

# Efectos de la interacción del paisaje (área y conectividad) sobre la presencia y abundancia de *Gonipterus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) y su parasitoide *Anaphes nitens* (Hymenoptera: Mymaridae)

Lucía Verónica Suquillo Romero<sup>1\*</sup> , Diego Leopoldo Mejía Romo<sup>2</sup>, Diego Javier Inclán Luna<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra

<sup>2</sup>Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador

Recepción: 30/10/2025

Aceptación: 18/12/2025

Publicación: 29/12/2025

\*Correspondencia: lvsuquillo@uce.edu.ec

## Resumen

La fragmentación del hábitat influye en la distribución y abundancia de insectos, afectando tanto a especies plaga como a sus enemigos naturales. La reducción del área de hábitat y la pérdida de conectividad pueden modificar estas interacciones ecológicas, y particularmente su efecto sobre el fitófago del eucalipto *Gonipterus* spp. y su parasitoide *Anaphes nitens* no han sido suficientemente estudiados. Esta investigación tuvo objetivo determinar el efecto de la interacción del paisaje (área y conectividad) sobre la presencia y abundancia de *Gonipterus* spp. y *A. nitens* en paisajes seminaturales fragmentados de la provincia de Pichincha, Ecuador.

Se seleccionaron 15 sitios en la provincia de Pichincha, totalizando 359.78 hectáreas (ha), con un gradiente de área (0.31–71.22 ha) y un índice de conectividad variable (1.08–13.36). El área de hábitat se cuantificó mediante digitalización en QGIS 3.22.5, y la conectividad se calculó utilizando la ecuación descrita por Hanski en R Studio 4.4.2, considerando la dispersión del fitófago. Se muestreó manualmente 20 puntos por sitio, recolectando adultos, larvas y ootecas en brotes de eucalipto. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio para registrar la emergencia de parasitoides y determinar su abundancia.

Los modelos de distribución binomial, Poisson y binomial negativo mostraron que ni el área ni la conectividad interactúan significativamente con la presencia de las especies; sin embargo, ambos factores fueron estadísticamente significativos para la abundancia de ambos. Al desglosar la abundancia de *Gonipterus* spp. en larvas y adultos, hubo una interacción significativa entre el área y la conectividad ( $p = 0.016$ ) únicamente en estado adulto. Estos resultados son relevantes para el manejo de *Gonipterus* spp., especialmente en ecosistemas dominados por monocultivos de eucalipto.

**Palabras clave:** Eucalipto. Ecología del paisaje. Defoliador. Dispersión. Hábitat. Fragmentación.

## Abstract

Habitat fragmentation influences the distribution and abundance of insects, affecting both pest species and their natural enemies. The reduction of habitat area and the loss of connectivity can modify these ecological interactions, and their effect on the eucalyptus

phytophagous insect *Gonipterus* spp. and its parasitoid *Anaphes nitens*, in particular, has not been sufficiently studied. This research aimed to determine the effect of landscape interaction (area and connectivity) on the presence and abundance of *Gonipterus* spp. and *A. nitens* in fragmented semi-natural landscapes of the Pichincha Province, Ecuador.

Fifteen sites were selected in the Pichincha Province, totaling 359.78 hectares (ha), with an area gradient (0.31–71.22 ha) and a variable connectivity index (1.08–13.36). Habitat area was quantified using digitization in QGIS 3.22.5, and connectivity was calculated using the equation described by Hanski in R Studio 4.4.2, considering the dispersal of the phytophagous insect. Twenty points per site were manually sampled, collecting adults, larvae, and oothecae from eucalyptus shoots. The samples were transported to the laboratory to record parasitoid emergence and determine their abundance.

The binomial, Poisson, and negative binomial distribution models showed that neither area nor connectivity interacted significantly with the presence of the species; however, both factors were statistically significant for their abundance. When the abundance of *Gonipterus* spp. was broken down into larvae and adults, there was a significant interaction between area and connectivity ( $p = 0.016$ ) only in the adult stage. These results are relevant for the management of *Gonipterus* spp., especially in ecosystems dominated by eucalyptus monocultures.

**Keywords:** Eucalyptus. Landscape ecology. Defoliator. Dispersal. Habitat. Fragmentation.

## Introducción

La fragmentación del paisaje y la conectividad entre parches de hábitat son factores determinantes en la biodiversidad y el éxito ecológico de especies en ambientes naturales y agrícolas. Estos factores son especialmente importantes cuando se analizan las interacciones entre herbívoros y sus enemigos naturales, como los parasitoides. La *interacción del paisaje* influye en los patrones de dispersión y la dinámica poblacional de especies clave, tales como *Gonipterus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) y su parasitoide *Anaphes nitens* (Hymenoptera: Mymaridae), ambos de gran interés en el manejo integrado de plagas (Schröder et al., 2021; Visser et al., 2009).

En la ecología del paisaje, se ha demostrado que el tamaño de los parches de hábitat está relacionado con la presencia de especies, siendo los parches más grandes capaces de soportar poblaciones más densas y diversos recursos (Fahrig, 2003; Hanski, 1999). En contraste, la conectividad del hábitat permite que los individuos se desplacen entre los parches, lo que facilita el establecimiento de poblaciones y la persistencia de especies en paisajes fragmentados (With 2019).

*Gonipterus* spp. Gyllenhal, insecto conocido como gorgojo defoliador del eucalipto (*Eucalyptus globulus*) se ha propagado por el mundo, convirtiéndose en una especie invasiva que provoca la defoliación de las plantaciones de eucalipto (Avilés Ramos, 2019). En la actualidad, se encuentra en países de Sudamérica como Brasil, Colombia, Chile, Argentina, Uruguay y Ecuador (Avilés Ramos, 2019). Inicialmente *G. scutellatus* fue considerada como especie única, sin embargo, estudios morfológicos y moleculares más recientes, indican que en realidad se trata de un complejo de especies crípticas que abarcan aproximadamente entre 8 y 10 especies, todas ellas originarias de Australia (Mapondera et al., 2012).

Uno de los principales factores de riesgo para el eucalipto radica en que este insecto tiene una preferencia por hospedarse en árboles en su etapa juvenil, especialmente aquellos que están experimentando la transición de hojas jóvenes a adultas. Los individuos más jóvenes se convierten en el hábitat ideal para la reproducción de *Gonipterus* spp., facilitando su propagación en el resto del grupo de árboles (Cibils & Gómez, 2014). En Ecuador, *Gonipterus* spp. fue registrado por primera vez en el año 2019 y a partir de 2020, se reporta en los bosques cercanos a las áreas rurales de la ciudad de Quito, en las faldas del volcán Pichincha, en la avenida Simón Bolívar, en los sectores de Lumbisí y la Ruta Viva, lugares donde se ha observado el ataque a varios árboles de eucalipto (Avilés Ramos, 2019).

Los eucaliptos desempeñan un papel crucial en la prevención de deslizamientos de tierra e inundaciones en varias áreas de la Sierra Ecuatoriana, como las laderas del volcán Pichincha, donde se encuentran zonas urbanizadas; además los principales espacios verdes de la ciudad de Quito están mayormente ocupados por esta especie exótica junto con pinos. Por tanto, es importante destacar la relevancia que tienen los eucaliptos en el paisaje, la sociedad y la economía de Ecuador. Se estima que en este país existen alrededor de 53 000 hectáreas de plantaciones de eucaliptos, en asociación con cipreses y pinos (Cuvi, 2005). Estos árboles generan aproximadamente 235 000 empleos en el sector forestal, siendo la especie *E. globulus* la más predominante.

La detección por primera vez en Ecuador de *Anaphes nitens*, parasitoide del gorgojo del eucalipto brinda la oportunidad de llevar a cabo varias investigaciones sobre este organismo y su hospedero, así como el efecto de la configuración del paisaje (conectividad del hábitat, temporalidad, área entre otros) sobre la abundancia y presencia de ambos organismos.

Por lo tanto, es fundamental tener conocimiento de dicha interacción para implementar un programa de manejo del fitófago en plantaciones de eucalipto utilizando como controlador biológico el parasitoide *A. nitens*, para evitar la pérdida de plantaciones de eucalipto por defoliación, comprometiendo negativamente los empleos de miles de ecuatorianos que laboran de manera directa e indirecta en el sector forestal, así como el riesgo de deslizamientos en taludes (Basurto, 2023).

Debido a que *Gonipterus* spp. es una plaga emergente en Ecuador, aún se requiere investigación en aspectos como su biología, distribución, complejo de especies, así como el estudio de su parasitoide, por tal motivo la presente investigación tuvo como objetivos (i) determinar el efecto de la interacción del paisaje (área y conectividad) sobre la presencia y abundancia de *Gonipterus* spp. y su parasitoide *A. nitens*, (ii) evaluar el efecto del tamaño del área de hábitat sobre la abundancia de *Gonipterus* spp. y de *A. nitens*; y, (iii) determinar la influencia de la conectividad del paisaje sobre la abundancia de *Gonipterus* spp., y *A. nitens*.

Métodos

Área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en quince sitios ubicados a lo largo de la cordillera de los Andes,

abarcando un área de 359.78 hectáreas (ha) en la provincia de Pichincha, durante los meses de agosto del 2023 a junio del 2024.

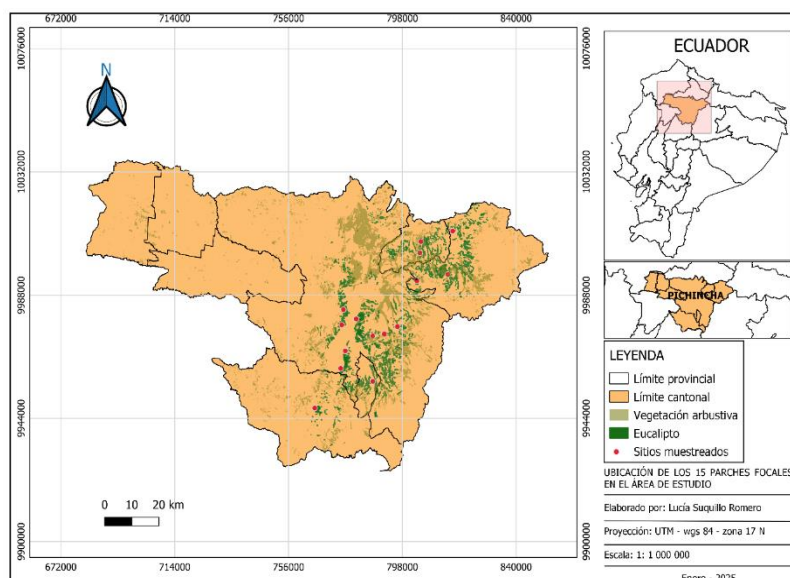
La región de estudio se caracterizó por una red de matorrales y bosques dentro de un paisaje seminatural fragmentado. Se seleccionaron quince parches (Tabla 1) a lo largo de dos gradientes estadísticamente no correlacionados: (1) el área, que varió entre 0.31 y 71.22 ha, y (2) la conectividad del hábitat, que fueron desde parches parcialmente conectados hasta parches bien conectados. La selección de los parches focales se diseñó para minimizar la correlación entre estos dos factores: área versus conectividad ( $r_s = 0.1787$ ,  $p = 0.52$ ). Para ello, se realizó una preselección inicial de los parches utilizando imágenes satelitales de alta resolución de Google Earth Pro, y la selección final de los parches focales se ajustó mediante observaciones de campo directas. Los parches seleccionados estuvieron separados por al menos 2 km, lo que permitió asegurar la independencia de las muestras y evitar la influencia de factores cercanos (Figura 1).

La selección de los 15 sitios se basó en estudios de Clobert et al., (2012), quienes manifestaron que entre 10 y 20 sitios de muestreo son óptimos para capturar la variabilidad espacial de la conectividad y el área

Tabla 1. Identificación de parches focales, coordenadas geográficas y sus áreas.

Identificación de los parches focales	Longitud	Latitud	Área (ha)
Vía Tabacundo	-78.256238	0.02947838	0.31
La Comuna	-78.412114	-0.2390706	0.55
La Isla	-78.330225	-0.2084442	1.46
Chamizal	-78.503035	-0.2868117	1.75
Metropolitano Sur	-78.518303	-0.3433734	11.35
Cusubamba	-78.265988	-0.0604352	13.51
Cangahua	-78.163105	-0.0399131	15.17
CADET	-78.37361	-0.2322645	15.99
La Gacelita	-78.509245	-0.1538608	17.78
Santa Clara	-78.147132	0.10007657	36.68
Metropolitano Norte	-78.466752	-0.1836358	37.66
Tabacundo	-78.252513	0.0658311	38.32
IASA	-78.412066	-0.3852956	39.18
Miraflores	-78.514582	-0.2029024	58.85
Alóag	-78.603882	-0.4715919	71.22

CADET: Campo Académico Docente Experimental La Tola; IASA: Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Unidad de las Fuerzas Armadas, ex Instituto Agropecuario Superior Andino.



**Figura 1.** Ubicación y distribución de los 15 parches focales en el área de estudio.

del hábitat, factores fundamentales en el estudio de especies en paisajes fragmentados.

El número de sitios proporcionó un equilibrio entre la heterogeneidad del paisaje y la viabilidad logística del estudio, facilitando la detección de patrones ecológicos significativos. Además, la separación de mínima de 2 km entre parches garantizó que las muestras fueran independientes, optimizando la confiabilidad de los resultados. La selección de estos sitios también estuvo encaminada a estudiar paisajes dominados por plantaciones de eucalipto, ya que este entorno es particularmente adecuado para las especies de interés, *Gonipterus* spp., y su parasitoide *A. nitens*.

### Área y conectividad

El área de hábitat se cuantificó digitalizando los parches focales usando imágenes satelitales provenientes Google Earth Pro.Ink y se las proceso en el software QGIS 3.22.5. Se realizó una preselección inicial de los parches utilizando imágenes satelitales de alta resolución de Google Earth Pro.Ink y la selección final de los parches focales se ajustó mediante observaciones directas de campo.

La conectividad del hábitat se obtuvo mapeando todos los parches de hábitats seminaturales (bosques y arbustos) dentro de un radio de 1 km para cada uno de los parches focales, este radio fue utilizado en base a estudios similares (Veres et al., 2013). Para evaluar la conectividad, los parches de hábitat fueron identificados primero como polígonos independientes a través de imágenes satelitales de alta resolución de Google Earth Pro.Ink. Una vez identificados los parches focales y parches vecinos, se

calculó el área y el centroide de cada polígono dentro un radio de 1 km del parche focal utilizando QGIS 3.22.5., de acuerdo con la metodología descrita por Inclán et al., 2014.

La conectividad del hábitat (SI) se calculó empleando el software R studio 4.4.2 para cada uno de los 15 parches focales y se midió a través de la ecuación 1 descrita por Hanski (Hanski, 1999):

#### Ecuación 1.

$$SI = \sum_{i \neq j} e^{-\alpha dij} A_j^b$$

Dónde, **A<sub>j</sub>** es el tamaño de los parches de hábitat vecinos y **d<sub>ij</sub>** es la distancia desde el centro del parche vecino **j** al centro del parche focal **i**. El parámetro **α** es un indicador de la distancia de dispersión del insecto y **b** es un parámetro que escala el tamaño de los parches de hábitat circundantes.

Aunque aún falta información sobre las capacidades de dispersión específicas de *Gonipterus* spp. y *A. nitens* para la investigación se utilizó un valor de  $\alpha = 1$  para ambas especies. En cuanto al parámetro escala **b**, se eligió  $b = 0.5$  basándose en el supuesto de que la relación entre el borde del parche y el área del parche disminuye con 0.5 cuando el área del parche aumenta  $A^{0.5}$ .

En este sentido, el índice de conectividad del paisaje fue calculado con base en la dispersión de *Gonipterus* spp., considerando que la disponibilidad de hospederos determina la distribución potencial de *A. nitens* (Cordero-Rivera y Santolamazza-Carbone, 2003; UC IPM, 2025). De este modo, no se realizó un



cálculo independiente de conectividad para el parasitoide, y su conectividad se asumió equivalente a la de *Gonipterus* spp. debido a su dependencia biológica (Santolamazza-Carbone et al., 2009; Schröder et al., 2021).

### Muestreo y colecta de *Gonipterus* spp. y *A. nitens*

Para la especie de *Gonipterus* spp. de acuerdo a la revisión bibliográfica no hay reporte de utilización de trampas o uso de feromonas para su captura, por lo cual en el trabajo de investigación se empleó el muestreo directo con captura forma manual. Con el fin de estandarizar el esfuerzo de muestreo de *Gonipterus* spp., en cada superficie eucaliptal se trazó un transecto en zigzag y se eligieron 20 puntos, tratando de cubrir toda el área, en cada punto se eligió una rama con brotes jóvenes de la cual se colectó todos los adultos de acuerdo con la metodología de (Balmelli et al., 2009). Para *A. nitens* se aplicó el mismo protocolo explicado anteriormente, pero se procedió a coleccionar ootecas de *Gonipterus* spp. en los brotes jóvenes de la rama previamente seleccionada.

Los adultos y ootecas se introdujeron en tarrinas plásticas y se etiquetaron las muestras con fecha de la recolección, ubicación de la muestra (GPS), colector y con un registro fotográfico de cada punto.

### Presencia y abundancia de *Gonipterus* spp. y *A. nitens*

Se utilizó un enfoque binario para la codificación de la presencia o ausencia de *Gonipterus* spp. y su parasitoide *A. nitens* en los diferentes sitios de muestreo. En este sentido, la presencia de cada organismo fue registrada como "1", mientras que su ausencia se indicó como "0" de acuerdo a Mazzei, Vesprini, y Galletto (2020). La abundancia para *Gonipterus* spp. se determinó mediante el conteo de la población en estado de larva como adultos; y, con el fin de ver si había efectos significativos se probó la suma de estos dos estados, como uno solo, es decir abundancia de *Gonipterus* spp. totales, de los 20 puntos muestreados en campo. Para *A. nitens*, una vez trasladadas las muestras al Laboratorio de Entomología y Acarología de la Facultad de Ciencias Agrícolas se colocaron las ootecas individualmente en cajas Petri, con trozos de hojas cortadas a la cual se encuentran adheridas naturalmente las ootecas, en la base de las cajas Petri, se colocó el papel filtro humedecido con agua destilada esterilizada para asegurar que las ootecas se mantengan hidratadas. Las cajas Petri fueron colocadas en una bandeja plástica con la rotulación de colecta, las observaciones se realizaron día de por medio con el fin de registrar la emergencia de *A. nitens* o larvas de *Gonipterus* spp. Este proceso se llevó

a cabo durante 7 días a partir del procesamiento de las muestras (González et al., 2010).

### Identificación de *Gonipterus* spp. y *A. nitens*

Bajo el estéreo microscopio binocular (AmScope®, modelo SM-1BZ-PL) se identificaron los adultos de *Gonipterus* spp. usando la clave elaborada por Rosado-Neto y Marquez (Rosado-Neto y Marques Marinêz Isaac, 1996), mientras que, los adultos emergidos de *A. nitens* fueron identificados bajo el microscopio binocular (AmScope®, modelo B610-PL) utilizando la clave de Nieves-Aldrey, Fernández, y Sharkey (Nieves-Aldrey Jose-Luis, Fernández, y Sharkey 2006); comparando sus caracteres morfológicos con los propuestos por Huber y Prinsloo (Huber y Prinsloo 1990).

### Análisis estadístico

Para evaluar los efectos del área y la conectividad del paisaje sobre la presencia de *Gonipterus* spp. y *Anaphes nitens*, se emplearon modelos lineales generalizados (GLM) con distribución binomial, dado que la variable respuesta correspondió a datos de presencia-ausencia. La abundancia total de *Gonipterus* spp. (adultos + larvas) y de *A. nitens* se analizó mediante modelos con distribución binomial negativa, debido a la naturaleza discreta de los datos y a la presencia de sobredispersión, común en conteos ecológicos. Por su parte, la abundancia de larvas y adultos de *Gonipterus* spp. se modeló utilizando una distribución Poisson, apropiada para variables de conteo cuando la varianza es proporcional a la media. En todos los casos, las variables de abundancia fueron transformadas logarítmicamente con el fin de reducir la asimetría, estabilizar la varianza y mejorar el ajuste del modelo. No se utilizaron análisis de correlación lineal simples, ya que las relaciones entre las variables ecológicas evaluadas no son necesariamente lineales y los datos no cumplen los supuestos de normalidad y homocedasticidad requeridos por dichos análisis, por lo que el uso de GLM permitió modelar de manera más adecuada la estructura de los datos y las relaciones entre las variables de respuesta y los predictores espaciales.

## Resultados y discusión

### Interacción del área y conectividad sobre la presencia de *Gonipterus* spp y *A. nitens*

Los modelos lineales generalizados con distribución binomial no revelaron efectos significativos de la conectividad del paisaje ni del área sobre la presencia de *Gonipterus* spp. y su parasitoide *A. nitens* (Tabla 2).

**Tabla 2.** Interacción del área y conectividad sobre la presencia de *Gonipterus* spp.

Presencia <i>Gonipterus</i> spp.	Estimate	SE	z value	p value
Intercept	-29.177	36.491	-0.800	0.424
Area	0.632	0.951	0.664	0.507
Conectividad	5.498	6.966	0.789	0.430
Área:Conectividad	-0.105	0.182	-0.578	0.563

La interacción entre el área y la conectividad tampoco resultó ser significativa. Estos hallazgos son consistentes con los obtenidos por Orta y Albajes (2020), quienes no encontraron una relación directa entre estos factores y la presencia de herbívoros y sus enemigos naturales en paisajes agrícolas. Sin embargo, a diferencia de su estudio, que se centró en paisajes agrícolas homogéneos, la presente investigación se llevó a cabo en paisajes seminaturales. Esto sugiere que la heterogeneidad estructural del hábitat, como la diversidad de vegetación y la presencia de microhábitats, podría desempeñar un papel más importante en la presencia de estas especies; no obstante, no se observó tal efecto en los presentes resultados. Es posible que factores adicionales, como la calidad del hábitat y las condiciones climáticas, sean más determinantes en la presencia de las especies que la conectividad o el área del paisaje, como lo señalan Moraes et al., (2024).

Los resultados del modelo binomial para la presencia de *A. nitens* y *Gonipterus* spp., fueron idénticos, lo que se debería a que, en todos los puntos donde se observó *Gonipterus* spp., siempre estuvo presente su parasitoide, *A. nitens*. Es decir, en todos los casos donde se recolectaron ootecas de *Gonipterus* spp., emergió un parasitoide, lo que resultó en una presencia constante de *A. nitens* en esos mismos sitios. Dado que los patrones de presencia fueron los mismos para ambas especies en todos los puntos de muestreo, se optó por presentar únicamente los resultados del modelo binomial de *Gonipterus* spp.

Por otro lado, la correlación entre la presencia de *Gonipterus* spp. y su parasitoide *A. nitens* sugiere una estrecha relación entre hospedador y parasitoide. Este resultado es esperado, ya que los parasitoides dependen directamente de la disponibilidad de su hospedador para completar su ciclo de vida (Compton, 2014).

#### **Efecto del área del hábitat sobre la abundancia de *Gonipterus* spp., y *A. nitens***

La abundancia de *Gonipterus* spp. y de su parasitoide *Anaphes nitens* mostró una relación positiva con el área y la conectividad del hábitat (**Figura 2**). En particular, la abundancia total de *Gonipterus* spp. estuvo

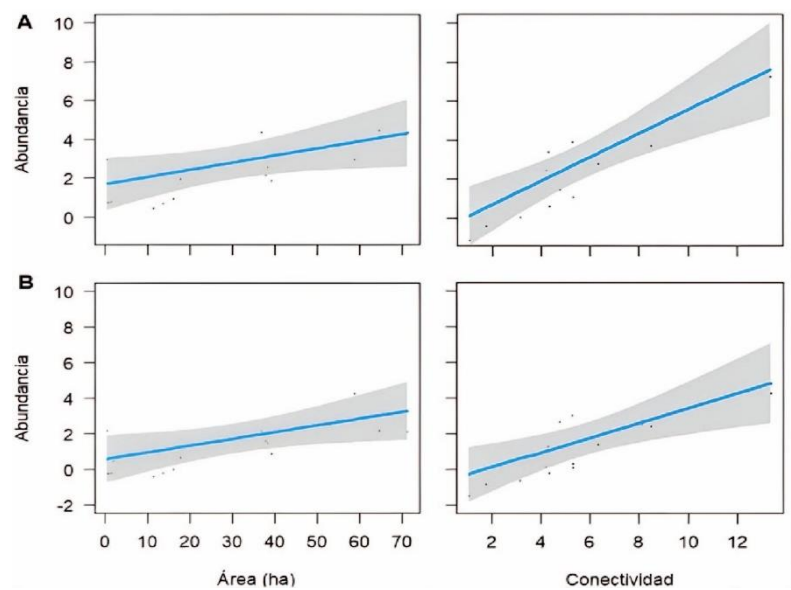
significativamente influenciada por el área del hábitat ( $p = 0.030$ ), patrón que se mantuvo tanto en el estado larval ( $p = 0.004$ ) como en el estado adulto ( $p < 0.001$ ) (**Tabla 3**), indicando que a medida que aumenta el área del hábitat, también se incrementa la abundancia de esta especie (**Figura 2A**).

El efecto positivo del área del hábitat sobre la abundancia de *Gonipterus* spp. sugiere que estos insectos se benefician de parches de mayor tamaño, de acuerdo con la investigación de Wimp et al., (2004) destacan que el área del hábitat está relacionada con la abundancia de especies, dado que áreas más grandes proporcionan más recursos y refugios, lo que favorece la persistencia y el crecimiento poblacional de las especies, debido a una mayor disponibilidad de alimento y sitios adecuados para la oviposición. Complementariamente estudios previos también han demostrado que insectos herbívoros tienden a prosperar en hábitats más extensos debido a una menor presión de depredadores (Tscharntke y Brandl, 2004).

En cuanto a *A. nitens*, el área también mostró un efecto positivo significativo ( $p = 0.045$ ), indicando que la abundancia de este parasitoide aumentó en parches de mayor tamaño (**Figura 2 B**). Estos resultados son similares a los de Pérez Otero et al. (2003), que encontraron que, en hábitats más grandes, los parasitoides tienen mejores oportunidades para encontrar hospedadores, lo que favorece su abundancia. Al igual que para *Gonipterus*, el área parece jugar un papel clave en la disponibilidad de recursos y la efectividad del control biológico proporcionado por *A. nitens*. Este patrón refuerza la idea de que el tamaño del hábitat es un factor importante en la distribución y abundancia de especies de parasitoides, ya que hábitats más grandes pueden ofrecer más oportunidades de interacción entre el parasitoide y su hospedador (Moraes et al., 2024).

#### **Efecto de la conectividad del hábitat (SI) sobre la abundancia de *Gonipterus* spp., y *A. nitens***

La conectividad del hábitat (SI) jugó un papel importante en la abundancia, tanto de *Gonipterus* spp., como de su parasitoide *A. nitens*. En el caso de *Gonipterus* spp., la conectividad muestra una relación positiva significativa con la abundancia total ( $p = 0.002$ ), las larvas



**Figura 2.** Efectos del área y la conectividad en la abundancia de **A.** *Gonipterus* spp. y **B.** *Anaphes nitens* totales. La recta ajustada corresponde a un modelo binomial negativo estimado para el logaritmo de la abundancia de cada especie. Los puntos representan los residuos parciales de los respectivos modelos.

**Tabla 3.** Efectos del área y la conectividad del hábitat sobre abundancia de *Gonipterus* spp., y *A.nitens*.

Abundancia GO totales	Estimate	SE	z value	p value
(Intercept)	-1.394	1.037	-1.344	0.179
area	0.038	0.018	2.166	0.030
SI	0.417	0.137	3.044	0.002
Abundancia GO larvas	Estimate	SE	z value	p value
(Intercept)	-0.081	0.379	-0.215	0.830
area	0.016	0.006	2.863	0.004
SI	0.179	0.036	5.024	<0.001
Abundancia GO adultos	Estimate	SE	z value	p value
(Intercept)	-2.704	0.657	-4.119	<0.001
area	0.087	0.019	4.689	<0.001
SI	0.489	0.078	6.276	<0.001
area:SI	-0.008	0.003	-2.416	0.016
Abundancia A.nitens	Estimate	SE	z value	p value
(Intercept)	-1.190	1.045	-1.139	0.255
area	0.037	0.018	2.009	0.045
SI	0.609	0.144	4.240	<0.001

GO: *Gonipterus* spp.; SI: Conectividad del hábitat.

( $p < 0.001$ ) y los adultos ( $p < 0.001$ ). Este patrón también fue observado por Schröder et al. ( 2021) en Australia, que demuestra que a una mayor conectividad de

hábitat facilitó la dispersión y establecimiento de *Gonipterus* spp., aunque la conectividad ha sido asociada con una mayor abundancia de *Gonipterus* spp., otros

trabajos como los de Fahrig (2003) y Tscharntke et al. (2002) han sugerido que la conectividad no siempre favorece a las especies plaga, ya que en ciertos casos puede incrementar la diversidad de enemigos naturales, reduciendo así su abundancia.

En cuanto a la diferenciación por estados de desarrollo, los resultados muestran que la conectividad afectó tanto a larvas como a adultos de *Gonipterus* spp., aunque las larvas dependen más de la disponibilidad de recursos dentro de los parches donde emergen. Esto podría estar relacionado con la calidad del hábitat dentro de los parches conectados, donde la disponibilidad de alimento y microclima podrían ser más favorables Mazzi y Dorn (2012), sin embargo, factores como la calidad de hábitat y microclima no fueron incluidos en este estudio. En contraste, los adultos, al tener mayor capacidad de dispersión, podrían beneficiarse de la conectividad no solo por la disponibilidad de alimento, sino también por la facilidad de búsqueda de sitios adecuados para la oviposición (Gamarra Bustamente y Rin Uribe 2024).

Por otro lado, se observó que la abundancia de *A. nitens* muestra una alta significancia estadística con la conectividad ( $p < 0.001$ ), este resultado es similar al reportado por Cronin y Reeve (2005), donde demuestran que una mayor conectividad facilita la dispersión y eficiencia en el control biológico.

Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la conectividad del hábitat no solo en términos de su efecto sobre la plaga, sino también sobre sus enemigos naturales. La relación entre la estructura del paisaje y la abundancia de *Gonipterus* y *A. nitens* podría depender de factores adicionales como la disponibilidad de refugios, la presión de depredadores y las condiciones climáticas dentro de los parches de hábitat, aspectos que podrían explorarse en estudios futuros.

### **Interacción del área y conectividad de hábitat sobre adultos de *Gonipterus* spp.**

El modelo de regresión de Poisson indicó que la abundancia de *Gonipterus* spp., adultos está influenciada significativamente tanto por el área como por la conectividad del hábitat ( $p = 0.016$ ), este hallazgo refuerza la idea de que estos factores no actúan de manera aislada, resultado que concuerda con el obtenido por Inclán, Cerretti, y Marini (2014), quienes encontraron este patrón sobre parasitoides taquínidos, donde la interacción entre área y conectividad también resultó significativa para su abundancia.

Estos resultados, junto con los de Inclán, Cerretti y Marini (2014), demuestran que la interacción entre el área y la conectividad es crucial para determinar

la abundancia de *Gonipterus* spp. en paisajes fragmentados. La presencia de hábitats más extensos y mejor conectados puede facilitar el movimiento y la dispersión de estas especies, proporcionando acceso a recursos y oportunidades de colonización, lo que resulta en una mayor abundancia. Hanski y Ovaskainen (2000), han revelado que los insectos especialistas en ciertos tipos de hábitats requieren tanto suficiente espacio como conexiones entre parches para mantener poblaciones viables. En este sentido, paisajes altamente fragmentados con baja conectividad podrían restringir la dispersión de *Gonipterus* spp. y limitar su abundancia, mientras que paisajes bien conectados podrían favorecer su establecimiento y expansión (Didham, Kapos y Ewers, 2012).

## **Conclusiones**

Este estudio demuestra que la estructura del paisaje, específicamente área y conectividad influyen significativamente en la abundancia, mas no en la presencia, de *Gonipterus* spp. y su parasitoide *A. nitens* en áreas eucaliptales en Ecuador.

La presencia de *Anaphes nitens* se registró consistentemente en los mismos sitios donde se detectó *Gonipterus* spp., lo que evidencia una relación espacial estrecha entre ambas especies.

La conectividad del paisaje tuvo un efecto altamente significativo ( $p < 0.001$ ) sobre la abundancia de *Anaphes nitens*, lo que demuestra que este factor favorece su dispersión y establecimiento, y evidencia la fuerte influencia de la estructura del paisaje en su dinámica poblacional. En este contexto, la conectividad del paisaje emerge como un factor crítico para el control biológico natural, ya que facilita la efectividad del parasitoide sobre *Gonipterus* spp., con implicaciones directas para el manejo integrado de plagas en plantaciones de eucalipto, sugiriendo que la conservación de corredores biológicos puede potenciar el control natural de esta plaga.

Para futuras investigaciones, se recomienda incorporar otros factores como temporalidad, calidad de hábitat, así como evaluar el efecto de diferentes prácticas de manejo forestal sobre la dinámica poblacional de ambas especies. Esto permitirá desarrollar estrategias más efectivas para el control de esta plaga emergente en Ecuador.

## **Agradecimientos**

Gratitud y reconocimiento a los estudiantes e investigadores del laboratorio de Entomología y Acarología-LEA de la Universidad Central del Ecuador que presaron su incondicional apoyo en el proceso de muestreo y análisis de las muestras.



## Contribución de los autores

Conceptualización, Suquillo, Inclán; metodología, Suquillo, Inclán; software, Suquillo, Mejía, Inclán; validación, Suquillo, Inclán; análisis formal, Suquillo, Inclán; investigación, Suquillo, Inclán; recursos, Suquillo, Inclán; curación de datos, Suquillo, Inclán; redacción y preparación del borrador original, Suquillo; redacción, revisión y edición, Suquillo, Mejía; visualización, Suquillo, Mejía, Inclán. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del documento.

## Fuente de financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias

- Balmelli, G., S. Simeto, G. Martínez, D. Torres, P. González, D. Fros, O. Bentancur, y C. Pérez. 2009. "Relevamiento sanitario de otoño en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus dunni* en el sureste y en el litoral oeste". (567):51–72.
- Basurto, Jefferson Salazar. 2023. "Primer Registro de *Anaphes nitens* (Hymenoptera: Mymaridae) parasitoide de *Gonipterus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) en Ecuador". *Ecuador es calidad* 10(1):6.
- Cibils, X., y D. Gómez. 2014. "Gorgojo del eucalipto." *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria*.
- Clobert, Jean, Michael Baguette, Tim Benton, y Bullock James. 2012. *Dispersal ecology and evolution*. First Edition. United Kingdom: Oxford University press.
- Compton, Stephen G. 2014. "African fig wasp parasitoid communities". doi: 10.1093/oso/9780198540588.003.0018.
- Cordero-Rivera, Adolfo, y Serena Santolamazza-Carbone. 2003. "*Eucalyptus*, *Gonipterus* y *Anaphes*: un ejemplo de control biológico en un sistema tri-trófico". *Actas del Simposio Internacional sobre Socioeconomía, Patología, Tecnología y Sostenibilidad del Eucalipto* 81–94.
- Cronin, James T., y John D. Reeve. 2005. "Host-parasitoid spatial ecology: A plea for a landscape-level synthesis". *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 272(1578):2225–35.
- Didham, Raphael K., Valerie Kapos, y Robert M. Ewers. 2012. "Rethinking the conceptual foundations of habitat fragmentation research". *OIKOS* 121(2):161–70. doi: 10.1111/J.1600-0706.2011.20273. X.
- Fahrig, Lenore. 2003. "Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity". *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34:487–515. doi: 10.1146/ANNUREV.ECOLSYS.34.011802.132419.
- Gamarra Bustamente, Julio, y Mario Rin Uribe. 2024. "Preferencia alimenticia y de oviposición de *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae) en tres especies comerciales de *Eucalyptus* en Colombia". *Revista Forestal del Perú* 39(1):90–101. doi: 10.21704/rfp.v39i1.2108.
- González, Alejandro, Pilar Savornin, y Laura Amaral. 2010. "Control biológico del *Gonipterus Scutellatus* por *Anaphes nitens* en Uruguay". *Serie Actividades de Difusión* 629:25–32.
- Hanski, I. 1999. "Metapopulation ecology." Oxford University Press, New York.
- Hanski, Ilkka, y Otso Ovaskainen. 2000. "The metapopulation capacity of a fragmented landscape". *Nature* 404:6779 404(6779):755–58. doi: 10.1038/35008063.
- Huber, J. T., y G. L. Prinsloo. 1990. *Redescription of anaphes nitens (girault) and description of two new species of anaphes haliday (hymenoptera: mymaridae), parasites of gonipterus scutellatus gyllenhal (coleoptera: curculionidae) in tasmania*. Vol. 2.
- Inclán, Diego J., Pierfilippo Cerretti, y Lorenzo Marini. 2014. "Interactive effects of area and connectivity on the diversity of tachinid parasitoids in highly fragmented landscapes". *Landscape Ecology* 29(5):879–89. doi: 10.1007/s10980-014-0024-0.
- Mapondera, Tendai S., Treena Burgess, Mamoru Matsuki, y Rolf G. Oberprieler. 2012. "Identification and molecular phylogenetics of the cryptic species of the *Gonipterus scutellatus* complex (Coleoptera: Curculionidae: Gonipterini)". *Australian Journal of Entomology* 51(3):175–88. doi: 10.1111/j.1440-6055.2011.00853. x.
- Mazzei, Mariana Paola, José Luis Vesprini, y Leonardo Galetto. 2020. "Non-pollinating flower visitors in flowers of the genus *Cucurbita* and their relationship with the presence of pollinating bees". *Acta Agronomica* 69(4):256–65. doi: 10.15446/ACAG.V69N4.87639.
- Mazzi, D., y S. Dorn. 2012. "Movement of insect pests in agricultural landscapes". *Annals of Applied Biology* 160(2):97–113.
- Moraes, Erika, Daniel Silva, Daniel Simoes, y Godoy Bruno. 2024. "The Effect of Climatic Conditions on the Seasonality of Pest Insect Populations in *Eucalyptus* Plantations in the Neotropics". *Neotropical Entomology* 54:1–12.
- Nieves-Aldrey Jose-Luis, F. Fernández, y M. J. Sharkey. 2006. *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical*. Bogotá: Sociedad Colombiana de Entomología, Bogotá.
- Rosado-Neto, Germano H., y Marques Marinêz Isaac. 1996. "Características do adulto, genitália E formas imaturas de gonipterus gibberus boisduval e g. Scutella tus gyllenhal (coleoptera, curculionidae) 1". *Revista Brasileira de Zootecia* 13:77–90.
- Santolamazza-Carbone, Serena, Montserrat Pestaña Nieto, Rosa Pérez Otero, Pedro Mansilla Vázquez, y Adolfo Cordero Rivera. 2009. "Winter and spring ecology of *Anaphes nitens*, a solitary egg-parasitoid of the *Eucalyptus* snout-beetle *Gonipterus scutellatus*". *BioControl* 54(2):195–209. doi: 10.1007/S10526-008-9184-7.
- Schröder, Michelle L., Helen F. Nahrung, Natalia M. de Souza, Simon A. Lawson, Bernard Slippers, Michael J. Wingfield, y Brett P. Hurley. 2021. "Distribution of gonipterus species and their egg parasitoids in australia: Implications for biological control". *Forests* 12(8):1–16. doi: 10.3390/f12080969.
- Tscharntke, Teja, y Roland Brandl. 2004. "Plant-Insect Interactions in Fragmented Landscapes". *Annual Review of Entomology* 49:405–30.
- Tscharntke, Teja, Ingolf Steffan-Dewenter, Andreas Kruess, y Carsten Thies. 2002. "Characteristics of insect populations on habitat fragments: A mini review". *Ecological Research* 17(2):229–39. doi: 10.1046/J.1440-1703.2002. 00482.X/METRICS.

- UC IPM. 2025. "Parasitoides de huevos de Anaphes / Hogar y paisaje / Programa estatal de manejo integrado de plagas de la UC (UC IPM)". Recuperado el 15 de enero de 2025 (<https://ipm.ucanr.edu/natural-enemies/anaphes-egg-parasitoids/#gsc.tab=0>).
- Veres, Andrea, Sandrine Petit, Cyrille Conord, y Claire Lavigne. 2013. "Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 166:110–17. doi: 10.1016/J.AGEE.2011.05.027.
- Visser, Ute, Kerstin Wiegand, Volker Grimm, y Karin Johst. 2009. "Conservation Biocontrol in Fragmented Landscapes: Persistence and Parasitism in a Host-Parasitoid Model". *The Open Ecology Journal* 2(1):52–61. doi: 10.2174/1874213000902010052.
- Wimp, Gina Marie, William P. Young, Scott A. Woolbright, Gregory D. Martinsen, Paul Keim, y Thomas G. Whitham. 2004. "Conserving plant genetic diversity for dependent animal communities". *Ecology Letters* 7(9):776–80. doi: 10.1111/j.1461-0248.2004.00635.x.
- With, Kimberly A. 2019. "Essentials of Landscape Ecology". *Essentials of Landscape Ecology*. doi: 10.1093/OSO/9780198838388.001.0001.