

Estudio de la dinámica poblacional de *Arhopalus rusticus* y
Arhopalus syriacus (Coleoptera: Cerambycidae) en pinares
de Córdoba

Cecilia Rocío Antonelli

Directora: MSc. Marcela A. Demaestri

Codirectora: Dra. Claudia M. Dellafiore

Río Cuarto-Córdoba

Noviembre 2018





UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICO-QUÍMICAS Y NATURALES

Trabajo Final de la Licenciatura en Ciencias Biológicas

“Estudio de la dinámica poblacional de *Arhopalus rusticus* y *Arhopalus syriacus* (Coleoptera: Cerambycidae) en pinares de Córdoba”

Tribunal evaluador:

MSc. Marcela A. Demaestri (FAV)

Dra. Delia Aiassa (FCEFQyN)

Ing. Agr. Cecilia Crenna (FAV)

Noviembre 2018

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecerle a mi directora, codirectora y evaluadoras por la confianza y dedicación brindada a lo largo de todo este trabajo.

También, quiero agradecerle a todo el resto de profesores que durante estos seis años han contribuido a mi formación profesional y personal. En especial a los docentes de Biología Animal I y II con los que he trabajado como ayudante.

Además, no me puedo olvidar de mis compañeros y amigos de carrera, con los que compartí innumerables horas de estudio, intercaladas con otras tantas de risas y buenos ratos.

A Rocío y Juan Cruz, mis amigos del secundario que, aunque nos vemos poco en persona, siempre han estado y me han apoyado en cada paso.

Y, por último, a mi familia, que ha sido una constante a lo largo de todo este camino. Gracias por estar siempre para aconsejarme y apoyarme en cada decisión.

En fin, muchas gracias a todos los que me han acompañado de una u otra forma en este viaje!

ÍNDICE

RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
• Área de estudio.....	7
• Metodología.....	9
RESULTADOS.....	11
• Curvas de abundancia poblacional.....	11
• Mapas de distribución y abundancia.....	12
• Modelado de la abundancia.....	15
• Relación nivel de daño-DAP.....	17
DISCUSIÓN.....	18
CONCLUSIÓN.....	21
REFERENCIAS.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pinares de las Sierras de Córdoba. Campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto “Las Guindas”.....	1
Figura 2: Pinares de la zona de la localidad de Villa Yacanto afectados por el fuego.....	2
Figura 3: Ejemplares de <i>Arhopalus</i> spp. encontrados en muestras de los pinares de las Sierras de Córdoba.....	4
Figura 4: Troza de pino con orificio de salida de <i>Arhopalus</i> sp. y restos de aserrín fresco.....	5
Figura 5: Proceso de recolección y almacenamiento de las trozas.....	9
Figura 6: Fluctuación poblacional de <i>Arhopalus syriacus</i> en las 4 localidades con su correspondiente línea de tendencia polinómica.....	11
Figura 7: Fluctuación poblacional de <i>Arhopalus rusticus</i> en las 4 localidades con su correspondiente línea de tendencia polinómica.....	12
Figura 8: Mapas de distribución de <i>Arhopalus syriacus</i> en las Sierras de Córdoba y la Llanura Pampeana adyacente para cada año de estudio.....	13
Figura 9: Mapas de distribución de <i>Arhopalus rusticus</i> en las Sierras de Córdoba y la Llanura Pampeana adyacente para cada año de estudio.....	14
Figura 10: Relación entre las variables del modelo	16
Figura 11: Gráfico de caja del DAP de los ejemplares según su estado: muerto o vivo.....	17

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Modelos lineales generalizados con factores aleatorios que explican la abundancia de taladros en una parcela.....	15
Tabla 2: Medias de DAP ponderadas según abundancia para <i>Arhopalus syriacus</i> y <i>Arhopalus rusticus</i>	16
Tabla 3: Modelos lineales generalizados que explican la relación entre la prevalencia de <i>Arhopalus</i> spp	17

RESUMEN

Hace una década se reportó por primera vez la presencia de dos especies de escarabajos del género *Arhopalus* (Coleoptera: Cerambycidae) en pinares de Córdoba. Tanto *Arhopalus rusticus* como *Arhopalus syriacus* en sus estadios larvales barrenan el floema y la superficie adyacente a la madera, afectando su valor económico y la salud del pinar. El objetivo de este trabajo fue estudiar la dinámica poblacional de *A. rusticus* y *A. syriacus* en los pinares de Córdoba desde 2009 hasta 2016, con el propósito de comprender el comportamiento y contribuir al manejo integrado de estas especies. Para ello se instalaron durante el mes de septiembre, entre 2008 y 2015, parcelas de 5 árboles trampa de *Pinus elliotii* cada una, en las localidades de Alpa Corral, Río de los Sauces, Villa General Belgrano y General Deheza. Cada árbol fue tratado con herbicida a fin de debilitarlo y predisponerlo al ataque; en octubre del año siguiente se seleccionaron dos árboles por parcela y se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP). Además, se extrajeron 2 trozas de 1m de longitud, las que fueron colocadas en jaulas y examinadas dos veces por semana desde octubre hasta abril. En 2017, para determinar el nivel de daño por *Arhopalus* spp. se realizaron 4 transectas de 150 ejemplares cada una, registrando el estado de cada pino. Los datos recolectados se analizaron mediante modelos lineales generalizados. El mejor modelo para explicar la abundancia de taladros por parcela fue aquel que contenía especie, localidad, DAP, año y parcela como variables explicativas. Esto indicaría, entonces, que los cambios en la abundancia responden a cambios entre *A. rusticus* y *A. syriacus*, a las distintas ubicaciones y diámetros de los pinos y, a su vez, al tiempo. *A. rusticus* alcanzó altos valores de abundancia en el período entre 2009 y 2012 en la localidad de Villa General Belgrano. Mientras que *A. syriacus* exhibió un pico de abundancia en el año 2009 en la localidad de Alpa Corral. Sin embargo, alcanzó abundancias considerables en Río de los Sauces y Alpa Corral por igual a lo largo de todos los años. El DAP medio atacado por ambas especies es de 20.18 cm. Adicionalmente, a partir de los resultados se hipotetizó que *A. syriacus* y *A. rusticus* son especies epidémicas o irruptivas. Estos resultados son de especial importancia al momento de predecir las tendencias poblacionales y establecer un plan de manejo de estas especies.

ABSTRACT

Ten years ago it was first reported the appearance of two beetles species of the genus *Arhopalus* (Coleoptera: Cerambycidae) in Córdoba's pine forests. *Arhopalus rusticus* and *Arhopalus syriacus* in their larval stages sweep the phloem and the surface adjacent to the wood, affecting its economic value and the health of the pine forest. The objective of this investigation was to study the population dynamics of *A. rusticus* and *A. syriacus* in the pine forests of Córdoba from 2009 to 2016 with the purpose of understanding the behaviour and contributing to the integrated management of these species. To do so, during the month of September, between 2008 and 2015, parcels of five *Pinus elliottii* trap trees each, were installed in the towns of Alpa Corral, Río de los Sauces, Villa General Belgrano and General Deheza. Each tree was treated with an herbicide in order to predispose it to the attack; in October of the following year, two trees were selected per parcel and the diameter at breast height (DBH) was measured. In addition, 2 logs of 1 m length were extracted, which were placed in cages and examined twice a week from October to April. In 2017, to determine the level of damage by *Arhopalus* spp., the state of the pines of 4 transects of 150 specimens (each one) was surveyed. The collected data was analyzed by generalized linear models. The best model to explain the abundance of drills per parcel was that which contained species, town, DBH, year and plot as explanatory variables. This would indicate, then, that changes in abundance respond to changes between *A. rusticus* and *A. syriacus*, to the different locations and diameters of the pines and to time. *A. rusticus* reached high values of abundance in the period between 2009 and 2012 in the town of Villa General Belgrano. While, *A. syriacus* exhibited a peak of abundance in 2009 in the town of Alpa Corral. However, it reached considerable abundance in Río de los Sauces and Alpa Corral alike throughout all the years. The mean DBH for both species is 20.18 cm. Additionally, from the results it was hypothesized that *A. syriacus* and *A. rusticus* are epidemic or irruptive species. These results are of special importance when predicting population trends and establishing a management plan for these species.

INTRODUCCIÓN

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2014), Argentina cuenta con aproximadamente 1.120.400 ha de bosques cultivados, de las cuales el 80% se concentra en la Mesopotamia y el delta del río Paraná. La mayor parte de estas plantaciones corresponden a coníferas (54%), eucaliptos (32%) y salicáceas (9%) y poseen un enorme potencial para contribuir al desarrollo socioeconómico nacional.

La cadena foresto-industrial de Argentina vinculada a las plantaciones forestales comienza con la extracción de rollizos, materia prima que es destinada a la industria del aserrado, a la elaboración de pastas o a la industria de tableros. Los productos obtenidos a lo largo de la cadena de producción se destinan luego a otras industrias o al consumo final, tanto en el mercado interno como externo.

En la Provincia de Córdoba, las plantaciones y extracciones de coníferas, especialmente de *Pinus elliottii* y de *Pinus taeda* (Fig. 1), constituyen la actividad forestal más importante. Las primeras plantaciones surgieron alrededor de 1945 en la zona del Valle de Calamuchita, impulsadas por la promoción forestal llevada a cabo por la entonces Administración Nacional de Bosques. Así es como se alcanzó un ritmo de plantación de 3.000 ha anuales entre los años 1958 y 1959. Asimismo, a finales de la década de los setentas se promulgó el Decreto-Ley Nacional N° 21.695 de Crédito Fiscal para Inversión Forestal, el cual establecía un subsidio a las inversiones en plantaciones forestales mediante un monto fijo por ha (Izurieta *et al.* 1993; Zupán 2013a).



Figura 1. Pinares de las Sierras de Córdoba. Campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto “Las Guindas”.

A finales de la década de los noventa, Córdoba poseía unas 35.000 ha de bosques de coníferas (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca 2014), situados sobre el Valle de Calamuchita y la zona de la Sierra de Comechingones. En el Valle de Calamuchita los macizos forestales fueron plantados con densidades iniciales entre 1.600 a 2.000 plantas/ha. En la Sierra de Comechingones, unas 11.000 ha se implantaron entre los años 1968-1980. Estos macizos, que representaban el 10% de las plantaciones de coníferas del país (Lopez *et al.*, 2002), por diversas razones, fueron abandonados casi totalmente, con lo cual la poda y raleo necesario para su mantenimiento no se realizó. Esto generó pinares densos, donde la competencia intraespecífica era tan fuerte que decayeron los ritmos de crecimiento, e incluso hubo alta mortandad de plantas (Zupán, 2013a).

En 2008, la superficie ocupada por estos pinares en Córdoba se estimó en alrededor de 32.609 ha (Demaestri, 2008). En los siguientes años acontecieron múltiples fenómenos climáticos que provocaron daños en las plantaciones forestales. En el sur de la Sierra de Comechingones, en octubre de 2011 ocurrieron tormentas de viento que provocaron la caída de árboles, afectando una importante superficie (Julián, 2014). De manera similar, en octubre y noviembre de 2012, fuertes vientos azotaron la región del Valle de Calamuchita produciendo el quiebre y vuelco de plantas, afectando aproximadamente 2.000 ha (Zupán, 2013b).

En septiembre de 2013, en medio de una intensa sequía, se detectó un foco de incendio a 5 km al Sur de Villa Alpina. Dicho foco se propagó por toda la zona, afectando las localidades de Santa Rosa de Calamuchita, El Durazno, Villa Yacanto, San Miguel, Villa Alpina y Athos Pampa. Este incendio (Fig. 2) 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, haciendo que la probabilidad de recuperación de los ejemplares fuese poca o nula (Zupán, 2013b).



Figura 2. Pinares de la zona de la localidad de Villa Yacanto afectados por el fuego.

En función de los fenómenos antes detallados, y considerando ponderaciones parciales realizadas según el ritmo de extracción de madera, se estima que actualmente queda en Córdoba un área implantada de 21.000 ha (Zupán, 2013b). La elevada competencia intraespecífica resultante de la alta densidad inicial de plantas y el escaso manejo silvicultural, junto con los eventos climáticos y ambientales, predisponen a los árboles a un menor vigor individual y probablemente a una mayor susceptibilidad al arribo y prevalencia de plagas (Giai Isaia, 2017).

Hace una década se reportó por primera vez la presencia de dos especies de escarabajos exóticos, comúnmente conocidas como taladros, afectando las plantaciones de pino de las Sierras de Córdoba. Dichas especies son *Arhopalus rusticus* y *Arhopalus syriacus*, pertenecientes a la familia Cerambycidae (Insecta: Coleoptera) y nativos del hemisferio norte (López *et al.*, 2007). El primer reporte en Argentina de estas especies lo hizo Di Iorio (2004) quien observó a *A. rusticus* 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.

Arhopalus syriacus Reitter 1895, 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, *Arhopalus rusticus* Linnaeus 1758 (= *Criocephalus rusticus*) posee una distribución natural más amplia, ya que se encuentra en 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). Sin embargo, ambas especies de taladros, actualmente están presentes en todos los continentes, debido al comercio internacional de productos forestales sin controles sanitarios (Schauwecker y Morrell, 2008; Acosta, 2015).

Los escarabajos del género *Arhopalus* spp. se caracterizan por tener un cuerpo más bien chato, con un protórax grande y patas bien desarrolladas del tipo marchadoras, una cabeza oblicua dotada de antenas finas y largas, de manera similar al resto de los cerambícidos (Vives, 2000). Los adultos de ambas especies son amarrados (castaño claro a marrón oscuro) y miden entre 10 y 30 mm de largo. Las especies se diferencian por el ángulo apical interno del élitro y por la forma del último artículo del palpo maxilar. *A. syriacus* (Fig. 3.a) posee un ángulo redondeado y un artículo fuertemente rectiforme en contraste a *A. rusticus* (Fig. 3.b) que presenta un ángulo más recto (en algunos casos incluso una pequeña espina) y un artículo ligeramente ensanchado apicalmente (Villiers, 1987; Wang y Leschen, 2003). Tanto en *A. rusticus* como en *A. syriacus* se puede diferenciar el macho de la hembra mediante la comparación del largo de la antena con el largo del élitro. Los machos tienen antenas de mayor longitud que los élitros, mientras que en las hembras son más cortas (Fig. 3 a y b) (Wang y Leschen, 2003).

Arhopalus spp. en su distribución natural ataca 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, que en su distribución natural estos insectos cumplen el papel ecológico de descomponer la madera, sin embargo, en las plantaciones forestales de países donde no es

nativo, provoca pérdidas en el valor de la madera e incluso, cuando abunda, ocasiona la muerte descendente del árbol en pie (Webb y Eldridge, 1997; Bradbury, 1998; Acosta, 2015).

Los daños a los pinos son causados por las larvas de estas especies, que son eficaces barrenadoras de los árboles. Éstas se alimentan preferentemente en el área subcortical, aunque, cuando esta zona se agota, entran en la madera (Bradbury, 1998; Ciesla, 2011). Además, pueden transmitir hongos causantes del manchado de la madera (*Ophiostoma piceaperdum*) y nematodos responsables del marchitamiento de los pinos (*Bursaphelenchus xylophilus*) (Bradbury, 1998; Wang y Leschen, 2003; Wang *et al.*, 2014; Acosta, 2015; Fachinetti *et al.*, 2015).

Además, estas especies resultan particularmente difíciles de controlar ya que sus larvas son inmunes a los conservantes químicos para la madera convencionales. Schauwecker y Morrell (2008) probaron esto mediante la comparación de múltiples conservantes químicos. Si bien, la mayoría evitaron la colonización por nuevos adultos de *Arhopalus* spp., estos no impidieron que las larvas (que ya se encontraban en la madera) sobrevivieran. Entonces, no es raro que éstas últimas puedan llegar a zonas alejadas, mediante el comercio de productos madereros, tal como ejemplifica Di Iorio (2004) cuando, en 2003, detectó *A. rusticus* en Buenos Aires dentro de un empaque de madera importado de China.



Figura 3. Ejemplares de *Arhopalus* spp. encontrados en muestras de los pinares de las Sierras de Córdoba

a. Adulto macho de *A. syriacus* **b.** Adulto hembra de *A. rusticus*

Wang y Leschen (2003) mencionan que, en su lugar de origen, el ciclo de vida de *A. syriacus* y *A. rusticus* puede durar de 1 a 3 años. El ciclo comienza cuando el adulto deposita sus huevos en pequeñas grietas o recovecos de la corteza. Luego de 40 a 90 días de la oviposición, emerge una larva que comienza a alimentarse del cambium y, a medida que se desarrolla, cava galerías en la madera de los troncos, tocones y raíces poco profundas (Bradbury, 1998). Esta larva puede estar de 1 a 2 años en ese estado antes de empupar, para finalmente emerger como adulto por orificios ovalados (Fig. 4) (Acosta, 2015). En Argentina se ha

probado que el ciclo de *A. syriacus* es más breve que en su área natural, rondando los 300 días, pasando en promedio 12 días como huevo, 252 como larva, 16 como pupa y 18 como adulto (Fachinetti *et al.*, 2015).

En la Provincia de Córdoba, 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 (2017) han encontrado que la distancia media que recorre un adulto de *A. rusticus* depende de su sexo y de si ya se ha apareado. En promedio, luego del apareamiento un adulto macho vuela 5.000 m mientras que las hembras vuelan 8.000 m, aunque en estudios posteriores se han registrado valores superiores a 18.000 m. Ello explicaría la rápida colonización de las Sierras de Córdoba por parte de esta especie (Grilli y Fachinetti, 2018).



Figura 4. Troza de pino con orificio de salida de *Arhopalus* sp. y restos de aserrín fresco

Las especies del género *Arhopalus* son poco conocidas en Argentina ya que no hay, por el momento, registros de su presencia masiva en ningún lugar, a excepción de la provincia de Córdoba (Grilli *et al.*, 2016). En algunos países estas especies son consideradas plagas cuarentenarias, puesto que provocan pérdidas en el valor de la madera tanto por la naturaleza de su estadio larval como por ser capaces de transmitir nematodos y hongos (Fachinetti *et al.*, 2015). En la actualidad, *A. rusticus* y *A. syriacus* se encuentran incorporadas al Sistema de Vigilancia y Monitoreo de Plagas (2018 a; b) dependiente del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). Sin embargo, la Dirección de Producción Forestal del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Argentina todavía no incluye a ninguna de las especies en su lista de plagas del pino.

La invasión de ecosistemas por organismos exóticos representa un problema de creciente envergadura ya que, en muchos casos, estos invasores constituyen importantes plagas. La invasión exitosa

implica una serie de etapas, incluida la introducción inicial, el establecimiento en el nuevo hábitat y la expansión. Cuando un invasor es una especie plaga (o, alternativamente, una especie beneficiosa introducida deliberadamente) resulta extremadamente útil poder predecir su dinámica poblacional una vez que se ha realizado el establecimiento de la misma (Andow *et al.*, 1990; Lobo *et al.*, 2002). 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).

La dinámica poblacional está dada por los cambios en las tasas de natalidad, mortalidad, inmigración y emigración; por ende, las poblaciones de organismos nunca son verdaderamente estables. Éstas pueden exhibir puntos de equilibrio estables, oscilaciones cíclicas estables entre dos puntos, ciclos estables o un régimen de aperiodicidad. En particular, los insectos-plaga generalmente exhiben patrones graduales, cíclicos o irruptivos (Wallner, 1987).

La realización de muestreos para monitorear los insectos de las plantaciones y el daño que causan es fundamental, ya que los datos adquiridos permiten evaluar el estado actual de las principales especies de plagas a nivel local, regional y/o nacional. Además, estos conjuntos de datos sistematizados permiten a ecólogos, agrónomos y entomólogos modelar el funcionamiento de una especie dentro de un espacio a lo largo del tiempo (Ciesla, 2011). Una de las técnicas de modelado más utilizadas son los Modelos Lineales Generalizados (GLM, por sus siglas en inglés), debido a que permiten el tratamiento de variables aleatorias que responden a diferentes distribuciones (aparte de la normal), y también evita la restricción impuesta por la suposición de linealidad entre las variables dependientes e independientes (Margules *et al.*, 1987; Lobo *et al.*, 2002; Bolker *et al.*, 2009).

El entendimiento de la dinámica poblacional, distribución y abundancia de un insecto-plaga permite a los expertos 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). Si bien la decisión de tomar medidas contra una plaga forestal recae en el propietario de la tierra o en la autoridad forestal, es responsabilidad de los especialistas proporcionar la mejor información posible sobre la cual basar estas decisiones (Ciesla, 2011). Por eso, el objetivo principal de este trabajo fue estudiar la dinámica poblacional de *Arhopalus rusticus* y *Arhopalus syriacus* en los pinares de Córdoba (Argentina) desde 2009 hasta 2016 con el propósito de comprender el comportamiento y contribuir al manejo integrado de estas especies. Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Construir curvas de abundancia poblacional para *A. rusticus* y *A. syriacus* desde 2009 hasta 2016 en las distintas localidades dónde están presentes.
2. Comparar abundancia y distribución de ambas especies.
3. Analizar los factores que expliquen la dinámica temporal de las poblaciones de *Arhopalus* spp., para un período de 8 años en toda la región forestal de Córdoba.
4. Evaluar el nivel de daño de *Arhopalus* spp. en relación a un parámetro silvicultural.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

Se analizó la dinámica poblacional de *Arhopalus rusticus* y *Arhopalus syriacus* para cuatro localidades: tres correspondientes a pinares en el sector las Sierras de Córdoba, y una cuarta en la Llanura Pampeana. A su vez, estas localidades están repartidas en tres regiones, cada una con características particulares:

Valle de Calamuchita, localidad de Villa General Belgrano:

La región posee una altitud que varía entre 1.000 y 2.000 m s.n.m. aproximadamente. Los suelos son de definida aptitud forestal, aunque variables en constitución, estructura y profundidad. El régimen de lluvias varía entre los 900 y 1.200 mm anuales, que se concentran desde octubre hasta marzo. En zonas altas, se registran nevadas frecuentes durante los meses de invierno. Las heladas comienzan en la primera quincena de mayo y terminan en octubre (Weaver *et al.*, 1994). La región se caracteriza por presentar bosques caducifolios xéricos, con predominio de especies como quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), quebracho colorado (*Schinopsis balansae*), espinillo (*Acacia caven*) y algarrobos (*Prosopis alba*, *Prosopis algarobilla*, *Prosopis nigra*), con un estrato de poáceas, cactáceas y bromeliáceas terrestres (Arana y Bianco, 2011). Las plantaciones de pino de esta región son las más antiguas de la Provincia de Córdoba, y si bien en un principio se implantó *Pinus radiata*, luego de ataques severos de la polilla europea del brote de pino (*Rhyacionia buoliana*), se escogieron especies más resistentes, por lo que actualmente las especies principales son *Pinus elliotii* y *P. taeda* (Izurieta *et al.*, 2001; Zupán, 2013a).

Sierra de Comechingones, localidades de Río de los Sauces y Alpa Corral:

La sierra de Comechingones abarca una superficie estimada de 380.000 ha. Presenta un clima templado subhúmedo con estación invernal seca. El régimen de precipitaciones es dispar, con lluvias medias anuales superiores a los 900 mm, que se concentran en el verano. El relieve favorece la ocurrencia de precipitaciones, la caída de granizo y la presencia constante de vientos de dirección variable y moderada intensidad. El período libre de heladas es inferior a los 50 días y las temperaturas mínimas son inferiores a los -7 °C. El relieve es escarpado, de escurrimiento rápido. La altura sobre el nivel del mar varía gradualmente desde 600 a 1.800 m s.n.m. (Cantero *et al.*, 1998). La vegetación de estos ambientes serranos consiste en bosques caducifolios xéricos, cuyas especies arbóreas dominantes son molle (*Lithrea molleoides*), coco (*Zanthoxylum coco*) y quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), acompañados por espinillo (*Acacia caven*) y tala (*Celtis tala*), con estratos de poáceas, cactáceas y bromeliáceas (Oggero *et al.*, 2014). En la región, las plantaciones de pino actualmente tienen unos 35 años de edad y comprenden principalmente dos especies: *Pinus elliotii* y *P. taeda* (Demaestri, 2008).

Llanura Pampeana, localidad de General Deheza:

La precipitación media anual de la llanura pampeana es de 1.000 mm que, junto con el clima templado, genera una región subhúmeda seca. Geográficamente es una llanura loessica que se eleva entre los

135 y 750 m s.n.m. En esta región predominan las tierras dedicadas a la agricultura intercaladas con relictos del "Bosque de espinal", un bosque xerófilo, abierto, donde el estrato arbóreo comprende especies leñosas nativas como el caldén (*Prosopis caldenia*), el chañar (*Geoffroea decorticans*), el tala (*Celtis tala*) y el moradillo (*Schinus fasciculata*) y especies exóticas como la mora (*Morus alba* y *Morus nigra*) y el olmo (*Ulmus pumila*). También existen bosques en galería a lo largo de los ríos, además de sabanas con asteráceas y poáceas que pueden alcanzar 1 m de altura (Arana y Bianco, 2011). En esta localidad, la empresa Aceitera General Deheza posee unas 230 ha de plantaciones de múltiples especies forestales. Los ejemplares estudiados pertenecen a *Pinus elliottii* y tienen menos de 30 años edad (Aceitera General Deheza, n.d.).

METODOLOGÍA

Desde 2008 hasta 2015, fueron instaladas durante el mes de septiembre parcelas de árboles trampa en las localidades antes mencionadas, indicando sus coordenadas geográficas mediante GPS. Cada parcela se conformó por 5 árboles de *P. elliotii* que fueron seleccionados por ser individuos suprimidos, tortuosos o bifurcados. A cada árbol se le 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.

Al año siguiente de la instalación, desde 2009 y hasta 2016, en el mes de octubre, fueron seleccionados dos árboles por parcela, sin agujeros de emergencia (Fig. 5.a), de los cuales se extrajeron 2 trozas de 1 m de longitud (Fig. 5.b). 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 (Fig. 5.c). 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.



Figura 5. Proceso de recolección y almacenamiento de las trozas. **a.** Apeado de los árboles para la extracción de muestras. **b.** Trozas cortadas para su transporte. **c.** Acondicionamiento de trozas en jaula.

Los ejemplares emergidos fueron colocados en recipientes con alcohol etílico al 70% para posteriormente ser clasificados y sexados mediante la clave elaborada por Wang y Leschen (2003). En planillas de laboratorio se registró fecha, especie y sexo de los individuos emergidos. Esta metodología aplicada en todos los períodos generó una matriz de datos, que se compilaron mediante el uso de Excel (2016).

1. Construcción de curvas de abundancia poblacional

Se construyeron las curvas de abundancia media poblacional para cada especie, utilizando Excel (2016) y teniendo en cuenta la localidad y el año. Adicionalmente, se graficaron las líneas de tendencia polinómica y se marcaron los eventos climáticos más importantes ocurridos en el período estudiado.

2. Comparación de la abundancia y distribución

Partiendo de la matriz de datos elaborada previamente, se construyeron un total de 16 mapas, cada uno correspondiente a una especie y un año, utilizando el programa estadístico R (R Core Team, 2018) en conjunto con los paquetes gráficos ggplot2 (Wickham, 2009) y ggmap (Kahle y Wickham, 2013). En éstos se buscó mostrar la distribución y abundancia de *A. rusticus* y *A. syriacus*, con el fin de distinguir variaciones a lo largo del tiempo.

3. Análisis de los factores explicativos de la dinámica poblacional

La abundancia de taladros promedio por parcela se modeló respecto a las distintas variables estudiadas, mediante la utilización de modelos lineales generalizados con factores aleatorios (GLM) (Margules *et al.*, 1987; Lobo *et al.*, 2002; Bolker *et al.*, 2009). Las variables comprendidas en el análisis fueron: especie, localidad, región, 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). Se empleó R (R Core Team, 2018), utilizando los paquetes estadísticos lme4 (Bates *et al.*, 2015) y MuMIn (Barton, 2018) específicos para análisis de GLM.

Finalmente, se complementó el análisis recurriendo a los registros de sucesos climático-ambientales ocurridos entre 2009 y 2016, con el fin de realizar nuevos aportes que expliquen la dinámica poblacional de *A. rusticus* y *A. syriacus*.

4. Evaluación del nivel de daño de *Arhopalus* spp.

Para determinar el nivel de daño de *Arhopalus* spp., en el 2017, se trazaron 4 transectas de 150 ejemplares cada una. Estas transectas se ubicaron dentro de los pinares de Río de los Sauces (32°27'39" S; 64°48'33" O) y en los de los campos experimentales pertenecientes a la Universidad Nacional de Río Cuarto "La Aguada" (32°57'39" S; 64°39'30" O) y "Las Guindas". En la última locación, se realizaron 2 transectas, una dentro de un macizo sin manejo (32°35'22" S; 64°43'18" O) y la otra dentro de un pinar manejado bajo un sistema silvopastoril (32°35'12" S; 64°43'29" O).

A los árboles de estas transectas se les midió su DAP y se evaluó su estado, clasificándolos en "Vivo" o "Muerto por *Arhopalus*" (cuando el pino se encontraba seco y con signos de emergencias de *Arhopalus*). Luego, los datos fueron trabajados de manera similar al resto, haciendo uso de GLM en el programa R (R Core Team, 2018). Para ello se plantearon y probaron 3 modelos lineales generalizados con factores aleatorios de la familia Binomial, ya que, la variable respuesta (estado) presenta esta distribución.

RESULTADOS

En el presente estudio, se registraron y analizaron las emergencias de *Arhopalus* spp. por un período de 8 años, comprendido entre el 18-10-2009 y el 14-04-2016, habiéndose hallado un total de 8.403 individuos, de los cuales 6.904 fueron *A. syriacus* y 1.499 *A. rusticus*. A lo largo de este período, ejemplares de ambas especies se muestrearon en los pinares de la Provincia Córdoba entre las latitudes 31°48'12"S y 33°02'25"S, y las longitudes 63°45'59"O a 64°48'14"O.

1. Curvas de abundancia poblacional

Los gráficos de la abundancia media en el tiempo, tanto de *A. syriacus* como de *A. rusticus* (Figs. 6 y 7, respectivamente), no muestran ningún patrón repetitivo en las abundancias alcanzadas en los distintos años.

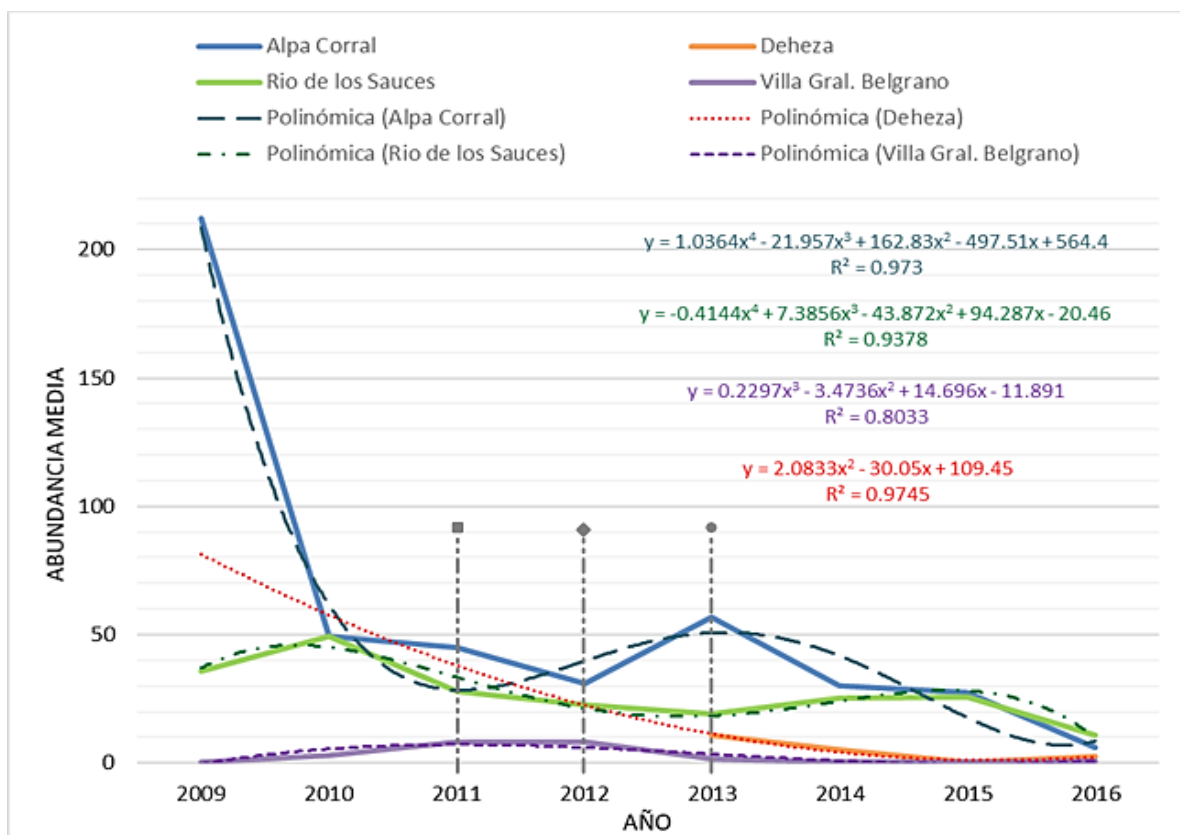


Figura 6. Fluctuación poblacional de *Arhopalus syriacus* en las localidades evaluadas (Alpa Corral, Río de los Sauces, General Deheza y Villa General Belgrano) con su correspondiente línea de tendencia polinómica.

Las líneas verticales marcan los hitos ambientales del período estudiado:

- = Tormenta de viento en Sierra de Comechingones
- ◆ = Tormenta de viento en Valle de Calamuchita
- = Incendio en Valle de Calamuchita

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. A pesar de la diferencia numérica en estas medias,

ambas especies, en su respectiva localidad, han sufrido una disminución de su abundancia a lo largo de los años comprendidos en este estudio.

En el resto de localidades, no hubo variaciones significativas en la abundancia media para ninguna de las especies. Sin embargo, *A. syriacus* presentó medias, en general, por encima de 10 y debajo de 50, mientras que *A. rusticus* no supera una media de 4, en ninguna localidad ni año.

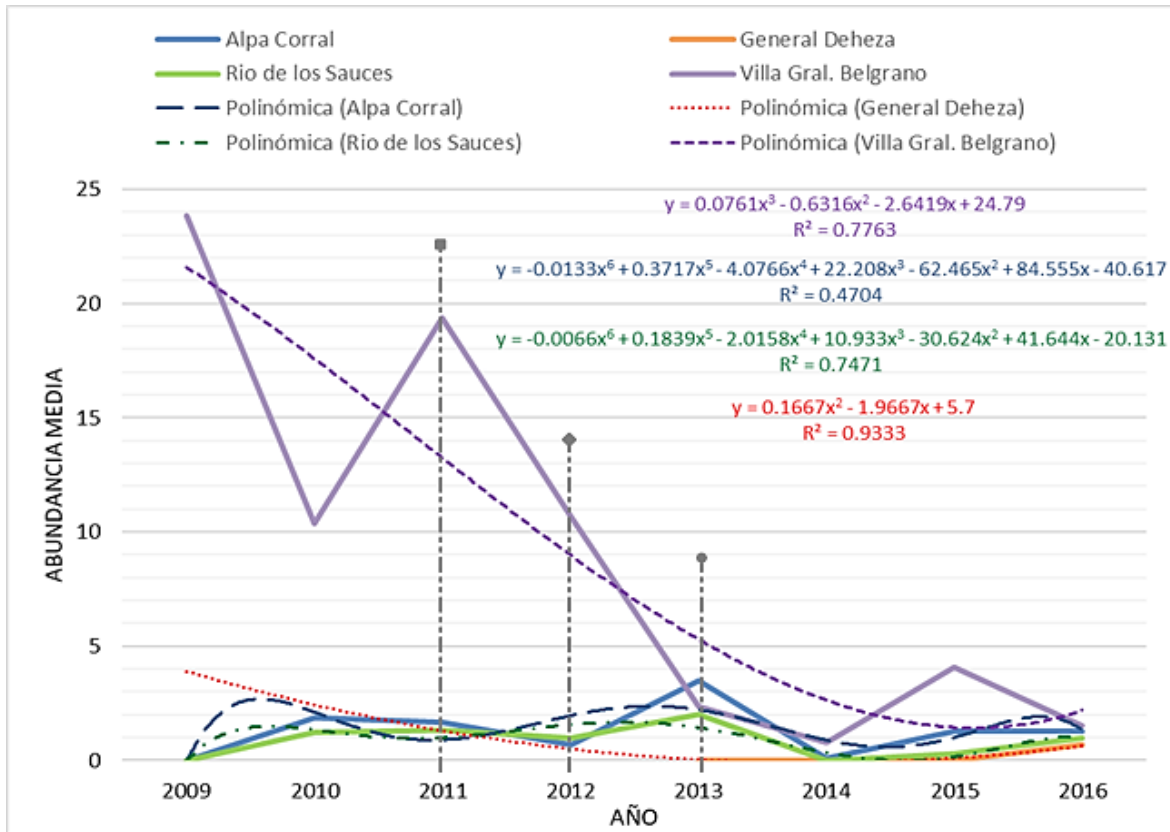


Figura 7. Fluctuación poblacional de *Arhopalus rusticus* en las localidades evaluadas (Alpa Corral, Río de los Sauces, General Deheza y Villa General Belgrano) con su correspondiente línea de tendencia polinómica.

Las líneas verticales marcan los hitos ambientales del período estudiado:

- = Tormenta de viento en Sierra de Comechingones
- ◆ = Tormenta de viento en Valle de Calamuchita
- = Incendio en Valle de Calamuchita

2. Mapas de distribución y abundancia

Como se observa en las figs. 8 y 9, las poblaciones de *A. syriacus* y *A. rusticus*, en un principio, se encontraron concentradas en dos puntos de las Sierras de Córdoba: *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 pasaron los años, se puede observar cómo las poblaciones de ambas especies se fueron dispersando, más allá de los cambios en la abundancia. *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 el este, llegando a General Deheza.

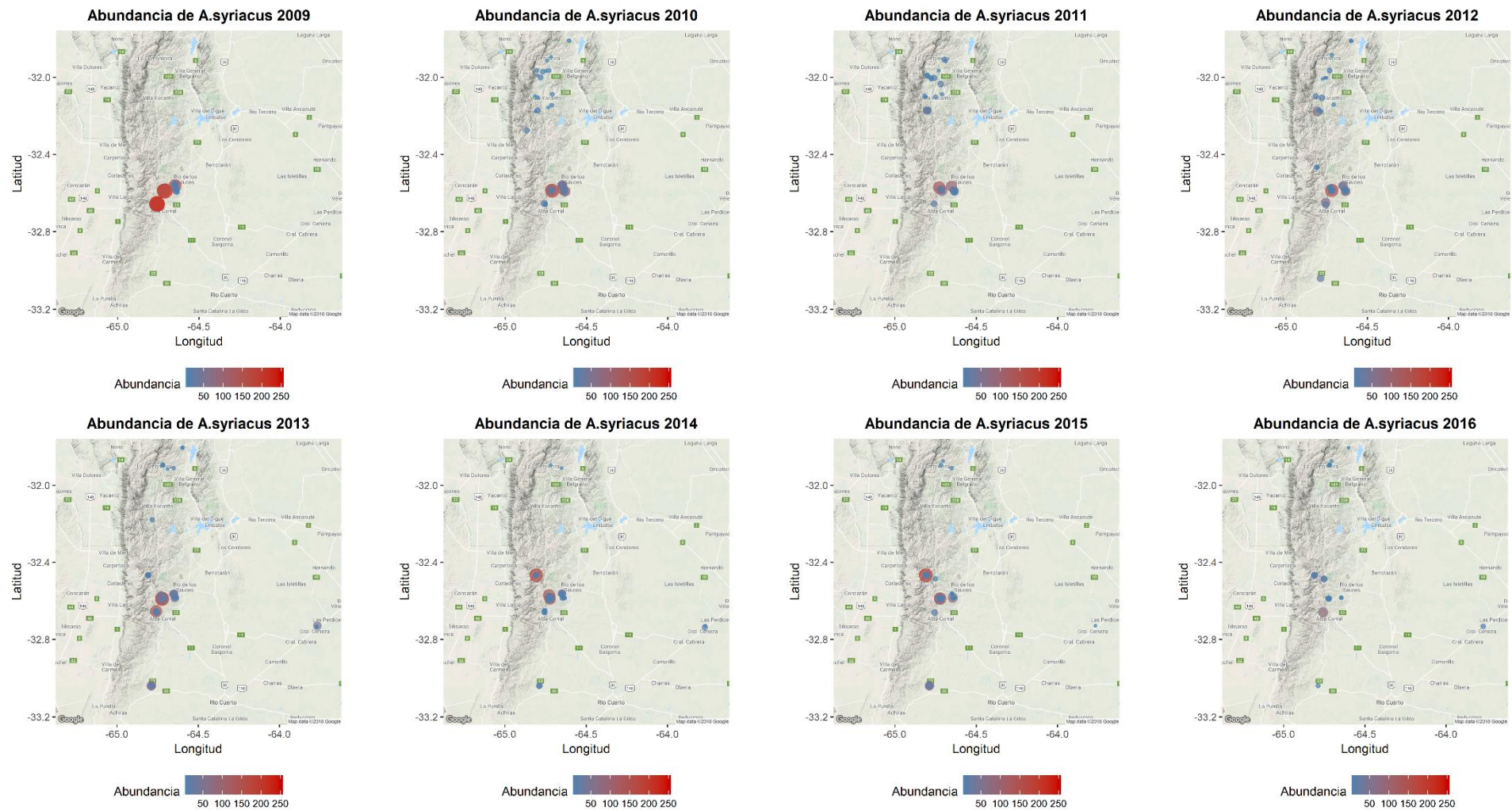


Figura 8. Mapas de distribución de *Arhopalus syriacus* en las Sierras de Córdoba y la Llanura Pampeana adyacente para cada año de estudio. Cada punto representa una parcela, y el tamaño y el gradiente de color indican rango de individuos registrados.

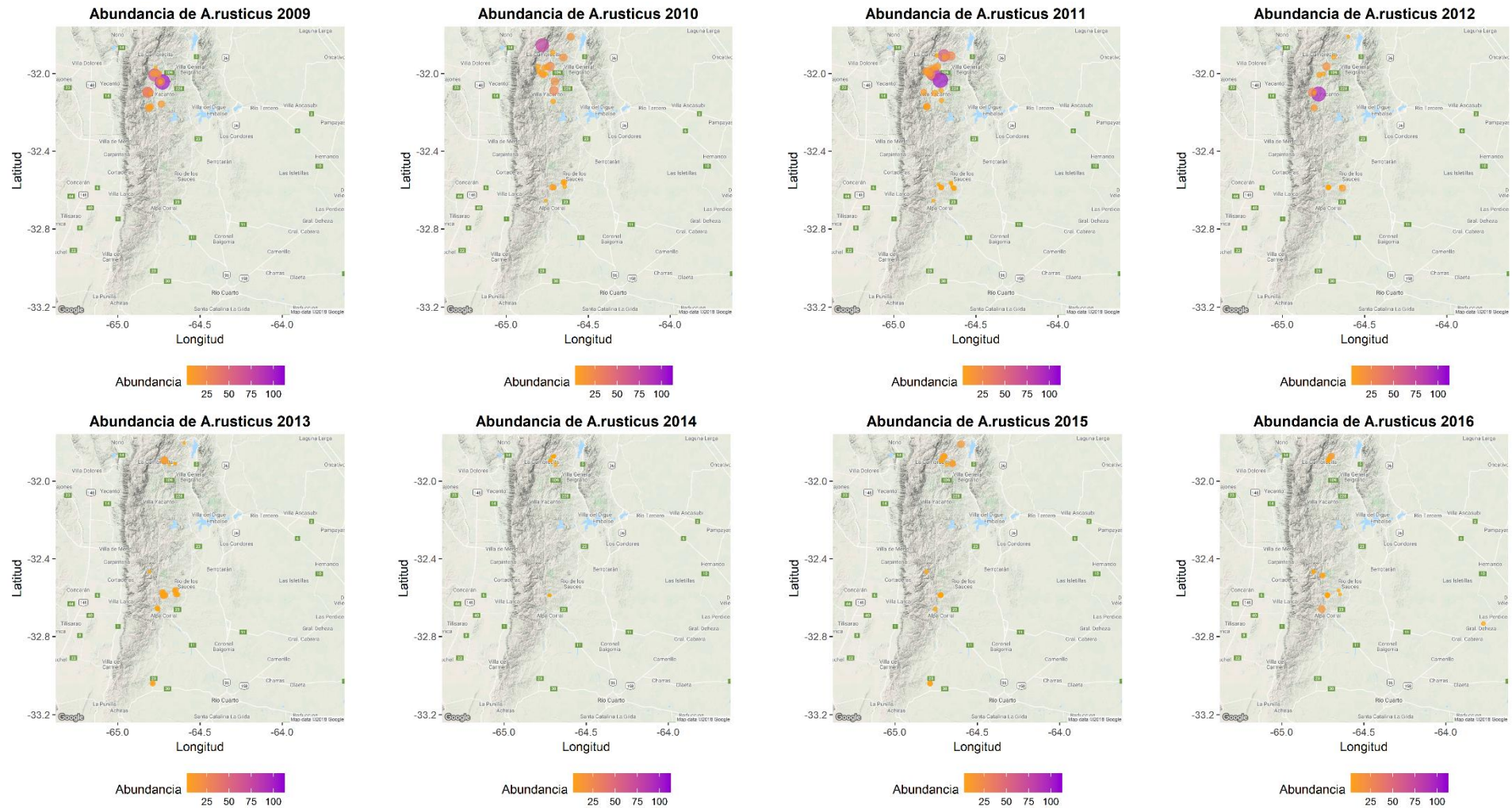


Figura 9. Mapas de distribución de *Arhopalus rusticus* en las Sierras de Córdoba y la Llanura Pampeana adyacente para cada año de estudio. Cada punto representa una parcela, y el tamaño y el gradiente de color indican rango de individuos registrados.

3. Modelado de la abundancia

Se probaron un total de 11 modelos 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 14 940.2, un delta de 39.70 y un peso de 0.99, y fue aquel que contenía especie, localidad, DAP y año como variables explicativas y parcela como factor aleatorio, tal como se ve en la siguiente fórmula:

$$Abundancia \cong Especie + Localidad + DAP + Año + (1/Parcela)$$

Esto significa, entonces, que la abundancia de *Arhopalus* spp. en los pinares presenta diferencias dependiendo de si estudiamos *A. syriacus* o *A. rusticus*, y, a su vez, de la localidad, del DAP de los pinos y del año.

Tabla 1. Modelos lineales generalizados con factores aleatorios que explican la abundancia de taladros en una parcela. *AIC=Criterio de Información de Akaike

Nº	VARIABLES explicativas	VARIABLES aleatorias	AIC*	Peso
10	Especie+Año+Localidad+DAP	Parcela	14940.2	0.99
5	Especie+Localidad+DAP	Parcela+Año	14979.9	0.01
8	Especie+Año	Parcela	14993.3	0
4	Especie+Localidad	Parcela+Año	15001.7	0
2	Especie	Parcela+Año	15032.3	0
9	Especie+Localidad	Parcela	16874.4	0
7	Especie	Parcela	16891.0	0
11	Año+DAP	Parcela	18629.5	0
3	Año	Parcela	18649.9	0
6	DAP	Parcela+Año	18668.6	0
1	Null	-	24707.0	0

La fig. 10 muestra la interacción de las variables que conforman el modelo. En este, al igual que en las figs. 6 y 7, 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 en abundancias considerables, mientras que *A. rusticus* se detecta, por primera vez, en el 2016.

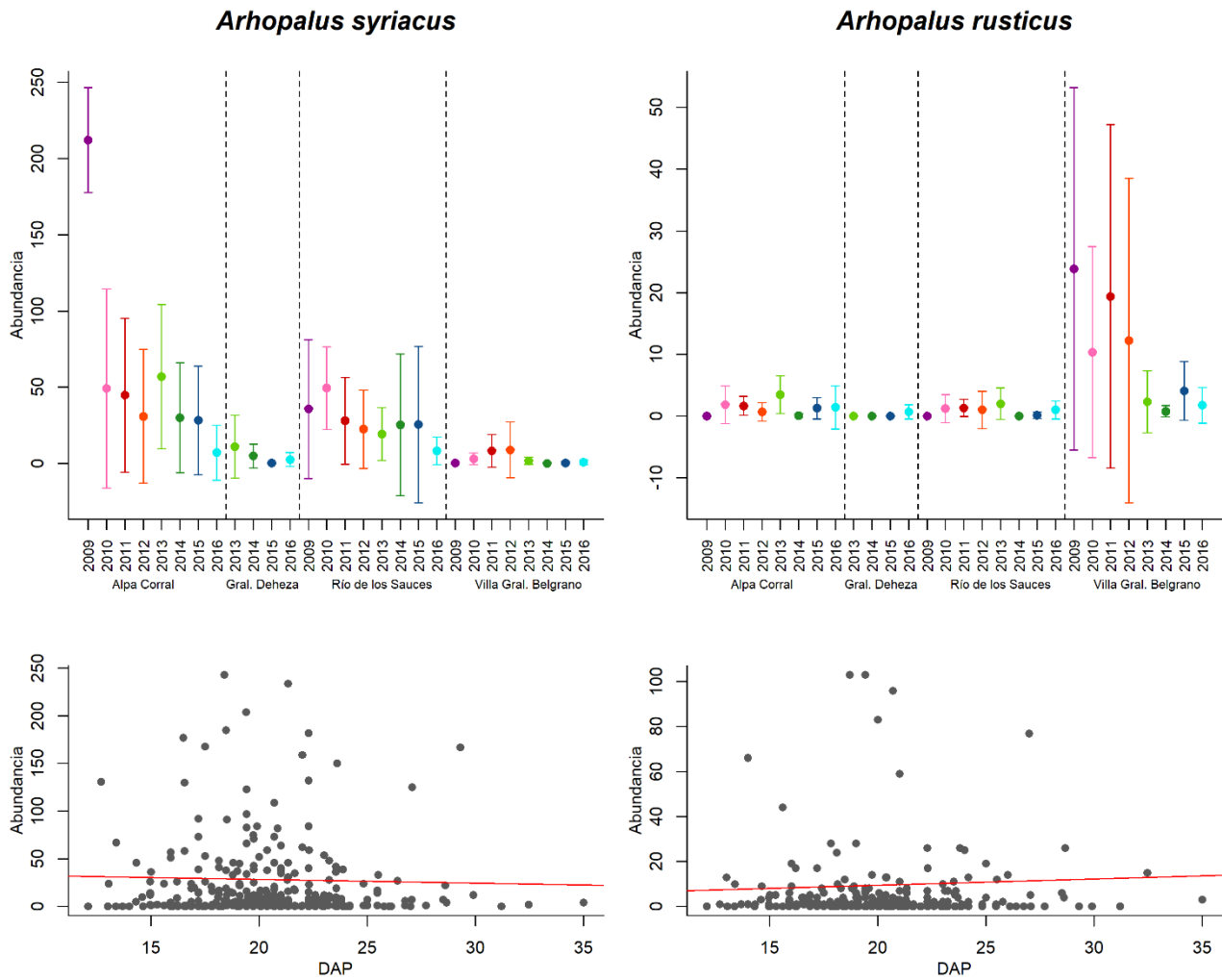


Figura 10. La columna izquierda corresponde a *Arhopalus syriacus* y la derecha a *Arhopalus rusticus*. Arriba se muestra Abundancia en relación a las variables categóricas (Año y Localidad), y debajo Abundancia en relación a la variable continua (DAP). En los superiores, los puntos con bigotes representan las abundancias medias con sus desvíos estándares. En los inferiores, cada punto es un dato y la línea roja es la línea de tendencia Abundancia~DAP.

Por otro lado, las líneas de tendencia Abundancia~DAP (Fig.10) 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 (Tabla 2). No obstante, ambas especies se encuentran en árboles con DAPs medios de 20.18 cm.

Tabla 2. Medias de DAP ponderadas según abundancia para *Arhopalus syriacus* y *Arhopalus rusticus*.

	<i>Arhopalus syriacus</i>	<i>Arhopalus rusticus</i>
DAP Medio Ponderado (cm)	20.06829	20.28731

4. Relación nivel de daño-DAP

Se probaron 3 modelos lineales generalizados (Tabla 3) para el set de datos provenientes de las transectas. El mejor modelo fue aquel que explicaba el Estado en función del DAP y presentó un AIC de 72.2, un delta de 1.84 y un peso de 0.676.

Tabla 3. Modelos lineales generalizados que explican la relación entre la prevalencia de *Arhopalus* spp.

*AIC=Criterio de Información de Akaike

Nº	VARIABLES explicativas	AIC*	Peso
2	DAP	72.2	0.676
3	Localidad+DAP	74.0	0.269
1	Null	77.2	0.054

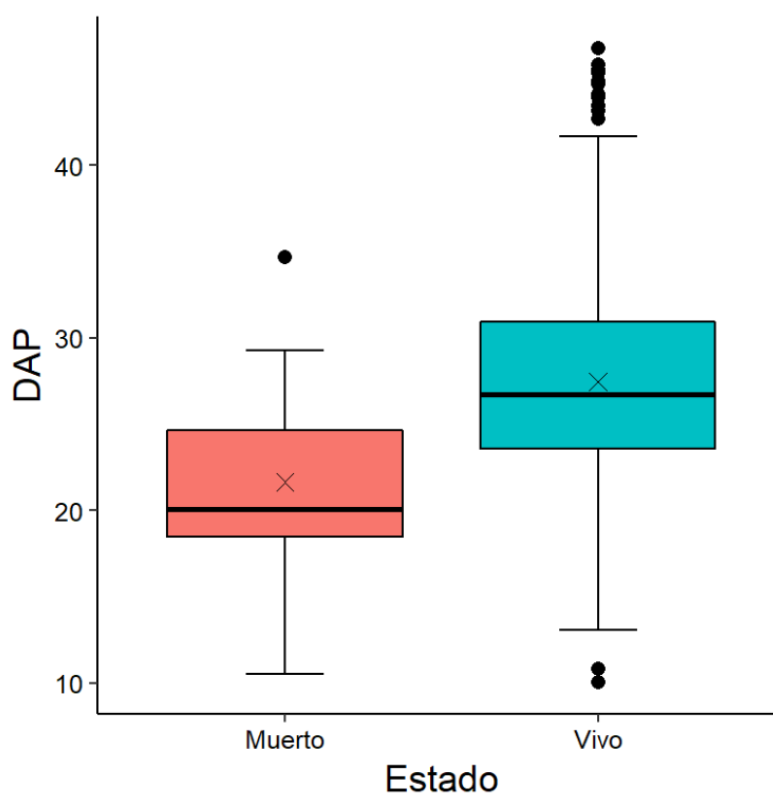


Figura 11. Gráfico de caja del DAP de los ejemplares según su estado: muerto (Muertos por *Arhopalus*) o vivo. Las cajas abarcan desde el primer cuartil, pasando por la mediana, hasta el tercer cuartil. Los bigotes son 1.5 veces la diferencia intercuartil, los puntos son los outliers y la cruz representa la media.

El DAP medio para los pinos muertos por *Arhopalus* fue de 21.65 cm, mientras que para los pinos vivos resultó 27.46 cm (Fig.11), mostrando una significativa diferencia entre los DAPs.

DISCUSIÓN

En este trabajo se estudió la dinámica poblacional de *A. rusticus* y *A. syriacus* en los pinares de Córdoba desde 2009 hasta 2016 y, si bien no se pudo identificar ningún patrón en las abundancias alcanzadas por estas especies (en ninguna de las localidades muestreadas durante este período de tiempo), esto no es indicativo de que las poblaciones de *Arhopalus* spp. no respeten patrones, sino que es posible que otros factores, como los que se desarrollan a continuación, hayan afectado las abundancias poblacionales. Por ello, resultan necesarios más estudios para poder establecer qué patrón de abundancia siguen estas especies.

Entre los factores a tener en cuenta al momento de evaluar la dinámica poblacional de *Arhopalus* spp. se encuentra que el primer registro para la zona de las Sierras de Córdoba es anterior al período comprendido en esta investigación. López *et al.* (2007, 2008) reportan ejemplares adultos de *A. rusticus* y *A. syriacus* emergiendo en octubre de 2006 de muestras de *P. elliotti* tomadas en el marco de un estudio acerca de *S. noctilio* en el Valle de Calamuchita y Alpa Corral. Este antecedente, junto con los valores de abundancia alcanzados por *Arhopalus* spp. en este trabajo, estaría indicando que, de manera análoga a lo que Di Iorio (2004) concluye para la región costera de Buenos Aires, estas especies han llegado a la región con anterioridad a los primeros registros.

El segundo factor a tener en cuenta, ya dentro del período evaluado en esta investigación, es la ocurrencia de importantes eventos climáticos que azotaron la zona de estudio durante los años 2011 a 2013 (tormentas de viento en 2011 y 2012 y el gran incendio del año 2013 (Zupán, 2013b)). Estos eventos, con seguridad, han afectado el desarrollo normal de los ciclos poblacionales.

Otro factor muy importante a tener en cuenta cuando se buscan patrones poblacionales es el tiempo, dado que es probable que se necesite hacer el seguimiento de una población durante al menos 20 años, antes de que se pueda visualizar un patrón concreto (Price *et al.*, 2011). Por tal motivo, las poblaciones de *Arhopalus* spp. de la provincia de Córdoba requieren ser estudiadas durante más tiempo.

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 de brotes, 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 y lo discutido con anterioridad, se podría hipotetizar que, tanto *A. syriacus* como *A. rusticus*, son especies epidémicas ya que, al igual que lo registrado por Webb y Eldridge (1997) para los pinares de New South Wales en Australia, la rápida infestación (considerando que alcanzó abundancias significativas en pocas generaciones) en los pinares de Córdoba 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.

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 observa 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. Luego, entraron en una etapa de expansión, en la cual se generaron poblaciones de ambas especies en todas las localidades evaluadas (con excepción de General Deheza), coincidiendo con lo reportado por Pedemonte (2014) para el Valle de Calamuchita.

Si bien ambas especies se comportaron de manera análoga 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, mientras que 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 que llegó *A. syriacus* en este período.

Si consideramos el modo en que la abundancia y la distribución varían año a año, hay varios momentos de especial interés. El primero es, entre los años 2009 y 2010, cuando la población de *A. syriacus* de la localidad de Alpa Corral decrece rápidamente, posiblemente debido a su naturaleza epidémica discutida anteriormente.

El segundo ocurre, en los años 2012 y 2013, cuando las poblaciones de *A. rusticus* de la localidad de Villa General Belgrano decrecen significativamente, a pesar de que las abundancias de años anteriores no son tan altas y que las tormentas de viento del año 2012 dejaron gran cantidad de material disponible que debería haber sido aprovechado por la naturaleza saproxílica de estas especies (que dependen, durante parte de su ciclo vital, de la madera muerta o senescente de árboles moribundos o muertos) (Saint-Germain *et al.*, 2008; Brin *et al.*, 2011) y así alcanzar niveles de abundancia altos. Sin embargo, los niveles poblacionales descienden abruptamente. 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 de los taladros- y se expandió rápidamente por toda la zona debido a las condiciones ambientales y a la gran cantidad de material seco disponible para mantener el foco activo (Zupán, 2013b), impidiendo así la emergencia de adultos. Este mismo decrecimiento se observa para la población de *A. syriacus* de esta localidad, aunque en menor escala.

Un último momento clave sucede con el arribo de estas especies a General Deheza. *A. syriacus* se observó en la localidad por primera vez en el año 2013 y desde entonces se mantiene en niveles bajos; sin embargo, *A. rusticus* no fue registrado en ella hasta 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* (Grilli y Fachinetti, 2017), pero desconocido para *A. syriacus*).

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). Existen variados ejemplos de modelos construidos por ecólogos, agrónomos y entomólogos (Margules *et al.*, 1987; Lobo *et al.*, 2002; Buse *et al.*, 2007; Bolker *et al.*, 2009), y también hay antecedentes de la aplicación de esta técnica al estudio de las poblaciones de *Arhopalus* (Pedemonte, 2014; Grilli y Fachinetti, 2018). 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 taladros 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 cuanto a la relación de estas especies con el DAP del hospedador, el modelo sugiere que, *A. rusticus* prefiere ejemplares con DAP levemente mayores y que *A. syriacus*, en cambio, prefiere pinos con diámetros más pequeños, sin embargo, al analizar esto se debe tener en cuenta la distribución de las especies. *A. rusticus* predomina en la localidad de Villa General Belgrano donde los pinares son más antiguos y es muy probable que, en consecuencia, el material disponible más abundante sea de mayor diámetro. En cambio *A. syriacus*, que es abundante en las localidades de Alpa Corral y Río de los Sauces, tiene a disposición mayor cantidad de ejemplares de diámetros más pequeños. Pero, al calcular las medias para cada especie, éstas son muy cercanas entre sí y rondan los 20 cm.

En concordancia con lo anterior, el análisis del nivel de daño de *Arhopalus* spp. respecto al DAP en las transectas, arroja que la mortalidad por estas especies se da preferentemente en pinos con diámetros cercanos a 20 cm. Esto es semejante a lo que Brin (2011) encontró en su estudio de las poblaciones de escarabajos saproxílicos de los bosques del norte de Francia, dado que identifica a *A. rusticus* como especie típica (y muy abundante) en troncos con al menos 20 cm de diámetro.

CONCLUSIÓN

A. rusticus y *A. syriacus* están establecidas en los pinares de Córdoba y han formado múltiples poblaciones que probablemente se mantengan en niveles bajos hasta que las condiciones permitan que ocurra un pico de abundancia. Mientras tanto, los árboles de menor diámetro, suprimidos o tortuosos serán los que sufran el efecto de las larvas de *Arhopalus* spp., en especial en la zona sur de las Sierras de Córdoba donde la abundancia de estas especies es mayor. Esto implica que se verá afectada la integridad estructural de los árboles, reducida la calidad de la madera y/o habrá un mayor número de ejemplares afectados por enfermedades y manchas.

Si tenemos en cuenta que en otras zonas forestales del país no hay registro de estos taladros y que, Córdoba establece un activo comercio desde y hacia otras zonas, resulta vital realizar acciones de manejo y control para evitar futuras infestaciones. El manejo silvicultural de las plantaciones de pino complementada con el manejo de las poblaciones de *Arhopalus* spp. es fundamental, al igual que el control estricto de productos de origen maderero que salgan e ingresen a la provincia y que lleguen a otras zonas forestales.

A futuro, otras tareas que pueden ayudar al manejo y control de *Arhopalus* spp. incluyen buscar controladores biológicos, desarrollar insecticidas o tratamientos eficaces para la madera y continuar con el estudio de las poblaciones con énfasis en la dinámica epidémica de esta especie; y de conocer, por ejemplo, sus factores limitantes (tanto climáticos, como ambientales y ecológicos) o su interacción con otros parásitos y enfermedades del pino o su interacción con la matriz nativa de las Sierras de Córdoba.

REFERENCIAS

- ACEITERA GENERAL DEHEZA. no date. Parque Forestal: Cuidando la Tierra.
<<https://www.agd.com.ar/es/medio-ambiente/parque-forestal>> (25 August 2018).
- 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., P. M. KAREIVA, S. A. LEVIN, Y A. OKUBO. 1990. Spread of invading organisms. *Landscape Ecology* 4:177–188.
- ARANA, M. D., Y C. A. BIANCO. 2011. Helechos y Licófitas del centro de Argentina.
- BARTON, K. 2018. MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.40.4. <<https://cran.r-project.org/package=MuMIn>>.
- BATES, D., M. MAECHLER, B. BOLKER, Y S. WALKER. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*.
- BOLKER, B. M., M. E. BROOKS, C. J. CLARK, S. W. GEANGE, J. R. POULSEN, M. H. H. STEVENS, Y J. S. S. WHITE. 2009. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution* 24:127–135.
- 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., C. BOUGET, H. BRUSTEL, Y H. JACTEL. 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.
- BUSE, J., B. SCHRÖDER, Y T. ASSMANN. 2007. Modelling habitat and spatial distribution of an endangered longhorn beetle - A case study for saproxylic insect conservation. *Biological Conservation* 137:372–381.
- CANTERO, G. ., M. . CANTÚ, J. M. CISNERO, J. J. CANTERO, M. BLASARIN, A. DEGIOANNI, J. GONZÁLEZ, V. BECERRA, H. GIL, J. DE PRADA, S. DEGIOVANNI, C. CHOLAKY, M. VILLEGAS, A. CABRERA, Y C. ERIC. 1998. Las tierras y aguas del sur de Córdoba. Propuesta para un manejo sustentable.
- CIESLA, W. M. 2011. *Forest Entomology: A Global Perspective*. Wiley-Blackwell, Sussex, UK.
- 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., M. L. PEDEMONTE, Y M. GRILLI. 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.

- GIAI ISAIA, A. 2017. Estudio de la dinámica poblacional de *Sirex noctilio* F. en plantaciones de pinos de Córdoba. Univesidad Nacional de Río Cuarto.
- GRILLI, M., H. MASUH, M. DEMAESTRI, R. FACHINETTI, P. GONZALEZ, L. HARBURGER, L. PEDEMONTE, J. GARCÍA, Y C. CRENNNA. 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., Y R. FACHINETTI. 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.
- GRILLI, M. P., Y R. FACHINETTI. 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.
- 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.
- IZURIETA, G., D. ABUD, Y J. IZAURRALDE. 1993. Plantaciones de pinos de la provincia de Córdoba. Paraná-Entre Ríos.
- IZURIETA, G., D. ABUD, Y J. IZAURRALDE. 2001. Plantaciones de pinos de la provincia de Córdoba. Agencia Córdoba Ambiente. Inédito.
- JULIÁN, J. . 2014. Comportamiento de *Sirex noctilio* e *Ibalia leucospoides* en el Valle de Calamuchita-Córdoba (2012-2013). Universidad Nacional de Río Cuarto.
- KAHLE, D., Y H. WICKHAM. 2013. ggmap: Spatial Visualization with ggplot2. <<http://journal.r-project.org/archive/2013-1/kahle-wickham.pdf>>.
- LOBO, J. M., J. LUMARET, Y P. JAY-ROBERT. 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.
- LOPEZ, A., M. DEMAESTRI, E. ZUPAN, Y O. BAROTTO. 2002. Antecedentes del *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) en el Valle de Calamuchita, Córdoba, Argentina. *Bosque* 23:111–114.
- LÓPEZ, A., J. GARCÍA, M. DEMAESTRI, O. DI IORIO, Y R. MAGRIS. 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., J. GARCÍA, M. DEMAESTRI, O. R. DI IORIO, Y R. MAGRIS. 2007. *Arhopalus syriacus* y *A. rusticus*, cerambícidos relacionados a *Sirex noctilio*, sobre *Pinus elliottii* en Córdoba Argentina. P. 336 in *Libro de Actas de Ecoreuniones* (H. Gonda, M. Davel, G. Loguercio & O. Picco, eds.). Esquel, Argentina.

- MARGULES, C. R., A. O. NIEHOLLS, Y M. P. AUSTIN. 1987. Diversity of Eucalyptus species predicted by a multi-variable environmental gradient. *Oecologia* 71:229–232.
- MICROSOFT CORPORATION. 2016. Excel: Microsoft Office Proofing Tools
- MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERIA Y PESCA. 2014. Argentina: Plantaciones forestales y gestión sostenible. <http://forestoindustria.magyp.gob.ar/backup2/_archivos/_ambiente/publi_ambiental.pdf>.
- OGGERO, A., N. DE LUCA, E. NATALE, Y M. D. ARANA. 2014. Caracterización y situación actual de los bosques nativos en el centro sur de la provincia de Córdoba.
- 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. Universidad Nacional de Córdoba.
- PRICE, P. W., R. F. DENNO, M. D. EUBANKS, D. L. FINKE, Y I. KAPLAN. 2011. *Insect Ecology: Behavior, Populations and Communities*. Cambridge University Press.
- 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., P. DRAPEAU, Y C. M. BUDDLE. 2008. Persistence of pyrophilous insects in fire-driven boreal forests: Population dynamics in burned and unburned habitats. *Diversity and Distributions* 14:713–720.
- SCHAUWECKER, C. F., Y J. J. MORRELL. 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.
- SISTEMA NACIONAL ARGENTINO DE VIGILANCIA Y MONITOREO DE PLAGAS. 2018a. *Arhopalus syriacus*. <<http://www.sinavimo.gov.ar/plaga/arhopalus-syriacus>> (10 August 2018).
- SISTEMA NACIONAL ARGENTINO DE VIGILANCIA Y MONITOREO DE PLAGAS. 2018b. *Arhopalus rusticus*. <<http://www.sinavimo.gov.ar/plaga/arhopalus-rusticus>> (10 August 2018).
- VILLIERS, A. 1987. Faune des Coléoptères de France. I Cerambycidae. *Encyclopédie Entomologique*. .
- VIVES, E. 2000. Coleoptera, Cerambycidae. P. 776 in *Fauna Ibérica* (M. A. et. al Ramos, ed.). Madrid.
- WALLNER, W. E. 1987. Factors Affecting Insect Population Dynamics: Differences Between Outbreak and Non-Outbreak Species. *Annual Review of Entomology* 32:317–340.
- WANG, Q., Y R. A. B. LESCHEN. 2003. Identification and distribution of *Arhopalus* species (Coleoptera: Cerambycidae: Aseminae) in Australia and New Zealand. *New Zealand Entomologist* 26:53–59.
- WANG, Y., Z. WANG, J. XUE, H. KIM, Y C. SUNG. 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., F. CHEDZOY, P. INGARAMO, Y M. DEMAESTRI. 1994. Situación de la actividad foresto-industrial en el Valle de Calamuchita.

- WEBB, G. A., Y R. H. ELDRIDGE. 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.
- WICKHAM, H. 2009. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag, New York.
- ZUPÁN, E. E. 2013a. Recuperando la historia forestal de la provincia. *Producción Forestal* 6:7–9.
- ZUPÁN, E. E. 2013b. 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>.