

Artículo Científico

Invasión de *Drosophila suzukii* (Matsumura) en Chile: utilizando los modelos de distribución de especies como herramienta de bioseguridad

Invasion of *Drosophila suzukii* (Matsumura) in Chile: using species distribution models as biosecurity tools

Gustavo Bizama^{1,2}

¹Centro de Investigación Aplicada de Chile.

²Fundación Educación y Ciencia, Santiago, Chile. E-mail: gubizama@gmail.com

ZooBank: urn:lsid:zoobank.org:pub:F3BB3DAE-6903-4B05-B218-CCEC69CFFF89

<https://doi.org/10.35249/rce.46.1.20.08>

Resumen. *Drosophila suzukii* (Matsumura), nativa del este y sureste de Asia, es una plaga de frutas pequeñas, de epidermis suave y delgada. Detectado por primera vez en Chile el año 2017 en el camino Pucón-Villarrica y actualmente ha extendido su distribución. En este trabajo, se utilizaron modelos de distribución de especies para identificar la etapa invasiva de *D. suzukii* en Chile, se consideraron las variables climáticas como predictores de idoneidad, y de esta manera, se obtuvo información sobre el proceso invasivo y la distribución potencial en Chile, además del efecto en posibles hospedantes. Los modelos de nichos globales y regionales indican, que la invasión de *D. suzukii*, aún no alcanza el equilibrio, falta un 49,4% del potencial invasivo en el país. Sin embargo, las etapas de invasión indican que el 98,6% de las poblaciones se encuentran estables, un 1,54% en la etapa de colonización y 0% en condición de sumidero y adaptación local. El nicho climático ocupó un 99% de condiciones estables, existió una mínima expansión a climas nuevos (0,01%) y existe un gran potencial para seguir invadiendo territorio chileno. El impacto en los posibles hospederos considerados, *Vitis vinifera* y *Prunus avium* fue de 55,6% y 78,7% respectivamente. Finalmente, los SDMs, en conjunto con el conocimiento de la biología de la especie, son de gran utilidad para establecer el estado de invasión, y gestionar estrategias de prevención y control.

Palabras clave: Bioseguridad, dinámica de nicho, etapas de invasión, hospedador, modelos de distribución de especies, plagas.

Abstract. *Drosophila suzukii* (Matsumura), native to East and Southeast Asia, is a pest of small fruits, with a soft and thin epidermis. Detected for the first time in Chile in 2017 on the Pucón-Villarrica road and has now extended its distribution. In this work, using species distribution models to identify the invasive stage of *D. suzukii* in Chile, climatic variables were considered as predictors of suitability and in this way, information was obtained on the invasive process and potential distribution in Chile, as well as the effect in possible hosts. Global and regional niche models indicate that the invasion of *D. suzukii* still has not reached equilibrium, 49.4% of the invasive potential in the country is lacking. On the other hand, the invasion stages indicate that 98.6% of the populations are stable, 1.54% in the colonization stage and 0% in a condition of sump and local adaptation. The climate niche occupied 99% of stable conditions, there was minimal expansion to new climates (0.01%) and there is great potential to continue invading Chilean territory. The impact on the possible hosts considered, *Vitis vinifera* and *Prunus avium* was 55.6% and 78.7% respectively. Finally, the SDMs, together with the

Recibido 30 Noviembre 2019 / Aceptado 23 Enero 2020 / Publicado online 31 Enero 2020

Editor Responsable: José Mondaca E.

knowledge of the biology of the species, are very useful to establish the invasion status, and manage prevention and control strategies.

Key words: Biosecurity, host, invasion stages, niche dynamics, pests, species distribution models.

Introducción

Drosophila suzukii (Matsumura, 1931) (Diptera: Drosophilidae), plaga comúnmente conocida como *Drosophila* de alas manchadas, es una de las plagas invasoras más importantes del mundo, debido a la amplia gama de hospedantes vegetales a los cuales ataca (cultivos frutales de piel suave y delgada), además de su capacidad para sobrevivir en una gran diversidad de climas (Asplen *et al.* 2015; Walton *et al.* 2014). *D. suzukii* es una especie nativa del este de Asia, que en 1980 fue registrada por primera vez fuera de su rango natural de distribución (Oahu, Hawái, EE.UU.) (Dos Santos *et al.* 2017), expandiendo rápidamente su presencia, primero en Norte América (California) en el año 2008, para posteriormente seguir invadiendo múltiples estados, hasta alcanzar la Columbia Británica (Canadá), siendo posteriormente detectada el año 2011 en México (Dos Santos *et al.* 2017). Para el caso del continente europeo, esta plaga fue detectada el 2008 en España e Italia, llegando posteriormente a la península Ibérica en el 2012 (Dos Santos *et al.* 2017). En Sudamérica, esta especie fue reportada por primera vez el año 2014 en Rio Grande do Sur, Brasil (Deprá *et al.* 2014), al mismo tiempo que se detectó en Argentina y Uruguay (EPPO 2019). En Chile se reportó primeramente el 2016 en base a una identificación errónea, información que fue corregida por EPPO (2016), confirmando en ese momento su ausencia en Chile. Un año después del fallido reporte (mayo 2017), el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), mediante el sistema de vigilancia específico para la plaga, detecto por primera vez en Chile a *D. suzukii* a través de la captura de adultos en trampas instaladas en el camino que une Pucón con Villarrica en la Región de La Araucanía, estando actualmente declarada como plaga cuarentenaria presente en el país con distribución restringida (Resolución SAG N°1943/2019).

El impacto económico que presenta esta plaga en Chile, estaría relacionado con la "calidad-precio-volumen", además de las restricciones fitosanitarias establecidas para el envío de fruta fresca a países que no tienen presencia de la plaga (SAG 2019). Serían afectadas principalmente las frutas de epidermis delgada, como arándano, cereza, frambuesa, fresa, uva, zarzamora, manzanas y tomates (Sasaki y Sato 1995; Walsh *et al.* 2011), y también se ha observado en hospedantes silvestres y ornamentales (Lee *et al.* 2015). Sin embargo, en Chile se desconoce el comportamiento que podría tener este insecto en el territorio, por lo tanto es de vital importancia poder estimar la distribución potencial de esta plaga, para la planificación y la toma de decisiones en las políticas públicas de sanidad vegetal, tal como lo mencionan Castro-Sosa *et al.* (2017). Una herramienta de gran utilidad para priorizar el riesgo del posible impacto de *D. suzukii* en Chile, es mediante el uso de modelos de distribución de especies (SDMs). Básicamente, un SDMs es una descripción estadística de la distribución de las especies en el espacio ambiental, como resultado de la correlación entre los datos de ocurrencia de las especies y las variables ambientales (Peterson y Holt 2003; Soberon y Nakamura 2009). Esta útil herramienta permite predecir la distribución potencial de las especies en otras regiones del mundo, a partir de sus requerimientos de nicho observados en el rango nativo, o a una escala global (Peterson *et al.* 2003; Thuiller *et al.* 2005; Broenimman *et al.* 2007; Fitzpatrick *et al.* 2007; Reed *et al.* 2008; Soberon y Nakamura 2009; Gallien *et al.* 2012). De esta manera, estos modelos de distribución de especies nos pueden entregar información sobre la probabilidad de presencia de la especie en el ambiente invadido, sobre el proceso de invasión actual (Gallien *et al.* 2012; Taucare-Ríos *et al.* 2016, 2018), hasta donde podrían invadir (Campodonico 2019), incluyendo un posible impacto en los hospedadores.

El objetivo de este estudio es utilizar un conjunto de datos globales y regionales para obtener información sobre la distribución potencial, etapas de invasión, examinar la dinámica de los nichos, proporcionar evidencia de una futura propagación, y establecer el impacto en posibles hospedadores de *D. suzukii* en Chile.

Material y Métodos

Registros. Se utilizó información de Global Biodiversity Information Facility (GBIF: <http://www.gbif.org/>) para evaluar la distribución mundial actual de *D. suzukii*, filtrando previamente la información (5 km), alcanzando un total de 2.290 registros, 496 provenientes de (GBIF), los 1754 registros recolectados por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) descargados desde: <http://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/drosophila-suzukii>, en formato kmz, actualizados por última vez el 17 de julio del 2019 (Fig. 3a). Para el caso de los hospedantes potenciales, fueron utilizados dos posibles hospedadores, *Vitis vinifera* Linnaeus (Vitaceae) y *Prunus avium* Linnaeus (Rosaceae), con un total de 5.066 y 52.420 registros obtenidos de (GBIF), a escala global para ser proyectados en Chile.

Modelo Global - Regional. Los modelos de distribución de especies fueron construidos utilizando variables climáticas de una resolución espacial de 2,5 arc seconds \sim 4,5 km obtenidas de WorldClim 1 (Hijmans *et al.* 2005). Este conjunto de datos incluyó un total de 19 variables bioclimáticas, que resumen la información sobre temperatura y precipitación. Mediante la Prueba de correlación de Pearson, fueron seleccionadas las variables no correlacionadas ($r > 0,70$), las cuales se incluyeron en el modelo. Este procedimiento se realizó utilizando ENMtools versión 1.44 (Warren *et al.* 2008). Utilizando este criterio se seleccionaron 4 variables bioclimáticas: (bio1) promedio de temperatura anual, (bio2) promedio del rango diurno de temperatura, (bio12) precipitación anual, (bio15) estacionalidad de la precipitación. Además, fue incorporada la variable de grados día (obtenida utilizando las mismas variables de temperatura de WorldClim).

Para evaluar la idoneidad del hábitat de la especie, se ajustaron tres métodos ENM, que incluyen modelos de regresión potenciados generalizados (GBM), modelos aditivos generalizados (GAM) y máxima entropía (MaxEnt), los cuales fueron combinados en un modelo de conjunto final usando el paquete biomod2 (Thuiller *et al.* 2016). GBM se configuró para permitir hasta 2.500 árboles, y establecer la tasa de aprendizaje en 0,001 y la fracción de bolsa en 0,5. Para MaxEnt, se permitieron todos los tipos de características (lineal, cuadrática, producto, umbral y bisagra) y se utilizó una interacción máxima de 200. Para todos los modelos globales, se utilizaron 50.000 pseudo-ausencias y 10.000 para los modelos regionales. Los modelos fueron evaluados mediante validación cruzada (75% de entrenamiento, 25% de evaluación) para lo cual se calculó el área bajo la curva (AUC) y estadística de habilidad verdadera (TSS) (Thuiller *et al.* 2009).

Etapas de invasión. Para definir las cuatro etapas en el espacio geográfico (poblaciones estables, sumideros, colonización y adaptación local), se contó con el software DivaGis 7.5.0. Se utilizaron distribuciones potenciales obtenidas desde los ensambles de modelos de (GBM, MaxEnt y GAM) realizados mediante biomod2. Siguiendo a Gallien *et al.* (2012), se utilizó un umbral de 0,5 para definir hábitats adecuados ($> 0,5$) e inadecuados ($< 0,5$) para garantizar que al menos la mitad de los modelos están de acuerdo. Por lo tanto, las ocurrencias dentro de la superposición entre el modelo global y regional serían poblaciones estables (probabilidad sobre 0,5 ambos modelos); las presencias dentro de las zonas geográficas predichas solo por el modelo regional serían poblaciones adaptadas localmente (sobre 0,5 modelo regional); las ocurrencias dentro de las zonas geográficas predichas solo por el modelo global representarían poblaciones en la etapa de colonización y finalmente,

cuando las probabilidades de las presencias de los modelos globales y regionales fuesen menores a 0,5, estas se encontrarían como poblaciones sumideros.

Dinámica de nicho. Se utilizó el análisis PCA-env (Broennimann *et al.* 2012; Petitpierre *et al.* 2012) para comparar los nichos climáticos de *D. suzukii* entre la región global (a excepción de Chile) y la invadida (Chile). Para ello se usaron los dos primeros ejes para definir el espacio ambiental. El espacio ambiental se dividió en 100.000 celdas, y los puntos de presencias se convirtieron en densidades de ocurrencias. En base a estos valores, se estimó un índice de ocupación. Esta métrica permitió la comparación imparcial de las densidades de ocurrencia, cuando los entornos no estaban igualmente disponibles. Finalmente, los valores del índice de ocupación se representaron en el espacio ambiental para delimitar los nichos climáticos de la especie. Posteriormente, estos nichos se compararon utilizando la superposición de nicho D y la equivalencia de nicho (Broenimann *et al.* 2007). A partir de estas comparaciones se logró identificar las zonas de nicho dentro del espacio ambiental (i) sin llenar (U), (ii) estabilidad (S), mismas condiciones ocupadas en rango nativo e invadido; y (iii) la expansión (E), climas nuevos ocupados en el ambiente invadido.

Resultados

Los resultados de los modelos regionales (utilizando sólo los registros de Chile), entregan información de la situación actual de la plaga en el ambiente invadido, en este caso los tres algoritmos indican que las probabilidades de establecimiento más altas en la distribución de *D. suzukii* se concentran en Chile central (Fig. 1). Además, la performance de los modelos resultó con AUC de 0,982; 0,984 y 0,952, respectivamente en cada algoritmo utilizado. Para el caso del TSS fue de 0,873; 0,869 y 0,813. Estos resultados indican un buen desempeño de todos los algoritmos utilizados.

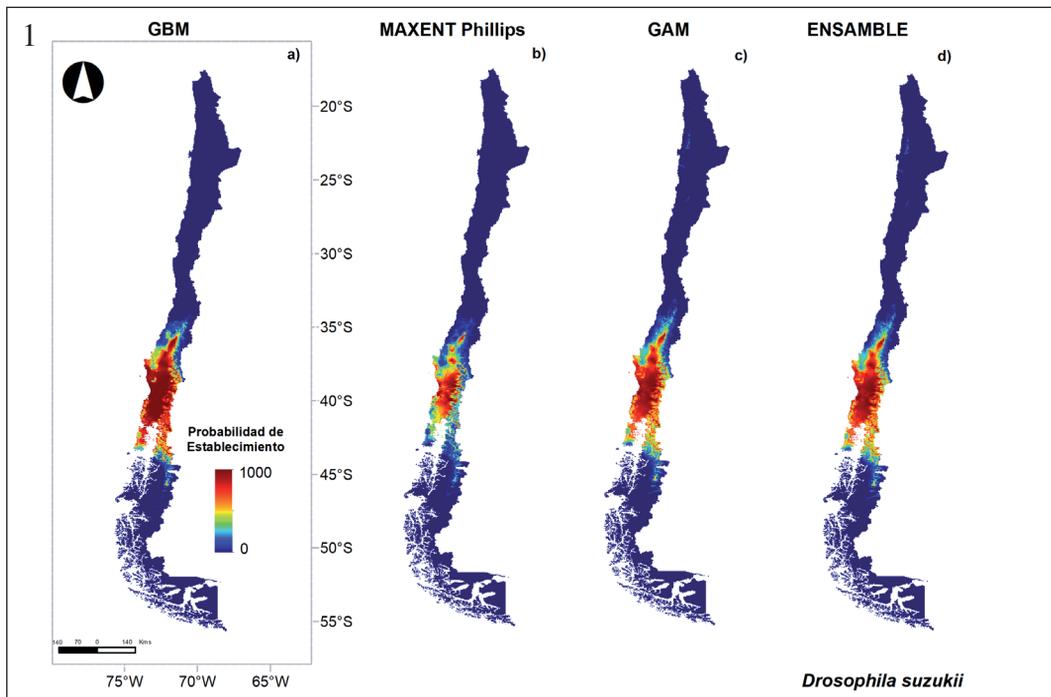


Figura 1. Modelos de distribución de especies (SDMs) de *D. suzukii* basados en diferentes algoritmos (a) GBM (b) Maxent Phillips (c) (GAM) (e) ensamble de los tres algoritmos. Estos modelos representan la distribución actual de *D. suzukii* en Chile.

En el caso de los resultados de los modelos globales proyectados a Chile (utilizando todos los registros a escala global), entregan información del alcance o hasta donde podría llegar a invadir *D. suzukii* en Chile. En este caso los tres algoritmos indican que las probabilidades de establecimiento más altas en la distribución de *D. suzukii*, son desde la zona central hacia el norte del país (Fig. 2). Además, la performance de los modelos resultó con AUC de 0,981; 0,984 y 0,94, respectivamente en cada algoritmo utilizado. Para el caso del TSS fue de 0,868; 0,877 y 0,802. Estos resultados nos indican un buen desempeño de todos los algoritmos utilizados.

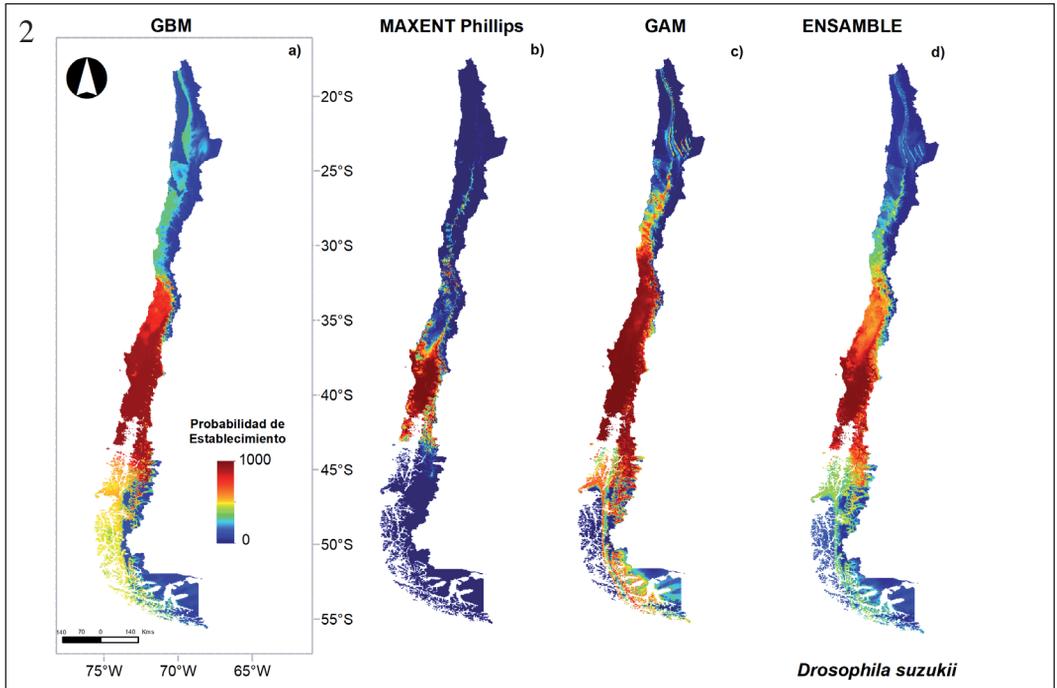


Figura 2. Modelos de distribución de especies (SDM) de *D. suzukii* basados en diferentes algoritmos (a) GBM (b) Maxent Phillips (c) (GAM) (e) ensamble de los tres algoritmos. Estos modelos representan la distribución actual de *D. suzukii* en Chile.

Etapas de invasión de *D. suzukii* en Chile. En el espacio geográfico (Fig. 3b), los modelos globales presentaron un área potencial de 21.505 km² en Chile (verde), mientras el (SDMs) regional presento un área de 10.885 km² (rojo). El área de superposición del 61% (Fig. 3b). En el espacio del nicho, los resultados de las etapas de invasión indican que el 98% se encontraba como poblaciones estables, para la etapa de colonización, el 1,54%, el 0% corresponden a poblaciones de sumideros y sin presentar poblaciones en la etapa de adaptación local 0% (Fig. 3c).

Dinámica de nicho. El PCA-env mostró que los ejes, PC1 y PC2, explicaron más del 90% de la varianza total. El índice de superposición D de Schoener = 0,827, lo que significa que existe una alta superposición entre los dos nichos comparados (global vs invadido). La prueba de equivalencia ($p = 0,018$) resultó en un rechazo de la hipótesis de equivalencia. La prueba de similitud ($p = 0,009$ (similitud de nicho de global con Chile); $p = 0,009$ (similitud de nicho de Chile con global) mostró la misma tendencia. Los resultados fueron estadísticamente significativos, lo que significa que ambos nichos son más similares de lo esperado por casualidad. Estabilidad (S), (igual clima ocupado en rango nativo e invadido) fue de un 99,99%, la expansión del nicho (E), (clima nuevo ocupado en ambiente invadido) fue de 0,01% y lo que falta por rellenar (U), (proporción del nicho global “nativo” sin superposición con el nicho exótico en Chile) es de un 43% (Fig. 4).

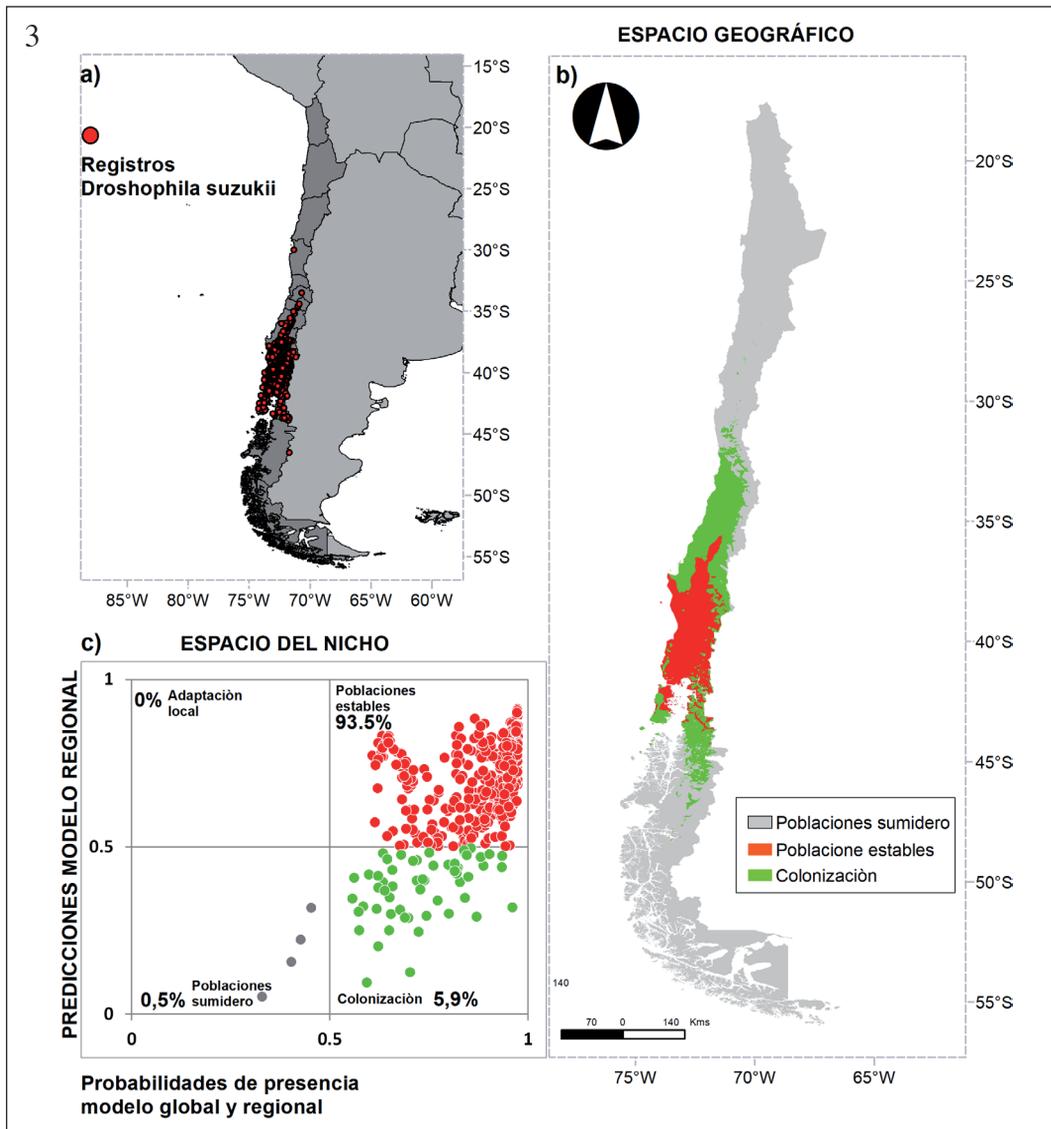


Figura 3. Probabilidades de establecimiento de *D. suzukii*, obtenidas de la intersección entre modelos globales y regionales, en: a) Registros de *D. suzukii* en Chile, b) Etapa de invasión en el espacio geográfico utilizando los modelos globales y regionales (color rojo, representa las P. estables, en verde Colonización, en gris Poblaciones sumidero). c) Etapa de invasión en el espacio del nicho utilizando las probabilidades de los registros de *D. suzukii* en Chile.

Impacto en los potenciales hospedantes. Los resultados de los modelos globales de los hospedadores *V. vinifera* y *P. avium* proyectados a Chile (utilizando todos los registros a escala global), entregan información sobre el potencial de distribución de los posibles hospedantes de *D. suzukii* en Chile y su posible impacto (Fig. 5). El rendimiento de los modelos resultó con AUC de 0,979; 0,978 y 0,979, respectivamente en cada algoritmo utilizado (GBM, Maxent Phillips y GAM). Para el caso del TSS fue de 0,881; 0,873 y 0,867. Estos resultados indican un buen desempeño de todos los algoritmos utilizados. El área potencial ocupada es de 7.463 km² para *V. vinifera* y de 4.718 km² para *P. avium*. La sobreposición con *D. suzukii* es de 55,6% y 78,7% respectivamente.

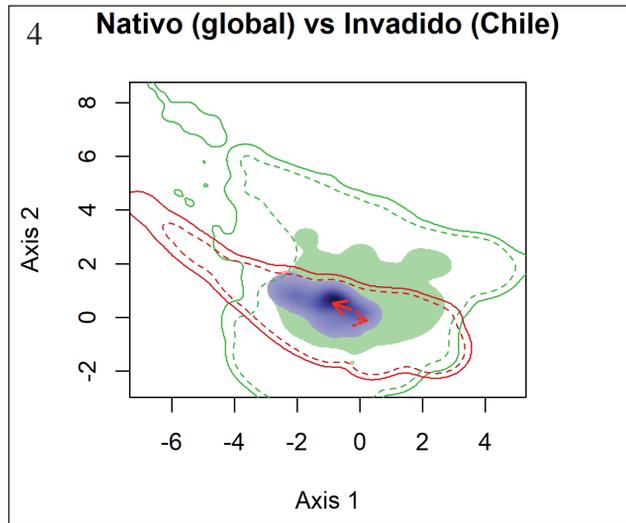


Figura 4. Los resultados de PCA-env muestran el nicho climático de *D. suzukii* en su rango “nativo” para este caso el mundo excepto Chile (en verde), en el rango invadido (en rojo) en este caso Chile y el área superpuesta bastante pequeña de ambos nichos (en azul). Las líneas continuas y discontinuas muestran el 100% y el 75% de la envoltura climática de cada región. El área verde corresponde al nicho vacío (U), el área roja al nicho expandido (E) (inexistente) y el área azul al área de estabilidad (S).

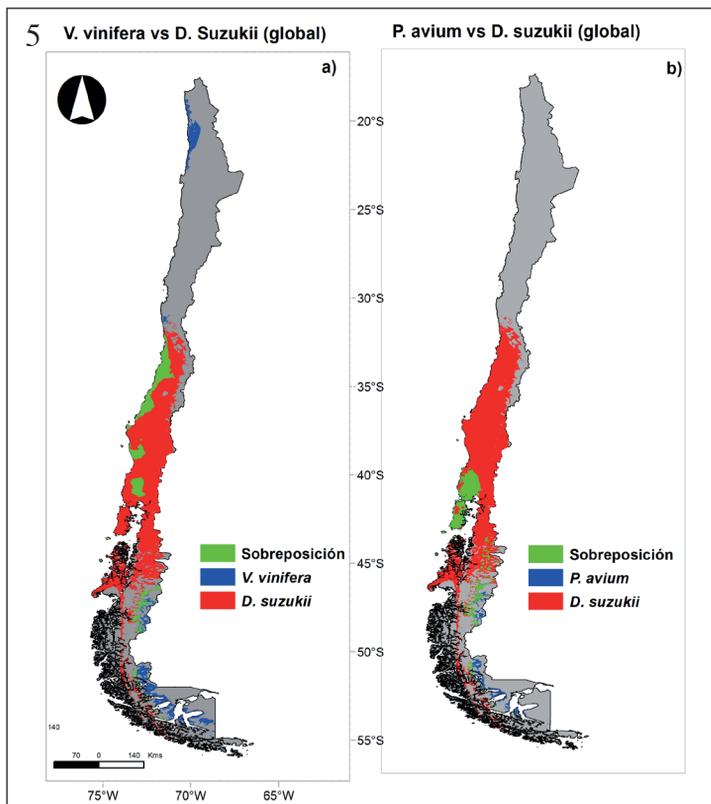


Figura 5. Distribución potencial de *D. suzukii* en relación con dos hospederos no agrícolas; hábitat en rojo representa a *D. suzukii* sin hospedadores, el hábitat en azul, representa a los hospedadores en a) *Vitis vinifera* y en b) *Prunus avium* sin *D. suzukii*. El color verde, representa la sobreposición de los hospedadores con *D. suzukii*.

Discusión

Los resultados de los modelos regionales de *D. suzukii* en Chile, presentaron un buen acuerdo entre los algoritmos utilizados (GBM, Maxent, GAM), concentrando la distribución de *D. suzukii* entre los 38° y 45° de latitud sur, precisamente en la zona donde se originaron los primeros registros de la plaga, alcanzando una distribución potencial actual de 87.497 km² de extensión (Fig. 2), en menos de tres años desde su llegada al país, confirmando la rápida expansión, misma situación ocurrida en otros países (Kaneshiro 1983). Cabe destacar que esto último se pueda deber a que esta pequeña mosca es difícil de ser detectada inmediatamente, dado que los frutos infestados antes de la etapa larval, se ven aparentemente intactos (Calabria *et al.* 2012)

Al comparar esta distribución potencial actual, con la distribución del modelo global proyectado en Chile, se concluye que con una extensión de 207.870 km², existe un 57,9% que falta por ser invadido, por lo tanto, esta especie aún no ha alcanzado su equilibrio en el país (Figs. 1, 2); y presenta un alto potencial para seguir invadiendo hacia el norte y el sur del territorio nacional (entre los 33° y 46° de latitud sur). Precisamente, las zonas templadas con altas precipitaciones y sin estaciones secas, parecen ser las más adecuadas para el establecimiento de *D. suzukii* (Dos Santos *et al.* 2017).

Los resultados sobre el proceso de invasión, indicarían que las poblaciones de *D. suzukii* en Chile se encontrarían mayoritariamente como poblaciones estables 93,5% (Fig. 3c), de color rojo en el espacio geográfico (Fig. 3b), que es donde se deberían realizar planes de control y/o contención de esta plaga. La etapa de colonización presenta un 5,9% y un porcentaje mucho menor se encuentra como poblaciones sumidero 0,5%, no existiendo adaptaciones locales o nuevos climas ocupados por *D. suzukii*. Es probable que a medida que avance el proceso de invasión, *D. suzukii* comience a utilizar algunos “climas novedosos”, apareciendo poblaciones en adaptación local y aumentando las poblaciones sumidero. Estos resultados se pueden corroborar en la dinámica de nicho (Fig. 4), donde se aprecia que existe una alta estabilidad ($S=99,9\%$) en el nicho ocupado por la especie (similar a poblaciones estables), al mismo tiempo que se evidencia una prácticamente nula expansión del nicho de la especie ($E\approx 0\%$), similar a las poblaciones en adaptación local (0%), al mismo tiempo es interesante lo que ocurre con el nicho que falta por rellenar ($U=43\%$), esto nos indica la existencia de una alta cantidad de clima adecuado para el potencial establecimiento de *D. suzukii* en Chile, sumado a no presentar enemigos naturales (Haye *et al.* 2016), se transforma en un escenario perfecto para que esta especie siga invadiendo.

Por otra parte, es importante destacar que existen características presentes en *D. suzukii* que facilitan su proceso de invasión, además de su alto potencial de dispersión, presenta un rápido desarrollo de su ciclo vital (de huevo a adulto en 2 semanas a 22°C) (Tochen *et al.* 2014), una alta fecundidad, que en condiciones climáticas óptimas pueden alcanzar hasta 600 huevos durante toda su vida, y un tiempo generacional corto que le permite alcanzar 7 a 15 generaciones en un año (Mitsui *et al.* 2006; Walsh *et al.* 2011). Sin embargo, una característica que la diferencia de otras especies invasoras, es la gran cantidad de hospederos que presenta *D. suzukii* que incluye frutos de muchas plantas hospederas silvestres y ornamentales (Lee *et al.* 2015; Poyet *et al.* 2015), y si bien existe una preferencia por aquellas de frutos de piel delgada (generalmente bayas), también la elección del hospedante dependerá de su abundancia. Además, esta plaga es capaz de utilizar especies nativas y ornamentales como refugio y hábitats de hibernación (Klick *et al.* 2012).

En este sentido, fue interesante considerar la relación de *D. suzukii* con los potenciales hospederos *V. vinifera* y *P. avium*, utilizando los SDMs. Los resultados indican que las zonas vulnerables para ambas especies donde se encontrarían presentes junto a la plaga serían de un 55,6% y 78,7% respectivamente (ver Fig. 5). Además, esta estimación señala que ambos hospedantes, *V. vinifera* y *P. avium*, podrían no coincidir con *D. suzukii* en el extremo sur de Chile.

Finalmente utilizar los modelos de distribución de especies como herramienta de bioseguridad, serían de gran ayuda principalmente para la prevención de las invasiones biológicas, de esta manera en conjunto con el conocimiento de la biología de la especie, se podrían anticipar una invasión, y así controlar de mejor manera el posible ingreso de especies exóticas al territorio nacional. Asimismo, con el uso de estas herramientas (SDMs), se podría haber evitado que especies de rápida expansión, como *Harmonia axyridis* Pallas (Grez *et al.* 2016), *Bagrada hilaris* (Burmeister) (Faúndez *et al.* 2016), *Leptoglossus occidentalis* Heideman (Faúndez *et al.* 2017), se hayan expandido en Chile y que actualmente existan bajas probabilidades de ser erradicadas y con altos costos económicos asociados.

Literatura Citada

- Asplen, M.K., Anfora, G., Biondi, A., Choi, D.S., Chu, D., Daane, K.M., Gibert, P., Gutierrez, A.P., Hoelmer, K.A., Hutchison, W.D. y Isaacs, R. (2015) Invasion biology of spotted wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*): a global perspective and future priorities. *Journal of Pest Science*, 88(3): 469-494.
- Broennimann, O., Treier, U.A., Müller-Schärer, H., Thuiller, W., Peterson, A.T. y Guisan, A. (2007) Evidence of climatic niche shift during biological invasion. *Ecology Letters*, 10(8): 701-709.
- Broennimann, O., Fitzpatrick, M.C., Pearman, P.B., Petitpierre, B., Pellissier, L., Yoccoz, N.G., Thuiller, W., Fortin, M.J., Randin, C., Zimmermann, N.E. y Graham, C.H. (2012) Measuring ecological niche overlap from occurrence and spatial environmental data. *Global Ecology and Biogeography*, 21(4): 481-497.
- Campononico, J.F. (2019) Presencia de *Siphanta acuta* (Walker) (Hemiptera: Flatidae) en Rapa Nui y distribución potencial en Chile continental. *Revista Chilena de Entomología*, 45(4): 559-578.
- Castro-Sosa, R., Castillo-Peralta, M.D.R., Monterroso-Rivas, A.I., Gomez-Díaz, J.D., Flores-González, E. y Rebollar-Alviter, Á. (2017) Potential distribution of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in relation to alternate hosts in Mexico. *Florida Entomologist*, 100(4): 787-795.
- Calabria, G., Máca, J., Bächli, G., Serra, L. y Pascual, M. (2012) First records of the potential pest species *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Europe. *Journal of Applied Entomology*, 136: 139-147.
- Deprá, M., Poppe, J.L., Schmitz, H.J., De Toni, D.C. y Valente, V.L.S. (2014) The first records of the invasive pest *Drosophila suzukii* in the South American continent. *Journal of Pest Science*, 87: 379-383.
- Dos Santos, L.A., Mendes, M.F., Krüger, A.P., Blauth, M.L., Gottschalk, M.S. y Garcia, F.R. (2017) Global potential distribution of *Drosophila suzukii* (Diptera, Drosophilidae). *PLoS ONE*, 12(3): p.e0174318.
- European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) (2019) *Drosophila suzuki* (spotted wing drosophila). En: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/109283#20133050623>
- Faúndez, E.I. Lüer, A. Cuevas, Á.G. Rider, D.A. y Valdebenito, P. (2016) First record of the painted bug *Bagrada hilaris* (Burmeister, 1835) (Heteroptera: Pentatomidae) in South America. *Archivos Entomológicos*, 16: 175-179.
- Faúndez, E.I. y Rocca, J.R. (2017) La chinche de las coníferas occidental, *Leptoglossus occidentalis* Heidemann (Heteroptera: Coreidae) en Chile; rápida expansión, posibles impactos y desafíos. *Revista Chilena de Entomología*, 42: 25-27.
- Fitzpatrick, M.C., Weltzin, J.F., Sanders, N.J. y Dunn, R.R. (2007) The biogeography of prediction error: why does the introduced range of the fire ant over predict its native range?. *Global Ecology and Biogeography*, 16(1): 24-33.

- Gallien, L., Douzet, R., Pratte, S., Zimmermann, N.E. y Thuiller, W. (2012) Invasive species distribution models—how violating the equilibrium assumption can create new insights. *Global Ecology and Biogeography*, 21(11): 1126-1136.
- Grez, A.A., Zaviezo, T., Roy, H.E., Brown, P.M. y Bizama, G. (2016) Rapid spread of *Harmonia axyridis* in Chile and its effects on local coccinellid biodiversity. *Diversity and Distributions*, 22(9): 982-994.
- Haye, T., Girod, P., Cuthbertson, A.G.S., Wang, X.G., Daane, K.M., Hoelmer, K.A., Hoelmer, C., Baroffio, J., Zhang, P. y Desneux, N. (2016) Current SWD IPM tactics and their practical implementation in fruit crops across different regions around the world. *Journal of Pest Science*, 89(3): 643-651.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. y Jarvis, A. (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15): 1965-1978.
- Kaneshiro, K.Y. (1983) *Drosophila* (*Sophophora*) *suzukii* (Matsumura). *Proceedings of the Hawaiian Entomology Society*, 24: 179.
- Klick, J., Yang, W., Hagler, J. y Bruck, D. (2012) Using protein marker technology to determine spotted wing drosophila movement between border and field, pp. 24-27. In: Proceedings of the 71st Annual Pacific Northwest Insect Management Conference, 9-10 January 2012, Portland (OR), USA.
- Lee, J.C., Burrack, H.J., Barrantes, D.L., Beers, H.E., Dreves, J.A., Hamby, A.K., Haviland, R.D., Isaacs, R., Richardson, A.T., Shearer, E.P., Stanley, A.C., Walsh, B.D., Walton, M.V., Zalom, G.F. y Bruck, J.D. (2012) Evaluation of monitoring traps for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in North America. *Journal of Economic Entomology*, 105(4): 1350-1357.
- Lee, J.C., Dreves, A.J., Cave, A.M., Kawai, S., Isaacs, R., Miller, J.C., van Timmeren, S. y Bruck, D.J. (2015) Infestation of wild and ornamental non crop fruits by *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 108: 117-129.
- Mitsui, H., van Achterberg, K., Nordlander, G. y Kimura, M.T. (2007) Geographical distributions and host associations of larval parasitoids of frugivorous Drosophilidae in Japan. *Journal of Natural History*, 41: 1731-1738.
- Peterson, A.T. (2003) Predicting the geography of species invasions via ecological niche modeling. *Quarterly Review of Biology*, 78: 419-433.
- Peterson, A.T. y Holt, R.D. (2003) Niche differentiation in Mexican birds: using point occurrences to detect ecological innovation. *Ecology Letters*, 6(8): 774-782.
- Petitpierre, B., Kueffer, C., Broennimann, O., Randin, C., Daehler, C. y Guisan, A. (2012) Climatic niche shifts are rare among terrestrial plant invaders. *Science*, 335(6074): 1344-1348.
- Poyet, M., Le Roux, V., Gibert, P., Meirland, A., Prévost, G., Eslin, P. y Chabrierie, O. (2015) The wide potential trophic niche of the Asiatic fruit fly *Drosophila suzukii*: the key of its invasion success in temperate Europe? *PLoS ONE*, 10(11): e0142785.
- Reed, M.S., Dougill, A.J. y Baker, T.R. (2008) Participatory indicator development: what can ecologists and local communities learn from each other. *Ecological Applications*, 18(5): 1253-1269.
- Sasaki, M. y Sato, R. (1995) Bionomics of the cherry *Drosophila*, *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae) in Fukushima Prefecture. 1. *Drosophila* injured on cherry fruit. *Annual Report of the Society of Plant Protection of North Japan*, 46: 164-166.
- Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) (2019) *Drosophila suzuki*. En: <http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/drosophila-suzukii>
- Soberón, J. y Nakamura, M. (2009) Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(2): 19644-19650.

- Taucare-Ríos, A., Bizama, G. y Bustamante, R.O. (2016)** Using global and regional species distribution models (SDM) to infer the invasive stage of *Latrodectus geometricus* (Araneae: Theridiidae) in the Americas. *Environmental Entomology*, 45(6): 1379-1385.
- Taucare-Ríos, A., Nentwig, W., Bizama, G. y Bustamante, R.O. (2018)** Matching global and regional distribution models of the recluse spider *Loxosceles rufescens*: to what extent do these reflect niche conservatism?. *Medical and Veterinary Entomology*, 32(4): 490-496.
- Thuiller, W., Richardson, D.M., Pysek, P., Midgley, G.F., Hughes, G.O. y 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.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R. y Araújo, M.B. (2009)** BIOMOD—a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32(3): 369-373.
- Thuiller, W., Engler, R. y Breiner, F.T. (2016)** biomod2: Ensemble Platform for Species Distribution Modeling. R package version 3.3-7, <https://CRAN.R-project.org/package=biomod2>
- Tochen, S., Dalton, D.T., Wiman, N., Hamm, C., Shearer, P.W. y Walton, V.M. (2014)** Temperature-related development and population parameters for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) on cherry and blueberry. *Environmental Entomology*, 43(2): 501-510.
- Walsh, D.B., Mark, P., Bolda, R.E., Goodhue, A.J., Dreves, J.L., Denny, J., Bruck, V.M., Walton, S., O'Neal, D. y Zalom, F.G. (2011)** *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential. *Journal of Integrated Pest Management*, 2(1): G1-G7.
- Walton, V.M., Burrack, H.J., Dalton, D.T., Isaacs, R., Wiman, N. y Ioriatti, C. (2014)** Past, present and future of *Drosophila suzukii*: distribution, impact and management in United States berry fruits. In *XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): II 1117*, pp. 87-94.
- Warren, D.L., Glor, R.E. y Turelli, M. (2008)** Environmental niche equivalency versus conservatism: quantitative approaches to niche evolution. *Evolution*, 62: 2868-2883.