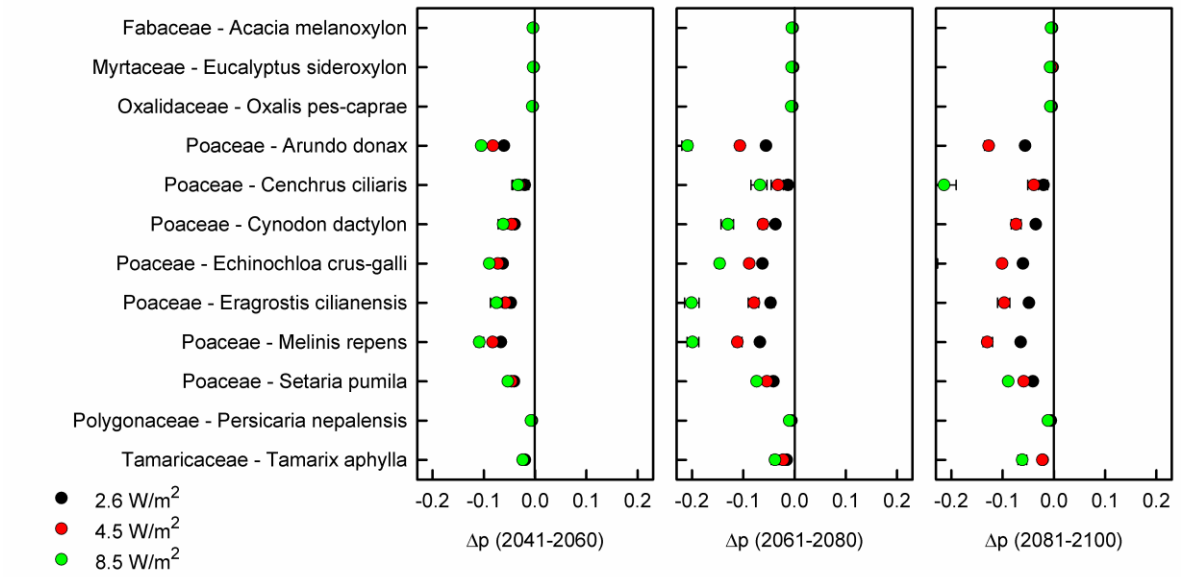
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 4)



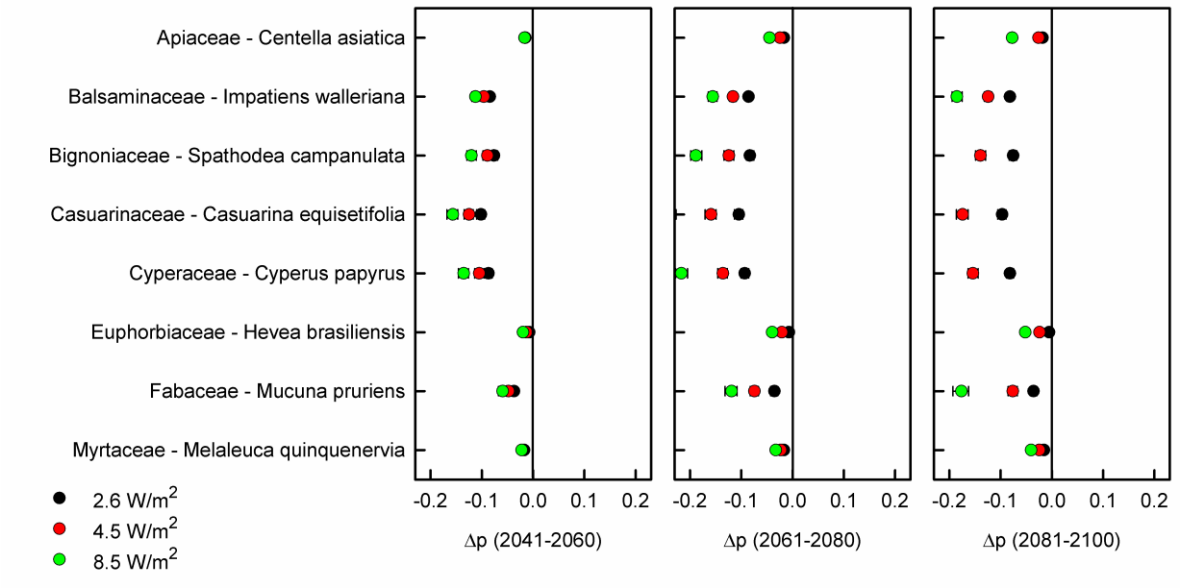
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 1)



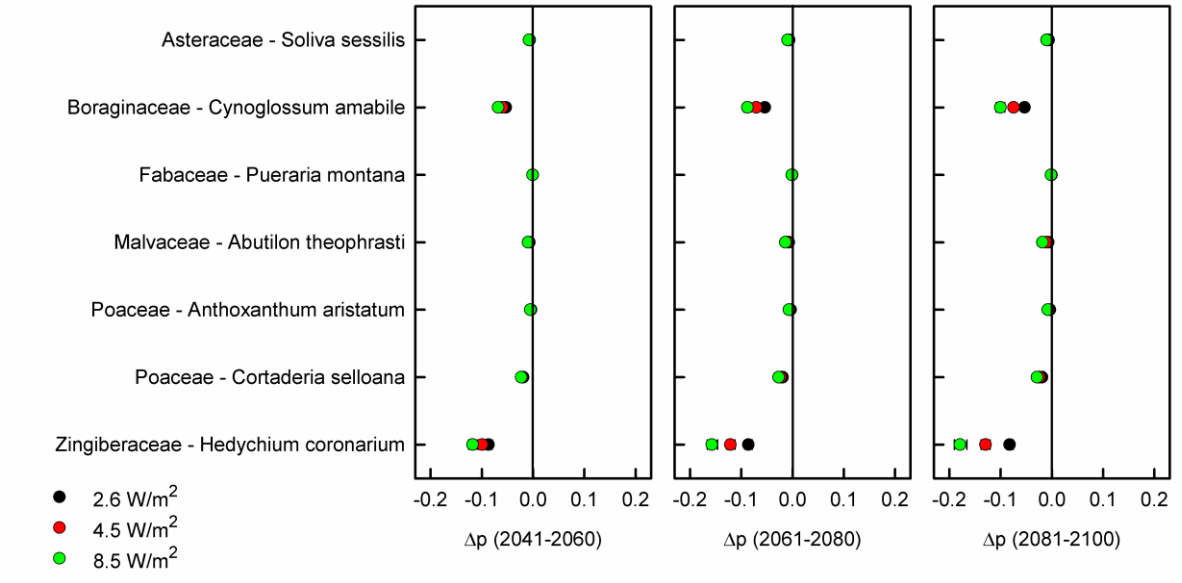
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 2)



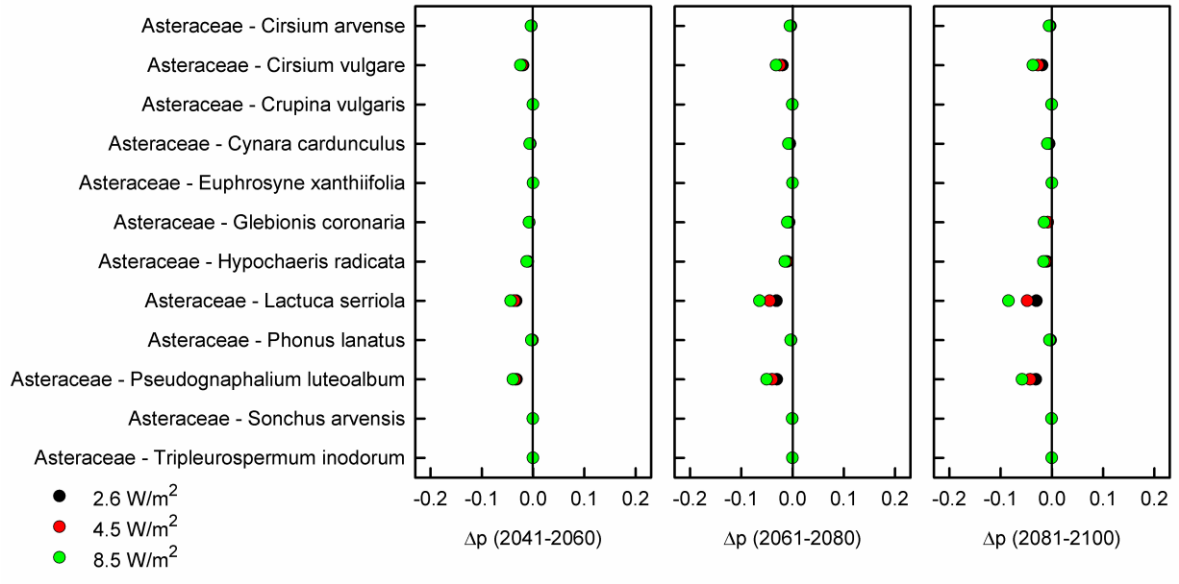
Especies provenientes de climas tropicales húmedos



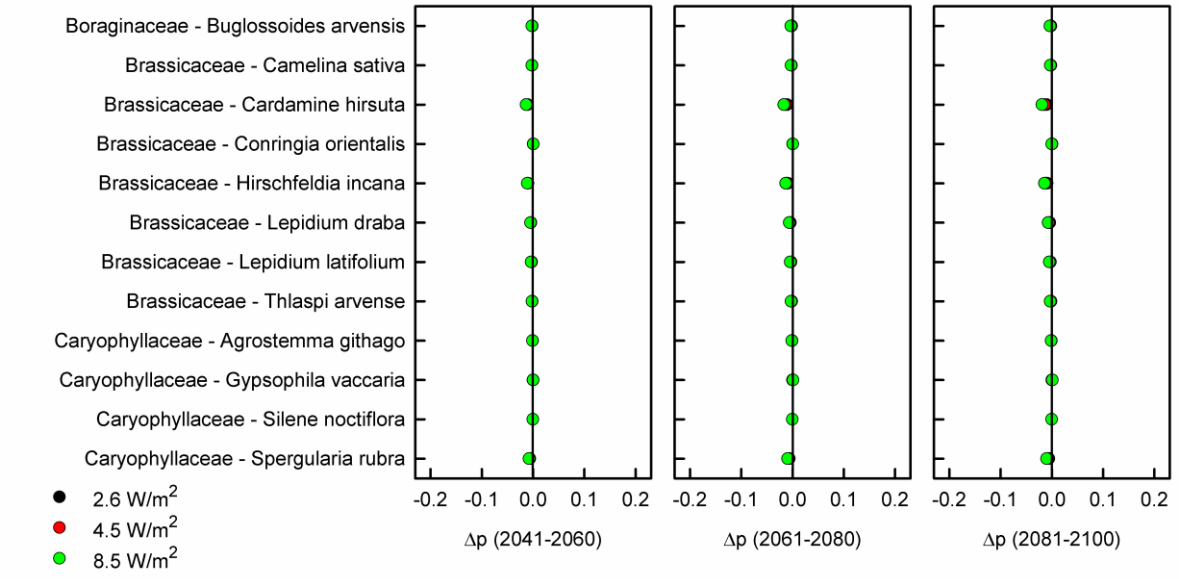
Especies provenientes de climas subtropicales húmedos



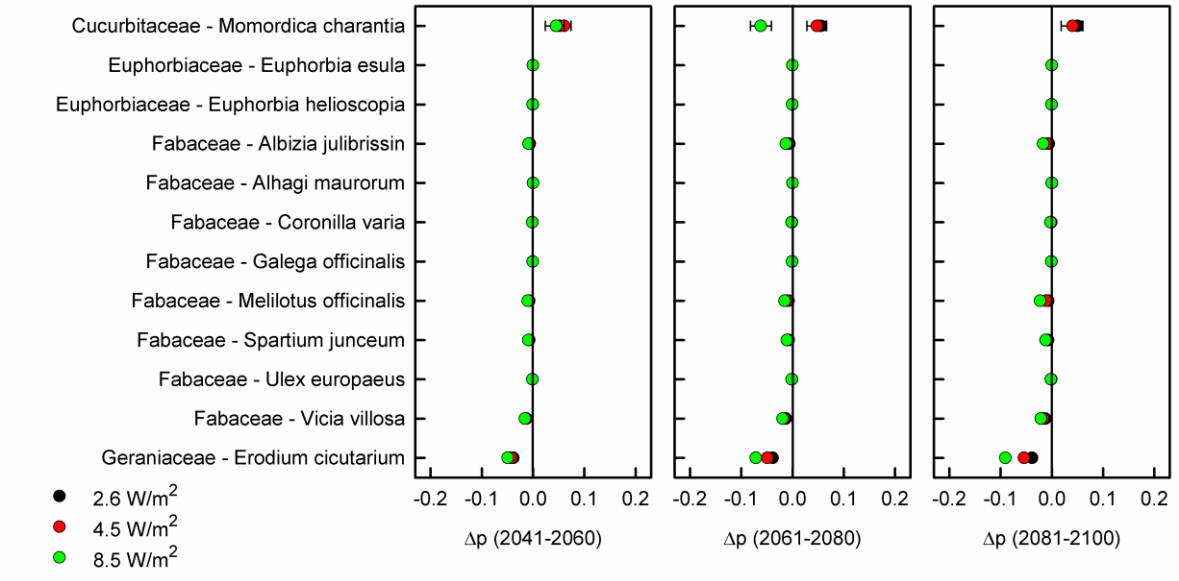
Especies provenientes de climas templados (parte 1)



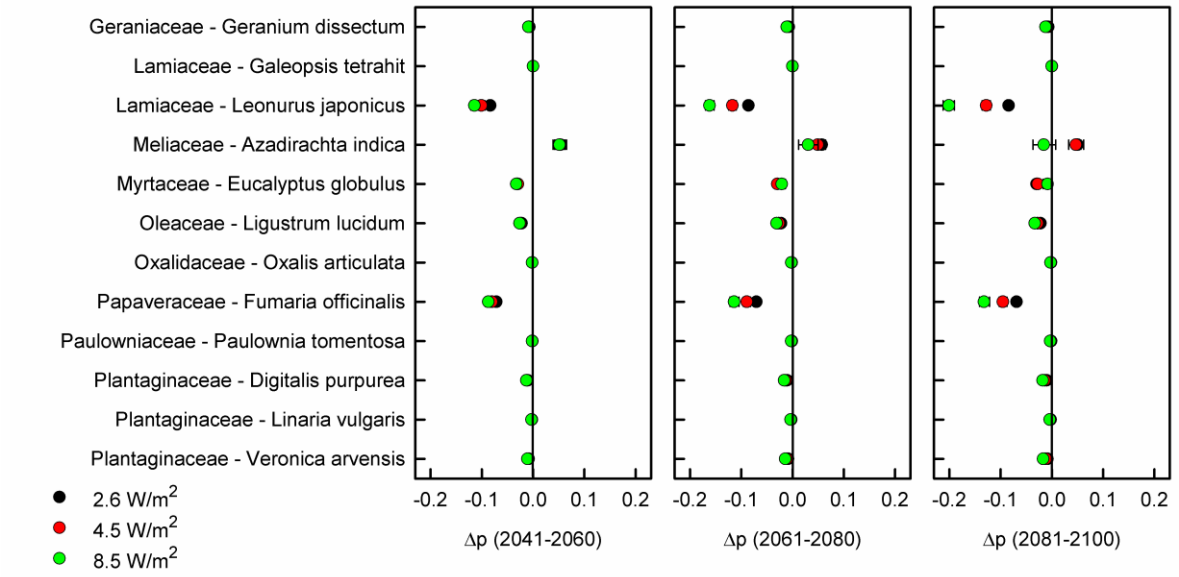
Especies provenientes de climas templados (parte 2)



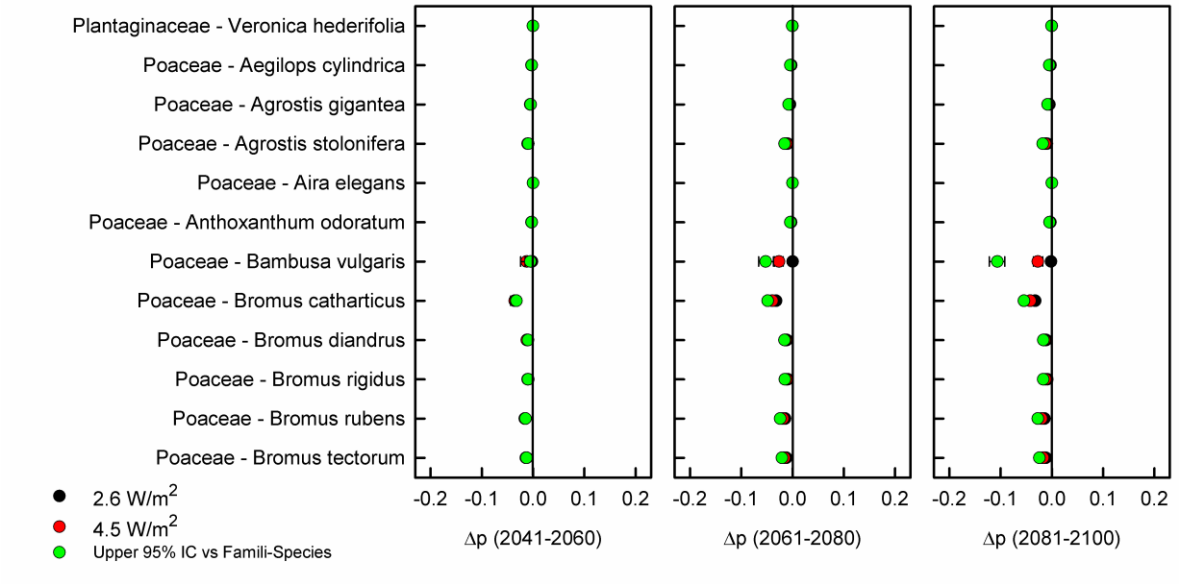
Especies provenientes de climas templados (parte 3)



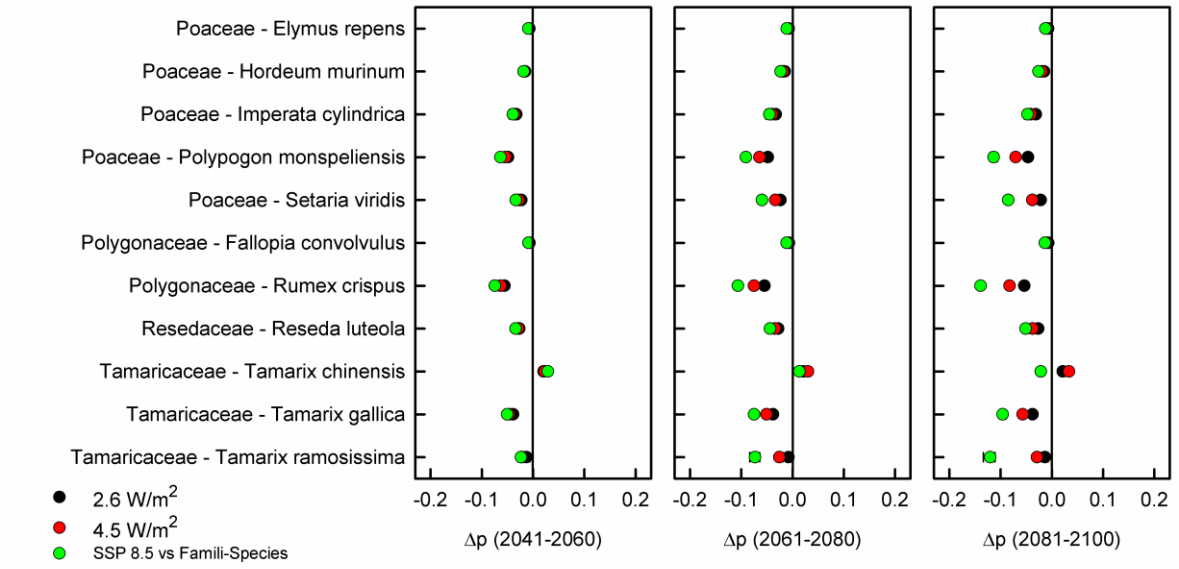
Especies provenientes de climas templados (parte 4)



Especies provenientes de climas templados (parte 5)



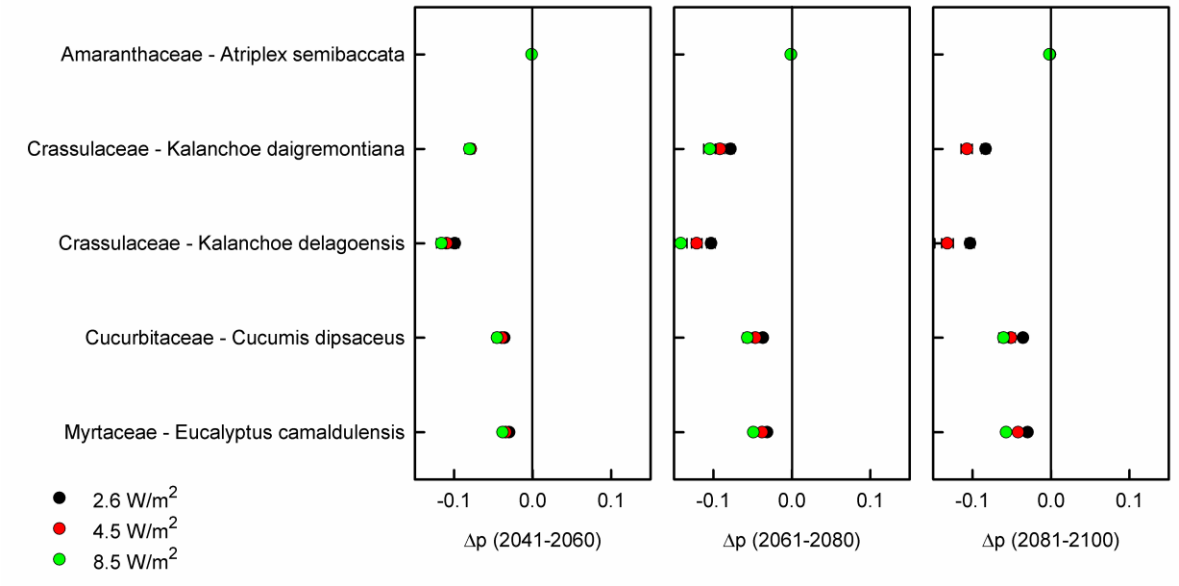
Especies provenientes de climas templados (parte 6)



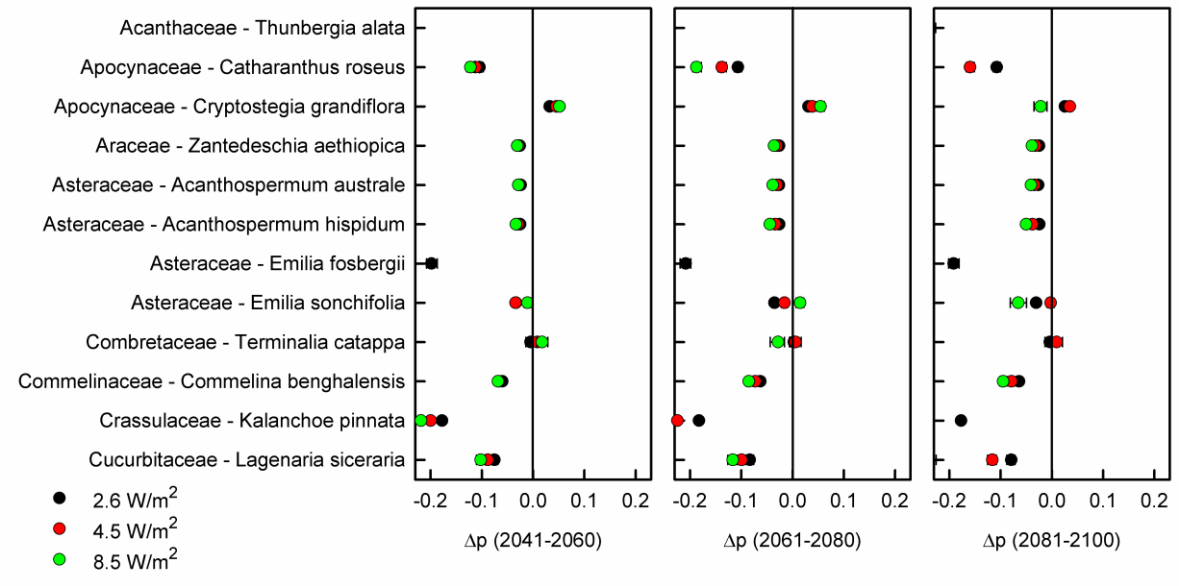
Apéndice I

Promedio (± 95% IC) de diferencias entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales (Δp), estimadas con MDBC, para las plantas exóticas invasoras dentro de la ecorregión de las Selvas Cálido-Húmedas. En estas figuras, las especies se agrupan en función del tipo de clima del cual provienen y, en algunos casos, la figura se divide en diferentes partes para cubrir todas las especies. La línea negra al interior de cada figura indica $\Delta p = 0$, asumiéndose cambios significativos entre probabilidades de ocurrencia futuras y actuales cuando el intervalo 95% IC de los promedios Δp de cada especie no contiene ese valor.

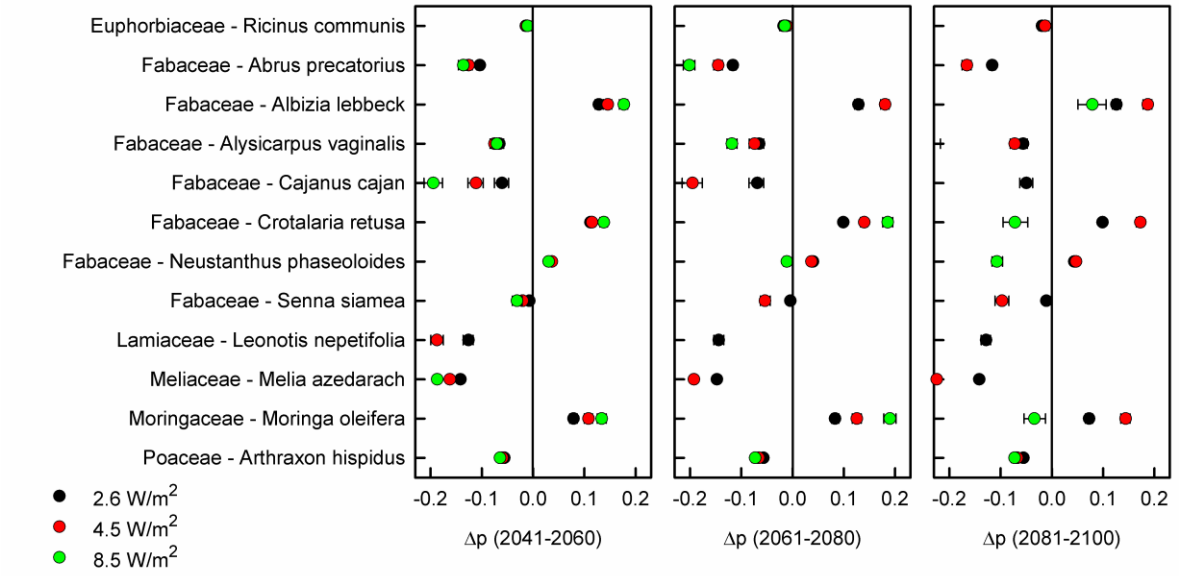
Especies provenientes de climas áridos-semiáridos



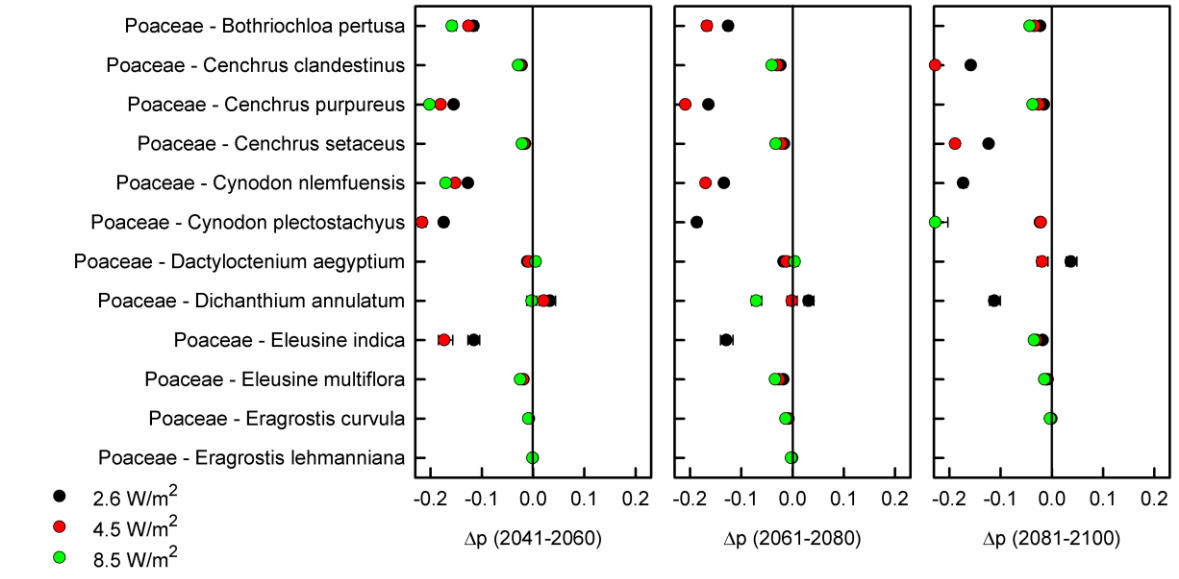
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 1)



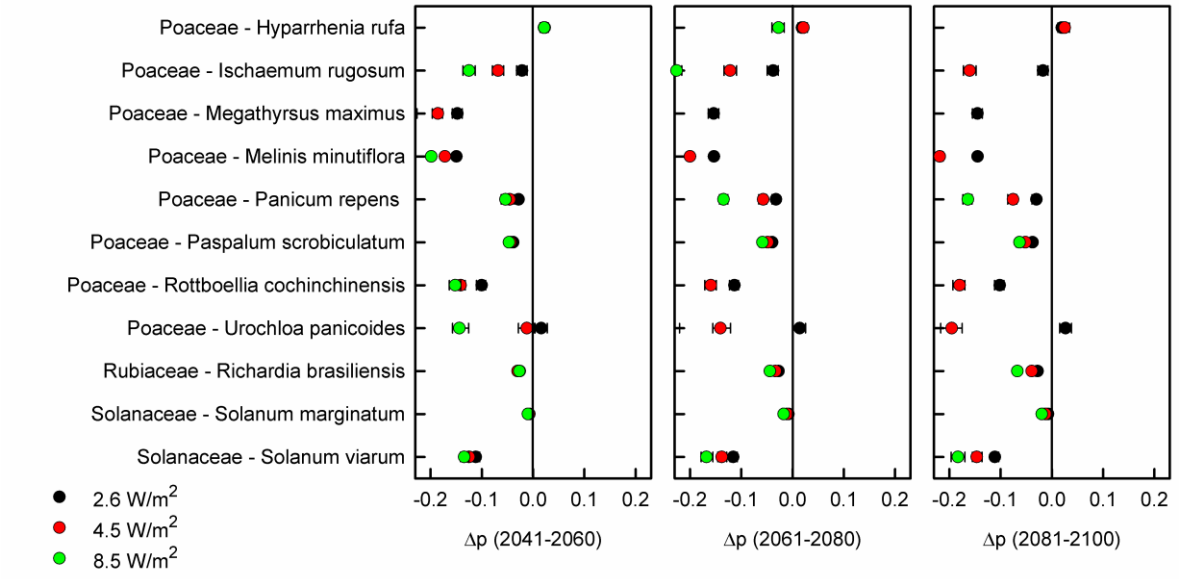
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 2)



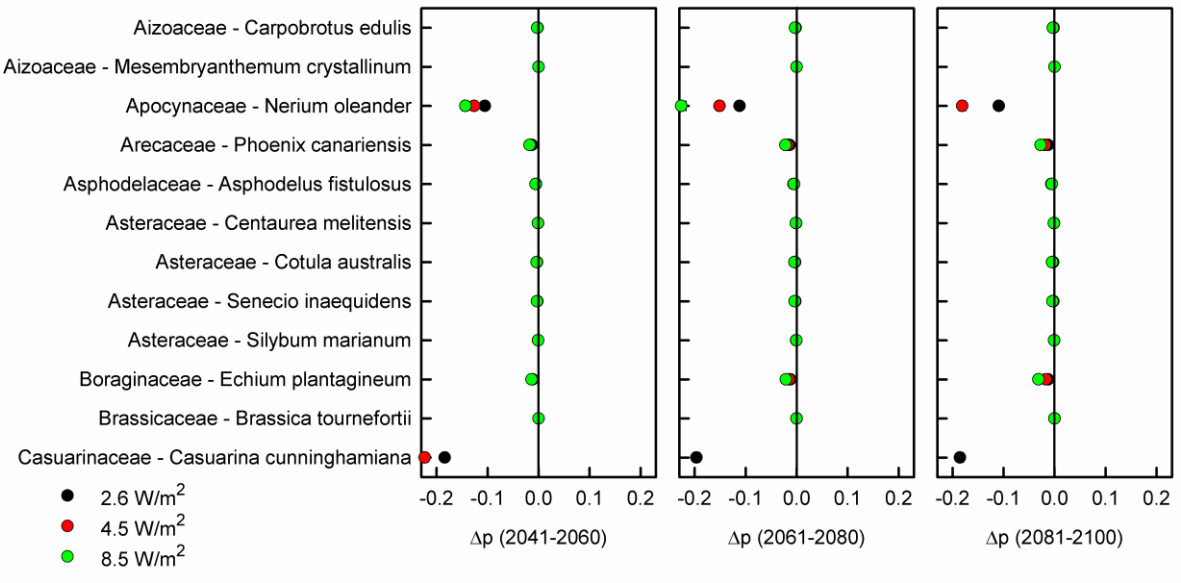
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 3)



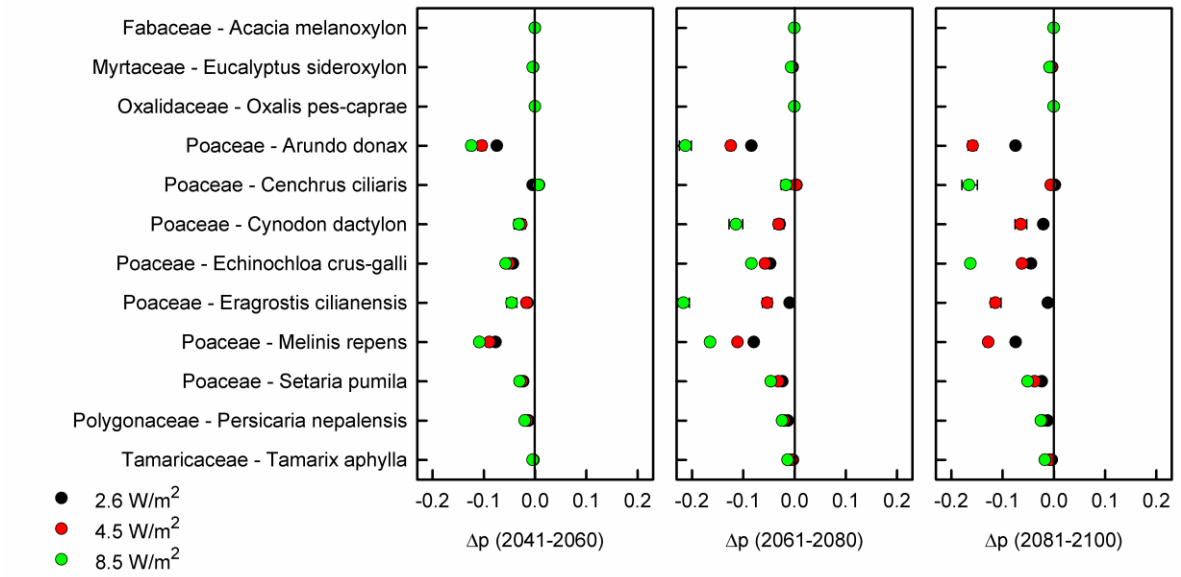
Especies provenientes de climas tropicales secos (parte 4)



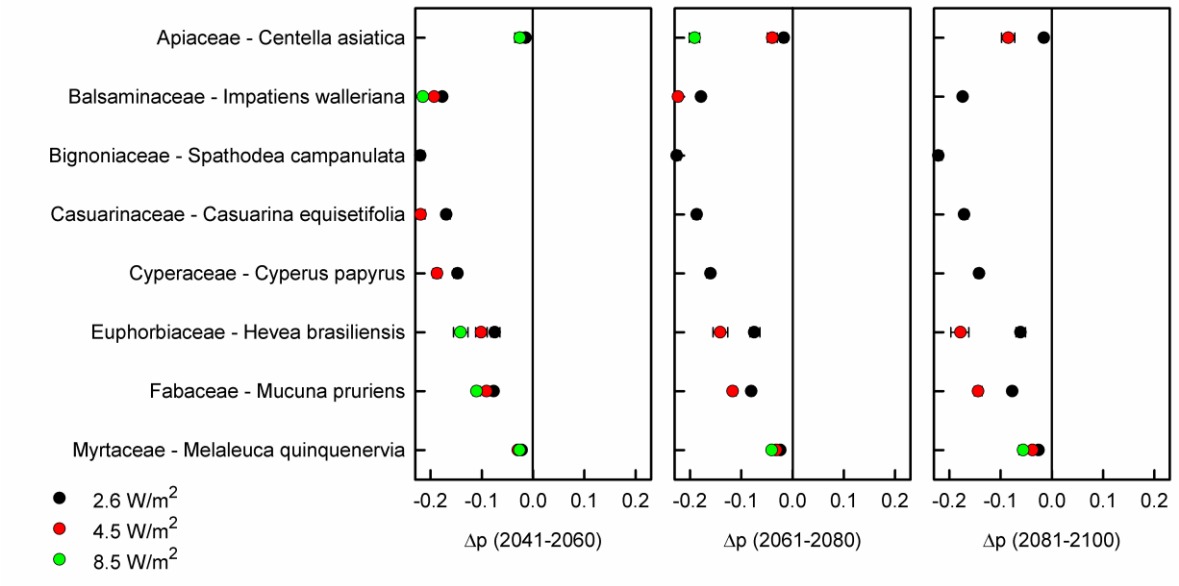
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 1)



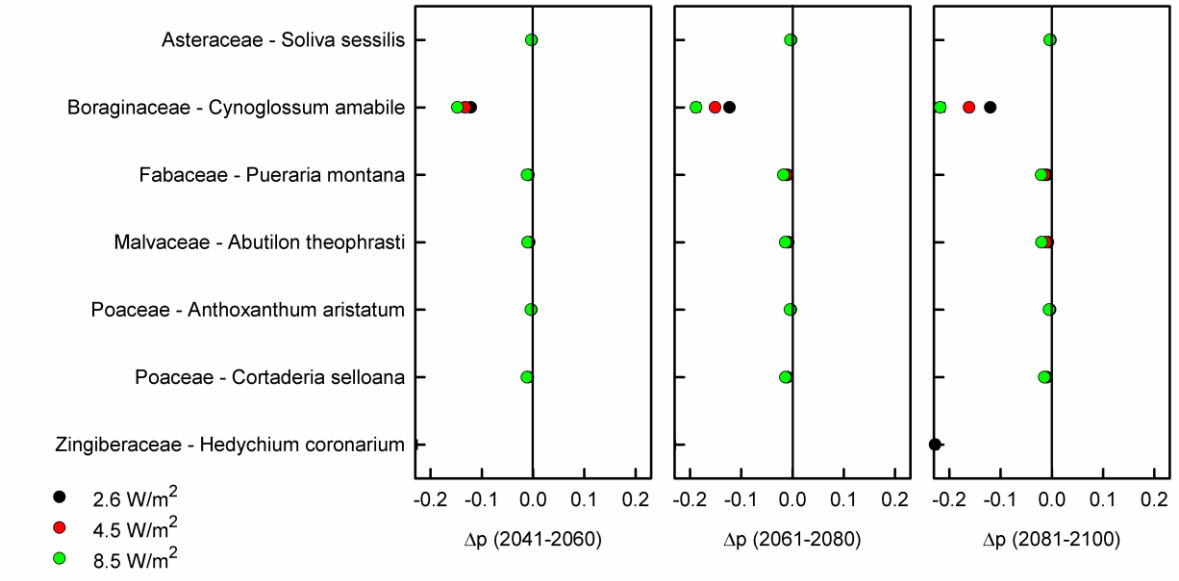
Especies provenientes de climas subtropicales secos (parte 2)



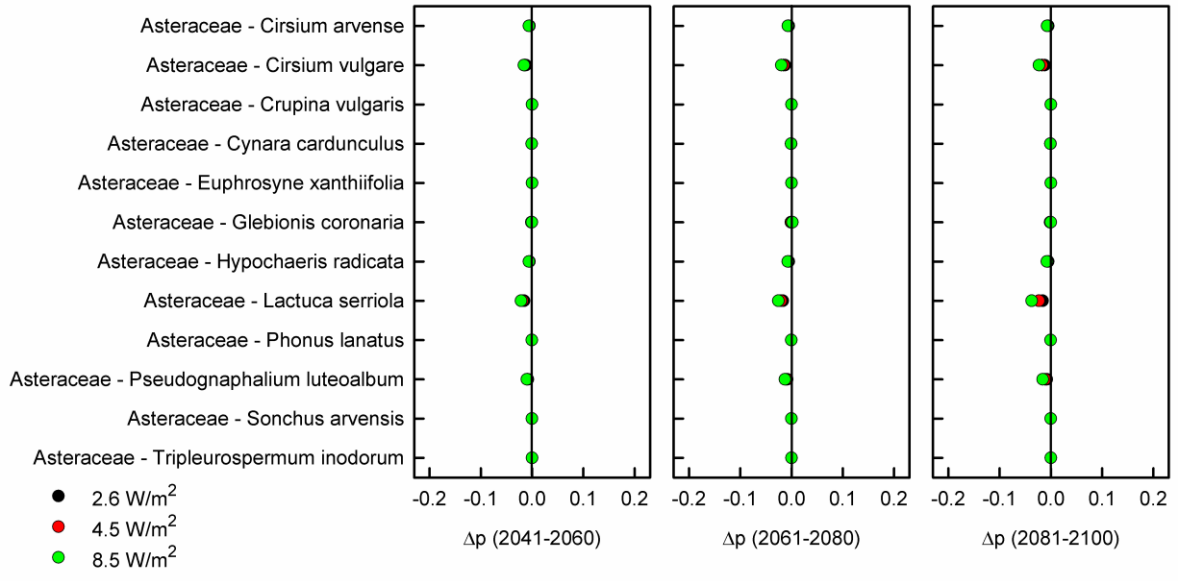
Especies provenientes de climas tropicales húmedos



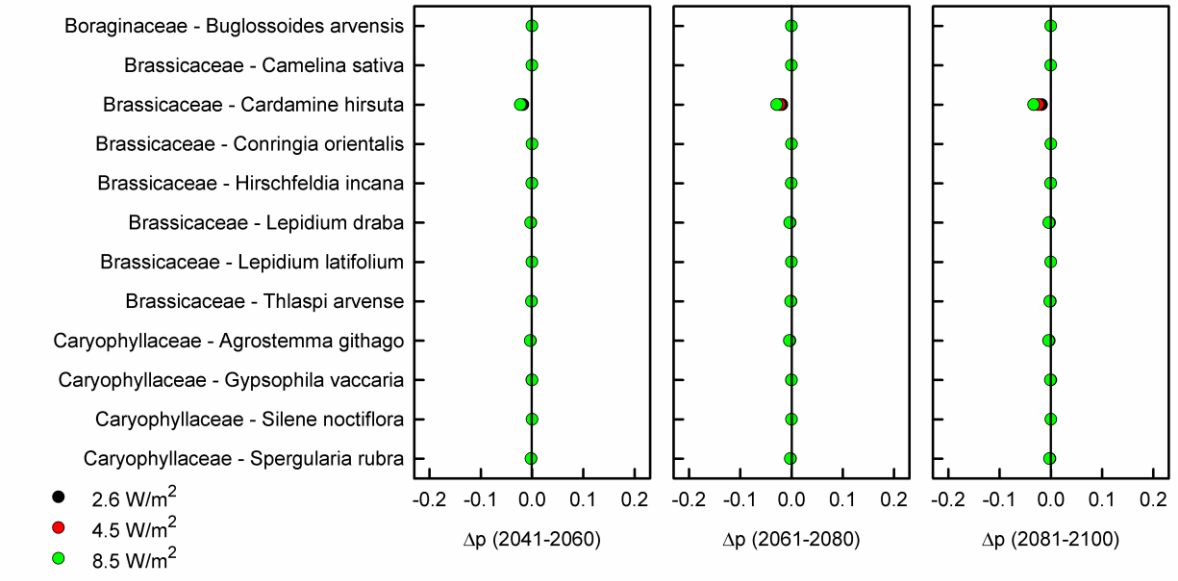
Especies provenientes de climas subtropicales húmedos



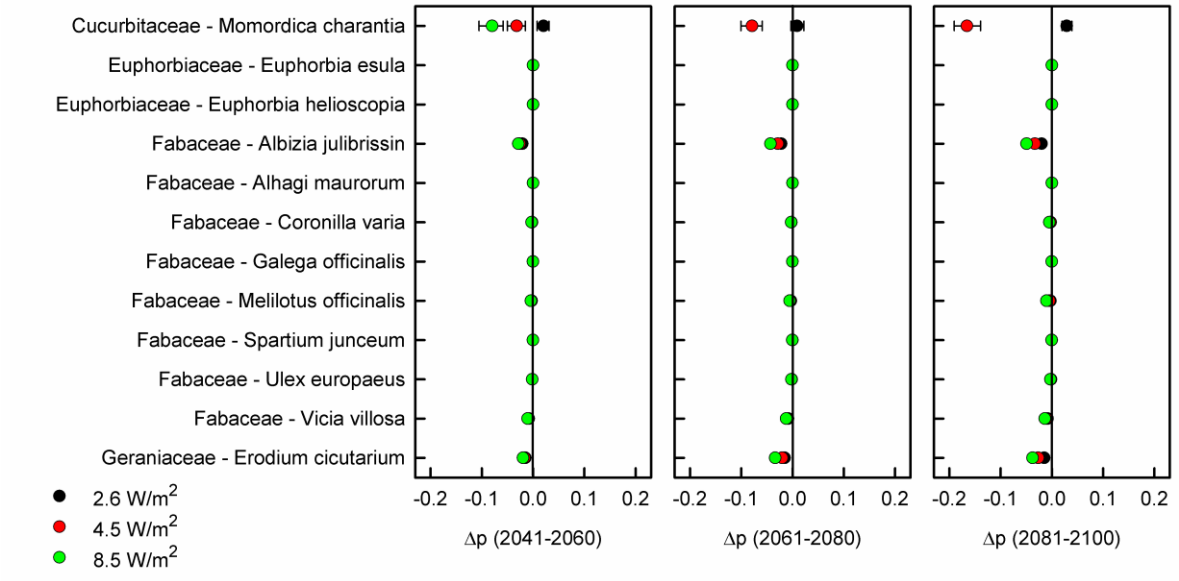
Especies provenientes de climas templados (parte 1)



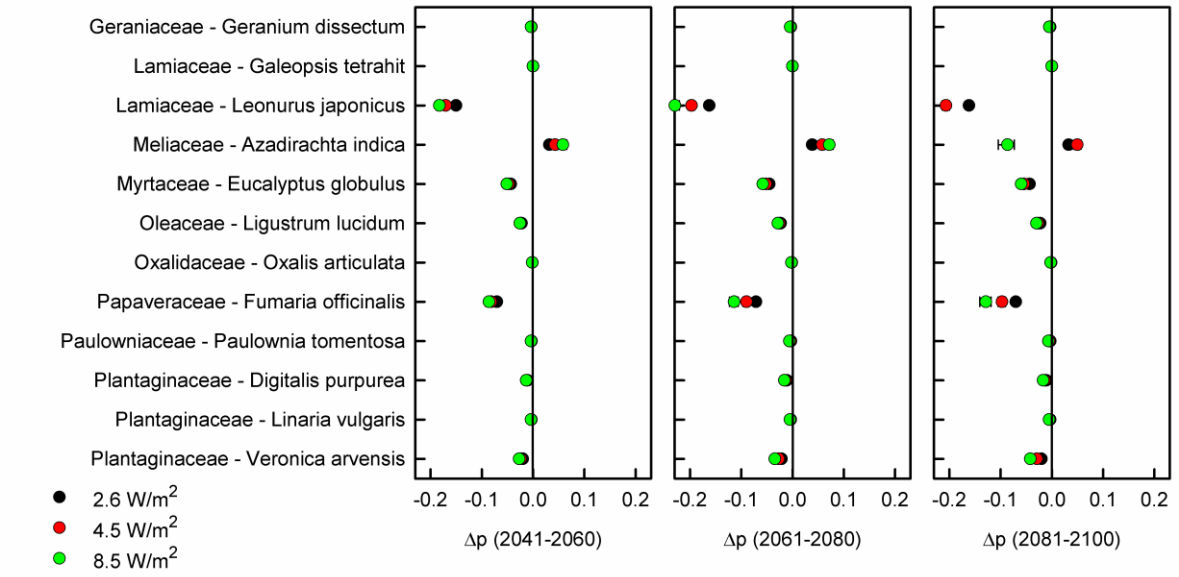
Especies provenientes de climas templados (parte 2)



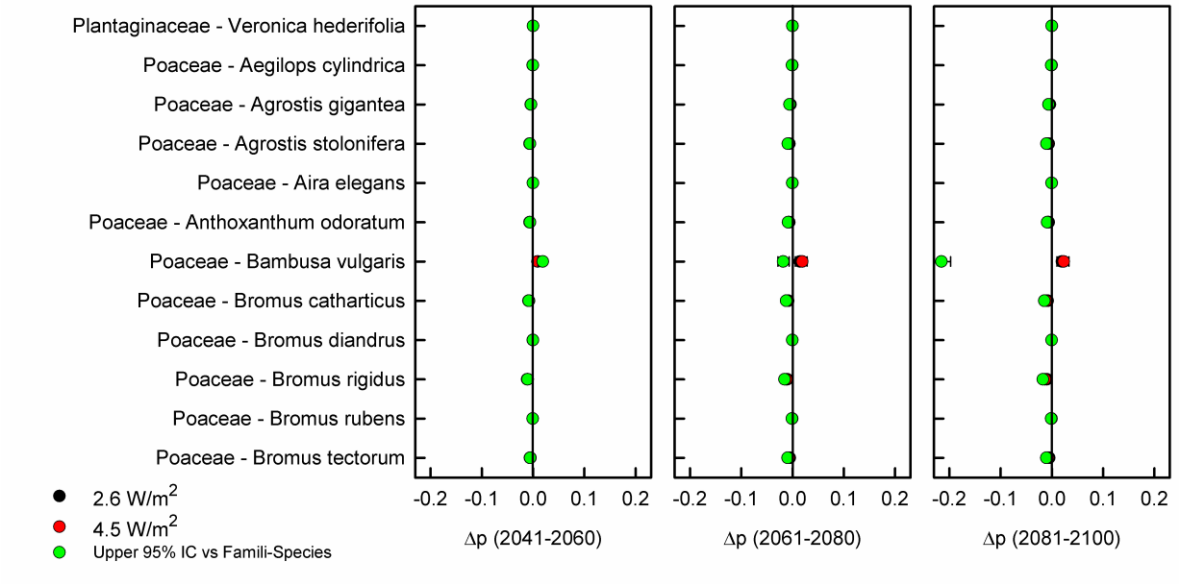
Especies provenientes de climas templados (parte 3)



Especies provenientes de climas templados (parte 4)



Especies provenientes de climas templados (parte 5)



Especies provenientes de climas templados (parte 6)

