

Validación de un sistema de evaluación de riesgo de invasión: el sistema Australiano y su potencial uso en especies de plantas introducidas en Chile

Weed risk assessment validation: the Australian system and its potential use on introduced plant species in Chile

Nicol Fuentes^{1,*} & Alfredo Saldaña¹

¹Departamento de Botánica, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile.

*E-mail: nfuentes@udec.cl

RESUMEN

La evaluación del estatus de especies introducidas ya establecidas en el país es crucial para evitar nuevas invasiones. En este estudio validamos una versión modificada del Australian Weed Risk Assessment (AWRA) para aplicar en Chile. Calculamos los puntajes de evaluación de riesgo de invasión para 369 especies, adaptando el protocolo AWRA para Chile (WRA-Ch). Para validar usamos la clasificación de expertos y el método de análisis de la curva ROC (Receiver Operating Characteristic). Calculamos los puntajes WRA-Ch para especies introducidas de las cinco categorías propuestas por Matthei (1995). Del total de especies, 2 fueron aceptadas, 339 rechazadas y 28 resultaron en el estatus de segunda evaluación. Las categorías de expertos difieren significativamente en el valor promedio de WRA-Ch. Maleza principal y maleza muy seria son las categorías con valores más altos. Al evaluar la capacidad del WRA-Ch en predecir el estatus invasor o no-invasor de una especie, el área bajo la curva ROC fue 0.96, lo que indica una excelente capacidad del WRA-Ch para diferenciar entre plantas invasoras y no-invasoras. La validación del WRA-Ch para su uso en Chile representa un paso importante en la prevención de la introducción de nuevas especies. Sugerimos que WRA-Ch sea utilizado por organismos gubernamentales encargados del monitoreo de biodiversidad a nivel nacional y del control en fronteras. Validar WRA-Ch responde a la necesidad de implementación de un sistema nacional de análisis de riesgo de invasión tanto para especies introducidas en el país, como para aquellas que se quieran introducir intencionalmente o sean interceptadas prefrontera.

Palabras clave: clasificación expertos, especies introducidas, evaluación de riesgo invasión, WRA-Chile.

ABSTRACT

Assessing the status of introduced species already established in the country is crucial to avoid new invasions. In this study, we validated a modified version of the Australian Weed Risk Assessment (AWRA) for application in Chile. We calculated invasion risk assessment scores for 369 species, adapting the AWRA protocol for Chile (WRA-Ch). We used expert ranking, and the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve analysis method to validate. We calculated WRA-Ch scores for introduced species from the five categories proposed by Matthei (1995). Of the total species, 2 were accepted, 339 were rejected, and 28 resulted in second evaluation status. The expert categories differed significantly in the average WRA-Ch value. Major weeds and very serious weeds are the categories with the highest values. When evaluating the ability of the WRA-Ch to predict the invasive or non-invasive status of a species, the area under the

ROC curve was 0.96, indicating an excellent ability of the WRA-Ch to differentiate between invasive and non-invasive plants. The validation of WRA-Ch for use in Chile represents an important step in preventing the introduction of new species. We suggest that WRA-Ch be used by government agencies in charge of biodiversity monitoring at the national level and border control. Validating WRA-Ch responds to the need to implement a national system of invasion risk analysis for species introduced into the country and those that are intentionally introduced or intercepted pre-border.

Keywords: alien species, expert classification, weed risk assessment, WRA-Chile.

INTRODUCCIÓN

Debido a los enormes impactos ecológicos y económicos que generan las especies invasoras (sensu Richardson *et al.* 2000) (Pimentel *et al.* 2005, Van Kleunen *et al.* 2015), predecir su potencial invasor es de gran interés no solo en el ámbito ecológico y conservación de la biodiversidad, sino también para su aplicación en bioseguridad (Daehler 1998, Goodwin *et al.* 1999) ya que muchas de las actuales especies invasoras fueron introducidas intencionalmente (Ewel *et al.* 1999, Pyšek *et al.* 2003, Williams & Cameron 2006, Seebens *et al.* 2017). Por lo tanto, el método más efectivo para reducir sus impactos (Keller *et al.* 2007) es prevenir su arribo inicial, y restringir su naturalización (expansión) una vez que la especie ya está presente (Westbrooks 1991, Simberloff 2009).

En respuesta a la necesidad global de un método objetivo para evaluar la probabilidad de que una especie de planta se convierta en invasora previo a su introducción, se han desarrollado varios métodos de evaluación de riesgo (Tucker & Richardson 1995, Reichard & Hamilton 1997, Pheloung *et al.* 1999, Weber & Gut 2004). El sistema diseñado para Australia y Nueva Zelanda de evaluación de riesgo (Pheloung *et al.* 1999, AWRA, Australian Weed Risk Assessment, por sus siglas en inglés) es el método más ampliamente utilizado, y ha sido validado (adaptado para el área de interés) y testeado exitosamente en varias regiones del mundo (Pheloung *et al.* 1999, Daehler & Carino 2000, Daehler & Denslow 2007, Reichard & Hamilton 1997, Gordon *et al.* 2008, Gassó *et al.* 2010, Crosti *et al.* 2010). Este método integra información histórica, biogeográfica, biológica, ecológica y de características no deseadas de las especies, para evaluar su potencial invasor previo a su introducción en un área determinada (Pheloung *et al.* 1999). En general, se considera que este método es lo suficientemente confiable para ser aplicado como herramienta de evaluación de riesgo en cualquier región del mundo (Gordon *et al.* 2008).

Sin embargo, previo a su implementación es necesaria una calibración y validación utilizando especies introducidas presentes en el área de interés, las cuales se usan como control para evaluar la precisión del sistema en predecir el estatus "invasora" o "no-invasora" (Pheloung *et al.* 1999). Esta validación es particularmente compleja en países en donde la falta de conocimiento del estatus de las plantas introducidas (Nuñez & Pauchard 2010, Fuentes *et al.* 2013) podría sesgar los resultados de la validación del método (Fuentes *et al.* 2010).

La utilización de un método de evaluación de riesgo es una prioridad en cualquier estrategia nacional contra plantas invasoras, pero también es necesaria para cumplir con los estándares que establece la Organización Mundial del Comercio (OMC) para el intercambio de bienes entre países (D. Nuñez, Oficina SAG. Santiago. Com Pers.). La OMC, a través de los Acuerdos sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (Acuerdos MSF), garantiza que el comercio mundial no se vea obstaculizado por barreras artificiales y que las medidas de control fitosanitario se basen en una evaluación de riesgo científicamente justificable. Por ejemplo, si una especie vegetal es reconocida como potencialmente invasiva, y por lo tanto una amenaza para el país, la justificación científica de su regulación (permitir o prohibir entrada) debe basarse en una evaluación de riesgo (OMC). En Chile, a pesar del reconocimiento de la necesidad de un sistema de detección temprana, es necesario un método integrador para evaluar las plantas que son propuestas para su introducción (Fuentes *et al.* 2010). Sin embargo, un consenso entre autoridades ambientales y la comunidad científica enfatiza la necesidad de una validación previa y el uso subsecuente de dichos protocolos (Fuentes & Pauchard 2011).

Chile posee cerca de 800 especies de plantas vasculares que han sido reportadas como naturalizadas (Rodríguez *et al.* 2018, Fuentes *et al.* 2020), pero se conoce muy poco sobre su potencial invasor (ver Fuentes *et al.* 2014), ya que

muchas de estas especies no han permanecido el tiempo suficiente (fase de retraso o "lag phase", *sensu* Kowarik 1995; periodo en el cual las especies tienen un rango limitado de distribución y tamaño poblacional, por lo tanto impactos limitados sobre el ecosistema) para convertirse en invasoras. En consecuencia, pueden ocurrir nuevas invasiones incluso si no se introducen nuevas especies de plantas al país (Fuentes *et al.* 2010). En este contexto, la evaluación del estatus de las plantas introducidas ya establecidas en el país es de crucial importancia para evitar nuevas invasiones, pero también como un primer paso en la gestión y manejo de estas especies. Este artículo tiene como objetivo validar una versión modificada del AWRA para su aplicación en Chile. La validación se realiza utilizando la clasificación de expertos y el método de análisis de la curva ROC (Receiver Operating Characteristic, o curva Característica Operativa del Receptor). Esta validación será útil no solo para que el país cuente con una herramienta validada y cumplir con los estándares internacionales en términos de bioseguridad, sino que además evaluará el potencial invasor de más de 350 plantas introducidas ya establecidas en el país, identificando posibles grupos de especies que deben ser manejadas o controladas y así orientar de mejor forma los esfuerzos en su gestión.

MATERIALES Y MÉTODOS

APLICACIÓN DEL MÉTODO AUSTRALIANO DE EVALUACIÓN DE RIESGO

Las especies fueron escogidas al azar de la lista de especies publicada por Fuentes *et al.* (2013). Todas las especies seleccionadas están en alguna de las cinco categorías

asignadas por Matthei (1995): flora (especies no naturalizadas, incluyendo especies nativas); maleza; maleza común; maleza principal; y maleza muy seria (especies introducidas con impactos significativos en el territorio) (ver detalle Tabla 1). Se calcularon los puntajes de evaluación de riesgo para cada una de las especies introducidas seleccionadas, utilizando el protocolo AWRA (ver Pheloung *et al.* 1999) adaptado para el país (en lo sucesivo, WRA-Ch) (Fuentes *et al.* 2010). El AWRA original contiene 49 preguntas divididas en 3 secciones que producen puntajes identificables que contribuyen al puntaje total: biogeografía, biología/ecología y rasgos indeseables (ver Pheloung *et al.* 1999). Se requiere un mínimo de 10 respuestas para evaluar una especie: 2 respuestas en la sección biogeografía, 6 respuestas en la sección biología/ecología y 2 respuestas en la sección rasgos indeseables. Según su puntaje, cada planta introducida se clasificó en una de las tres posibles categorías resultantes. Especies con menos de 1 punto (y por lo tanto representan un riesgo de invasión insignificante) fueron categorizadas como "aceptadas" (para su introducción al país, ya que el análisis se realiza en especies propuestas para ser introducidas a un territorio determinado). Especies con más de 6 puntos (por lo tanto con potencial invasor) se clasificaron como "rechazadas". En el caso de puntajes intermedios, entre 1 y 6 puntos, las especies fueron asignadas a la categoría de "segunda evaluación" (se requiere una segunda evaluación y obtener mayor cantidad de información sobre la especie). En base a las respuestas del AWRA, es posible identificar el área que podría ser impactada por la introducción de la especie: impactos en el sector agrícola, impactos en áreas naturales o impactos en ambas áreas.

TABLA 1. Estatus y descripción de cada categoría para las especies de plantas introducidas presentes en Chile usadas por Matthei (1995). N = número de especies en cada categoría usada para la comparación con los puntajes de WRA-Ch. / Status and description of each category for alien plants present in Chile used by Matthei (1995). N = number of alien plants in each category used for comparisons against WRA-Ch scores.

Categoría	Descripción
Flora (N = 71)	Se conoce que la especie está presente en la flora del país, pero se necesita evidencia para confirmar que la planta se comporte como una planta invasora.
Maleza (N = 54)	La especie está presente y se comporta como una planta invasora, pero su rango de importancia es desconocido.
Maleza común (N = 140)	Las especies están muy extendidas en el país y en muchos cultivos, lo que requiere un esfuerzo constante para mantenerse bajo control.
Maleza principal (N = 65)	Las especies están muy extendidas en el país y en los cultivos, su presencia determina daños sustanciales en los cultivos, pero nunca la pérdida total.
Maleza muy seria (N = 39)	La especie puede causar la pérdida total del cultivo si no se elimina.

Para contestar el cuestionario WRA-Ch, se modificaron las preguntas 2.01, 2.04, 4.10 y 8.05 (del formulario original Pheloung *et al.* 1999), para representar las características climáticas del territorio continental chileno. Las preguntas que se modificaron fueron: 2.01 “idoneidad de las especies al clima australiano” cambió a “idoneidad al clima chileno”. La pregunta 2.04 se modificó de “nativa o naturalizada en regiones con periodos secos prolongados” a “nativa o naturalizada en regiones con un gradiente climático, desde el desierto hasta la estepa patagónica o amplio gradiente climático”. La pregunta 4.01 “crecer en suelos infértiles” se modificó a “suelos con capa orgánica delgada y/o con alto nivel de erosión”. Finalmente, la pregunta 8.05 “presencia de enemigos naturales efectivos en Australia” se cambió a “presencia de enemigos naturales efectivos en Chile”. En el cuestionario original, las respuestas a las preguntas 2.01 y 2.02 (correspondencia climática) son usadas para responder a las preguntas 3.01 a la 3.05, relacionadas con “invasora en otro lugar”. El método requiere asignar el valor máximo (10 puntos, puntaje máximo predeterminado) si no existe información climática detallada, lo cual ocurre para las especies en Chile. En este caso, utilizar los puntajes sugeridos por defecto resulta con todas las especie rechazadas, incluso aquellas de importancia agrícola (data no mostrada). Estudios previos utilizando los puntajes predeterminados para estas preguntas no encontraron evidencia que al asignar este puntaje diese como resultado un mayor sesgo en el rechazo de las especies (Gordon *et al.* 2008). Sin embargo, en este estudio restamos el puntaje predeterminado asignado a la correspondencia climática para cada especie y utilizamos las puntuaciones restantes y así evitar falsos rechazos (Gordon *et al.* 2008). Finalmente, para evitar tautología en la aplicación del método (Daehler & Carino 2000), no consideramos el comportamiento de las especies introducidas en el país para contestar el cuestionario.

VALIDACIÓN WRA-CH Y ANÁLISIS

Para validar el WRA-Ch se utilizaron las cinco categorías (antes mencionadas) propuestas por Matthei (1995) para plantas introducidas en Chile (en adelante, categorías de expertos), como una aproximación de la clasificación de expertos utilizada comúnmente para comparar la precisión del AWRA en predecir el estatus de la planta en el país: invasora o no-invasora (Pheloung *et al.* 1999, Gordon *et al.* 2008). No se realizaron otras clasificaciones por expertos, ya que la mayoría de los expertos en Chile aún utilizan los criterios de clasificación propuestos por Matthei (1995), para determinar el estatus de las especies de plantas vasculares introducidas en el territorio chileno (A. Marticorena, Com.Pers.).

Para evaluar si existen diferencias significativas entre el

puntaje obtenido por cada especie introducida mediante el método WRA-Ch y las categorías de expertos, se utilizó una ANOVA (categoría de experto como factor y WRA-Ch, como variable dependiente). Además, para evaluar la capacidad del método WRA-Ch en predecir el estatus invasor o no-invasor de las plantas introducidas, utilizamos el método de la curva característica operativa del receptor (Receiver Operating Characteristic, ROC por sus siglas en inglés) (DeLong *et al.* 1988). Este análisis requiere la comparación de dos grupos de especies: uno para el cual el rechazo es el resultado incorrecto y otro para el cual es el correcto. La curva se forma al trazar la proporción de verdaderos positivos (es decir, plantas invasoras rechazadas) contra la proporción de falsos positivos (plantas no-invasoras rechazadas) a lo largo del rango de puntos de corte en una escala de indicadores (es decir, puntajes del WRA-Ch). El área bajo la curva ROC (valores entre 0.5 y 1) representa la probabilidad de que un caso positivo elegido al azar (planta invasora) tenga un valor de prueba más alto (puntajes WRA-Ch) que un caso negativo elegido al azar (planta no-invasora). Cuanto más cerca esté el área bajo la curva ROC de 1, mayor será la capacidad del sistema de predicción para discriminar entre los 2 grupos, plantas invasoras y no-invasoras (Lasko *et al.* 2005). Para este análisis se utilizaron un total de 110 especies, que fueron clasificadas como invasoras o no-invasoras por siete profesionales de diferentes áreas: botánica (2 expertos), agronomía (3 expertos), ecología y conservación (2 expertos) (Encuesta realizada en el “Taller de Análisis de Riesgo de Plagas”; Servicio Agrícola y Ganadero SAG, Santiago, Chile, 2012). Si algún profesional no conocía el estatus de la especie, esta quedaba sin clasificar (no se conoce). Al agrupar las clasificaciones, se consideró el estatus que más veces se repetía para la misma especie.

RESULTADOS

Un total de 369 especies introducidas naturalizadas, 47 % del total de especies introducidas naturalizadas registradas en Chile (Fuentes *et al.* 2020), fueron analizadas utilizando el método WRA-Ch (Material suplementario I). Para las 369 especies se contestaron el mínimo de preguntas requeridas en cada sección. Del total de especies, 2 especies fueron aceptadas, 339 rechazadas y 28 resultaron en el estatus de segunda evaluación. El puntaje WRA-Ch más alto obtenido por una especie introducida en Chile fue de 26. Basado en las respuestas al cuestionario, se identificó que tanto las áreas naturales como agrícolas podrían ser igualmente impactadas por las especies introducidas evaluadas en este estudio.

Al comparar entre las categorías de expertos con los

puntajes obtenidos por las especies mediante la aplicación del WRA-Ch, se encontró que las categorías de expertos difieren significativamente en el valor promedio de la puntuación WRA-Ch en cada grupo ($F_{(4,408)} = 12.17, p < 0.001$, Fig. 1). Maleza principal y maleza muy seria son las categorías que obtuvieron los valores más altos de WRA-Ch (26 puntos) (Fig. 1). Mientras que maleza común, maleza y flora obtuvieron los valores más bajos (Fig. 1). Al evaluar la capacidad del WRA-Ch en predecir el estatus invasor o no-invasor de una planta utilizando el método de la curva ROC, el resultado mostró que el área bajo la curva ROC fue de 0.96 (Fig. 2), lo que indica una excelente capacidad del WRA-Ch para diferenciar entre plantas invasoras y no-invasoras. Especies con altos valores de WRA-Ch fueron: *Rubus ulmifolius* (28), *Rubus constrictus* (25) y *Rosa rubiginosa* (24). Mientras que especies con valores muy bajos fueron: *Alnus glutinosa* (0), *Herniaria cinerea* (-1) y *Digitalis purpurea* (2) (Material Suplementario 1).

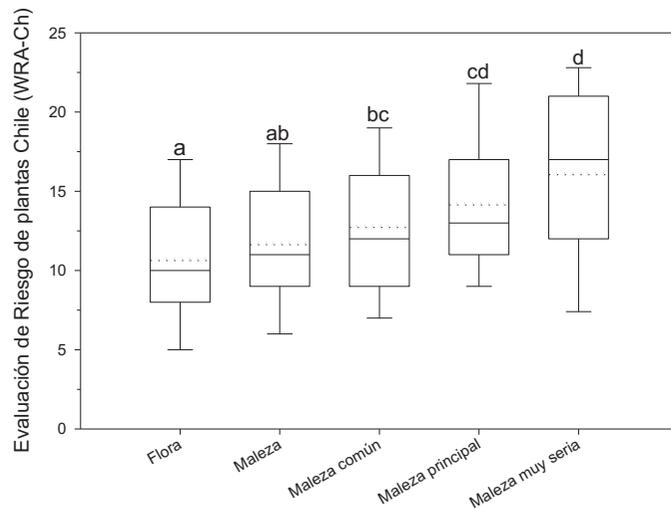


FIGURA 1. Media (línea punteada), mediana (línea sólida), 10th, 25th, 75th y 90th percentiles de WRA-Ch (de los cinco estatus de las plantas introducidas basado en Matthei (1995)). Promedio WRA-Ch muestra diferencias significativas entre el estatus de las especies introducidas luego de ANOVA de una vía ($F_{(4,408)} = 12.17; p < 0.001$). El estatus de las plantas introducidas que no muestra diferencias significativas comparten la misma letra ($p < 0.05$, test de Tukey HSD). / Mean (dotted line), median (solid line), 10th, 25th, 75th and 90th percentiles of WRA-Ch. Average WRA-Ch showed significant differences among alien status after one way-ANOVA ($F_{(4,408)} = 12.17; p < 0.001$). Alien plant status that showed no significant differences share the same letter ($p < 0.05$, Tukey HSD test).

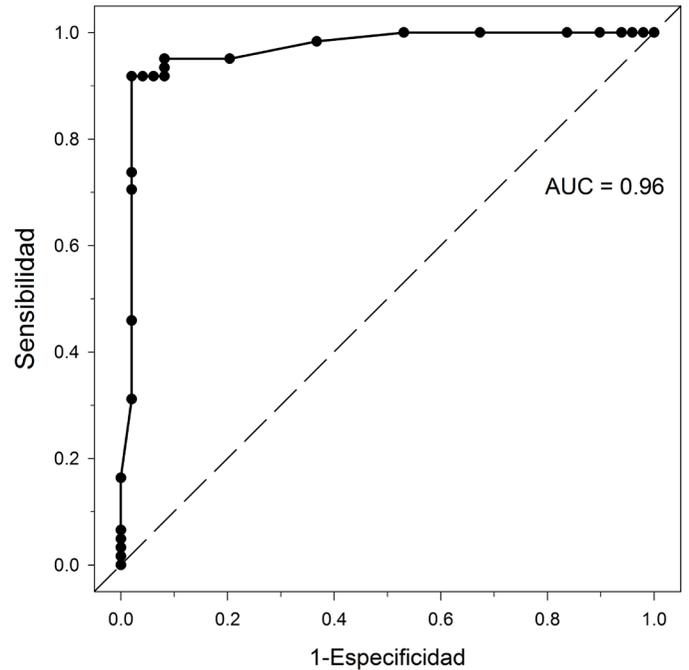


FIGURA 2. Curva característica operativa del receptor (ROC, por sus siglas en inglés) para el WRA-Ch clasificando plantas introducidas como invasoras o no-invasoras en Chile. El área bajo la curva ROC fue de 0.96. / Receiver operating characteristic curve (ROC) for the WRA-Ch classifying plants as invasive or non-invasive in Chile. In this figure invader and non-invader are combined. The area under the ROC curve was 0.96.

DISCUSIÓN

La Evaluación de Riesgo de Plantas-Chile (WRA-Ch) mostró una estrecha asociación con la principal fuente de clasificación de expertos para Chile (Matthei 1995), resultado consistente con los encontrados en otras regiones del mundo donde el AWRA también ha sido validado (Gassó *et al.* 2010; Crosti *et al.* 2010). A partir de este resultado en particular, sugerimos validar el uso del WRA-Ch como un protocolo que, a partir de su integración de parte de la historia natural y la ecología de las especies, permite la evaluación del riesgo de introducción en el territorio nacional y por lo tanto también puede ser usado para orientar acciones futuras de manejo de plantas introducidas invasoras establecidas en Chile. Sin embargo, es importante tener en consideración que las categorías de expertos no discriminan claramente entre pares sucesivos de estas en cuanto al valor promedio de WRA-Ch de cada categoría (i.e., flora no se diferencia de maleza; maleza de maleza común; maleza común de maleza principal; maleza principal de maleza seria). Hay altos niveles de variación en

WRA-Ch dentro de cada categoría de expertos, lo que hace que se superpongan y sólo las categorías intermedias mostraron diferencias significativas entre ellas. Este solapamiento puede deberse a que el elevado número de categorías (5), hace difícil tener una definición inequívoca para cada una de ellas. Las puntuaciones del WRA-Ch confirman esta ambigüedad entre las categorías de expertos, lo que puede reducir su eficacia (en términos prácticos) para la aceptación o el rechazo de nuevas especies, si la validación de este índice estuviese únicamente sustentada por la clasificación de expertos. No obstante, el WRA-Ch es menos variable que los criterios de los expertos al tener sólo tres opciones posibles: aceptado, evaluado y rechazado. Esto refuerza la objetividad de la decisión final de rechazar o aceptar una especie vegetal según los criterios de los expertos, aún cuando para el caso de la clasificación chilena basada en Matthei (1995), no discrimine bien entre pares consecutivos de categorías. Los criterios de expertos, en otras situaciones, no han sido eficaces para prevenir la introducción y propagación de especies invasoras (Pheloung *et al.* 1999; Daehler *et al.* 2004); y se ha demostrado que varían entre grupos de expertos (botánicos, conservacionistas y agrónomos) (Pheloung *et al.* 1999), así como a través del tiempo (Weber *et al.* 2009).

En estudios anteriores se había mencionado la capacidad del sistema australiano para predecir la propagación de plantas introducidas a escala del paisaje (Dawson *et al.* 2009). La capacidad de este sistema de evaluación en la predicción de la propagación de especies de plantas introducidas, se debe a que este contiene y pondera información crucial sobre la especie de planta en el reconocimiento de la propagación potencial de la especie (i.e., aspectos de su biología, preferencias climáticas, modo de reproducción y dispersión, y su historia conocida como planta invasora). En Chile también se había sugerido cierta capacidad del sistema de Australia en la predicción (parcial) de la propagación espacio-temporal de una determinada especie de planta introducida (ver ET-index; Fuentes *et al.* 2010). Sin embargo, la capacidad sugerida se basó en una relación entre los sistemas australianos y una medida compuesta de propagación potencial (rango geográfico en el territorio chileno, como el número de provincias con presencia de la especie, y el tiempo de residencia mínimo; ver Fuentes *et al.* 2010 para el cálculo), pero no a partir del uso de métodos de validación como la comparación con las categorías de clasificación de expertos y el método de la curva ROC. En este contexto, la validación del WRA-Ch junto con la información de distribución espacial y tiempo de residencia mínimo, permitiría ayudar a predecir las especies introducidas con alto potencial invasor que pueden aumentar su distribución geográfica, lo que ayudaría a identificar especies que potencialmente deben ser priorizadas

en su manejo, incluso si su área de distribución geográfica actual es pequeña.

Nuestros resultados representan una herramienta útil para el manejo de potencial introducción de nuevas especies de plantas al país, lo cual permitiría utilizar eficientemente los recursos y reducir el costo económico y ecológico de las especies invasoras. Teniendo en cuenta los nuevos acuerdos comerciales establecidos por Chile y el aumento de la introducción de especies de plantas, como por ejemplo para la producción de biocombustibles y bioenergía, se esperan nuevas llegadas de especies en un futuro próximo. La validación del WRA-Ch para su uso en Chile representa un paso importante en la prevención de la introducción de nuevas especies y puede ser imitado por otros países con realidades similares, donde la información sobre especies invasoras es todavía limitada. Por lo tanto, sugerimos que el WRA-Ch pueda ser utilizado por organismos gubernamentales encargados del monitoreo de la biodiversidad a nivel nacional y del control en las fronteras, y a través de esto cumplir con los acuerdos y regulaciones internacionales vigentes. Nuestro estudio es un aporte a la necesidad de implementar indicadores para la sustentabilidad silvoagropecuaria de Chile (Mujica *et al.* 2022), ya que presenta datos de especies invasoras presentes en el territorio nacional, pero también de aquellas especies introducidas potencialmente invasoras. La validación de un método de evaluación de riesgo de invasión, permite contar con una herramienta para distinguir claramente aquellas especies que son o pueden ser invasoras de otras especies introducidas no invasoras, a la vez que contribuye a priorizar las especies invasoras que deben ser evaluadas y monitoreadas a escala nacional y local.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a E. Ugarte, S. Klotz, D. Gordon, M.T.K. Arroyo, A. Pauchard, S. Gómez, C.C. Daehler y Daisy Nuñez por sus comentarios en versiones anteriores de este manuscrito. Agradecemos a todos los profesionales que clasificaron las especies en invasoras y no-invasoras en el Taller de Análisis de Riesgo de Plagas impartido por el Servicio Agrícola y Ganadero en Santiago, Chile 2012. También agradecemos al Herbario CONC del departamento de Botánica de la Universidad de Concepción. NF Agradece el apoyo del proyecto FONDECYT N° 1181688.

REFERENCIAS

Crosti, R., Cascone, C., Cipollaro, S. 2010. Use of a weed risk

- assessment for the Mediterranean region of Central Italy to prevent loss of functionality and biodiversity in agroecosystems. *Biological Invasions* 12: 1607-1616.
- Daehler, C.C. 1998. The taxonomic distribution of invasive angiosperm plants: ecological insights and comparison to agricultural weeds. *Biological Conservation* 84:167-180.
- Daehler, C.C., Carino, D.A. 2000. Predicting invasive plants: prospects for a general screening system based on current regional models. *Biological Invasions* 2: 92-103.
- Daehler, C.C., Denslow, J.S. 2007. The Australian weed risk assessment system: does it work in Hawaii? Would it work in Canada? In: Clements, D.R., Darbyshire, S.J. (Eds) *Invasive plants: inventories, strategies and action-Topics in Canadian Weed Science*. pp. 9-24. Canadian Weed Science Society, Québec.
- Daehler, C.C., Denslow, J.S., Ansari, S., Kuo, H. 2004. A risk assessment system for screening out harmful invasive pest plants from Hawaii and other Pacific Islands. *Conservation Biology* 18: 360-368.
- Dawson, W., Burslem, D., Hulme, P. 2009. The suitability of weed risk assessment as a conservation tool to identify invasive plants threats in East African rainforests. *Biological Conservation* 142: 1018-1024.
- DeLong, E.R., DeLong, D.M., Clarke-Pearson, D.L. 1988. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics* 44: 837-845.
- Ewel, J.J., O'Dowd, D., Bergelson, J., Daehler, C.C., D'Antonio, M.D., Gómez, L.D., Gordon, D., Hobbs, R.J., Holt, A., Hopper, K.R., Hughes, C.E., LaHart, M., Leakey, R.B., William, L., Loope, L.L., Lorence, D.H., Louda, S.M., Lugo, A.E., McEvoy, P.B., Richardson, D.M., Vitousek, P.M. 1999. Deliberate introduction of species: Research needs. *BioScience* 49: 619-630.
- Fuentes, N., Pauchard, A. 2011. Evaluación de Riesgo de especies de Plantas Introducidas (ERPI) en Chile: estableciendo prioridades para su manejo o control (Documento Técnico sobre el Taller Nacional realizado en Diciembre 2010). Laboratorio de invasiones Biológicas (LIB) (Disponible en: <http://www.lib.udec.cl/>).
- Fuentes, N., Ugarte, E., Kühn, I., Klotz, S. 2010. Alien plants in southern South America. A framework for evaluation and management of mutual risk of invasion between Chile and Argentina. *Biological Invasions* 12: 3227-3236.
- Fuentes, N., Pauchard, A., Sanchez, P., Esquivel, J., Marticorena, A. 2013. A new comprehensive database of alien plants species in Chile based on herbarium records. *Biological Invasions* 15(4): 847-858.
- Fuentes, N., Sanchez, P., Pauchard, A., Urrutia, J., Cavieres, L., Marticorena, A. 2014. Plantas Invasoras del Centro-Sur de Chile: Una Guía de Campo. Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB), Concepción, Chile.
- Fuentes, N., Marticorena, A., Saldaña, A., Jerez, V., Ortiz, J.C., Victoriano, P., Moreno, R.A., Larrain, J., Villaseñor-Parada, C., Palfner, G., Sánchez, P., Pauchard, A. 2020. Multi-taxa inventory of naturalized species in Chile. *Neobiota* 60: 25-31.
- Gassó, N., Basnou, C., Vilà, M. 2010. Predicting plant invaders in the Mediterranean through a weed risk assessment system. *Biological Invasions* 2: 463-476.
- Goodwin, B.J., McAllister, A.J., Fahrig, L. 1999. Predicting invasiveness of plant species based on biological information. *Conservation Biology* 13: 422-426.
- Gordon, D., Onderdonk, D., Fox, A., Stocker, R. 2008. Consistent accuracy of the Australian weed risk assessment system across varied geographies. *Diversity and Distribution* 14: 234-242.
- Keller, R.P., Lodge, D.M., Finnoff, D.C. 2007. Risk assessment for invasive species produces net bioeconomic benefits. *Proceeding of the National Academy of Science USA* 104: 203-207.
- Kowarik, I. 1995. Time lags in biological invasions with regard to the success and failure of alien species. In: Pyšek, P., Prach, K., Rejmánek, M., Wade, M. (Eds.) *Plant invasions: general aspects and special problems*, pp. 15-38. SPB Academic Publishing, Amsterdam.
- Lasko, T.A., Bhagwat, J.G., Zou, K.H., Ohno-Machado, L. 2005. The use of receiver operating characteristic curves in biomedical informatics. *Journal of Biomedical Informatics* 38: 404-415.
- Matthei, O. 1995. *Manual de las malezas que crecen en Chile*. Alfabeta Impresores, Chile.
- Mujica, R., Arellano, E., Arriagada, R., Cerda, C., Craven, D., Dobbs, C., Donoso, P., Estades, C., Gonzalez, A., Navarro, C., Pauchard, A., Rojas, C., Rojas, Y., Rubilar, R., Salas, C., Soto, D., Bown, H. 2022. Indicadores de Sustentabilidad para el Desarrollo Forestal. In: Meza, F., Muñoz, L., Acuña, D., Avilés, O. (Eds.) *Propuesta de Indicadores de Sustentabilidad para el Sector Silvoagropecuario de Chile*. Santiago, Chile.
- Nuñez, M., Pauchard, A. 2010. Biological invasions in developing and developed countries: does one model fit all? *Biological Invasions* 12: 707-714.
- Pheloung, P.C., Williams, P.A., Halloy, S.R. 1999. A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions. *Journal Environmental Management* 57: 239-251.
- Pimentel, D., Zuniga, R., Morrison, D. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological*

- Economics 52: 273-288.
- Pyšek, P., Sádlo, J., Mandák, B., Jarošík, V. 2003. Czech alien flora and the historical pattern of its formation: what came first to central Europe? *Oecologia* 135: 122-130.
- 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: 93-107.
- Reichard, S.H., Hamilton, C.W. 1997. Predicting invasions of woody plants introduced into North America. *Conservation Biology* 11: 193-203.
- Seebens, H., Blackburn, T.M., Dyer, E.E., Genovesi, P., Hulme, P.E., Jeschke, J.M., Pagad, S., Pyšek, P., Winter, M., Arianoutsou, M., Bacher, S., Blasius, B., Brundu, G., Capinha, C., Celesti-Grappo, L., Dawson, W., Dullinger, S., Fuentes, N., Jäger, H., Kartesz, J., Kenis, M., Kreft, H., Kühn, I., Lenzner, B., Liebhold, A., Mosena, A., Moser, D., Nishino, M., Pearman, D., Pergl, J., Rabitsch, W., Rojas-Sandoval, J., Roques, A., Rorke, S., Rossinelli, S., Roy, H.E., Scalera, R., Schindler, S., Stajerová, K., Tokarska-Guzik, B., Van Kleunen, M., Walker, K., Weigelt, P., Yamanaka, T., Essl, F. 2017. No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications* 8: 14435. <https://doi.org/10.1038/ncomms14435>
- Simberloff, D. 2009. We can eliminate invasions or live with them. Successful management projects. *Biological Invasions* 11: 149-157.
- Tucker, K.C., Richardson, D.M. 1995. An expert system for screening potentially invasive alien plants in South African Fynbos. *Journal of Environmental Management* 44: 309-338.
- van Kleunen, M., Dawson, W., Essl, F., Pergl, J., Winter, M., Weber, E., Kreft, H., Weigelt, P., Kartesz, J., Nishino, M., Antonova, L., Barcelona, J.F., Cabezas, F.J., Cárdenas, D., Cárdenas-Toro, J., Castaño, N., Chacón, E., Chatelain, C., Ebel, A.L., Figueiredo, D., Fuentes, N., Groom, Q.J., Henderson, L., Inderjit, K.A., Masciadri, S., Meerman, J., Morozova, O., Moser, D., Nickrent, D., Patzelt, A., Pelsler, P.B., Baptiste, M.P., Poopath, M., Schulze, M., Seebens, H., Shu, W., Thomas, J., Velayos, M., Wieringa, J.J., Pyšek, P. 2015. Global exchange and accumulation of nonnative plants. *Nature* 525: 100-103. <https://doi.org/10.1038/nature14910>
- Weber, E., Gut, D. 2004. Assessing the risk of potentially invasive plant species in Central Europe. *Journal for Nature Conservation* 12: 171-179.
- Weber, J., Panetta, D., Virtue, J., Pheloung, P. 2009. An analysis of assessment outcomes from eight years' operation of the Australian border weed risk assessment system. *Journal of Environmental Management* 9: 798-807.
- Westbrooks, R.G. 1991. Plant protection issues I. A commentary on new weeds in the United States. *Weed Technology* 5: 232-237.
- Williams, P.A., Cameron, E.K. 2006. Creating gardens: The diversity and Progression of European plants introductions. In: Allen, R.B., Lee, W.G. (Eds) *Biological Invasions in New Zealand*, pp. 33-47. *Ecological Studies*, Vol. 186, Springer-Verlag, Berlin.

Received: 10.10.2020

Accepted: 31.05.2022