

Abundancia y distribución de dos escarabajos exóticos en Córdoba (Argentina) entre los años 2009 y 2016

Cecilia Rocío Antonelli^{1,*}, Marcela Demaestri², Cecilia Crenna²

1- Facultad de Ciencias Exactas Físico-Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

2- Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Palabras clave

Dinámica poblacional

Arhopalus rusticus

Arhopalus syriacus

Invasión

Pinares

Resumen. *Arhopalus rusticus* y *Arhopalus syriacus* son especies exóticas de cerambícidos, que se registraron por primera vez en Córdoba en el año 2006. Sus larvas barrenan el floema de los pinos. El objetivo de esta investigación fue estudiar la abundancia y distribución de estas especies en los pinares de la provincia desde 2009 hasta 2016 con el propósito de contribuir al manejo de estas especies. Para ello cada año entre 2008 y 2015 se instalaron 40 parcelas de cinco árboles de *Pinus elliottii*. Al año siguiente se extrajeron 2 trozas de 1m de longitud de cada parcela que fueron colocadas en jaulas y examinadas dos veces por semana desde octubre hasta abril para cuantificar la abundancia de estos escarabajos. Se confeccionaron mapas de distribución para cada especie y año. Los datos fueron analizados mediante modelos lineales generalizados mixtos. En el tiempo comprendido por este estudio ambas especies fueron registradas en todas las zonas evaluadas. El mejor modelo indica que la variación en la abundancia responde a la especie, a las diferentes ubicaciones, al diámetro a la altura del pecho de los pinos y al tiempo. Ambas especies presentaron un pico de abundancia en 2009, aunque en diferentes zonas. En los años siguientes, redujeron y mantuvieron su abundancia en niveles bajos. A partir de estos resultados, se planteó la hipótesis de que *A. syriacus* y *A. rusticus* son especies irruptivas.

Citar como: Antonelli, C., Demaestri, M. y Crenna, C. Abundancia y distribución de dos escarabajos exóticos en Córdoba (Argentina) entre los años 2009 y 2016 (2020). Revista Científica FAV-UNRC *Ab Intus* 5(3) 30-40

Recibido: 06/12/2019 Aceptado: 11/5/2020

***Autora para correspondencia:** Antonelli, Cecilia Rocío. E- mail: crantonelli@gmail.com. Ruta Nac. 36 km 601, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Teléfono +549 358 4836424.

Financiamiento: Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto PPI 2016-2018 titulado "Efecto de densidad de plantación, raleo y control biológico sobre la dinámica de insectos-plaga en sistemas silvopastoriles en la Sierras de Comechingones-Córdoba" – Res. Rectoral UNRC 161/16 y con el apoyo de una beca a Estimulo a Vocaciones Científicas otorgada por el Consejo Interuniversitario Nacional en la convocatoria 2017.

Abundance and distribution of two exotic beetles in Córdoba (Argentina) between 2009 and 2016

Key words

Population dynamics

Arhopalus rusticus

Arhopalus syriacus

Invasion

Pine forest

Abstract. *Arhopalus rusticus* and *Arhopalus syriacus* are exotic species of Cerambycidae, which were first recorded in Córdoba in 2006. Their larvae sweep the phloem of pines. The objective of this investigation was to study the abundance and distribution of these species in the pine forests of the province from 2009 to 2016 with the purpose of contributing to the integrated management of these species. For this, 40 parcels of five *Pinus elliottii* trees were installed from 2008 to 2015. The next year, two 1m long logs were extracted per parcel. The abundance was quantified from October to April by examining the logs twice a week. Distribution maps per species and year were made. The data were analyzed through generalized linear mixed models. In the time of this study, both species were recorded in all of the evaluated locations. The best model indicates that the variation in abundance responds to the species, the different locations and diameters of the pines and the time. Although in different locations, both species presented a peak in abundance in 2009. In the subsequent years, they reduced and maintained their abundance at low levels. From these results, it was hypothesized that *A. syriacus* and *A. rusticus* are irruptive species.

INTRODUCCIÓN

La invasión de ecosistemas por organismos exóticos representa un problema de creciente envergadura ya que, en muchos casos, estos invasores constituyen importantes plagas. Su éxito involucra una serie de etapas, la introducción inicial, el establecimiento en el nuevo hábitat y la expansión. Al ser una especie plaga (o, alternativamente, una especie beneficiosa) resulta extremadamente importante poder predecir su dinámica poblacional una vez que se ha realizado el establecimiento de la misma (Andow *et al.*, 1990; Lobo *et al.*, 2002; Lockwood *et al.*, 2007). Cabe destacar que un insecto es clasificado como plaga basándose no sólo en su abundancia, sino en su importancia económica potencial y en la tolerancia biológica del huésped a su ataque (Wallner, 1987).

En la provincia de Córdoba, las plantaciones y el aprovechamiento de coníferas, especialmente de *P. elliottii* y de *P. taeda*, constituyen la actividad fores-

tal más importante. Estos bosques cultivados en forma de parches discretos, intercalados en una matriz dominada por pastizales y montes naturales fueron plantados a principios de la década de 1940 en la región de las Sierras de Comechingones (Izurieta *et al.*, 1993; Zupán, 2013a).

En 2008, la superficie ocupada por estos pinares en Córdoba era 32.609 ha (Demaestri, 2008). Aunque actualmente se estima que la superficie implantada es cercana a 21.000 ha (Zupán, 2013b). La reducción se debe, en parte, a la extracción propia del sistema, pero mayoritariamente a eventos climático-ambientales como las tormentas de viento que azotaron la zona sur de la Sierra de Comechingones en octubre de 2011 y la región del Valle de Calamuchita en octubre y noviembre de 2012 provocando el quiebre y vuelco de plantas (Zupán, 2013b; Julián, 2014). Se suma el incendio que comenzó el 6 de septiembre de 2013, en medio de una intensa sequía, a 5 km al Sur de Villa Alpina, que afectó tanto a pastizales

y bosques nativos como a los macizos forestales de la región. Se estima que unas 11.200 ha de pinares sufrieron grados de daño variables (Zupán, 2013b).

Desde 1996 se estudian las invasiones biológicas en las forestaciones de *Pinus* spp. de las sierras cordobesas, a partir de la detección de *Sirex noctilio* en el año 1994 (López *et al.*, 1997; López *et al.*, 2002; López *et al.*, 2010). En el año 2006 se reportó por primera vez la presencia de dos especies de escarabajos exóticos afectando estas plantaciones. *Arhopalus rusticus* L. y *Arhopalus syriacus* Reitter, pertenecientes a la tribu Asemini (Insecta: Coleoptera: Cerambycidae) y nativos del hemisferio norte (López *et al.*, 2007). El primer reporte de *A. rusticus* en Argentina lo hizo Di Iorio (2004) quien la observó en múltiples localidades de la costa bonaerense entre los años 2000 y 2003, aunque afirmó que es probable que esta especie ya estuviera presente con anterioridad.

A. syriacus es nativo de las costas del Mediterráneo y el Medio Oriente, y ataca únicamente ejemplares del género *Pinus* (*P. pinaster*, *P. halepensis*, *P. taeda*, *P. radiata* y *P. elliottii*). En cambio, *A. rusticus* posee una distribución natural más amplia, ya que abarca toda Europa, norte de África y Asia, y se desarrolla en la madera de coníferas de múltiples géneros (*Pinus*, *Picea*, *Abies*, *Larix*, *Cupressus*, *Cryptomeria* y *Juniperus*) (Webb y Eldridge, 1997; Wang y Leschen, 2003; Pedemonte, 2014). Ambas especies, actualmente están presentes en todos los continentes, debido al comercio internacional de productos forestales sin controles sanitarios (Schauwecker y Morrell, 2008; Acosta, 2015).

Las especies del género *Arhopalus* en su distribución natural atacan la base de los troncos y raíces de coníferas debilitadas, enfermas o muertas y en algunas ocasiones también maderas estructurales (Webb y Eldridge, 1997; Wang y Leschen, 2003); es decir, en su distribución natural estos insectos son descomponedores de madera. Sin embargo, en países donde no es nativo, provoca pérdidas en el valor de la madera e incluso, cuando abunda, ocasiona la muerte de ejemplares (Webb y Eldridge, 1997; Bradbury, 1998; Acosta, 2015).

Los daños a los pinos son causados por las larvas de estas especies, que pueden estar de 1 a 2 años dentro del mismo (Wang y Leschen, 2003; Acosta,

2015). Estas larvas barrenan los árboles alimentándose preferentemente en el área subcortical, aunque, cuando esta zona se agota, entran en la madera (Bradbury, 1998; Ciesla, 2011). Además, son vectores de hongos (*Ophiostoma piceaperdum*) y nematodos (*Bursaphelenchus xylophilus*) que producen el manchado de la madera y marchitamiento de los pinos (Bradbury, 1998; Wang y Leschen, 2003; Wang *et al.*, 2014; Acosta, 2015; Fachinetti *et al.*, 2015).

Estudios realizados en Córdoba han determinado que el ciclo de vida de *A. syriacus* ronda los 300 días, pasando en promedio 12 días como huevo, 252 como larva, 16 como pupa y 18 como adulto (Fachinetti *et al.*, 2015). Los adultos de *A. syriacus* están activos desde la primavera hasta fines del verano, y los de *A. rusticus* durante el verano y el otoño, en ambas especies la dispersión se produce durante este período (Acosta, 2015). Grilli y Fachinetti, (2018) han medido la capacidad de vuelo de *A. rusticus*, la cual varía según el sexo, de 5.000 m a valores superiores a 18.000 m.

El entendimiento de la dinámica poblacional, distribución y abundancia de un insecto-plaga permite explicar las causas detrás de los picos de abundancia, predecir las tendencias poblacionales y establecer una base sólida para el manejo de éstas (Lobo *et al.*, 2002; Ciesla, 2011). Por ello, el objetivo principal de este trabajo fue estudiar la abundancia y distribución de *Arhopalus rusticus* y *Arhopalus syriacus* en los pinares de Córdoba (Argentina) desde 2009 hasta 2016 con el propósito de contribuir al manejo integrado de estas especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar los objetivos de este trabajo se determinaron áreas representativas siguiendo el mapa de plantaciones de pinos de Córdoba (Izurieta *et al.*, 1993) aledañas a las localidades de Alpa Corral, Río de los Sauces y Villa General Belgrano desde 2008 a 2015 y en plantaciones cercanas de General Deheza a partir del 2012 y hasta el año 2015.

Se instalaron un total de 40 parcelas por año distribuidas entre las distintas áreas indicando para cada una sus coordenadas geográficas mediante GPS. Cada parcela de árboles trampa se conformó por 5 individuos de *P. elliottii* seleccionados por ser suprimidos, tortuosos o bifurcados. En los mismo se

realizaron cortes con un hacha a 45° a una altura de 1,30 m, dónde se le aplicó con una jeringa el herbicida Dicamba al 48% (dosis: 1 ml cada 10 cm de perímetro basal) con el fin de debilitarlo y predisponerlo al ataque (CO.SA.VE., 2002; López *et al.*, 2010).

En los años siguientes a la instalación (desde 2009 y hasta 2016) en el mes de octubre, fueron seleccionados dos árboles por parcela, sin agujeros de emergencia, de los cuales se extrajeron 2 trozas de 1 m de longitud. A cada troza se le sellaron los extremos con parafina para evitar la desecación temprana, y se colocaron en jaulas de madera y tejido mosquitero. Las jaulas, ubicadas en el galpón abierto de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, fueron examinadas dos veces por semana, desde mediados de octubre hasta mediados de abril, comprendiendo así las primeras y las últimas emergencias.

Los ejemplares emergidos fueron colocados en recipientes con alcohol etílico al 70% para posteriormente ser clasificados mediante la clave elaborada por Wang y Leschen (2003). Con los datos recolectados, se construyeron curvas de abundancia media para cada especie, teniendo en cuenta localidad y año. Adicionalmente, se marcaron los eventos climático-ambientales más importantes ocurridos en el período estudiado.

Se confeccionaron un total de 16 mapas, utilizando el programa Q-GIS versión 3.6.1 (QGIS Development Team, 2019), junto con el complemento QuickMapServices (NextGIS, 2019) y los servicios de Google Maps. En los mapas se estimaron para cada año y especie, las áreas potencialmente afectadas. Según la capacidad de vuelo de estas especies estimada

por Grilli y Fachinetti (2018) se establecieron buffers usando como criterio un radio de 20 km a partir de cada parcela.

Se modeló la abundancia respecto a las variables estudiadas, mediante la utilización de modelos lineales generalizados mixtos (GLMM) (Lobo *et al.*, 2002; Bolker *et al.*, 2009). Las variables comprendidas en el análisis fueron: especie, localidad, año, diámetro a la altura del pecho (DAP) y parcela. Año y/o parcela fueron considerados factores aleatorios en algunos modelos, con el propósito de comprobar la significancia de los cambios de la abundancia a lo largo del tiempo (año) y para disminuir el efecto del diseño de muestreo (parcela). Para ello se empleó R (R Core Team, 2018), utilizando los paquetes estadísticos lme4 (Bates *et al.*, 2015) y MuMIn (Barton, 2018).

RESULTADOS

Curvas de abundancia

Los gráficos de abundancia media en el tiempo, tanto de *A. syriacus* como de *A. rusticus* se observan en la figura 1. La abundancia media más alta registrada para individuos de *A. rusticus* por parcela fue de 23,8 y corresponde al año 2009 en la localidad de Villa General Belgrano, mientras que la de *A. syriacus* fue de 212 individuos y se registró en Alpa Corral en ese mismo año. Posteriormente, ambas especies en dichas localidades, han sufrido una disminución de su abundancia a lo largo de los años comprendidos en este estudio.

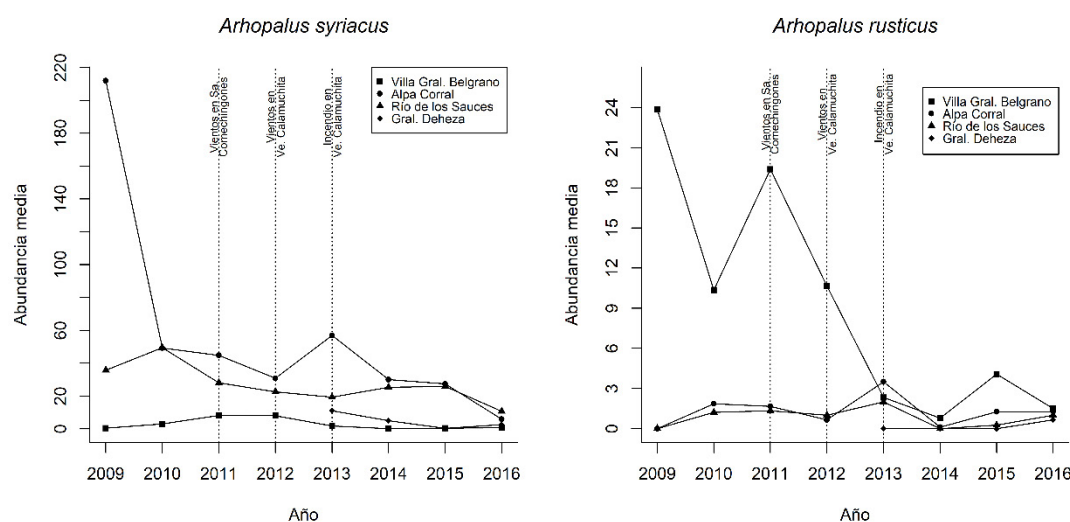


Figura 1. Fluctuación poblacional de *Arhopalus syriacus* y de *Arhopalus rusticus* en las localidades evaluadas (Alpa Corral, Río de los Sauces, General Deheza y Villa General Belgrano). Las líneas de puntos verticales marcan los hitos ambientales del período estudiado

En el resto de las localidades, la abundancia media se mantuvo estable para ambas especies. Sin embargo, *A. syriacus* presentó medias, en general, por encima de 10 y debajo de 60, mientras que *A. rusticus* no supera una media de 6, en ninguna localidad ni año.

Mapas de distribución

Como se observa en las figuras 2 y 3, las poblaciones de *A. syriacus* y *A. rusticus*, en un principio, se encontraron concentradas en dos puntos. *A. rusticus* hacia el norte, en el Valle de Calamuchita, mientras que *A. syriacus* hacia el sur, en la zona de la Sierra de Comechingones.

Sin embargo, a medida que transcurren los años, se puede observar cómo las poblaciones de ambas especies se fueron dispersando. *A. syriacus* se dispersó hacia el norte, hasta llegar a los pinares aledaños a Villa General Belgrano y posteriormente hacia el este, llegando a General Deheza. De manera similar, *A. rusticus* se dispersó primero hacia el sur, hasta llegar a los pinares de Río de los Sauces y Alpa Corral, y luego hacia General Deheza.

Los eventos climáticos ambientales ocurridos en 2011, 2012 y 2013 impidieron la recolección de datos en 19 parcelas.

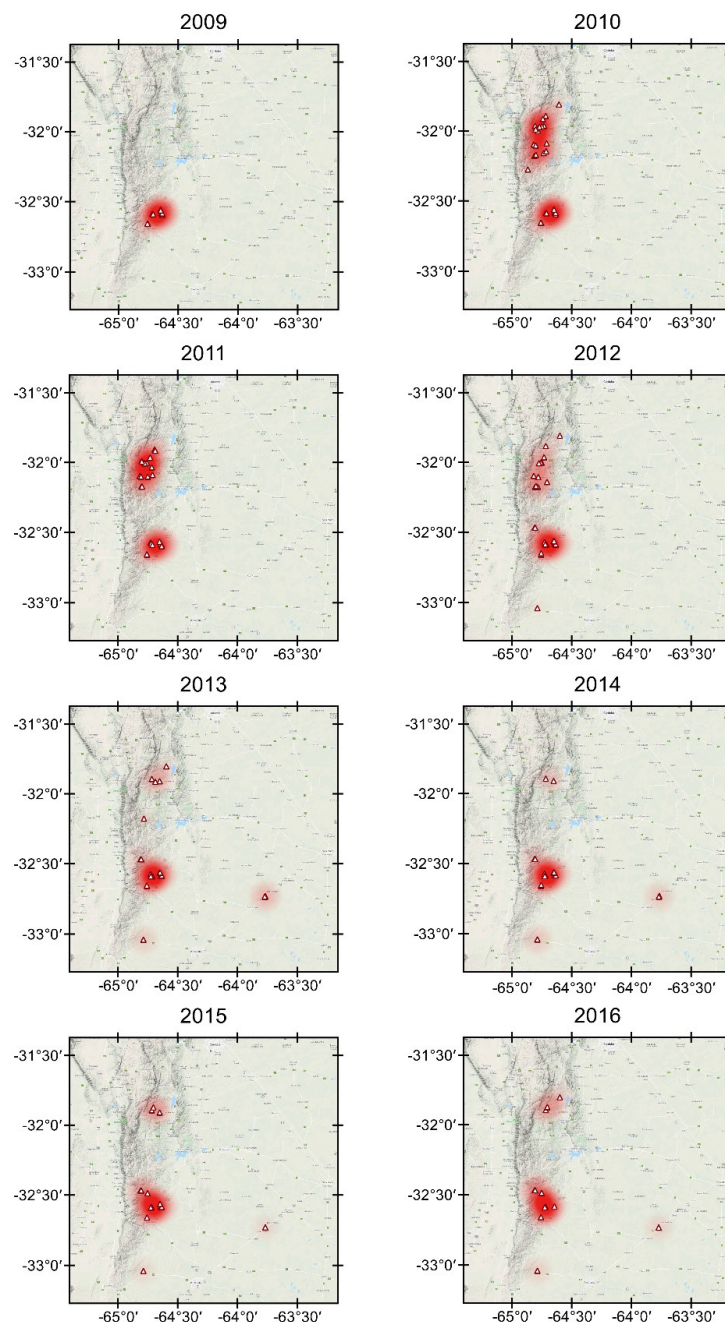


Figura 2. Mapas de distribución de *Arhopalus syriacus* en las Sierras de Córdoba y la Llanura Pampeana adyacente, para cada año de estudio. Cada punto representa una parcela, a partir de cada una de ellas se muestran las áreas potencialmente afectadas.

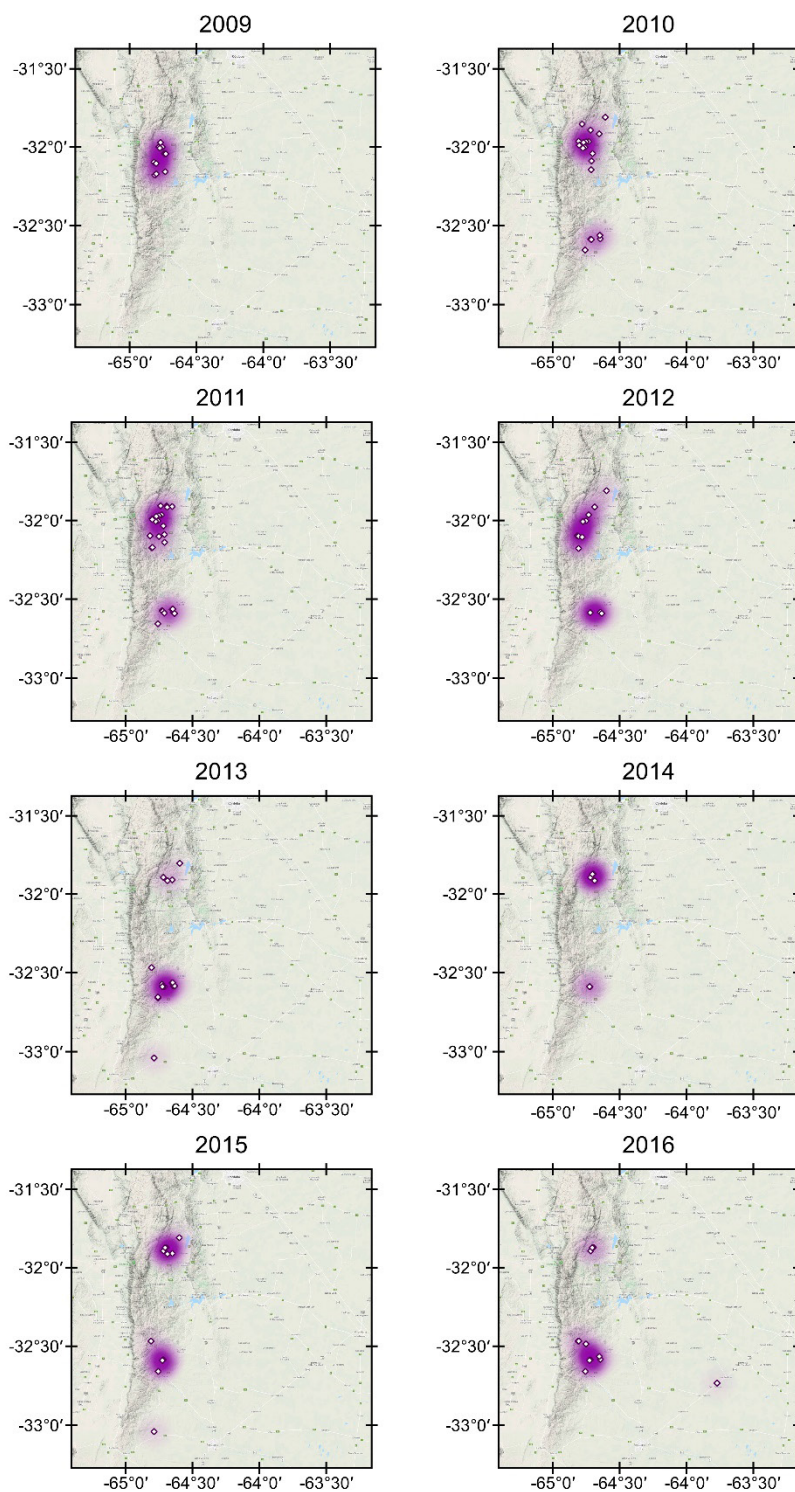


Figura 3. Mapas de distribución de *Arhopalus rusticus* en las Sierras de Córdoba y la Llanura Pampeana adyacente, para cada año de estudio. Cada punto representa una parcela, a partir de cada una de ellas se muestran las áreas potencialmente afectadas.

Modelado de la abundancia

Se probaron un total de 11 modelos mixtos lineales generalizados con factores aleatorios de la familia Poisson (Tabla 1). El mejor modelo para explicar la abundancia de escarabajos presentó un Criterio de Información de Akaike (AIC) de 14940,2, un delta AIC (Δ AIC) de 39,7 y un peso de 0,99 y fue aquel que contenía especie, localidad, DAP y año como variables explicativas, y parcela como factor aleatorio, expresado según la siguiente fórmula:

$$\text{Abundancia} \approx \text{Especie} + \text{Localidad} + \text{DAP} + \text{Año} + (1/\text{Parcela})$$

La figura 4 muestra la interacción de las variables que conforman el modelo. En esta, al igual que en las figuras 1 y 2, se puede notar que *A. syriacus* es más abundante en las localidades de Alpa Corral y Río de los Sauces que en Villa General Belgrano, mientras que lo opuesto ocurre para *A. rusticus*. En la localidad de General Deheza, *A. syriacus* está presente desde el año 2013, mientras que *A. rusticus* se detecta, por primera vez, en el año 2016.

Por otro lado, las líneas de tendencia abundancia~DAP dan cuenta que *A. syriacus* muestra una leve preferencia hacia ejemplares con DAPs más pequeños, mientras que *A. rusticus* ataca pinos con un DAP levemente mayor. No obstante, cuando se calculó el DAP medio ponderado por abundancia de cada una de las especies, ambas resultaron cercanas a 20 cm (20,06 para *Arhopalus syriacus* y 20,29 para *Arhopalus rusticus*).

Variables explicativas	Variables aleatorias	AIC	Δ AIC	Peso
Especie + Año + Localidad + DAP	Parcela	14940.2	0.00	0.99
Especie + Localidad + DAP	Parcela + Año	14979.9	39.70	0.01
Especie + Año	Parcela	14993.3	53.09	0
Especie + Localidad	Parcela + Año	15001.7	61.49	0
Especie	Parcela + Año	15032.3	92.11	0
Especie + Localidad	Parcela	16874.4	1934.23	0
Especie	Parcela	16891.0	1950.82	0
Año + DAP	Parcela	18629.5	3689.32	0
Año	Parcela	18649.9		0
DAP	Parcela + Año	18668.6		0
Null	-	24707.0		0

Tabla 1. Modelos lineales generalizados mixtos que explican la abundancia de escarabajos del género *Arhopalus* en una parcela.

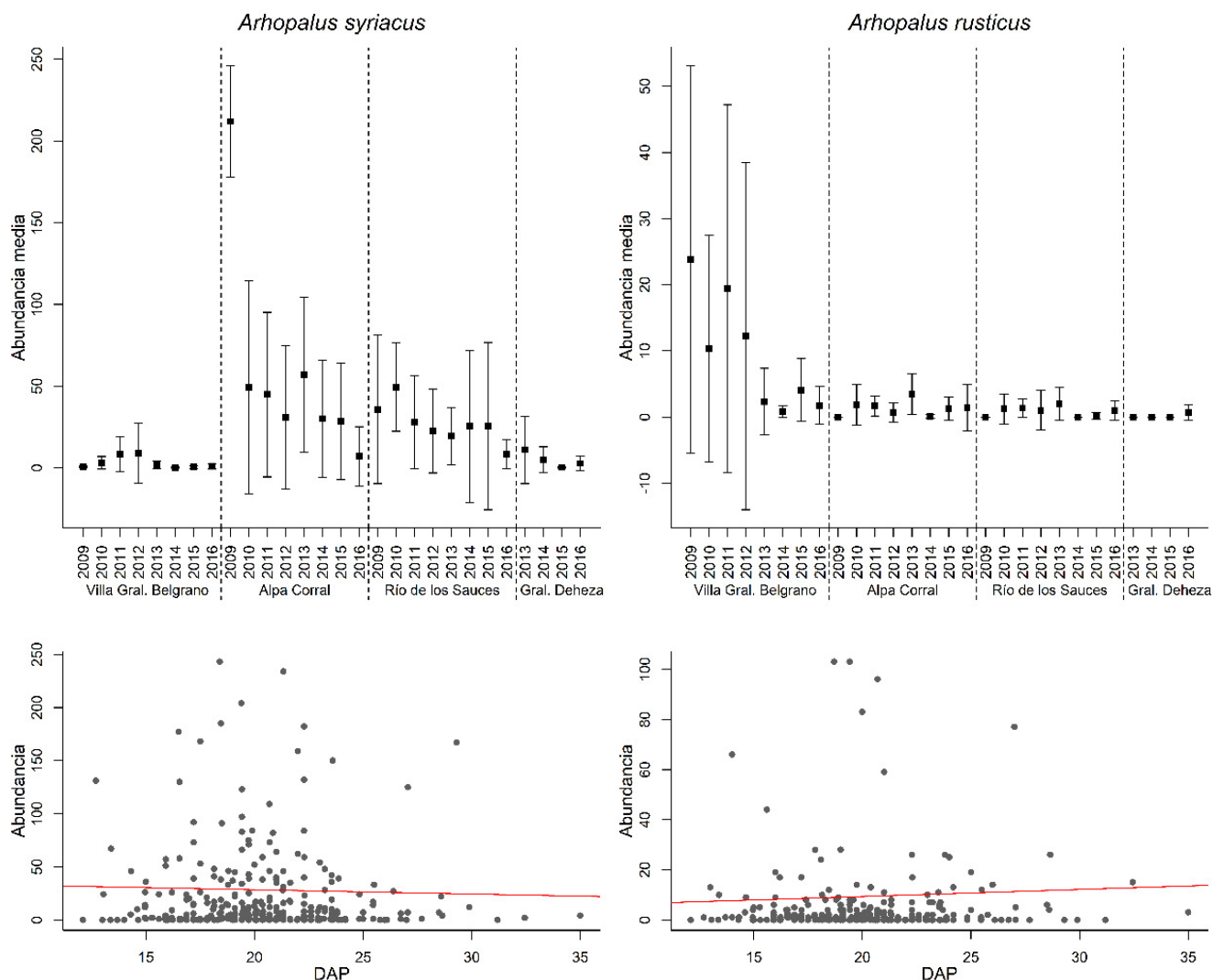


Figura 4. La columna izquierda corresponde a *Arhopalus syriacus* y la derecha a *Arhopalus rusticus*. Arriba se muestra abundancia media en relación a las variables categóricas (año y localidad), y debajo abundancia en relación a la variable continua (DAP). En los superiores, los puntos con bigotes representan las abundancias medias con sus desvíos estándares. En los inferiores, cada punto es un dato y la línea roja corresponde a la línea de tendencia abundancia~DAP.

DISCUSIÓN

El primer reporte de *A. rusticus* y *A. syriacus* en Córdoba fue realizado por López *et al.* (2007, 2008) quienes encontraron ejemplares adultos emergiendo en octubre de 2006 de muestras de *P. elliotti* tomadas en el marco de un estudio sobre *Sirex noctilio* en el Valle de Calamuchita y Alpa Corral. Esto, junto con los altos valores registrados al comienzo del período aquí evaluado, indicaría que estas especies arribaron a los pinares con anterioridad al 2006.

Según Wallner (1987) los insectos presentan tres tipos de patrones poblacionales teniendo en cuenta la relación insecto-huésped que establecen: (a) los insectos endémicos o de base, que reaccionan débilmente a los cambios en las condiciones ambientales, pero están limitados por las defensas del

huésped; (b) los insectos cíclicos o graduales, que tienen una abundancia directamente proporcional a las fluctuaciones en los recursos alimenticios; y (c) los epidémicos o irruptivos, que alcanzan picos a intervalos irregulares y responden a condiciones meteorológicas o de estrés ambiental mediadas por el huésped.

Teniendo en cuenta los datos analizados en este trabajo, se podría hipotetizar que, tanto *A. syriacus* como *A. rusticus*, son especies epidémicas o irruptivas. Su rápida infestación en los pinares de Córdoba (considerando que alcanzó abundancias significativas en pocas generaciones), igual que lo registrado por Webb y Eldridge (1997) para los pinares de New South Wales en Australia, seguida por un descenso en el nivel poblacional, indicaría que son capaces de un rápido crecimiento y que una vez establecidas,

tienden a permanecer a bajos niveles poblacionales hasta que las condiciones permitan otra infestación masiva. Cabe destacar que los eventos climáticos que azotaron distintas partes de la zona de estudio durante los años 2011 a 2013 (Zupán, 2013b) con seguridad, afectaron el desarrollo normal de los ciclos poblacionales.

En concordancia con los estudios de Pedemonte (2014) y Grilli y Fachinetti (2017, 2018), se advierte que ambas especies han tenido éxito en establecerse en los pinares de las Sierras de Córdoba y en dispersarse por ellos. Se puede observar que, en un primer momento, al igual que lo informado por López et al. (2008), *A. rusticus* era más abundante en la localidad de Villa General Belgrano, mientras que *A. syriacus* era predominante en Alpa Corral y Río de los Sauces. En el marco de lo planteado por Lockwood et al. (2007), estos fueron posiblemente los lugares de introducción y establecimiento respectivos a cada especie. Luego, entraron en una etapa de expansión, en la cual ambas especies alcanzaron y se establecieron en todas las localidades evaluadas.

Si bien ambas especies cumplieron su proceso de invasión se puede notar que, a lo largo de estos 8 años, *A. syriacus* alcanza abundancias mucho mayores a las de *A. rusticus*. Esto puede estar relacionado a la especificidad o preferencia de *A. syriacus* por ejemplares del género *Pinus* (Wang y Leschen, 2003), con lo que las plantaciones casi mono-específicas de Córdoba resultarían ideales para esta especie. Es probable que *A. rusticus* necesite de ejemplares de varios géneros de coníferas (Webb y Eldridge, 1997; Wang y Leschen, 2003; Pedemonte, 2014) para alcanzar abundancias similares a las de *A. syriacus*.

Uno de los aspectos a destacar entre los años 2009 y 2010, es que la población de *A. syriacus* de Alpa Corral decrece rápidamente; esto se debe posiblemente a su naturaleza epidémica discutida anteriormente.

Posteriormente, en los años 2012 y 2013, las poblaciones de *A. rusticus* de Villa General Belgrano decrecen, a pesar de que las tormentas de viento del año 2012 dejaron gran cantidad de material disponible que debería haber sido aprovechado por la naturaleza saproxílica de esta especie (Saint-Germain et al., 2008; Brin et al., 2011). Esto puede estar explicado por el incendio del año 2013, que comenzó

el 6 de septiembre (poco antes de que se iniciara el período de emergencia) y se expandió rápidamente por la zona y a la gran cantidad de material seco disponible (Zupán, 2013b), impidiendo así la emergencia de adultos. Este decrecimiento también se observa en la población de *A. syriacus* en forma proporcional.

Los muestreos en General Deheza comenzaron en el 2013 y en ese año se detectó *A. syriacus*, mientras que *A. rusticus* recién fue registrado en el año 2016. Esta diferencia en el tiempo transcurrido entre la llegada de ambas especies puede ser explicada por varios factores, principalmente la distancia que debió recorrer cada especie, seguido por la capacidad de dispersión de éstas (un máximo de 20 km para *A. rusticus* evaluado por Grilli y Fachinetti (2017), pero desconocido para *A. syriacus*), sin desconocer la importancia que tiene el movimiento de insectos a partir de las acciones antrópicas, como el transporte de maderas.

Dentro del estudio de una especie, el modelado de la dinámica poblacional es esencial, ya que permite analizar y comparar múltiples factores explicativos (Ciesla, 2011). En este caso, el mejor modelo indica que tanto la especie como la localidad, el DAP y el año en estudio modifican la abundancia de estos escarabajos en una parcela. Este resultado coincide con lo concluido por Pedemonte (2014) y Grilli et al. (2016) quienes no encontraron sincronía temporal ni espacial entre las especies de *Arhopalus* spp.

En conclusión *A. rusticus* y *A. syriacus* están establecidas a lo largo de los pinares de Córdoba y es probable que se mantengan en niveles bajos hasta que se den las condiciones potenciales para que ocurra un pico de abundancia. Dado que las invasiones biológicas son uno de los problemas ambientales más serios con los que nos confrontamos en la actualidad (Lockwood et al., 2007), a futuro, sería necesario continuar con el estudio de las poblaciones de *Arhopalus* spp. con énfasis en la dinámica de estas especies y de su interacción con la flora y fauna que componen la matriz nativa de las Sierras de Córdoba. Por otro lado, también sería importante investigar la factibilidad del uso de controladores biológicos y tratamientos para la madera.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco de una Beca Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional y con el apoyo de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto y la delegación Río Cuarto del SENASA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, N. (2015). Coleópteros presentes en plantaciones de pinos de Córdoba *Arhopalus rusticus* (Linnaeus, 1758) y *Arhopalus syriacus* (Reitter, 1895). Producción Forestal 13.

Andow, D. A., Kareiva P. M., Levin S. A, Okubo A. (1990). Spread of invading organisms. Landscape Ecology 4:177–188.

Barton, K. (2018). MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.40.4. <<https://cran.r-project.org/package=MuMIn>>

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. Journal of Statistical Software.

Bolker, B. M.; Brooks, M. E.; Clark, C. J.; Geange, S. W.; Poulsen, J. R.; Stevens, M. H. H., White, J. S. S. (2009). Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. Trends in Ecology and Evolution 24:127–135. DOI: 10.1016/j.tree.2008.10.008

Bradbury, P. M. (1998). The Effects of the Burnt Pine Longhorn Beetle and Wood-staining Fungi on Fire Damaged *Pinus radiata* in Canterbury. Forestry: 28–31.

Brin, A., Bouget, C., Brustel, H., Jactel, H. (2011). Diameter of downed woody debris does matter for saproxylic beetle assemblages in temperate oak and pine forests. Journal of Insect Conservation 15:653–669. DOI: 10.1007/s10841-010-9364-5

Ciesla, W. M. (2011). Forest Entomology: A Global Perspective. Wiley-Blackwell, Sussex, UK.

CO.SA.VE: Comité Regional de Sanidad Vegetal del Cono Sur. 2002. Estándar Regional en Protección Fitosanitaria: Vigilancia de *Sirex noctilio*. <<http://www.cosave.org/sites/default/files/erpfs/7da21e-1304b046f3f594885e724cac6a.pdf>>

Demaestri, M. (2008). Efecto de variables de sitio sobre el grado de ataque de *Sirex noctilio* Fabricius en

plantaciones de *Pinus elliottii* Engelm. Universidad Nacional de Río Cuarto.

Fachinetti, R., Pedemonte, M. L., Grilli, M. (2015). Tiempo de desarrollo y supervivencia de *Arhopalus syriacus* (Reitter) (Coleoptera: Cerambycidae), una plaga potencialmente perjudicial de *Pinus* sp. en Argentina. Agriscientia 32:95–105. DOI: 10.31047/1668.298x.v32.n2.16560

Grilli, M., Masuh, H., Demaestri, M., Fachinetti, R., Gonzalez, P., Harburger, L., Pedemonte, L., García, J., Crenna, C. (2016). Desarrollo de herramientas cuantitativas para la evaluación de riesgo y toma de decisiones sobre el potencial de infestación de *Sirex noctilio* y *Arhopalus* sp. en la provincia de Córdoba. Investigación forestal 2011-2015: los proyectos de investigación aplicada:152–154.

Grilli, M. P. & Fachinetti, R. (2017). The role of sex and mating status in the expansion process of *Arhopalus rusticus* (Coleoptera: Cerambycidae)-an exotic cerambycid in Argentina. Environmental Entomology 46:714–721. DOI: 10.1093/ee/nvx066.

Grilli, M. P. & Fachinetti, R. (2018). The role of host patch characteristics and dispersal capability in distribution and abundance of *Arhopalus rusticus* in central Argentina. Entomologia Experimentalis et Applicata 166:183–190. DOI: 10.1111/eea.12653

Di Iorio, O. R. (2004). Especies exóticas de Cerambycidae (Coleoptera) introducidas en Argentina. Parte 2. Nuevos registros, plantas huéspedes, periodos de emergencia, y estado actual. AGROCIENCIA 38:663–678. <<https://www.redalyc.org/pdf/302/30238610.pdf>>

Izurieta, G., Abud, D., Izaurralde, J. (1993). Plantaciones de pinos de la provincia de Córdoba. Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, AFOA, Paraná.

Julián, J. (2014). Comportamiento de *Sirex noctilio* e *Ibalia leucospoides* en el Valle de Calamuchita-Córdoba (2012-2013). Universidad Nacional de Río Cuarto.

Lobo, J. M., Lumaret, J., Jay-Robert, P. (2002). Modelling the species richness distribution of French dung beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) and delimiting the predictive capacity of different groups of explanatory variables. Global Ecology and Biogeography 11:265–277. www.jstor.org/stable/3182696

- López, A., Demaestri, M., Zupan, E., Mugas, L. (1997). Distribución y grado de daño producido por *Sirex noctilio* (Hymenoptera-Siricidae) en las forestaciones del sur del Valle de Calamuchita, Córdoba. II congreso forestal Argentino y Latinoamericano "Forestar y Crecer". Tomo: Comisión Bosques Cultivados. A.Fo.A Posadas, Misiones, Argentina
- López, A., Demaestri, M., Zupan, E., Barotto, O., Viale, S., Degioanni, A. (2002). Aplicación de in Sistema de Información Geográfica (SIG), en el manejo de *Sirex noctilio* F. "La avispa barrenadora de los pinos" en el Valle de Calamuchita –Córdoba- Argentina. Investigación Agraria. 11(2): 299-310
- López, A., García J., Demaestri, M., Di Iorio, O., Magris, R. (2008). The genus *Arhopalus* Serville, 1834 (Insecta: Coleoptera: Cerambycidae: Aseminae) in association to *Sirex noctilio* in Argentina. Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas 34:529–531.
- López, A., García, J., Demaestri, M., Di Iorio, O. R., Magris, R. (2007). *Arhopalus syriacus* y *A. rusticus*, cerambícidos relacionados a *Sirex noctilio*, sobre *Pinus elliotii* en Córdoba Argentina. P. 336 in Libro de Actas de Ecoreuniones. H. Gonda, M. Davel, G. Loguercio & O. Picco (eds.). Esquel, Argentina.
- López, A., Demaestri, M., García, J., Zupan, E., Crenna, C. (2010). Comportamiento de *Sirex noctilio*, en el Valle de Calamuchita, provincia de Córdoba, Argentina. Quebracho. 18 (1,2):106-111
- Lockwood, J. L.; Hoopes, M. F. y Marchetti, M. P. 2007. Invasion ecology. Wiley-Blackwell, Oxford
- NextGIS. (2019). QuickMapServices: Collection of easy to add basemaps. <https://qms.nextgis.com/about>
- Pedemonte, M. L. (2014). Efecto de la conectividad del paisaje, el tamaño y la calidad del parche sobre la abundancia poblacional de dos especies de insectos herbívoros. Tesis de doctorado en ciencias biológicas. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. Pp. 133
- QGIS Development Team. (2019). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Saint-Germain, M., Drapeau, P., Buddle, C. M. (2008). Persistence of pyrophilous insects in fire-driven boreal forests: Population dynamics in burned and unburned habitats. Diversity and Distributions 14:713–720. DOI: 10.1111/j.1472-4642.2007.00452.x
- Schauwecker, C. F. & Morrell, J. J. (2008). Ability of pressure treatment with wood preservatives to kill or limit emergence of invasive insects using *Arhopalus productus* as a model species. Forest Products Journal 58:56–60.
- Wallner, W. E. (1987). Factors Affecting Insect Population Dynamics: Differences Between Outbreak and Non-Outbreak Species. Annual Review of Entomology 32:317–340. DOI: 10.1146/annurev.en.32.010187.001533
- Wang, Q. & Leschen, R. A. B. (2003). Identification and distribution of *Arhopalus* species (Coleoptera: Cerambycidae: Aseminae) in Australia and New Zealand. New Zeland Entomologist 26:53–59. DOI: /10.1080/00779962.2003.9722108
- Wang, Y., Wang, Z., Xue, J., Kim, H., Sung, C. (2014). An effective attractant for the pinewood nematode vector *Arhopalus rusticus* in South Korea. Journal of Entomology and Zoology Studies 2:76–80.
- Weaver, P., Chedzoy, F., Ingaramo, P., Demaestri, M. (1994). Situación de la actividad foresto- industrial en el Valle de Calamuchita.
- Webb, G. A. & Eldridge, R. H. (1997). *Arhopalus syriacus* (Reitter) (Coleoptera: Cerambycidae): A potential economic pest of *Pinus* in Australia, with notes on its biology and distribution. Australian Forestry 60:125–129. DOI: 10.1080/00049158.1997.10674707
- Zupán, E. E. (2013^a). Recuperando la historia forestal de la provincia. Producción Forestal 6:7–9.
- Zupán, E. E. 2(013b). Aproximación a la evaluación de los daños causados por los incendios que afectaron los macizos forestales del departamento Calamuchita. Ministerio de Agroindustria- Presidencia de la Nación. Córdoba forestal. <http://cordobaforestal.blogspot.com/2013/09/aproximacion-la-evaluacion-de-los-danos_727.html>.