

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Posible amenaza del complejo *Gonipterus scutellatus* Gylenhall (1833) sobre las especies de *Eucalyptus* L'Hér (1789), debido a su introducción a Ecuador

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciada
en Ciencias Biológicas**

ANA BELÉN AVILÉS RAMOS

Quito, 2019

CERTIFICACIÓN

Certifico que la Monografía de Licenciatura en Ciencias Biológicas, de la Srta. Ana Belén Avilés Ramos ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Álvaro Barragán M. Sc.
Director de la Monografía
Quito, 2019

DEDICATORIA

Agradezco principalmente a mi mamá, a mis abuelos y a mi hermano por todo su apoyo durante esta etapa de mi vida, también a mis amigos que conocí, gracias por todo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Máster Álvaro Barragán por darme la oportunidad de realizar este trabajo de disertación, a Esteban Bastidas por las fotografías brindadas del gorgojo.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE ANEXOS.....	IX
1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
4. OBJETIVOS	7
5. MARCO TEÓRICO.....	8
5.1 ESPECIES INTRODUCIDAS	8
5.2 ESPECIES INVASIVAS	8
5.2.1 PROBLEMÁTICA	8
5.2.2 ¿CÓMO ENTENDER LAS INVASIONES BIOLÓGICAS?.....	9
5.2.3 LAS ESPECIES INVASIVAS EN LA HISTORIA Y SUS IMPLICACIONES	11
5.2.4 ALGUNAS PLAGAS CUARENTENARIAS IMPORTANTES PRESENTES EN EL ECUADOR.....	13
5.3 <i>Gonipterus Gylenhal</i>	15
5.3.1 TAXONOMÍA	15
5.3.2 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN	16
5.3.3 EVENTOS DE INTRODUCCIÓN	16
5.3.4 CICLO DE VIDA.....	19
5.3.5 IDENTIFICACIÓN	21
5.3.6 ETOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE <i>Gonipterus scutellatus</i>	24
5.4 <i>Eucalyptus L'Hér</i>	27
5.4.1 TAXONOMÍA	27

5.4.2 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN	28
5.4.3 <i>Eucalyptus</i> : UNA INCONGRUENCIA ECOLÓGICA	29
5.4.4 ESPECIES DE EUCALIPTOS SUSCEPTIBLES AL ATAQUE DEL GORGOJO	30
5.4.5 RESPUESTA DE <i>Eucalyptus</i> spp. ANTE EL ATAQUE DEL GORGOJO..	31
5.4.6 OTRAS PLAGAS QUE AFECTAN A <i>Eucalyptus</i>	31
5.5 IMPACTO DEL GORGOJO EN EL MUNDO	33
5.5.1 IMPACTO ECOLÓGICO	33
5.5.2 IMPACTO ECONÓMICO	34
5.6 IMPACTO EN EL ECUADOR.....	35
5.6.1 DESCRIPCIÓN DEL TERRITORIO	35
5.6.2 USO FORESTAL	36
5.6.3 SITUACIÓN DEL SECTOR FORESTAL	36
5.6.4 <i>Eucalyptus</i> EN EL DMQ.....	37
5.6.5 EL CASO DE EUCAPACIFIC	37
5.7 REGISTRO DE <i>G. scutellatus</i> EN ECUADOR	38
5.8 MÉTODOS DE CONTROL	39
5.8.1 CONTROL BIOLÓGICO	39
5.8.2 PARASITOIDE	40
5.8.3 INSECTICIDAS (CONTROL BIOLÓGICO Y QUÍMICO).....	42
5.8.4 OTRAS OPCIONES	43
6. CONCLUSIONES	46
7. GLOSARIO	47
8. BIBLIOGRAFÍA	48
9. FIGURAS	59
10. TABLAS	73
11. ANEXOS	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composición regional del complejo de especies de <i>Gonipterus scutellatus</i> en Australia. Tomado de: Mapondera, 2008.	59
Figura 2. Parasitoide. Individuo de <i>Anaphes nitens</i>	60
Figura 3. Presencia de <i>Gonipterus scutellatus</i> en manzanas	61
Figura 4. Mapa de distribución de <i>Gonipterus scutellatus</i>	65
Figura 5. Detalle de estadios de <i>G. scutellatus</i>, individuos adultos de algunas especies del género <i>Gonipterus</i> y cópula	67
Figura 6. Línea de tiempo de ciclo de vida de <i>G. platensis</i>	68
Figura 7. Mapa de distribución de <i>Eucalyptus</i>	69
Figura 8. Individuo del complejo <i>Gonipterus scutellatus</i>	71
Figura 9. Grados de defoliación de <i>Eucalyptus</i> causado por <i>Gonipetus platensis</i>..	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Periodo de ovoposición y desarrollo del gorgojo.	73
Tabla 2. Especies de insectos e invertebrados que atacan a los árboles de <i>Eucalyptus</i> spp. alrededor del mundo	74
Tabla 3. Lista de especies de eucaliptos susceptibles a ataques de gorgojos.....	76
Tabla 4. Registros del gorgojo en el Ecuador.	77

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Genitalia masculina y femenina de *Gonipterus scutellatus* 78

Anexo 2. Abdomen terminal de *Gonipterus scutellatus* macho y hembra, en SEM79

1. RESUMEN

Gonipterus scutellatus Gyllenhal, (1833), es un gorgojo defoliador de eucaliptos nativo de Australia y Tasmania, en donde este insecto es común, mas no devastador. A pesar de que en su rango nativo no causa mayor problema, este insecto se ha dispersado por el mundo convirtiéndose en una especie invasiva causando la defoliación de plantaciones de este árbol, con graves consecuencias económicas y ecológicas. Hay 10 especies que conforman el complejo de especies crípticas *Gonipterus "scutellatus"*, de las cuales, existen cuatro especies registradas de gorgojos en Sudamérica. Actualmente, se encuentran en Brasil, Colombia, Chile, Argentina y Uruguay. En Ecuador, no existen estudios sobre este complejo de especies, por lo que se considera necesario realizar una recopilación de información respecto a su distribución a nivel global, su biología, importancia y nivel de impacto, con el fin de conocer la posible amenaza que tendría en nuestro país. Para poder determinar el impacto que este insecto causaría sobre los eucaliptos, es necesario notar la importancia que tienen los eucaliptos en el paisaje, la sociedad y la economía del Ecuador. Se conoce que en nuestro país hay aproximadamente 53.000 ha sembradas de eucaliptos junto con pinos y cipreses. Asimismo, estos árboles brindan cerca de 235.000 puestos de trabajo en el sector forestal, siendo la especie principal *E. globulus*. Por ello, se deben tomar en cuenta ciertas precauciones para prevenir su ingreso o dispersión, que inevitablemente afectarían a la sociedad a distintos niveles. En la actualidad el Museo QCAZ-I está buscando esta plaga activamente a fin de estudiarla, identificarla y poder controlarla adecuadamente a futuro.

Palabras clave: complejo de especies, *Gonipterus*, *Eucalyptus*, plaga cuarentenaria, prevención

2. ABSTRACT

Gonipterus scutellatus Gyllenhal, (1833), is a common, but harmless eucalyptus defoliator in Australia and Tasmania. Nevertheless, when this weevil escaped its home countries, it became an invasive alien species that brought financial and ecological problems around the world. For instance, in South America there are only four out of ten species recorded of this weevil cryptic species complex, those are found on Brazil, Colombia, Chile, Argentina and Uruguay. However, there aren't any studies done in Ecuador yet; therefore, it is important to gather information on this insect in order to know about the threat that this alleged plague can have in our country. To do so, it is imperative to know the role the eucalyptus trees play in the landscape, society's wellbeing and economy of Ecuador. Moreover, there are around 53.000 ha of planted eucalyptus, being *E. globulus* the most important species of all, as well as pines and cypress. This also means there are almost 235.000 job offers for people to work in forestry thanks to these trees. Consequently, in order to prevent this insect arrival and dispersion it is important to take some precautions. As for now, the QCAZ-I Museum is looking up to find this plague in the field in order to studying, identifying and in the future effectively controlling it.

Key words: *Gonipterus*, *Eucalyptus*, prevention, quarantine pest, species complex

3. INTRODUCCIÓN

El fenómeno de la introducción de especies ocurre desde la invención de la agricultura hace aproximadamente 10.000 años. Aun así, a medida que los asentamientos humanos se llevaban a cabo, la agricultura y domesticación de plantas y animales permitió que *Homo sapiens* desplazara a algunas especies llevándolas consigo a medida que se iba dispersando por el planeta (Diamond, 2005; Harari, 2014).

Posteriormente, durante la era de los descubrimientos entre los siglos XV - XVII, las personas colonizaron nuevas tierras, y llevaron consigo plantas, animales y enfermedades a nuevos territorios. En un principio, todos estos cambios brindaron facilidades de alimentación y comodidad, pero con un grave costo económico y ecológico a largo plazo, tal como se observó en Portugal con la introducción de conejos que acabaron con la biota nativa (Carrillo, 1991; Diamond, 2005; Harari, 2014).

Existen estudios que indican el impacto que han tenido las especies invasivas en el mundo, por ejemplo, Estados Unidos hay 50.000 especies introducidas, aquellas utilizadas en la alimentación - como cultivo y ganadería- brindan más del 98% de alimento en el país, con un total aproximado de ganancias valorado en \$800 mil millones anuales (Pimentel, Lach, Zuniga y Morrison, 2000). Sin embargo, existen muchas más que son responsables de daños y pérdidas económicas; así, durante el periodo de tiempo comprendido entre 1906-1991, las pérdidas rondaban los \$97 mil millones (Pimentel *et al.*, 2000). Asimismo, en este país la introducción de insectos ha causado daño al 13% de la producción potencial de los cultivos, con un costo de \$34.7 mil millones. Si se toma en cuenta que cerca del 40% de especies presentes fueron introducidas, el daño estimado es de \$13.9 mil millones anuales; es más, si se suma el costo del uso de pesticidas, el costo alcanza los \$14.4 mil millones anuales (Pimentel *et al.*, 2000; Messing y Wright, 2004).

Un ejemplo clásico de especies introducidas que se volvieron invasivas es el de la hormiga de fuego roja (*Solenopsis invicta*), que ha generado pérdidas masivas en varias partes del mundo. Se ha observado que esta hormiga mata lagartijas, serpientes, aves de corral y las aves que anidan en el suelo. De hecho, el ataque a los nidos de dicho insecto generó un descenso del 34% del éxito de anidación de la codorniz cutui nortea

(*Colinus virginianus*). Inclusive, se estima que solo en Texas el daño causado por esta especie ronda los \$300 millones anuales, sin contar \$200 millones extra invertidos en su control, mientras que, en estados como Florida, Georgia y Luisiana, los daños totales superan los mil millones de dólares anuales (Pimentel *et al.*, 2000).

En otras regiones del mundo se calcula que el 80% de las especies en peligro se encuentran amenazadas por presiones ejercidas por las especies introducidas (Pimentel *et al.*, 2000). Asimismo, en Europa los costos anuales asociados a las especies introducidas superan los 12.000 millones de euros, aproximadamente \$13.500 millones, mientras que a nivel mundial sobrepasan los \$1.4 billones, de acuerdo con estudios realizados en el año de 2009 y 2002 respectivamente (Mazza *et al.*, 2014).

Mientras que en Ecuador los estudios acerca de los efectos que provocan las especies introducidas son en su mayoría realizados en Galápagos, dentro del Ecuador continental podemos citar al retamo espinoso (*Ulex europaeus*) nativo de Europa del este y del centro. Esta especie es una plaga que compite con el pasto y afecta a la agricultura y silvicultura, además sus espinas cortan las ubres de las vacas, este hecho consecuentemente afecta al sector lechero. Esta especie provoca pérdidas económicas que no han sido contabilizadas hasta el momento (CABI, 2019b). Por otra parte, la tilapia, la trucha arcoíris y la langosta fueron introducidas con fines de exportación y consumo local que entre los años 1994 – 2004 produjeron 32 millones de kilos de tilapia, 60.459 kg de trucha y 45.229 kg de langosta (Mora, Uyaguari y Osorio, 2009). La langosta azul (*Cherax cainii*) es otra especie introducida en el país con fines comerciales que ha tenido una importancia económica mucho menor que las otras especies mencionadas y no se reporta como invasiva (CABI, 2019a).

Por suerte, en la actualidad se puede medir el efecto que tienen las especies invasivas en un país o región, con el fin de determinar las estrategias óptimas para tratar las especies invasivas en un análisis de costo-beneficio. Así, es posible saber cuánto se debe invertir para mantener un servicio ecosistémico en buen estado (Leung *et al.*, 2002; Eisswert y van Kooten, 2002; Cook *et al.*, 2007; Keller, Lodge y Finnoff, 2007).

Una especie invasiva es cualquier especie que se encuentra fuera de su área de distribución nativa; tiene la capacidad de producir una gran cantidad de descendencia

por algunas generaciones y puede distribuirse por grandes distancias amenazando el nuevo hábitat donde se encuentre (Argüelles, 2006; Pyšek y Richardson, 2010). A veces una especie invasiva puede atravesar las fronteras políticas y pasar de un país a otro para considerarse una especie invasiva, pero esto no es siempre necesario porque a veces con solo atravesar barreras geográficas el impacto puede ser devastador (ISSG, 2005).

Una especie introducida es cualquier especie que se encuentra en una región no nativa debido a la intervención humana. Hay dos tipos de introducciones: accidentales o no accidentales, cuando ocurre el segundo caso, estas son conocidas también como especies “exóticas” o no nativas (Pyšek y Richardson, 2010). Una vez que una especie introducida se establezca en la nueva localidad y prospere, esta vez sin la ayuda del ser humano, puede ser considerada como especie invasiva (ISSG, 2005).

Para poder controlar a las especies invasivas se busca responder tres preguntas principales: ¿Qué especies son las que invaden?, ¿Qué hábitats van a invadir? y ¿Cómo se las debería controlar? (Pyšek y Richardson, 2010). Estas preguntas buscan responder dudas ecológicas válidas e importantes; sin embargo, la mayoría de las investigaciones de especies invasivas carecen de un análisis de impacto económico, principalmente en los sistemas agrícolas (Pejchar y Mooney, 2009). Por ello, si se implementaran dentro de los estudios realizados, se podrían generar políticas efectivas que velen por el bienestar humano y los sistemas naturales (Margolis, Shogren y Fischer, 2005).

El gorgojo del eucalipto, *Gonipterus scutellatus* Gyllenhaal (1883) es un insecto de la familia Curculionidae que forma parte de un complejo de especies que ha causado daños a los eucaliptos en Australia y Tasmania, países de donde es nativo. Sin embargo, el comercio de eucaliptos por el mundo hizo que el insecto se dispersara por las localidades donde este árbol se encuentra presente en la actualidad. Si bien se están realizando estudios acerca de su ciclo de vida, métodos de control, y se aplican normativas estrictas para evitar el daño en los cultivos, alrededor del mundo, en el Ecuador falta información y estudios sobre esta especie.

La siguiente monografía trata acerca de generalidades del gorgojo del eucalipto *Gonipterus scutellatus*, su importancia y el daño causado a los eucaliptos alrededor del

mundo. También trata acerca de los eucaliptos, sus usos y cómo se ven afectados debido al ataque del gorgojo. Luego, hago referencia al Ecuador, una breve descripción del país y en base de la información recopilada, trato de explicar el efecto que tendría esta especie si llegase al Ecuador. Por último, me refiero a métodos de prevención y control que se podrían aplicar en caso de que esta plaga traspase las barreras geográficas y llegue a nuestro territorio.

4. OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el posible efecto generado por *Gonipterus scutellatus* sobre los eucaliptos, si llegase a Ecuador.

Objetivos específicos

- Recopilar información bibliográfica acerca de *Gonipterus scutellatus*.
- Indicar los impactos que ha generado esta plaga en el mundo.
- Demostrar la importancia que tienen las plantaciones de *Eucalyptus* en el Ecuador.
- Indicar los principales métodos de prevención y control de esta especie.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 ESPECIES INTRODUCIDAS

Para poder actuar con eficacia contra las especies introducidas es crucial detectar el establecimiento inicial de organismos que son usualmente pequeños y crípticos y que pueden tardar mucho tiempo desde que se establecen hasta que logran invadir el ecosistema exitosamente (Stohlgren y Schnase, 2006). Existen factores estocásticos que se deben tomar en cuenta, como el tiempo que se demora un taxón en invadir un nuevo hábitat desde que fue introducido (tiempo de introducción), el número de eventos de introducción y su distribución espacial, entre otros. De hecho, mientras mayor sea el tiempo de residencia de una especie, mayor será la probabilidad de que se vuelva invasiva (Pyšek y Richardson, 2010).

En este estudio se hace referencia al gorgojo como una especie introducida debido a que se puede encontrar en otros países a parte de Australia y Tasmania; es decir, ya se encuentra fuera de su nicho real, pero todavía no hay datos reportados de su establecimiento y tampoco de su invasión al Ecuador.

5.2 ESPECIES INVASIVAS

5.2.1 PROBLEMÁTICA

Durante millones de años de evolución la flora y fauna se han especializado para poder cubrir los nichos ecológicos disponibles. Sin embargo, debido a la intervención del ser humano muchas especies han logrado atravesar las barreras geográficas, y ampliaron su área de distribución, inclusive entre distintos continentes. Si bien la mayoría de estas introducciones no han tenido un mayor impacto, algunas han alterado gravemente el nuevo hábitat (Mooney y Cleland, 2001; Holmes, Aukema, Von Holle, Liebhold y Sills, 2009). El impacto es tal que la presencia de especies invasivas se considera la segunda mayor causa de pérdida de biodiversidad, solo después de la pérdida de hábitat. El calentamiento global es otra causa importante (Allendorf y Lundquist, 2003; FAO, 2003; Pejchar y Mooney, 2009).

La pregunta que concierne hacerse ahora es ¿por qué solo ciertas especies se vuelven invasivas? Esto se explica por medio de la regla de los 10% que toma en consideración que del total de especies que son transportadas fuera de su rango nativo, solo el 10% de estas serán liberadas o podrán escapar a la naturaleza, -se conocen como especies introducidas-, asimismo; de estas, solo el 10% se convertirán en especies invasivas o plagas (Williamson, 1996; Jeschke, 2014). Otra manera de explicar este suceso se debe a que el proceso de invasión se da en un continuo desde la introducción hasta la naturalización y la invasión de una especie en un nuevo hábitat; entiéndase a la invasión biológica como el proceso que “invoca una serie de barreras que una determinada especie necesita superar para convertirse en extraña, casual, naturalizada o invasiva” (Pyšek y Richardson, 2010).

Así, las especies invasivas deben poseer ciertos rasgos biológicos que les permitan adaptarse de mejor manera a su nuevo medio; estos rasgos van a variar para los distintos ambientes donde sean introducidas. Como sabemos, no todas las especies van a presentar las mismas adaptaciones, ya que ocurren al azar, no obstante, el proceso de colonización será exitoso, y más sencillo o no, si existe un clima y un hábitat similares entre la región nativa e invadida. Sin embargo, es necesario que las especies tengan altos niveles de tolerancia fisiológica y plasticidad o diferenciación genética que les permitan adaptarse al nuevo ambiente. Por ejemplo, la evidencia indica que algunas especies invasoras no presentan restricciones en su *fitness*, ya que tienen altos niveles de tolerancia fisiológica, lo que les permite adaptarse más fácilmente a su nuevo ambiente. Otras especies evolucionan debido a plasticidad genética, y así logran invadir el nuevo hábitat, después de colonizarlo (Pyšek y Richardson, 2010). Una invasión exitosa conlleva que las especies sean capaces de adaptarse a su nuevo ambiente, que puedan reproducirse y prosperar y que puedan competir con la biota nativa (Argüelles, 2006).

5.2.2 ¿CÓMO ENTENDER LAS INVASIONES BIOLÓGICAS?

Antes de continuar, considero necesario explicar algunas de las hipótesis más relevantes, citadas en estudios científicos, del campo de la ecología de invasiones, con el fin de tener una base sólida para entender este tema.

Varios autores han tratado igualmente de entender la ecología de invasiones, por eso recopilaron información acerca de las 29 hipótesis de invasión conocidas para tratar de explicarlas en un contexto más general, tomando en cuenta sus similitudes. A partir de esto, se sugirió aplicar el acercamiento de la Jerarquía de Hipótesis (Jeschke, 2014), la cual consiste en el planteamiento de una hipótesis principal, la misma que debe apoyarse en otras sub-hipótesis secundarias para que tengan más peso y rigor el momento de utilizarlas. Por ejemplo, la ecología de invasiones es la hipótesis principal y las hipótesis de la liberación del enemigo, presión del propágulo, etc., son secundarias; así también se espera evitar la redundancia de estudios (Heger y Jeschke, 2014).

Una de las hipótesis más importantes es la “Presión del Propágulo” o “Esfuerzo de Introducción”, que hace referencia al número promedio de individuos involucrados en un evento de invasión y la frecuencia promedio con la que ocurre un evento de invasión en una unidad de tiempo (Jeschke, 2014).

La hipótesis de la liberación del enemigo, en cambio supone que una especie introducida en una nueva región va a incrementar su área de distribución y abundancia, porque dejó a sus enemigos naturales atrás en su área original, y los efectos producidos por los nuevos enemigos naturales que van a encontrar van a ser menores (Liu y Stiling, 2006; Roy *et al.*, 2011).

Por otro lado, la “Regla de los Diez” (o del 10%), mencionada anteriormente, sugiere que para comparar con datos empíricos se puede estimar una variación entre 5 - 20%; sin embargo, muchos estudios (Williamson, 1996; Argüelles, 2006; Jeschke, 2014) demuestran que esta variación tiende a ser mayor a este rango.

Asimismo, la genética nos indica que las especies invasivas son el resultado de eventos estocásticos de invasiones biológicas y de su capacidad de evolucionar en un nuevo ambiente rápidamente. Existe la posibilidad de que a partir de aquello se produzcan compensaciones (*tradeoffs*) que permitan su establecimiento y dispersión,

pero, asimismo, estas adaptaciones generadas pueden evitar el flujo génico, permitiendo la creación de nuevas especies o complejos de especies (Mooney y Cleland, 2001; Lee, 2002).

En el área de las especies vegetales invasivas, Chun y colaboradores (2010) indican que las plantas presentan *tradeoffs* (relación negativa que se da entre dos características de historia de vida, donde el incremento de una produce el decrecimiento de otra) (Begon, Townsend y Harper, 2006) de defensa y crecimiento, por eso se espera que el desenvolvimiento de las especies invasivas varíe de acuerdo con los rasgos funcionales de las especies vegetales nativas e introducidas. Entiéndase los rasgos funcionales como: las características físicas y químicas que presentan las plantas que permiten explicar o predecir cómo van a reaccionar ante las diferentes condiciones ambientales.

Por otra parte, se sugiere las plantas invasivas tienen un efecto sobre las historias de vida de las plantas nativas. Por ejemplo, las plantas de vida corta, que dependen de la producción de semillas para su supervivencia, se verían más afectadas por la herbivoría que las plantas de vida larga, perennes o anuales con bancos de semillas de larga duración (Chun *et al.*, 2010).

5.2.3 LAS ESPECIES INVASIVAS EN LA HISTORIA Y SUS IMPLICACIONES

El transporte de especies invasivas se remonta a 1500 D.C., en el periodo asociado al final de la Edad Media y el descubrimiento de América. Esta es la primera fase de las invasiones biológicas mediadas por el hombre, justamente por el desplazamiento de los seres humanos por el mundo (Argüelles, 2006; Hulme, 2009). Sin embargo, los datos de las especies introducidas en Europa no se reportan hasta alrededor del s. XIX con la Revolución Industrial, donde se empezó a observar un aumento de la tasa de ingreso de mamíferos, invertebrados y plantas (Hulme, 2009). Es durante esta época que se dio la segunda fase de invasiones, se observó un aumento en el comercio entre continentes por la creación de canales y vías y por empezar a utilizar barcos de

vapor. En la actualidad nos encontramos en la tercera fase de invasiones, provocada por la globalización, siendo dos de los principales causantes el aumento en los ingresos económicos y la eficiencia de transporte (ISSG, 2005; Hulme, 2009).

Durante la mayor parte de los últimos 200 años el comercio y la globalización permitieron que las economías mundiales crecieran (Margolis *et al.*, 2005; Hulme, 2009). En todo caso, no es el tipo de comercio el predictor más importante para la introducción de especies, sino la cantidad (alta, media, baja) de comercio que se realiza (Westphal, Browne, MacKinnon y Noble, 2008). En referencia al turismo, se conoce que un aumento en la demanda de turismo provocó que los vuelos internacionales aumentaran en ocho veces desde los años 70; actualmente es la opción que mueve más pasajeros en el mundo (Hulme, 2009). Cada vez existe más evidencia que indica que la aviación es una ruta significativa para la entrada de especies introducidas en comparación con carga proveniente de embarcaciones (Argüelles, 2006; Hulme, 2009). Un ejemplo claro son las islas Galápagos, donde se ha observado que la tasa de especies introducidas hacia la isla aumentó gracias al incremento en la demanda del turismo – que viene sucediendo desde los años 70 –, de menos de una especie al año, a cerca de 30 al año (Toral-Granda *et al.*, 2017).

A pesar de que existen normativas para el transporte de productos como petróleo y sus derivados, minerales y granos, la mayoría de los productos no tienen un mayor control. Este hecho genera un riesgo de introducción de especies, que, finalmente se convierten en plagas fitosanitarias en madera, agricultura u otros productos (Wittenberg y Cock, 2001; Hulme, 2009). En las embarcaciones, los contenedores proporcionan otro problema más aparte del transporte de mercancía, que es el transporte de flora y fauna adheridos a estos, ya sea dentro o en la superficie del contenedor (Begon *et al.*, 2006). Otro ejemplo se encuentra en el movimiento o transporte de madera para generar calor en las residencias y de manera recreacional, que han provocado que los insectos que los atacan se dispersaran más fácilmente por el mundo (Cook *et al.*, 2007).

También, se destacan los efectos negativos a la salud, economía y política del país afectado (FAO, 2003; Margolis *et al.*, 2005). Desde un punto de vista de biodiversidad, los lugares que se ven más comprometidos por el ingreso de especies exóticas son ecosistemas geológica y evolutivamente aislados como islas, montañas, lagos, etc. (FAO, 2003). A pesar de esto, la mayoría de las especies exóticas no causan un problema al ingresar a otra localidad, de hecho, para la sociedad son económicamente importantes, como en el caso de agricultura, acuicultura, horticultura y silvicultura (FAO, 2003).

Las consecuencias ecológicas de las invasiones biológicas son, en muchos casos, el resultado de procesos económicos (Margolis *et al.*, 2005; Holmes *et al.*, 2009). Ni el ingreso, ni la posible afección de las especies invasivas e introducidas son factores decisivos para la toma de decisiones importantes sobre políticas como: exportación, importación, transporte (Argüelles, 2006; Holmes *et al.*, 2009).

5.2.4 ALGUNAS PLAGAS CUARENTENARIAS IMPORTANTES PRESENTES EN EL ECUADOR

En el Ecuador existen varias plagas cuarentenarias de importancia, siendo algunas de ellas las polillas de la papa: *Tecia solanivora*, *Symmetrischema plaesiosema* y *Phthorimaea operculella*, las hormigas de fuego: *Wasmannia auropunctata* y *Solenopsis germinata*, la mosca parásita: *Philornis downsi*, Para que las plagas puedan considerarse plagas cuarentenarias verdaderas deben poder establecerse y distribuirse por el territorio pero en un área limitada (Labrada, 2015).

Las polillas de la papa se alimentan de estos tubérculos cuando están en estado de larva, más no cuando son adultos. Debido a que se pegan a las papas cuando son pupas o huevos y hacen galerías cuando son larvas, estos insectos pueden moverse entre las plantaciones y dispersarse diezmando los cultivos (Barragán, 2015).

Los reportes indican que hasta el año 2017, existían 1597 especies introducidas en las Islas Galápagos desde 1535 cuando fueron descubiertas. Aproximadamente el

46% de estas especies fueron trasladadas intencionalmente por personas y poco más de la mitad fueron introducidas inintencionalmente (Toral-Granda *et al.*, 2017).

La mosca *P. downsi* es un ectoparásito de aves obligatorio solo en estado de larva. El adulto coloca sus huevos en los nidos de los pinzones, cuando las larvas emergen ingresan a las narinas de los polluelos, mientras que las larvas del segundo y tercer estadio permanecen ahí alimentándose como ectoparásitos. Siete días después, las larvas empupan en la base del nido, y tras dos semanas de empupamiento se convierten en adultos (Causton, Cunninghame y Tapia, 2013). El problema que causan es mayor cuando la nidada es muy joven o cuando se implantan en tejidos suaves alrededor de los ojos y la garganta. Cuando son adultos se alimentan de frutos y comida en descomposición (Fessl y Tebbich, 2002). Esta especie fue descubierta descrita en los 80, se han encontrado en 13 islas, exceptuando Genovesa y Española (Causton, Cunninghame y Tapia, 2013).

Solenopsis geminata y *Wasmannia auropunctata* depredan tortugas, polluelos, ratas, huevos de mariposas y daña cultivos, la primera especie se ha encontrado cerca de nidos de pinzones (Wauters, Dekonink, Herrera y Fournier, 2014). Los primeros registros de *S. geminata* son de San Cristóbal y Floreana (1891 y 1905 respectivamente) (Wauters *et al.*, 2014). De todas formas, ahora la hormiga se encuentra en siete islas y 11 islotes; así, viviendo a poca distancia de otros 25 taxa endémicos o en peligro. Esta especie compite con *W. auropunctata*, de hecho, se ha observado que la primera hormiga desplaza a la segunda (von Aesch, 2006; Wauters *et al.*, 2014). *W. auropunctata* ingresó a las islas hace aproximadamente 35 a 70 años atrás. Se encuentra en los alrededores de áreas agrícolas en hábitats húmedos de la Isla Floreana (von Aesch, 2006).

En el Ecuador continental podemos encontrar especies invasivas como el caracol gigante africano (*Lisachatina fulica*) que vive en promedio 3 a 5 años, pero pueden vivir hasta 9 años. Provoca pérdidas de cultivos, porque mastica las plantas y las llena de baba. También es reservorio del nematodo *Angyostrongilus cantonensis* que provoca meningitis eosinófila, el caracol también puede provocar problemas digestivos (Agrocalidad, s/f). Las malezas son bastante estudiadas en este campo, por lo que se realizó una revisión de estas, de las cuales se pueden mencionar al ajo silvestre (*Allium*

vineale), que proviene de Eurasia, (*Cucurbita andreana*) nativa de Argentina, *Thlaspi* sp., proviene de África y Asia, pero probablemente ingresó conjuntamente a semillas de hortalizas, por mencionar algunos ejemplos (Labrada, 2015).

5.3 *Gonipterus* Gylenhall

5.3.1 TAXONOMÍA

El género *Gonipterus* fue descrito por Schoenherr, está conformado por alrededor de 20 especies descritas. Su distribución natural es en su mayoría al oeste de Australia, también en Queensland, Tasmania y pocas al este de Australia (Mapondera *et al.*, 2012). Los insectos de este género se alimentan de eucaliptos.

Gonipterus scutellatus (Coleoptera: Curculionidae), (Gyllenhall, 1833), conocido comúnmente como el gorgojo del eucalipto, es originario de Australia y Tasmania. En sí, esta “especie” forma parte de un complejo monofilético de por lo menos 10 especies crípticas (Mapondera *et al.*, 2012).

Debido a su naturaleza críptica, el complejo de especies de *Gonipterus* “*scutellatus*” se conforma por al menos ocho integrantes (algunas de ellas se pueden identificar por análisis del gen mitocondrial COI, también llamado citocromo *c* oxidasa I y la genitalia masculina), y dos especies más que se pueden identificar claramente por la genitalia masculina (Mapondera *et al.*, 2012). Es más, solo la estructura interna de los escleritos del edeago de los machos varía consistentemente entre las especies; las hembras presentan variaciones muy débiles para ser utilizadas para su reconocimiento (Mapondera *et al.*, 2012) Hasta el momento hay 10 tipos de escleritos del edeago distintos, lo que denota las 10 especies crípticas.

Sin embargo, si sólo nos referimos a los gorgojos pertenecientes al grupo de especies crípticas, los insectos: *G. balteatus*, *G. platensis*, *G. pulverulentus*, *Gonipterus* sp. n.1, *Gonipterus* sp. n. 2/3 y *G. notographus*, presentan patrones distintos formados por escamas blancas y cubiertas de cera en el tórax y los élitros. A pesar de que estos caracteres facilitan su identificación en haplotipos y especies, también tienden a dañarse rápidamente cuando son fijados para su preservación. Por eso, esta característica no

resulta útil para su identificación a largo plazo, y se deben realizar estudios moleculares para su correcta identificación (Mapondera *et al.*, 2012). Además, *Gonipterus platensis*, una de las especies presentes en Sudamérica se confunde frecuentemente con *G. scutellatus* (Mapondera *et al.*, 2012).

Esta incertidumbre se podría esclarecer, por ejemplo, mediante el uso de técnicas como la electroforesis en gel, porque refleja las diferencias genéticas entre especies o poblaciones de manera clara. Además, es una herramienta importante para estudios taxonómicos, sistemáticos y evolutivos que podría ser utilizada para aclarar las dudas que rodean a este complejo de especies (Huerta, Chiffelle, Serrano y Vásquez, 2007). La técnica de electroforesis se basa en que, a diferencia de los genes que permanecen casi inalterables durante la vida de un organismo, sus proteínas varían de acuerdo con la edad, género, etc., del organismo que se está estudiando (Huerta *et al.*, 2007).

5.3.2 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

La especie de *Gonipterus scutellatus* es nativa de Australia y Tasmania, fue descrita por Gylenhall en 1833. En la Figura 1 se observa un mapa de distribución del complejo de especies de *G. scutellatus* en Australia, donde se puede notar que los distintos clados se encuentran localizados principalmente en el este de Australia y uno solo endémico del oeste (Newete, 2010).

5.3.3 EVENTOS DE INTRODUCCIÓN

A continuación se indica la distribución mundial de este complejo de especies en orden cronológico, detallando información relevante acerca de su llegada a los diversos países. Asimismo, se especifica la especie que se está tratando según sea el caso.

Se presume que el primer país al que llegó el gorgojo *G. scutellatus* fue Italia, específicamente a la Toscana a finales del s. XIX. Su arribo coincidió con la única reforestación con eucaliptos importados directamente de Australia. Los investigadores indican que este es posiblemente el registro más antiguo de dispersión de esta plaga, debido a que una introducción más reciente no pudo ser posible porque la Toscana es

considerada una Reserva Natural Integral desde 1971. Aun así, esta especie fue identificada recién en 1976 en dicho lugar (Mazza *et al.*, 2012).

Los gorgojos luego llegaron a Nueva Zelanda en el año de 1890. En un principio se pensó que pudieron haber sido transportados en los eucaliptos, que en ese entonces eran importados, aparte, durante esta época en dicho país el control de plagas realizado no era minucioso; por ende, los gorgojos podían haber provenido directamente de Australia o Tasmania (Marelli, 1927; Rivera y Carbone, 2003). Por otro lado, actualmente, el 38% de los insectos australianos presentes en Nueva Zelanda fueron colectados en la región de Auckland. En este sitio se encuentran los aeropuertos más grandes del país, por eso, la posibilidad de que los insectos ingresaran por transporte aéreo, marítimo o por carga era alta (Rivera y Carbone, 2003; Withers, 2001).

Asimismo, el gorgojo del eucalipto aparentemente llegó a Sudáfrica (Schröder, Slippers, Wingfield, y Hurley, 2019), al puerto de Capetown, por medio del transporte de remesas de manzanas que llegaron desde Australia durante los años posteriores a la Guerra Anglo-Boer (1899 - 1902) y fue descubierto en 1916 (Marelli, 1927; Rivera y Carbone, 2003). En esa época, la posibilidad de que hubiese llegado desde Australia por el transporte de eucaliptos era nula debido a que su exportación estaba prohibida desde el año 1903, porque se sabía de las pestes que afectaban a esta especie (Marelli, 1927).

Es más, cuando esta especie se introdujo a África, tardó solo 30 años en atravesar “la mitad del continente desde el Cabo de Buena Esperanza hasta el Lago Victoria” (Rivera y Carbone, 2003), con una velocidad de dispersión de 100 km/año. Así, cuando lo hizo, también cruzó con ella su parasitoide *Anaphes nitens* (Mansilla Vázquez, 1992) (Figura 2). En 1938, *Gonipterus scutellatus* se reportó en Maputo, Mozambique y al sur de Malawi. En el año de 1940 se encontraba en el sureste de Zimbabwe (antes Rhodesia), y en el año de 1944 estaba en Kenia y al oeste de Uganda (Mansilla Vázquez, 1992; Schröder *et al.*, 2019). El insecto llegó a España en 1991 (Rivera y Carbone, 2003).

Otros investigadores, al igual que Marelli, también se percataron de la problemática causada por la presencia del gorgojo en las manzanas; por eso, Agarwal y colaboradores (2015) utilizaron formato de etilo con el fin de tratar las plagas de *G.*

platensis presentes en las manzanas. Los insectos se sujetan fuertemente de los peciolos de las frutas con sus tarsos (Figura 3), y no se sueltan durante todo el proceso de cosecha, secado, empaquetado y almacenamiento de las frutas. El único momento en el que se sueltan es en invierno, cuando se inspeccionan las frutas almacenadas para su exportación (Agarwal, Ren, Newman y Learmonth, 2015). Por otro lado, aunque ahora se sabe que este insecto no se alimenta de las manzanas, sino que solo las utiliza para buscar refugio durante el invierno, antes se creía que esta especie podía alimentarse de las hojas de este árbol. Además, cabe indicar que la distribución de *G. scutellatus* en Sudáfrica en 1937 se encontraba en los alrededores de las plantaciones de manzanas, por lo que se presumía que podía estar alimentándose de este árbol (Smee, 1937; Agarwal *et al.*, 2015).

Si nos referimos solo a Sudamérica, el gorgojo fue descubierto por primera vez en Argentina en 1925. En un principio se creyó que había llegado desde Sudáfrica, sin embargo, por análisis morfológicos se determinó que la especie registrada era *G. platensis* (Marelli, 1927). Esta plaga (*G. scutellatus*) posteriormente llegó a Uruguay en 1943 y a Brasil en distintos años a distintos estados: Rio Grande do Sul (1955), Santa Catarina y Paraná (1982), Sao Paulo (1992) (Cordero Rivera y Santolamazza Carbone, 2003). Es más, en Brasil se encuentran dos especies *G. scutellatus* y *G. gibberus*; la aparición de la primera especie mencionada data de 1993. De acuerdo con un documento emitido por EMBRAPA, el efecto que tuvo el gorgojo en este país fue tan grave, sobretodo en el estado de Espírito Santo, que al cabo de dos años fueron defoliadas más de 60.000 hectáreas. Algo similar ocurrió en la municipalidad de Aracruz, pero, tras la liberación de su parasitoide, la plaga fue controlada nueve meses después en esta región (Wilcken *et al.*, 2008).

En cambio, en Chile, el primer registro de este insecto ocurrió en febrero de 1998 y ya para el siguiente año esta plaga se había desplazado 11 km (Cordero Rivera y Santolamazza Carbone, 2003). Se conoce también que para este país las diferentes proporciones sexuales (machos/hembras) pueden deberse a una colonización reciente o a la presencia de su parasitoide; hay 0,49:1,00 y 0,52:1,00 hembras por cada macho en invierno y verano respectivamente (Estay, Arara y Guerrero, 2004).

Recién en el año 2016 *G. platensis* fue registrada en Colombia; se detectó en varios municipios del Departamento de Antioquia (Rodas, 2016; Vergara, 2016), sin embargo, Rodas (2016) supone que el insecto llegó al país 20 años antes. En Norteamérica, *G. scutellatus* fue descubierto en el estado de California, Estados Unidos, en 1995 (Cordero Rivera y Santolamazza Carbone, 2003; Schröder *et al.*, 2019). En la Figura 4a-4d se puede observar los mapas de distribución del gorgojo de acuerdo con EPPO y CABI. A su vez, en la Figura 4e, se observa un mapa de dispersión y la distribución actual de las especies de *Gonipterus* alrededor del mundo marcados en diferentes colores, así como el rango nativo de *G. scutellatus* y los países en donde se ubica en la actualidad. En la Figura 4f se observa una línea de tiempo resumida de la dispersión del gorgojo por el mundo.

5.3.4 CICLO DE VIDA

El ciclo de vida del gorgojo varía, por ejemplo, en Australia presenta hasta 2 ciclos de vida completos anuales, con un total de 10 a 16 semanas y una tercera generación parcial (Estay, Arara y Guerrero, 2002). Tanto en Francia como en Argentina se observan dos generaciones; y solo una en Brasil (Estay *et al.*, 2002).

Las hembras pueden poner de 180 a 270 huevos en varias puestas, los huevos son colocados en grupos de 8 a 10 por ooteca, donde la hembra pone de 20 a 30 ootecas (Estay *et al.*, 2002; Santolamazza Carbone, Pestaña Nieto y Cordero Rivera, 2008). Adicionalmente, los huevos están cubiertos por una secreción compuesta principalmente por excremento (Figura 5a). Además, el periodo embrionario varía entre 10 a 20 días y el periodo larvario dura entre 30-40 días.

Por el contrario, Santolamazza Carbone, Rodríguez-Illamola, y Cordero Rivera (2006) indican que las larvas emergen después de 7 a 10 días. De la misma manera, Vergara (2016) indica que los huevos eclosionan entre 14 a 16 días después. Además, cabe recalcar que el gorgojo puede vivir hasta dos años en el laboratorio y su ciclo de vida se ve afectado por la presencia de su parasitoide *A. nitens* (Figura 2). Por eso, ante temperaturas mayores a 10°C la tasa de parasitismo aumenta y en temperaturas bajas donde el clima es templado la población del parasitoide se mantiene (Schröder *et al.*, 2019; Santolamazza Carbone *et al.*, 2008).

La temperatura juega un papel importante, por ejemplo, los gorgojos adultos reducen su actividad en ambientes con inviernos fríos y secos (temperaturas bajas), contrario a lo que les ocurre en primavera (Santolamazza Carbone *et al.*, 2008). Por otro lado, se ha observado un crecimiento poblacional repentino en bajas altitudes en Sudáfrica. Estas observaciones se han visto relacionadas con la presencia del parasitoide alrededor del mundo (Estay *et al.*, 2002; Schröder *et al.*, 2019). A temperaturas de 10°C y 30°C el desarrollo larval tarda 63 y 13 días respectivamente, sin embargo, a temperaturas muy altas la mortalidad aumenta (Santolamazza Carbone *et al.*, 2006).

En la Tabla 1 se denota el tiempo que toma cada estadio del ciclo de vida del gorgojo (*G. scutellatus*), la información fue obtenida de un estudio realizado en la Isla de Mauricio modificada de EPPO (2005), Vergara (2016), CABI (2018). Se puede observar que en este lugar hay 4 ciclos de vida anuales. El tiempo promedio por estadio es: en huevos entre 6-10 días; en larvas entre 3-10 días y en la pupa entre 29-38 días. Aquí queda claro que ante temperaturas más altas el ciclo de vida se acorta, mientras lo contrario ocurre en temperaturas bajas. Esto sucede debido a plasticidad fenotípica y a que la temperatura afecta a los organismos fisiológicamente; la respuesta que van a presentar varía dependiendo del tiempo que estén expuestos ante estas condiciones. (Nespolo, 2000).

Estay y colaboradores (2002) indican que hay de tres a cuatro generaciones del gorgojo en Chile. A continuación se indica un resumen de la línea de tiempo del ciclo de vida de *G. platensis* entre 1999-2000. Primera generación: las primeras cópulas y puestas se observaron a mediados de diciembre de 1999 y principio de enero del 2000 respectivamente. A finales de enero se observaron algunos adultos de la primera generación. Segunda generación: a mediados de marzo observaron puestas y larvas; a mediados de abril observaron larvas de cuarto estadio y a finales de mayo encontraron adultos. Tercera generación: a mediados de septiembre se observaron larvas, puestas y algunos adultos además, en este mes se dio un solapamiento de generaciones, lo que aumentó la densidad de larvas y las puestas hasta mediados de noviembre. A principio de diciembre se observaron los adultos de la cuarta generación (Figura 6). De acuerdo a los investigadores, aparentemente la temperatura es importante para el desarrollo de este

insecto, esto explicaría el traslape de generaciones observado, e indican que la lluvia también debe tener algún efecto.

5.3.5 IDENTIFICACIÓN

Dependiendo de los autores citados, la información respecto a la validez de las especies varía. Por ejemplo, algunos científicos consideran a *G. scutellatus* y *G. platensis* como una misma especie, mientras que ocurre lo mismo con *G. gibberus* y *G. pulverulentus*, razón que complica aún más su estudio. Por eso, la siguiente descripción es una comparación realizada por Marelli (1927), acerca de los diferentes estadios de *Gonipterus scutellatus*, y de *Gonipterus platensis*, continuando con la descripción de *Gonipterus gibberus* de Rosado-Neto y Marques y por último se indica a *Gonipterus pulverulentus*, solo porque es una especie presente en Sudamérica. Utilicé esta información porque los autores presentaban una descripción clara de cada estadio de las tres primeras especies.

5.3.5.1 *Gonipterus scutellatus* Gylenhall (1833)

Huevo: Los huevos son subcilíndricos, de color amarillo translúcido y lisos, miden de 1.2 a 2 mm de largo por 0.5 a 1 mm de diámetro y están cubiertos por una ooteca (cápsula grisácea) con una capa de excremento que se endurece al contacto con el aire (Vergara, 2016). Figura 5a.

Larva: El tamaño promedio de las larvas es de 11 mm de largo por 4 mm de ancho. La cabeza es de color negro y el cuerpo es amarillo- verdoso. Presentan una línea dorsal y lateral oscuras. Sobre cada segmento se observan puntos negros, brillantes con una pequeña espina (Marelli, 1927). Además, permanecen pegados a un hilo de excremento oscuro que es característico del gorgojo (Vergara, 2016). En la imagen Figura 5b (izquierda) se observa uno de los cuatro instares. Estos insectos miden entre 2.7 a 12 mm y permanecen en este estadio entre 28 a 40 días (Vergara, 2016).

Pupa: El tamaño promedio de las pupas es de 8 mm, con un tamaño que varía entre 7 y 11 mm. Una vez hayan transcurrido 24 horas las pupas se pigmentan

volviéndose amarillas y luego marrones, ya que son inicialmente blancas. Este estadio dura entre 30 a 40 días (Vergara, 2016). Figura 5c.

Adulto: El adulto mide en promedio 8.26 mm, la cabeza, tórax y abdomen miden: 1 mm, 1.4 mm y 5.86 mm respectivamente; sin embargo, el tamaño puede variar desde 6,35 mm hasta 9,52 mm cuando el insecto está en movimiento (Marelli, 1927). Figura 5d. De acuerdo con Vergara (2016), el gorgojo mide en promedio 7 a 9 mm, este estadio dura entre dos a tres semanas.

Los adultos varían en su coloración; desde un gris claro, hasta un café oscuro uniforme. Los individuos grises presentan una X marcada sobre los élitros, pueden presentar una banda marcada protorácica que se extiende por los élitros y llega hasta la cabeza; en los individuos oscuros esta marca no es evidente puesto que está desvanecida. La superficie ventral es de un color más brillante que la dorsal y “presentan cuatro prominencias a lo largo del frente de cada élitro” (Marelli, 1927).

5.3.5.2 *Gonipterus platensis* Marelli (1927)

Larva: El tamaño promedio de la larva es de 10 a 13 mm de largo, y, a pesar de ser raro, se pueden encontrar larvas de 7 a 9 mm y de 11, 14 y 15 mm de longitud; además, su ancho puede variar de 3 a 7 mm. El cuerpo de la larva puede tener dos tonalidades distintas. Así, cuando es amarillo, presenta una banda dorsal de color verde oscuro y dos bandas laterales. En contraste, cuando el cuerpo es de color verde amarillento, la larva no presenta bandas (Figura 5b, derecha). También se observan puntos negros, pero carecen de una pequeña espina (Marelli, 1927).

Adulto: el adulto mide en promedio 10 mm, la cabeza, tórax y abdomen miden: 1 mm, 2 mm y 7 mm respectivamente, sin embargo, el tamaño puede variar desde 6 mm hasta 11 mm (Marelli, 1927). Figura 5e.

5.3.5.3 *Gonipterus gibberus* Boisduval (1835)

Larva. Presenta tres franjas longitudinales de color negro o verde (Rosado-Neto y Marques, 1996). El tamaño máximo es de 12 mm de largo y 5 mm de ancho.

Presentan cuerpo plano y convexo abajo, de “color amarillo verdoso con una franja ancha y oscura lateral. Segmentos de abdomen con 2 pliegues dorsales. Setas cortas, curvas, con elevadas, brillantes, marrones, bases circulares” (May, 1993). Cabeza de color marrón oscuro, ocelos muy juntos con córneas elevadas, antenas muy pequeñas ocultas. “la mandíbula es corta, ancha, bidentada, y con una pequeña proyección subapical. Su labrum esta pigmentado”, el pronoto se encuentra proyectado hacia adelante (May, 1993).

Pupa. Las tres franjas longitudinales de color negro o verde son menos evidentes en la pupa. El tamaño varía de 7 a 11,3 mm (Rosado-Neto y Marques, 1996).

Adulto. El macho mide entre 5,7 y 8,9 mm mientras que la hembra mide entre 7,5 y 9,4 mm. El rostro es negro-avenado en el medio. Élitros blanquecinos formando una banda oblicua-transversal de color blanco, con densas escamas negras latero dorsalmente en el protórax. Abdomen con escamas alargadas y espatuladas (Rosado-Neto y Marques, 1996). Figura 5f.

Presentan tres tipos de escamas 1. En la cara dorsal son amarillentas u oscuras. 2. En el protórax dorso-lateralmente y en la base de los élitros son negras o ennegrecidas, están sobre los húmeros, a veces presentes en la cara, tibias y élitros. 3. En la región pleural del pro, meso-, metatórax (Rosado-Neto y Marques, 1996).

5.3.5.4 *Gonipterus pulverulentus* Lea (1897)

La especie de *G. pulverulentus* es comúnmente confundida con *G. platensis*. Esta especie está presente en Uruguay, sin embargo, no hay información disponible de su descripción (Mapondera *et al.*, 2012; Schröder *et al.*, 2019).

A continuación se indican diferencias que facilitan la identificación de los individuos entre machos y hembras.

Las hembras de *G. scutellatus* son más grandes que los machos, se pueden distinguir porque presentan el borde posterior del penúltimo esternito redondeado y está densamente cubierto de pelo. El último esternito es semicircular y está cubierto de pelo

más largo que el anterior, presenta un borde oscuro que probablemente les ayuda a la ovoposición de la cubierta que rodea los huevos. Los machos, por otra parte, tienen el borde posterior de su penúltimo esternito recto y cubierto por pelos finos que no recubren el color oscuro del esternito. Además, el último esternito está dividido en dos placas triangulares quitinizadas separadas por una membrana y la parte ventral está cubierta de pelo (Santolamazza Carbone y Cordero Rivera, 1998).

El edeago del macho es cilíndrico, aplanado en el extremo distal y de color ámbar. Dentro del edeago presenta una bolsa que se hincha durante la cópula, en cuya punta se observan tres estructuras quitinizadas cubiertas por espinas. Las paredes externas de este saco (endofalo) están compuestas de placas esclerotizadas. En contraste, las hembras presentan una bolsa copulatoria que está compuesta por dos paredes musculares; esta bolsa se prolonga desde el oviducto hacia el interior y se separa en dos oviductos independientes. La espermateca es también de color ámbar; esta cápsula es rígida y está formada por una pared de quitina, donde se insertan músculos (Santolamazza Carbone y Cordero Rivera, 1998) Anexo 1. En el Anexo 2 se puede observar las diferencias en el abdomen terminal de machos y hembras, y su ovopositor.

5.3.6 ETOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE *Gonipterus scutellatus*

Una de las razones por la que una especie invasiva se vuelve tan exitosa es, en parte, porque modifica su comportamiento después de su introducción (Holway, y Suarez, 1999; Mooney y Cleland, 2001), por eso a continuación se indica información relevante sobre cortejo, cópula, alimentación del gorgojo.

El tiempo de cortejo en los gorgojos es largo (Figura 5h.), ya que dura un promedio de 6.98 ± 0.49 horas (Santolamazza Carbone y Cordero Rivera, 2003). Es más, en un estudio realizado por los mismos autores (1998), se indica que puede durar entre menos de una hora y más de dos días; a pesar de que solo 15 minutos después de iniciada la cópula la espermateca de la hembra ya se encuentra llena.

Por otra parte, debido a su morfología, la genitalia del macho no le permite retirar la esperma de machos rivales de la espermateca de la hembra; este comportamiento se ha observado en otros insectos como los del orden Odonata. Por eso,

es posible que el tiempo de cortejo y la cópula prolongada (mayor a 20 horas) sean una manera que tiene el macho de convencer a la hembra que es un buen “partido”. Incluso, se ha observado que aumentar el tiempo en la cópula no significa que haya una mayor descarga de esperma por parte del macho; de hecho, es bastante baja (Santolamazza Carbone y Cordero Rivera, 1998). En este sentido, queda descartada la posibilidad de que exista competencia de esperma en esta especie (Santolamazza Carbone y Cordero Rivera, 1998).

Además, luego de la cópula la hembra no deposita automáticamente los huevos recién fertilizados, sino que queda libre para aparearse nuevamente. Este comportamiento indicaría que la hembra es capaz de seleccionar y mezclar la esperma de los machos al azar para asegurar que la descendencia tenga mejores defensas (Santolamazza Carbone y Cordero Rivera, 1998). Además, todo esto lo realiza con el fin de aumentar la fertilidad de los huevos, en una población donde se sabe que su diversidad genética es baja (Santolamazza Carbone y Cordero Rivera, 2003).

Es notable el hecho de que su coloración verde amarillenta, (Figura 5b) y su reducido tamaño hace que las larvas sean difíciles de observar en vista de se confunden con la vegetación. Su comportamiento es igualmente interesante, puesto que se ha visto que son capaces de defoliar severamente los árboles. Además, se esconden debajo de las hojas o en los peciolo, tanto cuando se sienten atacadas, así como cuando se encuentran sobre un sustrato duro. Por el contrario, cuando el suelo sobre el que están situadas es blando, las larvas se sueltan de las hojas y se dejan caer para, posteriormente, esconderse bajo tierra (Marelli, 1927). Además, Vergara (2016) indica que estos insectos tienen un comportamiento gregario.

Pero eso no es todo, la profundidad a la que las larvas se esconden y el tiempo que permanecen bajo tierra varía entre especies. Las larvas de *G. scutellatus* (Figura 5b) se esconden a una profundidad entre tres y ocho cm y permanecen allí de dos a tres meses. Por otro lado, *G. platensis* (Figura 5e) se esconde por menos de dos meses a una profundidad de cinco cm; en ambos casos, las larvas permanecen enterradas hasta cambiar de estadio y emerger como adultos (Marelli, 1927). En estos últimos también se observan diferencias en cuanto a su capacidad de vuelo. Mientras que los individuos *G. scutellatus* son ávidos voladores y pueden desplazarse por grandes distancias

fácilmente, los *G. platensis* no lo son, a no ser que las ráfagas de viento les ayuden (Marelli, 1927).

Desde un punto de vista fisiológico, se conoce que los semioquímicos, compuestos producidos por insectos, plantas, etc., que gobiernan su comportamiento (incluyendo el apareamiento, defensa, reconocimiento del huésped, localización de recursos entre otros), son individuales para cada especie (El-Sayed, Suckling, Wearing, y Byers, 2006). Estudios de este tipo han permitido utilizar estos compuestos para controlar las poblaciones de *Gonipterus scutellatus* al ser aplicados conjuntamente con otros métodos de trapeo, los mismos que se mencionarán más adelante (El-Sayed *et al.*, 2006).

Dentro de las investigaciones que fueron realizadas con el fin de conocer el efecto que tiene la alimentación sobre los gorgojos, podemos destacar los estudios realizados por Riquelme Virgala y colaboradores (2018), ellos indican que el peso final de las larvas depende de la fuente del alimento consumido. Así, las especies como *E. globulus* y *E. camaldulensis* fueron significativamente más consumidas que *E. viminalis*, lo que denota una marcada preferencia por dichas especies. Otros estudios realizados por Huerta y colaboradores (2007), demostraron que las larvas de *G. scutellatus* son susceptibles a los cambios de alimentación; para demostrarlo, los investigadores analizaron la composición proteica de larvas y adultos. De esta forma, observaron que la composición proteica de las larvas varía más que la de los adultos, sin embargo, las diferencias en los adultos eran exclusivas de cada individuo ya que, nuevamente, estas dependían del alimento recibido.

Los resultados antes indicados se explican porque las hojas esclerófilas de los eucaliptos presentan una alta concentración de nitrógeno. Las plántulas liberan enzimas (proteasas) como mecanismos de defensa cuando son consumidas. Consecutivamente, la asimilación de nutrientes en el gorgojo disminuye. Por ende, para poder compensar la falta de nutrientes, el área foliar consumida es mayor; además, las larvas presentan un tamaño reducido (Riquelme Virgala *et al.*, 2018). Ello trae consigo que los individuos del género *Gonipterus* prefieran hojas más jóvenes, con menor cantidad de compuestos nitrogenados y defensas físicas para alimentarse, por encima de diferencias genéticas entre las especies (Riquelme Virgala *et al.*, 2018).

Por todas estas razones *Gonipterus scutellatus* es considerada una peste importante en el eucalipto (*Eucalyptus* spp.). Tanto los adultos como las larvas se alimentan de las hojas y los capullos de eucalipto, causando una defoliación extrema en los árboles susceptibles (Clarke, Patterson y Pennington, 1998; Rivera y Carbone, 2003). Es más, las larvas se alimentan principalmente de la epidermis, evitando las venas principales debido a que son más duras. El primer y segundo estadio larval dañan la epidermis de la hoja por ambos lados, el tercero y cuarto estadio larval se alimentan de la lámina. Los adultos se alimentan de los bordes de la hoja, por eso se puede observar un característico borde aserrado (Marelli, 1927; Chiffelle, Huerta, Sandoval y Araya, 2017) y, aunque no es tan común, este insecto puede pasar varias semanas sin alimentarse sin problema (Marelli, 1927). Así pues, a pesar de que las interacciones entre planta-insecto son dinámicas y, por ende, generalmente difíciles de detectar, en el caso del gorgojo del eucalipto es necesario conocer su ciclo de vida y picos de actividad defoliadora para poder actuar en consecuencia (Álvarez Taboada, Lorenzo Cimadevilla, Rodríguez Pérez, Picos Martín y Valero Gutiérrez del Olmo, 2005).

5.4 *Eucalyptus* L'Hér

5.4.1 TAXONOMÍA

El género *Eucalyptus* pertenece a la familia Myrtaceae. Los miembros de la familia Myrtaceae se caracterizan por tener glándulas de aceite, flores epigineas o raramente periginia y una morfología de flores distintiva (Rozefelds, 1996).

La familia Myrtaceae contiene cerca de 30 géneros y 1500 especies en el Neotrópico (León- Yáñez *et al.*, 2011). Existen más de 3000 especies en América tropical, subtropical, el sudeste asiático, Australia, Nueva Zelanda, las Indias orientales y África (Kawasaki, Holst y Pérez, 2019). Asimismo, de acuerdo con los autores se han registrado 15 géneros y más de 131 especies en Ecuador.

Los géneros *Eucalyptus*, *Syzygium* y *Callistemon* son introducidos y son utilizados de manera ornamental, para alimento y madera (Kawasaki *et al.*, 2019).

5.4.2 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

El género *Eucalyptus* es endémico de Australia y de la región Indomalaya, estos árboles llegaron a Nueva Zelanda junto con los botánicos y granjeros pioneros que tuvieron que atravesar el Mar de Tasmania hace aproximadamente 160 años (Withers, 2001). En Australia se encuentran en el suroeste del continente, y en la Isla de Tasmania (León, 2006). El eucalipto fue conocido en Europa en el s. XVI cuando los conquistadores portugueses llegaron a Timor. El género *Eucalyptus* contiene al menos 500 especies (Kawasaki *et al.*, 2019). En la Figura 7 se observa un mapa de distribución natural y uno de dispersión mundial actual del género *Eucalyptus*.

El eucalipto fue introducido al Ecuador durante la presidencia de Gabriel García Moreno en 1865. Arribaron al país dos cajas con semillas desde París, a unas fincas en Ambato, a partir de las cuales germinaron pocas semillas y se obtuvieron plántulas (Acosta, 1949; León, 2006). Su comercio comenzó recién en 1928 (Acosta, 1949). En el Ecuador se encuentra distribuido desde los 0 - 3500 msnm, se da mejor a alturas entre 2000 y 2900 msnm (Kawasaki *et al.*, 2019).

Dentro del Ecuador podemos encontrar las mayores plantaciones de eucalipto en Latacunga y Quito. Las plantaciones principales del Ecuador se encuentran distribuidas en la sierra, en las provincias de: Tungurahua, Pichincha, Loja, Imbabura, Chimborazo, Cotopaxi, Carchi, Cañar, Bolívar y Azuay (FAO, 1981; León, 2006). Así como en Esmeraldas (Granda, 2006). También existen viveros en las provincias de Los Ríos (Llumiguano, 2018; Martínez, 2018; Remache, 2018) y Santo Domingo (Muñoz, 2018).

En el Ecuador podemos encontrar algunas especies que son usadas comúnmente, donde *E. globulus* es la especie más común (Kawasaki *et al.*, 2019), pero también hay bastantes individuos de *E. saligna*, *E. camaldulensis* y *E. robusta*, además se realizan ensayos con *E. botryoides*, *E. citriodora*, *E. grandis*, *E. maculata*, *E. microcorys*, *E. paniculata*, *E. propinqua*, *E. resinifera*, *E. tereticornis* y *E. umbra* (FAO, 1981), también *E. cladocalyx* y *E. alba* (Kawasaki *et al.*, 2019) y *E. urograndis* (Ministerio del Ambiente, 2013).

La historia de colonización del eucalipto no es clara, de acuerdo con Acosta (1949), el eucalipto se sembró en Brasil en 1868, donde se introdujo en Río Grande del Sur, luego de su llegada a Ecuador; sin embargo, pudo darse años antes coincidiendo con la colonización a la Isla de Timor (EUCLID, s/f). Por su parte, la FAO (1981) indica que los individuos más antiguos datan de 1825 de las especies *E. robusta* y *E. tereticornis*.

5.4.3 *Eucalyptus*: UNA INCONGRUENCIA ECOLÓGICA

Los eucaliptos no son bien vistos, parte de este problema se debe a los efectos alelopáticos que presentan y a la competencia directa por luz, agua y nutrientes con otras especies nativas o introducidas (Poore y Fries, 1987). No obstante, en algunos estudios se ha demostrado que la alelopatía no es de gran importancia para los sistemas agroforestales; al mismo tiempo son pocos los estudios que concluyen y demuestran que la alelopatía o competencia son las causas de los efectos adversos observados (Poore y Fries, 1987; Espinosa-García, 1996; Newete, 2010).

Con todo, en base a lo explicado anteriormente, tampoco se niega que las especies de eucalipto presentan compuestos químicos que inhiben la germinación de ciertas plantas en distintos grados. Aunque, estos efectos observados son el resultado de la concentración de los compuestos a los que se ven expuestas las plantas aledañas (Poore y Fries, 1987), asimismo, depende de la edad de los tejidos. Por ejemplo, se sabe que la actividad inhibitoria de la corteza o de las hojas de eucaliptos puede llegar a durar entre 60 y 90 días después de ser desprendidas del árbol, sin que por ello su actividad sea mayor conforme pasa el tiempo (Espinosa-García, 1996).

Pero, si los compuestos aleloquímicos se acumulan en los suelos, entonces sí se pueden afectar las plantas de los alrededores del sotobosque. Solo especies poco sensibles a este tipo de suelo van a persistir en una zona húmeda, mas no en zonas áridas o semiáridas debido a la erosión que provocan (Poore y Fries, 1987; Espinosa-García, 1996).

Sin embargo, y pese a las restricciones y afecciones que provocan a los suelos, las plantaciones de árboles de eucalipto cubrían alrededor de 187 millones de hectáreas

a nivel mundial para el año 2000, de acuerdo con la FAO; debido a su importancia comercial y principalmente a su uso como materia prima de madera y fibra.

Empero, existen algunas posibilidades de utilizar las plantaciones de eucaliptos para la conservación de las especies vegetales, sean estas nativas o no, en zonas circundantes a aquellas donde se encuentren plantados dichos árboles. En virtud de lo cual, las plantaciones presentarían un valor agregado a parte del valor netamente comercial (Lindenmayer, Hobbs y Salt, 2003), en la medida en que sean utilizados, por ejemplo en el turismo y el bienestar de las personas que visitan lugares con estas plantas para recreación tales como parques.

Dentro de los usos que los eucaliptos brindan, podemos encontrar que la madera de eucalipto es dura, y tiende a rajarse (Acosta, 1949). La especie de eucalipto que se cultiva más frecuentemente es *Eucalyptus globulus*. Su madera es muy cotizada, como una fuente de madera y papel y, para la fabricación de muebles para chapado de tableros (Poore y Fries, 1987; León, 2006). En el Ecuador el eucalipto es muy importante, no solo por sus usos, sino por su impacto en el paisaje del país. Dentro de los usos que se le ha dado a este árbol están la madera, el carbón, como adorno, para brindar sombra, así como los efectos medicinales que se consiguen al utilizar sus hojas (Acosta, 1949; Poore y Fries, 1987). De acuerdo con Acosta (1949), si en el país se lograra plantar un árbol que se adaptara tan bien al clima y de crecimiento rápido el problema maderero desaparecería, por eso esta especie y otros géneros de eucalipto son tan importantes.

5.4.4 ESPECIES DE EUCALIPTOS SUSCEPTIBLES AL ATAQUE DEL GORGOJO

En la Tabla 2 se observa una lista de especies de eucaliptos susceptibles al ataque de tres especies de *Gonipterus*: *G. scutellatus*, *G. gibberus* y *G. platensis*. Se puede notar que hay algunas especies de eucaliptos que se comparten entre las tres especies. Asimismo, CABI indica que existe una especie de pino (*P. patula*) que se puede ver afectada por la presencia del gorgojo, aunque solo es un huésped alternativo durante el invierno y no ataca las hojas de este árbol. A su vez, CABI indica que *Corymbia citriodora* podría ser afectada por los gorgojos, ya que pertenece a la misma familia que los eucaliptos. Estas dos especies vegetales no se presentan en el cuadro

anexo. Además, se puede observar las especies de eucaliptos presentes en el país resaltados en negrita.

5.4.5 RESPUESTA DE *Eucalyptus* spp. ANTE EL ATAQUE DEL GORGOJO

Los insectos fitófagos son capaces de captar los compuestos químicos que liberan las hojas de eucalipto al ambiente cuando son afectadas por herbivoría (Poore y Fries, 1987). En el caso de *G. scutellatus*, las hembras pueden diferenciar entre las especies de *Eucalyptus*, basándose en sus diferentes tasas de emisión de compuestos volátiles. De hecho, en un estudio realizado en 2014, la respuesta (tasa de emisión y radio) fue mayor en hojas recientemente afectadas. Los compuestos que mayor respuesta obtuvieron fueron: ((Z)-3-hexen-1-ol, (E)-2-hexenal y (Z)-3-hexenyl acetato), cuando se los comparó con terpenos como α -pinene, β -pinene, 1,8-cineol y γ -terpinene. Además, las hembras también son capaces de captar estas señales químicas a través de sus antenas; así conocen que tan sana es la planta huésped y sus niveles de estrés (Bouwer, Slippers, Wingfield y Rohwer, 2014).

A pesar de contar ahora con esta información, todavía no se sabe cuál es el efecto que tiene la liberación de compuestos volátiles sobre el comportamiento del gorgojo, únicamente que las hembras parecen ser capaces de detectar árboles similares a los que encontrarían en su hábitat original (Bouwer *et al.*, 2014). Pero, la falta de consenso en la abundancia de estas especies, la época de reproducción y ovoposición hacen pensar que se debe a que la mayoría de los estudios son realizados fuera de su área nativa, a la diferente susceptibilidad entre interacción planta – insecto, a factores epigenéticos y a que estamos tratando con un complejo de especies, cada una de ellas con distintos patrones de comportamiento (Clarke, Patterson y Pennington, 1998).

5.4.6 OTRAS PLAGAS QUE AFECTAN A *Eucalyptus*

Existen una variedad de plagas que afectan a *Eucalyptus*, (*Eucalyptus globulus globulus*), tan solo en Australia se encuentran dentro de las más importantes a: *Heteronychus arator*, el escarabajo negro africano; los escarabajos de primavera: *Liparetrus jenkinsi* y *H. elongatus*; el saltamontes sin alas: *Phaulacridium vittatum*;

larvas del género *Agrotis*; crisomélidos como: *Chrysophtharta* spp., *Cadmus excrementarius* y otros; la polilla: *Mnesampela privata* y el insecto *Phylacteophaga froggatti* (Loch y Floyd, 2001). Sin embargo, el daño que causa *G. scutellatus* a este árbol es solo superado por el taladrador del eucalipto *Phoracantha semipunctata* (Coleoptera: Cerambycidae) (Huerta *et al.*, 2007).

La cantidad de especies plagas de *Eucalyptus* es tal, que solo en Brasil se han registrado más de 177 especies diferentes de insectos hasta el año de 1967 (FAO, 1981). En la Tabla 3 se observa un resumen extraído de la FAO (1981) con las especies vegetales, la plaga que ataca y la estructura a la que ataca.

Asimismo, en otro estudio se agruparon a las plagas de los eucaliptos dentro de varios gremios de alimentación, como: mordedores de hojas, chupadores de savia, formadores de galerías, cavadores en la madera, termitas y otros (Mansfield, 2016).

Dentro de los estudios realizados en el Ecuador se destaca el realizado por Onore y Maza (2003) sobre la presencia de *P. semipunctata* presente en las provincias de Pichincha y Tungurahua. En el mismo estudio indican la presencia de plagas endémicas como los lepidópteros: *Oiketicus* sp., *Epialus* sp., *Mimallo amilia*, *Leuculopsis parvistrigata*. También coleópteros como: *Paramallocera ilinizae*, *Parandra glabra*, *Stenodontes spinibarbis*, *Hoplopyga liturata* y *Trachyderes succintus*. Así como dos himenópteros: *Atta* sp. y *Trigona sylvestriana* y dos hemípteros: *Aetalion* sp., *Ceresa vitulus*, respectivamente (Onore y Maza, 2003).

Como hemos visto previamente, en vista de los efectos que causan las plagas en las plantaciones alrededor del mundo, varias instituciones han propuesto soluciones y políticas que buscan, en conjunto con investigadores, controlar el daño causado por estos organismos. Las principales organizaciones sanitarias federales e internacionales en pro del desarrollo son: CABI (*Center for Agricultural Bioscience*) y EPPO (*European and Mediterranean Plant Protection Organization*). Por otro lado, EMBRAPA (*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*), AGROSAVIA (*Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*) y APHIS (*Animal and Plant Inspection Service*) son agrupaciones netamente enfocadas al desarrollo de sus países. En calidad de cada una de las instituciones, las organizaciones trabajan por promover la

seguridad de los métodos de control, y desarrollan estrategias para evitar el ingreso y expansión de las especies invasivas. En todos los casos, ya se encuentran informadas acerca de la presencia del gorgojo, por lo que intentan evitar un impacto mayor causado por esta plaga a nivel mundial, mediante investigaciones, informes y discusiones; así como mantenerse informados y actualizando información acerca de la distribución de este insecto (CABI, 2019; EPPO, 2016).

5.5 IMPACTO DEL GORGOJO EN EL MUNDO

5.5.1 IMPACTO ECOLÓGICO

Los eucaliptos estabilizan el suelo y evitan el deslizamiento de tierra de las pendientes. Este proceso se da porque presentan raíces profundas y anchas que les permiten anclarse al suelo (Hubble, Docker y Rutherford, 2009; Mulyono *et al.*, 2018). En efecto, se ha reportado que las raíces pueden llegar a medir entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{2}{3}$ del tamaño del tronco, llegando a medir entre 22 a 28 metros, o incluso más de 60 m de profundidad, los cuales fueron encontrados en una cueva en Australia (Hubble *et al.*, 2009). Esta característica probablemente responde a una adaptación evolutiva que les permitió sobrevivir a las temporadas de sequías que ocurrieron en el continente. Sin embargo, el tamaño de la copa y la cantidad de follaje, el peso del árbol y el viento también juegan un papel importante en este tema (Mulyono *et al.*, 2018).

Asimismo, los eucaliptos evitan la erosión del suelo porque sus hojas delgadas y lanceoladas permiten que el agua de lluvia pase hacia el suelo logrando su infiltración, en comparación con zonas descubiertas de vegetación (Poore y Fries, 1987; Hernández, 2012). Por otro lado, los niveles de absorción de agua de estos árboles son similares o menores a los de otros árboles nativos o plantaciones; además, no existe evidencia que indique que las plantaciones de eucaliptos compitan por nutrientes más que otras especies (Hernández, 2012). Hay que recordar que los niveles de evapotranspiración e infiltración van a estar directamente relacionados con el clima y la intensidad de la lluvia (Poore y Fries, 1987).

Los árboles en general son considerados sumideros de carbono, porque almacenan CO₂ y gases de efecto invernadero en sus estructuras. Los eucaliptos,

específicamente *E. grandis*, presentan más biomasa principalmente en el fuste, la corteza, las ramas y finalmente las hojas, una característica típica de la distribución de esta especie, con un promedio de 0,75 toneladas de CO₂ capturado por árbol. Aun así, Díaz Fonseca y Molano Morales (2001) indican que no hay una diferencia significativa al comparar la captura de CO₂ entre las especies de eucaliptos (*E. camaldulensis*, *E. grandis* y *E. globulus*); razón por la que estos árboles pueden ser utilizados con este fin (Ramírez López y Chagna Ávila, 2019).

Existen otros beneficios que brindan los eucaliptos como la atracción de lluvias, mejoras de paisajes y estabilidad del clima.

5.5.2 IMPACTO ECONÓMICO

Para poder comprender el verdadero potencial que tiene este coleóptero para devastar las poblaciones de *Eucalyptus* en el Ecuador, es necesario realizar un breve recuento de los impactos que ha provocado en el mundo. Estos efectos claramente van más allá de ser netamente botánicos, afectan a las sociedades y economías mundiales, desviando fondos que podrían ser utilizados en otros proyectos. Por eso, si se logra controlar al gorgojo a tiempo, es posible evitar estos efectos negativos en el Ecuador. Sin embargo, es necesario recordar que es difícil comparar los costos económicos entre regiones debido a la falta de información de las especies invasivas, y su distribución en las áreas geográficas (Pyšek y Richardson, 2010).

En el año de 1955 se estimaba que la superficie total plantada de eucaliptos a nivel mundial era de 700.000 ha, para el año 1981 se estimaba que esa cifra rondaba 4 millones de ha en 58 países, de acuerdo con la FAO. Si a eso sumamos otros 50 países que tienen plantaciones ornamentales o experimentales podemos darnos cuenta del nivel de importancia de este árbol (FAO, 1981). Es más, se estima que el costo para plantar y mantener una hectárea de eucaliptos hasta el tercer año ronda los \$300 a \$600 sin contar la tierra. El costo para mantener las plantaciones hasta los siete años, cuando se da generalmente la primera cosecha ronda los \$2.000 millones a nivel mundial.

En España por ejemplo, las empresas de celulosa y papel generan pérdidas que rondan los 235 millones de euros debido a los daños provocados por la presencia del

gorgojo. Razón por la cual están realizando proyectos con el fin de detectar a tiempo la plaga y controlarla (Phytoma, 2019). Por otra parte, en 2013 las pérdidas económicas del sector maderero a causa de *G. platensis* fueron de alrededor de 150 millones de euros una vez la materia prima haya sido procesada (Plurifor, 2018).

De igual manera, en Portugal se realizó un estudio donde se plantearon tres hipótesis sobre el impacto económico que tendría el ataque que *G. platensis* sobre las plantaciones de *E. globulus* en un periodo de 20 años (entre 1996 a 2016). En la primera hipótesis se planteó reemplazar las plantaciones por otra especie de eucalipto menos susceptible al ataque del gorgojo. En consecuencia, esta opción significaría un gasto de 2.546 millones de euros para Portugal. En la segunda hipótesis planteada se utilizó únicamente insecticidas, además se supuso que esta aplicación sería 100% efectiva para controlar las poblaciones del gorgojo. De igual manera, se estimó que las pérdidas serían de alrededor de 2.451 millones de euros. Mientras que en la tercera hipótesis solo se iba a importar madera para suplir la demanda de producción de papel y pulpa. A su vez, esto conllevaría a generar una pérdida económica que rondaría los 7.164 millones de euros. Por eso, si se utilizara el parasitoide como método de control biológico se obtendrían beneficios por 1.803, 1.354 y 9.552 millones de euros para los escenarios uno dos y tres respectivamente (Valente *et al.*, 2018).

De acuerdo con Granda (2006), se estima que a nivel mundial hay 20.000 ha de bosque para la siembra de bosques artificiales o monocultivos. Además, se producen más de 300 millones de toneladas de pulpa de madera y 200 millones de toneladas de celulosa a nivel mundial que se obtienen principalmente de sembríos de eucalipto.

5.6 IMPACTO EN EL ECUADOR

5.6.1 DESCRIPCIÓN DEL TERRITORIO

El Ecuador tiene una extensión de aproximadamente 252,000 km². Se extiende entre las latitudes 1°30' N y 5° S y las longitudes 75°20' W y 91° W (Varela y Ron, 2018). La región Insular se encuentra entre las latitudes 1°75'0'' latitud norte; 1°20'0'' latitud sur (Grijalva, Checa, Ramos, Barrera y Limongi, 2012). En la región Costa la temperatura varía entre 24 – 25°C. En la Sierra entre 8 – 20°C, esta variación está

relacionada con la altura y el efecto de sombra pluviométrica. En la Amazonía entre 24 – 25°C con máximos de 40°C (Varela y Ron, 2018).

5.6.2 USO FORESTAL

De acuerdo con la FAO, en el Ecuador aproximadamente 12 millones de hectáreas (ha) son aptas para el uso forestal, es decir el 44,7% del territorio nacional (FAO, 1981). Para el año 2010 solo se conoce el volumen autorizado de aprovechamiento maderero, más no el total de hectáreas plantadas, ya que no era obligatorio indicar esta información en un registro (Ministerio del Ambiente, 2014). Así, hasta el 2013 se registraban 164 mil ha de bosque plantado. A la vez, el MAE indica que los eucaliptos (*E. globulus*) son la segunda plantación más abundante con 619.243,35 m³ solo precedidos por la madera de balsa (*O. pyramidale*) con 794.359,45 m³ (Ministerio del Ambiente, 2014). No se encuentran plantaciones de eucaliptos en la región insular.

Para el periodo comprendido entre 2007-2010, el MAE indica que, del total de madera utilizada para comercio, “58,5% correspondió a plantaciones forestales, el 14,1% a bosques naturales y el 35,7% a árboles regenerados naturalmente en cultivos o potreros y a árboles relictos” (Grijalva *et al.*, 2012). El Ecuador exporta en el sector forestal principalmente a países como Estados Unidos, Colombia y Venezuela, primordialmente materia bruta como astillas, contrachapado, madera, muebles, tableros, entre otros. Entre los años de 1995 a 2000 las exportaciones significaron ganancias por \$100 millones, mientras que las importaciones eran derivados de la madera como carbón y carbón vegetal, papel, muebles y pasta de madera (Grijalva *et al.*, 2012). Estos valores son bastante bajos a la economía del país, de acuerdo con expertos.

5.6.3 SITUACIÓN DEL SECTOR FORESTAL

Dentro de las especies forestales más utilizadas con valor maderable autorizadas por el Ministerio del Ambiente (2013) podemos encontrar en la sierra al pino: (*Pinus patula* y *P. radiata*), los eucaliptos en la sierra (*E. globulus* y *E. saligna*), y en la costa las especies de *E. grandis* y *E. urograndis*, la teca (*Tectona grandis*) y pachaco (*Schizolobium parahibum*), en menor cantidad también encontramos especies nativas

como: balsa (*Ochroma pyramidale*), laurel (*Cordia alliodora*), cedro (*Cedrela odorata*) y Aliso (*Alnus acuminata*).

Entonces, como se puede observar que, aparte de plantar árboles de *E. globulus*, también las especies de *E. grandis*, *E. urograndis* y *E. saligna* son sumamente importantes, tanto para el sector forestal como por sus usos en la reforestación. De acuerdo con datos recopilados por el MAE, en total el sector forestal brinda alrededor de 235.000 plazas de trabajo directos y miles más de manera indirecta, principalmente a nivel rural y en ciudades pequeñas. De hecho, solo el sector forestal y de reforestación trabajan 2.500 personas, mientras que en actividades manuales cerca de 20.000 personas más (Grijalva *et al.*, 2012).

5.6.4 *Eucalyptus* EN EL DMQ

Dentro del Distrito Metropolitano de Quito, de acuerdo con el Ministerio del Ambiente, se registra que el 6.46% del territorio, aproximadamente 256.407 ha pertenecen únicamente a vegetación que se encuentra distribuida en 17 ecosistemas naturales. Asimismo, el área de plantaciones de eucaliptos, pinos y cipreses, y de bosques secundarios es de 50.298 ha, es decir 11,89% del territorio, las mismas que se encuentran en las laderas del Pichincha; más concretamente, las plantaciones de eucalipto corresponden a 7.743 ha, el 1,83% total del territorio. Por su parte, las áreas de pastizales y cultivos naturales representan 8,56%, unas 36.857 ha, mientras que las áreas cultivadas el 11,89%, 50.425 ha (Secretaría del Ambiente, 2013).

Por su parte, de acuerdo con la Alcaldía de Quito, para el año 2013 el consumo anual de madera de pino y eucalipto era de 450 ha por año, siendo la especie predominante *E. globulus* (Secretaría del Ambiente, 2013).

5.6.5 EL CASO DE EUCAPACIFIC

Desde el año 2000 la empresa japonesa EUCAPACIFIC, (Eucalyptus Pacífico S.A.) junto con el gobierno ecuatoriano propuso sembrar 14.000 ha principalmente de eucaliptos en Esmeraldas, con el fin de exportar astillas hacia Japón a la empresa Mitsubishi Paper Mills. Se esperaba exportar 260.000 toneladas métricas de astillas por

un total de \$150 millones (Granda, 2006). Las razones que daban para la siembra de eucaliptos: *Eucalyptus grandis* y *E. urograndis* entre Muisne y Súa eran mitigar los efectos de la emisión de CO₂ y gases de efecto invernadero, y de esta manera cumplir con su parte del Protocolo de Kioto al que se ven obligados a responder y proveer la materia prima para producir papel (Granda, 2006; García Serrano, 2007).

EUCAPACIFIC empezó el proyecto en Esmeraldas, con la compra de tierras que antes solo eran potreros en esta provincia (Granda, 2006; García Serrano, 2007). Posteriormente, el gobierno ecuatoriano se vio envuelto irónicamente en un problema de contaminación y de destrucción de reservas naturales como sucedió con la Reserva Mache-Chindul, ya que las plantaciones de eucaliptos que lindaban con esta reserva húmeda la estaban empezando a afectar. Asimismo, se pueden encontrar amplias plantaciones de este árbol en Muisne como resultado de procesos ilegales que afectaban a los ecosistemas de manglar y las plantaciones de banano (Granda, 2006). Por ello, en 2005 el Ministerio del Ambiente suspendió definitivamente las actividades en Muisne bajo pedido de la Comisión de Protección Ambiental del Congreso Nacional por las denuncias presentadas y prohibió el establecimiento de nuevas plantaciones en el futuro (Granda, 2006) En la actualidad, EUCAPACIFIC está siendo administrado por Expoforestal y a pesar de que ya no hay inversiones en este proyecto, las plantaciones de eucalipto todavía se encuentran presentes (García Serrano, 2007).

5.7 REGISTRO DE *G. scutellatus* EN ECUADOR

Por el momento los investigadores del Museo de Entomología de la PUCE sección invertebrados, se encuentran buscando activamente esta plaga por el país. Se han hallado individuos en algunos lugares de la ciudad de Quito; los gorgojos han sido recientemente identificados como *G. platensis*. Aun así, falta realizar más colectas y estudios para determinar su posible ruta de ingreso Figura 8.

En base a la Tabla 1, se puede suponer que el ciclo de vida del insecto se va a dar más rápidamente en las regiones cálidas como la Costa que en las frías como en la Sierra, por lo que se considera necesario vigilar esas plantaciones para evitar su ingreso y posible dispersión. Asimismo, como ya se encuentra presente en la ciudad de Quito,

es necesario tomar las medidas pertinentes para evitar su dispersión, porque hay más de mil ha. de eucalipto en riesgo de verse afectadas.

En la Tabla 4 se observan los registros de los individuos del complejo de *Gonipterus scutellatus* en el Ecuador. Por el momento solo se han encontrado en la provincia de Pichincha en el Parque Metropolitano, Av. Simón Bolívar, las faldas del Pichincha y Lumbisí, por el sector de la Ruta Viva.

5.8 MÉTODOS DE CONTROL

Los niveles de control que se deben aplicar ante el ataque de una plaga van a variar dependiendo de la severidad del daño causado. Así, se han identificado seis niveles de defoliación: 1. Sin ataque, 2. Ataque débil, 3. Ataque moderado, 4. Ataque fuerte, 5. Ataque grave, 6. Casos extremos (Figura 9).

En un primer nivel si no se observa un ataque solo se debe monitorizar las plantaciones. En el caso de un ataque débil (el nivel de defoliación es menor al 10% del tercio superior) se debe continuar la monitorización y empezar a utilizar métodos de control biológico como la liberación controlada de parasitoides. Igualmente, ante un ataque moderado (cuando la defoliación es superior al 10% hasta el 30% del ápice). Por otro lado, ante un ataque fuerte (defoliación entre 30% al 60% del ápice), se debe continuar con el control biológico y empezar a utilizar métodos de control químicos, más aún si el nivel de ataque es grave (entre 60-90% de defoliación). Ante casos extremos se debe plantear en mecanismos de control de la plaga y empezar a realizar estudios de reforestación (Vergara, 2016). Queda claro que las medidas que se deben realizar van a variar en función del criterio del observador (Figura 9).

A continuación, se detallan algunos de los métodos de control: biológicos y químicos que se han estudiado para controlar al gorgojo del eucalipto, así como proyectos y metodologías novedosas que se están aplicando con este mismo fin.

5.8.1 CONTROL BIOLÓGICO

El control biológico se define como el uso intencional de enemigos naturales de una especie con el propósito de mantener la densidad de poblaciones naturales por debajo de un nivel determinado (Rivera y Carbone, 2003). Los programas de control biológico clásicos buscan reducir las poblaciones de las plagas de una comunidad (Hoddle, 2004). Para conseguirlo, es necesario conocer las redes de interacción que se encuentran envueltas y al mismo tiempo, es necesario evitar homogeneizar la biota de la comunidad, debido a la introducción de agentes de control biológico. Actualmente, se han creado agencias de control a nivel mundial justamente con el propósito de evitar la homogenización (Hoddle, 2004). El otro enfoque del control biológico es el de conservación, que se debe al uso de enemigos naturales generalistas para controlar las poblaciones naturales (Begon *et al.*, 2006).

5.8.2 PARASITOIDE

Uno de los principales métodos de control biológico para controlar al gorgojo es el uso de parasitoides, siendo el más importante *Anaphes nitens*.

Anaphes nitens (Himenoptera; Mymaridae) (Figura 2), es un insecto nativo del sudeste de Australia, capaz de discriminar a su huésped y de determinar cuándo una puesta ya ha sido parasitada; para conseguirlo, el insecto realiza probing o utiliza sus antenas (Santolamazza Carbone, Rodríguez-Illamola, y Cordero Rivera, 2004; Valente, Afonso, Gonçalves y Branco, 2019) (Figura 5a). Es necesario recordar que el micro himenóptero parasita huevos de entre dos y tres días después de realizada la puesta del gorgojo, pero nunca a aquellos huevos mayores a seis días y raramente a mayores a cuatro o cinco días (Valente *et al.*, 2019). En consecuencia, los insectos seguramente identifican las puestas por medio de señales de apareamiento o como resultado de la alimentación de los gorgojos adultos (Santolamazza Carbone *et al.*, 2004).

Otras características que se deben tomar en cuenta son que: 1) *A. nitens* es un endoparásitoide solitario y 2) que el superparasitismo o multiparasitismo provocan la muerte de sus ejemplares (Valente *et al.*, 2019). Si se toma en cuenta que el superparasitismo no solo aumenta la proporción de machos en las puestas de esta especie, sino que lo mismo ocurre con las hembras, siempre y cuando se encuentren bien alimentadas y en buenas condiciones; se concluye de esta manera, que el

superparasitismo es considerado un carácter adaptativo (Santolamazza-Carbone, Nieto y Rivera, 2007; Valente *et al.*, 2019). A su vez, conocer acerca de la variación de machos/hembras ayudaría a realizar estudios en campo y laboratorio (Santolamazza-Carbone *et al.*, 2007). Esta información aportaría como un ejemplo adicional a otros estudios que buscan entender por qué se ha observado una preferencia de *A. nitens* hacia las puestas jóvenes.

Los resultados de estudios realizados por Rivera y Carbone (2003) indican que el uso del parasitoide redujo drásticamente la tasa de emergencia del gorgojo en Sudáfrica. Los datos colectados indican que el porcentaje de huevos parasitados pasó de 3-13% al 77-98% entre los años de 1928 – 1930, cuando fueron introducidos por primera vez en este país. El problema radica en la alta eficiencia del parasitoide, ya que al reducir demasiado las poblaciones del gorgojo se producirán extinciones locales que harán que el nivel de control cambie de un año a otro (Rivera y Carbone, 2003).

A pesar de que existen problemas con el multiparasitismo o el superparasitismo, no cabe duda la eficacia del parasitoide para controlar las poblaciones naturales del gorgojo (Newete, 2010). Por eso mismo, y debido a la creciente demanda, actualmente ya se encuentran disponibles protocolos de cría de esta especie y venta de organismos (Ramos y Sepúlveda, 2011), además, las larvas de *A. nitens* eclosionan tan solo 24 horas después de haber parasitado al huésped (Santolamazza Carbone *et al.*, 2008).

También se han realizado estudios con otra especie de parasitoide *A. inexpectatus*, pero se determinó que era ineficaz para controlar al gorgojo, por lo que suele ser descartada (Valente *et al.*, 2019). Por otro lado, en Brasil los investigadores utilizaron larvas y adultos de *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) para controlar las poblaciones de larvas del gorgojo *G. platensis* en el laboratorio. Así, los adultos y las larvas del hemíptero depredaron el 98% y 74% de larvas del gorgojo respectivamente después de cinco días. Pero, cuando los hemípteros consumían adultos del gorgojo, el porcentaje de depredación era mucho menor. Por eso concluyeron que el uso de esta especie para el control poblacional era plausible en un contexto de control de plagas (Nascimento, Soliman, Zauza, Stape y Wilcken, 2017).

5.8.3 INSECTICIDAS (CONTROL BIOLÓGICO Y QUÍMICO)

Los insecticidas pueden ser naturales (biológicos) o sintéticos, estos últimos han sido utilizados por muchos años como un método de control y erradicación de plagas.

Se han probado algunos insecticidas biológicos sobre las distintas especies de *Gonipterus*, por ello, es necesario citar el estudio realizado por los investigadores Echeverri-Molina y Santolamazza-Carbone (2010) donde compararon los insecticidas fabricados en base de dos hongos: *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* con otro insecticida compuesto por una mezcla de bacterias. De estos tres insecticidas, el primero es considerado una buena opción, en comparación con los piretroides. Además, obtuvieron mejores resultados que al utilizar la segunda opción; por último, los insecticidas producidos con cepas de bacterias no obtuvieron un resultado favorable para controlar a *Gonipterus scutellatus* en el campo ni en el laboratorio.

A la vez, los investigadores compararon la eficacia de esos insecticidas con otros sintéticos. Posteriormente observaron que los resultados obtenidos a las 72 horas luego de la aplicación del insecticida sintético λ -cyhalothrin eran similares a los obtenidos con *B. bassiana*. Sin embargo, el insecticida sintético era muy tóxico, más que cypermethrin, debido a que su compuesto activo era 2.5 veces mayor. Esto se debe a que los neonicotinoides: compuestos activos en estos insecticidas, interfieren sobre los receptores de acetilcolina del gorgojo. Sin embargo, este insecticida no afecta a otros animales, por eso es una buena opción para aplicar sobre los eucaliptos (Echeverri-Molina y Santolamazza-Carbone, 2010).

Los bioinsecticidas también son una opción útil contra las plagas en general, porque a diferencia de los insecticidas comunes no contaminan ni producen resistencia (Chiffelle *et al.*, 2017). Parte del beneficio se debe a la producción de aceites esenciales extraídos de los frutos y hojas de especies vegetales. El bioinsecticida producido a partir de *Schinus molle* utiliza este principio además, se ha demostrado que esta especie tiene actividad antimicrobiana y repelente. También ha sido aplicado contra una variedad de insectos como: *Aedes aegypti*, *Tribolium*, *Heliothis zea*, *Premnotrypes vorax* etc. De hecho, se obtuvo un resultado efectivo, tras utilizar extractos acuosos de hojas jóvenes y maduras de este árbol por separado contra las larvas de *G. scutellatus*. Es más, el 100%

de las larvas murieron al utilizar el extracto de hojas jóvenes en las pruebas de laboratorio (Chiffelle *et al.*, 2017).

En otro estudio se monitorizó las poblaciones naturales de *G. scutellatus* y *Anaphes nitens* antes y después de aplicar los insecticidas. Se utilizaron cuatro en total y se observó que, si bien, por un lado, Ethofenprox redujo la cantidad de larvas y huevos después de 7 y 14 días de tratamiento, por otro lado, la tasa de parasitismo también se redujo al séptimo día. En otras palabras, es necesario que este insecticida se aplique antes del comienzo del periodo de vuelo de los parasitoides (Santolamazza-Carbone y Fernández de Ana-Magán, 2004b). En conclusión, este insecticida, aunque causaba la muerte casi total de los insectos tras 24 horas, no es apto para proyectos de manejo de plagas. En contraste, al aplicar flufenoxurom se observó que, al séptimo día, la mortalidad de adultos y larvas alcanzó el 75% además, tampoco se redujo la tasa de parasitismo (Santolamazza-Carbone y Fernández de Ana-Magán, 2004a). También se utilizó a *Bacillus thuringiensis* subespecie *kurstaki* cepa EG2424, este insecticida no tuvo un efecto sobre el gorgojo y al parecer, también es inofensivo para las poblaciones del parasitoide. La azaridactina, por el contrario, redujo la abundancia de huevos luego de 14 días (Santolamazza-Carbone y Fernández de Ana-Magán, 2004a), la tasa de muerte aumentó del 50% al 72% desde el tercero al séptimo día de aplicación. Es por eso que este es considerado un buen larvicida que además, no tiene efectos negativos sobre el parasitoide (Santolamazza-Carbone y Fernández de Ana-Magán, 2004b).

El uso de insecticidas es poco recomendable y bastante limitado, debido a que las abejas que se alimentan de la miel de las flores de eucaliptos son afectadas gravemente por la liberación de estos compuestos tóxicos.

5.8.4 OTRAS OPCIONES

En el año 2015 se realizó un proyecto con drones, esta fue una técnica innovadora utilizada para el seguimiento de masas forestales afectadas por parásitos e insectos de los bosques como *G. scutellatus*, entre otros. Así, a pesar de que esta técnica todavía está en desarrollo, los investigadores indican que, con el tiempo, se podría utilizar como una metodología complementaria para calcular los índices de vegetación,

los muestreos de campo y el uso de satélites para facilitar la captura de datos y análisis de imágenes (Alonso *et al.*, 2017).

Los semioquímicos son utilizados como un método de manejo de plagas con un acercamiento amigable con el ambiente. Estos métodos incluyen la disrupción del apareamiento (“*mating disruption*”), la trampa en masa (“*mass trapping*”) y el método de capturar y matar (“*lure and kill*”). La disrupción del apareamiento se basa en el principio de evitar la comunicación de feromonas entre los insectos, porque el ambiente se satura de feromonas. Los insectos se desorientan y no logran reproducirse, haciendo que sea más fácil capturarlos por los otros dos métodos. El método capturar y matar y de trampa en masa son similares, en el primero el insecto debe acercarse a la trampa que son generalmente gotículas estratégicamente colocadas y tener contacto con ellas. En el otro método el contacto no es necesario, porque la superficie de la trampa es mucho mayor; sin embargo, para ver resultados positivos se necesita que esta trampa capture una gran cantidad de machos cuando la población es todavía numerosa, pero las mismas trampas aplicadas a hembras son ineficientes. En todos los casos, es necesario analizar el tamaño de la población de la plaga, nivel de aislamiento, etc. De estos tres métodos la disrupción del apareamiento es el método más utilizado en el manejo de plagas (El-Sayed *et al.*, 2006)

Otra metodología que está siendo muy estudiada y permite identificar las plagas en el campo es la teledetección. Al analizar los espectros de luz visible e infrarroja cercana se puede determinar de qué plaga se trata, porque las hojas van a presentar clorosis, o reducción del área foliar, o ambos (Álvarez Taboada *et al.*, 2005). Estudios realizados con *G. scutellatus* demuestran que las distintas especies de eucaliptos van a reducir el nivel de clorofila y también a producir antocianinas en caso de estrés (Lottering, Mutanga y Peerbhay, 2018).

Pero, para ello hay que tomar en cuenta las interacciones planta-insecto, el ciclo de vida del insecto, el clima, la topografía y considerar que las características de densidad de los bosques afectan a la respuesta espectral (Álvarez Taboada *et al.*, 2005).

En la actualidad se utilizan índices de área foliar, sistemas de teledetección y modelos de mezclas para estimar el grado de defoliación de masas forestales, allí se

optimizan a resoluciones espaciales los índices de vegetación para representar los niveles de defoliación, el nivel de salud de la vegetación, detectar los primeros síntomas de declive de la misma e incluso para detectar y monitorear la presencia del gorgojo (Álvarez Taboada *et al.*, 2005; Lottering y Mutanga, 2016; Lottering *et al.*, 2018).

Por ejemplo, la resolución espacial adecuada para detectar a *G. scutellatus* en el bosque es de 1.25, 1.25, 1.75 y 2.25 m de tamaño del píxel para detectar niveles bajos, medios, altos y severos de defoliación respectivamente (Lottering y Mutanga, 2016). Asimismo, mediante el uso de redes neuronales artificiales se puede determinar la relación entre la resolución espacial, el porcentaje de defoliación y el área foliar. Así, al utilizar estos modelos, se puede detectar eficientemente los niveles de daño causados por el gorgojo, consecutivamente se podría mapear el grado de daño causado (Lottering *et al.*, 2018).

6. CONCLUSIONES

El ingreso del gorgojo en el país afectaría principalmente a las plantaciones de eucaliptos de las provincias de la sierra ecuatoriana y algunas de las plantaciones comerciales de la costa, con un total plantado de alrededor de 61.500 ha a un costo aproximado de: 100 millones de dólares, de acuerdo con datos obtenidos entre 1995 - 2000. De esta manera se demostró la importancia que tienen las plantaciones de eucaliptos en el país, y como la llegada del insecto afectarían a sus poblaciones, tanto por su impacto ecológico como económico.

Entender los efectos que el clima y la temperatura tienen sobre el gorgojo en otros países nos ayudaría a estimar el posible desarrollo del insecto en nuestro país, además de que permitiría deducir su posible distribución, al utilizar programas predictivos de distribución de especies, tomando esta información como variables; sin embargo, es necesario continuar realizando búsquedas en el campo.

En el presente trabajo se indicaron algunos métodos eficaces de control del gorgojo, por ejemplo el uso de *A. nitens* y *Podisus nigrispinus*, el bioinsecticida producido a partir de *Schinus molle* e insecticidas amigables con el ambiente como flufenoxurom y azaridactina. Técnicas innovadoras como el uso de drones y la teledetección. Aun así, es necesario aplicar programas de control biológico que puedan controlar las poblaciones del complejo de especies del gorgojo cuando se establezcan en Ecuador, ya que puede que no todas sean igual de efectivas.

Se detalló la distribución mundial del gorgojo, el tiempo promedio que le lleva pasar de estadio para completar su ciclo de vida, además de la preferencia que tiene por alimentarse de ciertas especies de eucaliptos y su comportamiento durante el cortejo, entre otros datos relevantes.

7. GLOSARIO

Alelopatía: fenómeno que provoca una planta cuando libera compuestos químicos al ambiente, para inhibir o retardar el crecimiento y desarrollo de otra planta. Los efectos pueden ser positivos, negativos o neutros (Kim, Shin y Labrada, 2004; Quevedo, 2005).

Complejo de especies crípticas: grupo de especies que son morfológicamente idénticas pero que se diferencian genéticamente y se encuentran aisladas reproductivamente unas de otras (Rossano, 2015).

Esclerito: placa endurecida de cutícula, que, dependiendo de la zona en la que se encuentren: pleura, tergo o externo tomarán distintos nombres: pleurito, tergito o esternito. En el caso de las estructuras de los genitales, estas estarán asociadas a escleritos abdominales (Osuna, 1995).

Esternito: tipo de esclerito que forma parte del exoesqueleto de los insectos. “cada una de las placas transversales en el lado ventral del mesosoma” (biodiversidadvirtual.org, 2011).

Multiparasitismo: cuando las hembras de más de una especie de parasitoide colocan sus huevos en un hospedero (Valente *et al.*, 2019).

Ooteca: cápsula que contiene los huevos de algunos artrópodos, los huevos son rodeados por una proteína y dependiendo de la especie, la ooteca va a contener más o menos huevos en su interior. La construcción de ootecas parece estar relacionada con las estaciones del año (Aroca Hervás, 2018).

Parasitoide: organismo, generalmente himenóptero, que ataca a otro insecto y mata a su hospedero al completar su ciclo de vida. Los parasitoides presentan modificaciones especiales en sus ovoposidores que los hacen específicos para sus depredadores, pueden desplazarse independientemente para parasitar a sus presas (Nieto, s/f).

Plaga cuarentenaria: un tipo de plaga que afecta económicamente y / o ambientalmente a un país, y que ha sido o no introducida, en una zona (FAO, 2006).

Semioquímicos: dícese de las sustancias naturales que permiten la comunicación entre individuos de una misma especie, siendo las feromonas uno de los semioquímicos más conocidos. Últimamente son utilizados en el campo del control de plagas (Jones, 2008).

Superparasitismo: cuando la hembra de una especie de parasitoide coloca más de un huevo en un hospedero (Valente *et al.*, 2019).

8. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Solis, M. (1949). El eucalipto en el Ecuador. Editorial Ecuador, pp. 7, 8, 42.
- Agarwal, M., Ren, Y., Newman, J. y Learmonth, S. (2015). Ethyl formate: a potential disinfestation treatment for eucalyptus weevil (*Gonipterus platensis*) (Coleoptera: Curculionidae) in apples. *Journal of economic entomology*, 108(6), 2566-2571.
- Agrocalidad. (s/f). *Achatina fulica*. Recuperado de:
<http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/dcz/4di-ficha-caracol-africano.pdf>
 (7/11/2019).
- Allendorf, F. W. y Lundquist, L. L. (2003). Introduction: population biology, evolution, and control of invasive species. *Conservation Biology*, 17(1), 24-30.
- Alonso, M. J. C., Muñoz, P. M., Ayuga, J. R., Barbero, R. E., Blázquez, M. y Zamarrón, A. R. (2017). Primeras experiencias en el uso de drones para aplicaciones de teledetección en el Grupo Tragsa: lecciones aprendidas.
- Álvarez Taboada, M. F., Lorenzo Cimadevilla, H., Rodríguez Pérez, J. R., Picos Martín, J. y Valero Gutiérrez del Olmo, E. (2005). Detección de áreas forestales afectadas por el ataque de insectos empleando teledetección y sistemas de información geográfica. Aplicación a las masas de eucalipto afectadas por *Gonipterus scutellatus* en Galicia.
- Argüelles, L. C. (2006). Especies exóticas invasoras: diagnóstico y bases para la prevención y manejo. Organismo Autónomo Parques Nacionales. España, pp. 17-26, 33, 72, 110.
- Aroca Hervás, M. (2018). Mantis: qué es una ooteca. Macronaturaleza. Recuperado de:
<http://macronaturaleza.com/entomologia/mantis-que-es-una-ooteca/> (15/07/2019).
- Barragán, A. (2005). *Identificación, biología y comportamiento de las polillas de la papa en el Ecuador*, 1–11. Ecuador: PROMSAMAG, PUCE.
- Begon, M., Townsend, C. R. y Harper, J. L. (2006). *Ecology: from individuals to ecosystems*, pp. 112, 192, 199, 447, 450.
- Biodiversidadvirtual.org. (2011). Esternito. Recuperado de:
<https://www.biodiversidadvirtual.org/taxofoto/glosario/848> (9/11/2019).
- Bouwer, M. C., Slippers, B., Wingfield, M. J. y Rohwer, E. R. (2014). Chemical signatures affecting host choice in the *Eucalyptus* herbivore, *Gonipterus* sp. (Curculionidae: Coleoptera). *Arthropod-Plant Interactions*, 8(5), 439-451.
- CABI. (2015). Invasive species compendium: Datasheets, maps, images, abstracts and full text on invasive species of the world. Recuperado de: www.cabi.org/isc/datasheet/25719 (18/06/2019).

- ^a CABI (2019). *Cherax cainii* (smooth marron). Recuperado de: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/89136> (11/11/2019).
- ^b CABI (2019). *Ulex europaeus* (gorse). Recuperado de: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/55561> (11/11/2019).
- Carrillo Trueba, C. (1991). La conquista biológica de América. *Ciencias* núm. 23, julio-septiembre, Universidad Nacional Autónoma de México, 42-58.
- Causton C, F Cunninghame and W Tapia. (2013). Management of the avian parasite *Philornis downsi* in the Galapagos Islands: A collaborative and strategic action plan. Pp. 167-173. In: Galapagos Report 2011-2012. GNPS, GCREG, CDF and GC. Puerto Ayora, Galapagos, Ecuador.
- Chiffelle, Í., Huerta, A., Sandoval, C. A. y Araya, J. E. (2017). Insecticide effect of leaf extracts from *Schinus molle* on larvae of *Gonipterus platensis*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 70(3), 8263-8270.
- Chun, Y. J., Van Kleunen, M. y Dawson, W. (2010). The role of enemy release, tolerance and resistance in plant invasions: linking damage to performance. *Ecology Letters*, 13(8), 937-946.
- Clarke, A. R., Paterson, S. y Pennington, P. (1998). *Gonipterus scutellatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) oviposition on seven naturally co-occurring *Eucalyptus* species. *Forest ecology and management*, 110(1-3), 89-99.
- Cook, D. C., Thomas, M. B., Cunningham, S. A., Anderson, D. L. y De Barro, P. J. (2007). Predicting the economic impact of an invasive species on an ecosystem service. *Ecological Applications*, 17(6), 1832-1840.
- Diamond, J. (2005). *Colapso: Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen*. Debolsillo, pp. 14, 233, 234.
- Diaz Fonseca, S. X., & Molano Morales, M. A. (2001). Cuantificación y valoración económica de la captura de CO2 por plantaciones del genero *Eucalyptus*, establecidas por el PRECA en las cuencas carboníferas de Cesar, Valle del Cauca, Cauca, y el Altiplano Cundiboyacense.
- Echeverri-Molina, D. y Santolamazza-Carbone, S. (2010). Toxicity of synthetic and biological insecticides against adults of the *Eucalyptus* snout-beetle *Gonipterus scutellatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of pest science*, 83(3), 297-305.
- Eucalyptologics. 2008. Cultivated Eucalypt Forests Global Map 2008 (v 1.0). Recuperado de: <http://git-forestry-blog.blogspot.com/2008/09/eucalyptus-global-map-2008-cultivated.html> (18/11/2019).

- Eiswerth, M. E. y Van Kooten, G. C. (2002). Uncertainty, economics, and the spread of an invasive plant species. *American journal of agricultural economics*, 84(5), 1317-1322.
- El-Sayed, A. M., Suckling, D. M., Wearing, C. H. y Byers, J. A. (2006). Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. *Journal of economic entomology*, 99(5), 1550-1564.
- EPPO. (2016). *Gonipterus scutellatus* GONPSC. Distribution. Recuperado de: <https://gd.eppo.int/taxon/GONPSC/distribution> (19/06/2019).
- Espinosa-García, F. J. (1996). Revisión sobre la alelopatía de *Eucalyptus* L'Herit. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 58, 55-74.
- Estay, S., Araya, J. E. y Guerrero, M. A. (2002). Biología de *Gonipterus scutellatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) en San Felipe, Chile. *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas*, 28, 391-397.
- Estay, S., Araya, J. E. y Guerrero, M. A. (2004). Proporción sexual atípica de “*Gonipterus scutellatus*” Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) en Chile. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, 30(2), 327-330.
- EUCLID. Learn about Eucalypts. Recuperado de: <https://www.anbg.gov.au/cpbr/cd-keys/euclid3/euclidsample/html/learn.htm> (11/05/2019).
- FAO. (2006). Glosario de términos fitosanitarios. INMF No 5. Roma, p. 15. Recuperado de: https://www.ippc.int/largefiles/adopted_ISPMs_previousversions/es/ISPM_05_2006_Es_2006-08-18.pdf (20/07/2019).
- FAO. (2003). *Identification of risks and management of invasive alien species using the IPPC framework*. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/008/y5968e/y5968e07.htm> (11/12/2018).
- FAO. (1981). *El eucalipto en la repoblación forestal*. Italia, pp. 77, 78, 154, 250-259. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-ac459s.pdf> (11/06/2019).
- Fessl, B., & Tebbich, S. (2002). *Philornis downsi*—a recently discovered parasite on the Galápagos archipelago—a threat for Darwin's finches?. *Ibis*, 144(3), 445-451.
- García Serrano, F. (2007). II Congreso Ecuatoriano de Antropología y Arqueología: balance de la última década: aportes, retos y nuevos temas, 446-448, 464, 465.
- Granda, P. (2006). Monocultivos de árboles en Ecuador. *Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales. Acción Ecológica. Quito*, 45, 46, 54, 59 - 64, 66-70, 78.
- Grijalva, J., Checa, X., Ramos, R., Barrera, P. y Limongi, R. (2012). *Situación de los Recursos Genéticos Forestales—Informe País Ecuador. Preparado por el Programa Nacional de Forestería del INIAP con aval del INIAP* (p. 95). FAO/MAE/MAGAP/MMRREE.

Documento sometido a la Comisión Forestal de la FAO-Roma, para preparación del Primer Informe sobre el Estado de los Recursos Genéticos Forestales en el Mundo.

- Harari, Y. N. (2014). *Sapiens. De animales a dioses: Una breve historia de la humanidad*. Debate, pp. 212, 213, 317-320.
- Heger, T. y Jeschke, J. M. (2014). The enemy release hypothesis as a hierarchy of hypotheses. *Oikos*, 123(6), 741-750.
- Hernández, A. (2012). El uso del eucalipto en reforestaciones. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático.
- Hoddle, M. S. (2004). Restoring balance: using exotic species to control invasive exotic species. *Conservation Biology*, 18(1), 38-49.
- Holmes, T. P., Aukema, J. E., Von Holle, B., Liebhold, A. y Sills, E. (2009). Economic impacts of invasive species in forests. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162(1), 18-38.
- Holway, D.A. y Suarez, A.V. (1999) Animal behaviour: an essential component of invasion biology. *Trends in Ecology and Evolution*, 14, 328–330.
- Huerta Fuentes, A., Chiffelle Gómez, I., Serrano, G. y Vásquez, T. (2007). Perfiles proteicos de estados de desarrollo de *Gonipterus scutellatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 33 (2): 98-103.
- Hulme, P. E. (2009). Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *Journal of applied ecology*, 46(1), 10-18.
- ISSG. (2005). El programa mundial sobre especies invasoras. Invasive Species Specialists Group. Recuperado de:
<http://www.issg.org/pdf/publications/GISP/Resources/SAmericaInvaded-ES.pdf>
 (9/11/2019).
- Jeschke, J. M. (2014). General hypotheses in invasion ecology. *Diversity and Distributions*, 20(11), 1229-1234.
- Jones, O. (2008). Semioquímicos en el manejo de plagas: ¿qué se ha conseguido durante los últimos 20 años y cuál es el futuro? *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, (198), 33-36.
- Kawasaki, M. L., Holst, B. K., & Pérez, A. J. (2019). *Flora of Ecuador: Myrtaceae*/by Maria Lúcia Kawasaki, Bruce K. Holst and Alvaro J. Pérez. Department of Biological and Environmental Sciences, University of Gothenburg, pp. 5-8.

- Keller, R. P., Lodge, D. M. y Finnoff, D. C. (2007). Risk assessment for invasive species produces net bioeconomic benefits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(1), 203-207.
- Kim, K. U., Shin, D. H. y Labrada, R. (2004). La importancia de la alelopatía en la obtención de nuevos cultivares. *Manejo de malezas para países en desarrollo*. En: capítulo 3: Opciones de manejo y perspectivas.
- Labrada, R. (2015). Revisión de la lista de malezas cuarentenarias de Ecuador. *La Técnica*, (15), 58-68.
- Lee, C. E. (2002). Evolutionary genetics of invasive species. *Trends in ecology & evolution*, 17(8), 386-391.
- León, H. (2006) Caracterización del bosque de *Eucalyptus globulus* de la hacienda El Prado. Informe del proyecto de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agropecuario. Sangolquí, Escuela Politécnica del Ejército.
- León-Yáñez, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa, C. y Navarrete, H. (Ed.). (2011). *Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador*. Segunda edición. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Leung, B., Lodge, D. M., Finnoff, D., Shogren, J. F., Lewis, M. A. y Lamberti, G. (2002). An ounce of prevention or a pound of cure: bioeconomic risk analysis of invasive species. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 269(1508), 2407-2413.
- Lindenmayer, D. B., Hobbs, R. J. y Salt, D. (2003). Plantation forests and biodiversity conservation. *Australian Forestry*, 66(1), 62-66.
- Liu, H. y Stiling, P. (2006). Testing the enemy release hypothesis: a review and meta-analysis. *Biological invasions*, 8(7), 1535-1545.
- Llumiguano Guamán, R. A. (2018). *Evaluación de agentes biológicos para el control y mitigación del daño ocasionado por *Ralstonia solanacearum* en Eucalipto Tropical a nivel de vivero, en la hacienda Los Ángeles, cantón Buena Fé, provincia de Los Ríos* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Loch, A. D. y Floyd, R. B. (2001). Insect pests of Tasmanian blue gum, *Eucalyptus globulus globulus*, in south-western Australia: History, current perspectives and future prospects. *Austral Ecology*, 26(5), 458-466.
- Lottering, R. y Mutanga, O. (2016). Optimising the spatial resolution of WorldView-2 pan-sharpened imagery for predicting levels of *Gonipterus scutellatus* defoliation in

- KwaZulu-Natal, South Africa. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 112, 13-22.
- Lottering, R., Mutanga, O. y Peerbhay, K. (2018). Detecting and mapping levels of *Gonipterus scutellatus*-induced vegetation defoliation and leaf area index using spatially optimized vegetation indices. *Geocarto international*, 33(3), 277-292.
- Mansilla Vázquez, J. P. (1992). Presence on *Eucalyptus globulus* Labill of *Gonipterus scutellatus* Gyll. (Col. Curculionidae) in Galicia. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas (España)*.
- Mansfield, S. (2016). New communities on eucalypts grown outside Australia. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1812.
- Mapondera, T., Burgess, T., Matsuki, M. y Oberprieler, R. (2012). Identification and molecular phylogenetics of the cryptic species of the *Gonipterus scutellatus* complex (Coleoptera: Curculionidae: Gonipterini). *Australian Journal of Entomology*, 51(3), pp.175-188.
- Marelli, C. A. (1927). El gorgojo de los eucaliptos hallado en la Argentina [No es la especie originaria de Tasmania *Gonipterus scutellatus* Gyll.]. *Revista del Museo de La Plata*, 30, 257-269.
- Margolis, M., Shogren, J. F. y Fischer, C. (2005). How trade politics affect invasive species control. *Ecological Economics*, 52(3), 305-313.
- Martínez Guzmán, C. E. (2018). *Evaluación de las propiedades físicas-químicas de Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), en el sector de Fumisa, cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- May, B. M. (1993). Larvae of Curculionoidea (Insecta: Coleoptera): a systematic overview. *Fauna of New Zealand*, 28.
- Mazza, G., Abbazzi, P., Andriolo, L., Inghilesi, A. F., Marziaj, G., Sposimo, P., Zoccola, A. y Gherardi, F. (2012). *Gonipterus scutellatus* sl in Montecristo Island (Tuscany): should its first introduction to the Palearctic region be backdated to the 19th century? (Coleoptera Curculionidae). *Bollettino della Società entomologica italiana*, 19-22.
- Mazza, G., Tricarico, E., Genovesi, P. y Gherardi, F. (2014). Biological invaders are threats to human health: an overview. *Ethology Ecology & Evolution*, 26(2-3), 112-129.
- Messing, R. H. y Wright, M. G. (2006). Biological control of invasive species: solution or pollution? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(3), 132-140.
- Ministerio del Ambiente (2013). Plan Nacional de Forestación y Reforestación. Edición Especial N°47, Acuerdo N° 010, p. 7 Recuperado de: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155382.pdf> (12/10/2019).

- Ministerio del Ambiente (2014). Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional, Exploración inicial 2008-2012. Cuenta Forestal Maderable. Quito, pp. 23, 24. Recuperado de: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/242984/3.+Cuenta+Forestal+Maderable.pdf/b5847284-adf6-4fdc-803e-a88b9a26980e;jsessionid=U7A1bX0l+VIB4QYLcbaOARqM?version=1.0> (12/10/2019).
- Mooney, H. A. y Cleland, E. E. (2001). The evolutionary impact of invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(10), 5446-5451.
- Mora, V., Uyaguari, M., & Osorio, V. (2004). Situación actual de las especies introducidas en el Ecuador con fines acuícolas. *Escuela Superior Politécnica del Litoral*.
- Mulyono, A., Subardja, A., Ekasari, I., Lailati, M., Sudirja, R., & Ningrum, W. (2018, February). The Hydromechanics of Vegetation for Slope Stabilization. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 118, No. 1, p. 012038). IOP Publishing.
- Muñoz Caiza, L. I. (2018). *Evaluación de la eficiencia del ácido indolbutírico (AIB) en el enraizamiento de mini estacas de Eucalyptus urophylla x grandis (Eucalypto urograndis), cantón Buena Fe, provincia Los Ríos* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Nascimento, L. I., Soliman, E. P., Zauza, E. Â. V., Stape, J. L., & Wilcken, C. F. (2017). First global record of Podisus nigripinus (Hemiptera: Pentatomidae) as predator of Gonipterus platensis (Coleoptera: Curculionidae) larvae and adults. *Florida Entomologist*, 100(3), 675-678.
- Nespolo, R. F. (2000). Desempeño fisiológico, estacionalidad y plasticidad fenotípica en pequeños mamíferos: microevolución de la capacidad de cambio en rasgos termorregulatorios. *Revista chilena de historia natural*, 73(3), 553-563.
- Newete, Solomon Wakshim. *Validity of realized vs. fundamental host range of insects used as biocontrol agents of invasive alien weeds: Eucalyptus weevil (Gonipterus scutellatus) as a test case*. Diss. 2010.
- Nieto, P. Parasitoidismo. Recuperado de: <http://controlbiologico.info/index.php/es/informacion-sobre-control-biologico-de-plagas/114-info-general/159-infogralparasitoides-2> (18/07/2019).
- Onore, G., & Maza, F. (2003). Notas biológicas sobre *Phoracantha semipunctata* (Coleoptera: Cerambycidae) y entomofauna asociada al género *Eucalyptus* (Myrtaceae) en el Ecuador. *Revista PUCE*, 71(9), 61-77.

- Osuna, E. (1995). *Morfología del exoesqueleto de los insectos*. Volumen 1: origen y evolución, el exoesqueleto. Universidad Central de Venezuela. Caracas, p. 78.
- Pejchar, L. y Mooney, H. A. (2009). Invasive species, ecosystem services and human well-being. *Trends in ecology & evolution*, 24(9), 497-504.
- Phytoma. (2019). *Gonipterus* provoca unas pérdidas de 235 millones de euros en la cornisa cantábrica. Recuperado de: <https://www.phytoma.com/noticias/noticias-de-actualidad/gonipterus-provoca-unas-perdidas-economicas-de-235-millones-de-euros-en-la-cornisa-cantabrica> (11/07/2019).
- Plurifor (2018). Plan de riesgo para el gorgojo del eucalipto, *Gonipterus platensis*. Recuperado de: https://plurifor.efi.int/wp-content/uploads/WP2/plans/Gonipterus-platensis-risk-plan_ES.pdf (14/07/2019).
- Poore, M. E. D. y Fries, C. (1987). Efectos ecológicos de los eucaliptos, pp. 7, 13.
- Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R. y Morrison, D. (2000). Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *BioScience*, 50(1), 53-66.
- Pyšek, P. y Richardson, D. M. (2010). Invasive species, environmental change and management, and health. *Annual review of environment and resources*, 35, 25-55.
- Quevedo, A. M. F. (2005). *Diccionario didáctico de ecología*. Segunda edición. Editorial Universidad de Costa Rica, pp. 22.
- Ramírez López, J. L., Avila, C., & Jaime, E. (2019). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus grandis* W. Hill. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(1), 86-97
- Ramos, R y Sepúlveda Escalona, E. 2011. Protocolo de multiplicación de *Anaphes nitens* en laboratorio, alternativa para abastecer a zonas del centro de Chile. Recuperado de: http://controlbiologico.info/index.php/es/publicaciones/item/protocolo-de-multiplicacion-de-anaphes-nitens-en-laboratorio-alternativa-para-abastecer-a-zonas-del-centro-de-chile?category_id=25 (17/05/2019).
- Remache Reinoso, F. M. (2018). *Evaluación del efecto de microorganismos antagonistas en el control de la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum* EF Smith), presente en plantaciones de Eucalipto tropical (*Eucalyptus urograndis*) en la Hacienda Los Ángeles, cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Riquelme Virgala, M., Di Silvestro, G., Martínez, C., Santadino, M., Poretti, T., Ansa, A. y Coviella, C. (2018). Consumo larval y preferencia de oviposición de *Gonipterus*

- pulverulentus* (Coleoptera: Curculionidae) asociados a distintas especies de *Eucalyptus* (Myrtaceae). *Bosque (Valdivia)*, 39(2), 291-297.
- Rivera, A. C. y Carbone, S. S. (2003). *Eucalyptus Gonipterus* y *Anaphes*: un ejemplo de control biológico en un sistema tri-trófico. En *Actas del Simposio internacional de socioeconomía, tecnología, patología y sostenibilidad del eucalipto* (pp. 81-94).
- Rodas, P.C.A. 2016. Alerta fitosanitaria en Colombia. Gorgojo del Eucalipto *Gonipterus* spp. Smurfit Kappa. Programa de Protección Fitosanitaria.
- Rosado-Neto, G. H. y Marques, M. I. (1996). Characteristics of adult, genitalia and immature forms of *Gonipterus gibberus* Boisduval and *G. scutellatus* Gyllenhal (Coleoptera, Curculionidae). *Revista Brasileira de Zoologia*, 13(1), 77-90.
- Rossano, J. (2015). The Skipper Butterfly: a cryptic species complex. Cold Spring Harbor Laboratory DNA Learning Center. Recuperado de: <http://museum.dnalc.org/bold/crypticspecies.html> (01/07/2019).
- Roy, H. E., Handley, L. J. L., Schönrogge, K., Poland, R. L. y Purse, B. V. (2011). Can the enemy release hypothesis explain the success of invasive alien predators and parasitoids? *BioControl*, 56(4), 451-468.
- Rozefelds, A. C. (1996). *Eucalyptus* phylogeny and history: a brief summary. *TASFORESTS-HOBART-*, 8, 15-26.
- Santolamazza Carbone S. y Cordero Rivera, A. (1998). Sperm competition, cryptic female choice and prolonged mating in the Eucalyptus Snout-Beetle, *Gonipterus scutellatus* (Coleoptera, Curculionidae). *Etologia*, 6, 33-40.
- Santolamazza Carbone, S. y Cordero Rivera, A. (2003). Fertility and paternity in the Eucalyptus snout-beetle *Gonipterus scutellatus*: females might benefit from sperm mixing. *Ethology Ecology & Evolution*, 15(3), 283-294.
- ^a Santolamazza-Carbone, S. y Fernández de Ana-Magán, F. J. (2004). Testing of selected insecticides to assess the viability of the integrated pest management of the Eucalyptus snout-beetle *Gonipterus scutellatus* in north-west Spain. *Journal of applied entomology*, 128(9-10), 620-627.
- ^b Santolamazza-Carbone, S. y Fernández de Ana-Magán, F. J. (2004). Efectos de dos insecticidas de síntesis y de dos bio-insecticidas sobre el defoliador del eucalipto “*Gonipterus scutellatus*” Gyllenhal y su agente de control biológico “*Anaphes nitens*” Girault.
- Santolamazza-Carbone, S., Rodríguez-Illamola, A. y Rivera, A. C. (2004). Host finding and host discrimination ability in *Anaphes nitens* Girault, an egg parasitoid of the

- Eucalyptus* snout-beetle *Gonipterus scutellatus* Gyllenhal. *Biological Control*, 29(1), 24-33.
- Santolamazza Carbone, S., Rodríguez-Illamola, A. y Cordero Rivera, A. (2006). Thermal requirements and phenology of the *Eucalyptus* snout beetle *Gonipterus scutellatus* Gyllenhal. *Journal of Applied Entomology*, 130(6-7), 368-376.
- Santolamazza-Carbone, S., Nieto, M. P. y Rivera, A. C. (2007). Maternal size and age affect offspring sex ratio in the solitary egg parasitoid *Anaphes nitens*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 125(1), 23-32.
- Santolamazza Carbone, S., Nieto, M. P. y Rivera, A. C. (2008). Egg resorption behaviour by the solitary egg parasitoid *Anaphes nitens* under natural conditions. *Entomologia experimentalis et applicata*, 127(3), 191-198.
- Schröder, M. L., Slippers, B., Wingfield, M. J., & Hurley, B. P. (2019). Invasion history and management of *Eucalyptus* snout beetles in the *Gonipterus scutellatus* species complex. *Journal of Pest Science*, 1-15.
- Secretaría de Ambiente. 2013. Diagnóstico de la Situación Forestal del Distrito Metropolitano de Quito. DMQ. Quito, pp. 13, 14, 42. Recuperado de: http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/phocadownload/patrimonio_natural/DIAGNOSTICO%20FORESTAL%20DMQ%202013.pdf (29/06/2019).
- Smee, C. (1937). The eucalyptus weevil, *Gonipterus scutellatus* Gyll. in Nyasaland. *The East African Agricultural Journal*, 3(3), 173-175.
- Stohlgren, T. J. y Schnase, J. L. (2006). Risk analysis for biological hazards: what we need to know about invasive species. *Risk Analysis: An International Journal*, 26(1), 163-173.
- Toral-Granda, M. V., Causton, C. E., Jäger, H., Trueman, M., Izurieta, J. C., Araujo, E., Cruz, M., Zander, K. K., Izurieta, A. y Garnett, S. T. (2017). Alien species pathways to the Galapagos Islands, Ecuador. *PloS one*, 12(9).
- Valente, C., Gonçalves, C. I., Monteiro, F., Gaspar, J., Silva, M., Sottomayor, M., Paiva, M. R. y Branco, M. (2018). Economic outcome of classical biological control: a case study on the *Eucalyptus* snout beetle, *Gonipterus platensis*, and the parasitoid *Anaphes nitens*. *Ecological economics*, 149, 40-47.
- Valente, C., Afonso, C., Gonçalves, C. I. y Branco, M. (2019). Assessing the competitive interactions between two egg parasitoids of the *Eucalyptus* snout beetle, *Gonipterus platensis*, and their implications for biological control. *Biological Control*, 130, 80-87.

- Varela, L. A., Ron, S. R. 2018. Geografía y clima del Ecuador. BIOWEB. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Recuperado de: <https://bioweb.bio/geoclima/> (1/11/2019).
- Vergara, R. 2016. *Gonipterus* complejo *scutellatus*: Nueva plaga del eucalipto en Colombia que llegó hace cerca de 20 años. Metroflor. Recuperado de: <http://www.metroflorcolombia.com/gonipterus-complejo-scutellatus-nueva-plaga-del-eucalipto-en-colombia-llego-en-cerca-de-20-anos/> (20/07/2019).
- von Aesch, L. (2006). *Introduced ants in Galápagos (Floreana Island): importance of competition, coexistence and aggressive behaviors*. Tesis doctoral, Verlag nicht ermittelbar. Université de Lausanne, pp. 24, 33-35.
- Wauters, N., Dekoninck, W., Herrera, H. W., & Fournier, D. (2014). Distribution, behavioral dominance and potential impacts on endemic fauna of tropical fire ant *Solenopsis geminata* (Fabricius, 1804) (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae) in the Galápagos archipelago. *The Pan-Pacific Entomologist*, 90(4), 205-221.
- Westphal, M. I., Browne, M., MacKinnon, K. y Noble, I. (2008). The link between international trade and the global distribution of invasive alien species. *Biological Invasions*, 10(4), 391-398.
- Wilcken, C. F., Berti Filho, E., Ferreira Filho, P. J., de Oliveira, N. C., Dal Pogetto, M. H. F. A. y Soliman, E. P. (2008). Plagas exóticas de importância em *Eucalyptus* en Brasil. In *Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RIOS, 23, 2008, Concórdia, Argentina. Anales. Concórdia: INTA, 2008. 5p.
- Williamson, M., & Griffiths, B. (1996). *Biological invasions*. Springer Science & Business Media, pp. 33-35.
- Withers, T. M. (2001). Colonization of eucalyptus in New Zealand by Australian insects. *Austral Ecology*, 26(5), 467-476.
- Wittenberg, R. y JW Cock, M. (2001). Especies exóticas invasoras: Una guía sobre las mejores prácticas de prevención y gestión.

9. FIGURAS

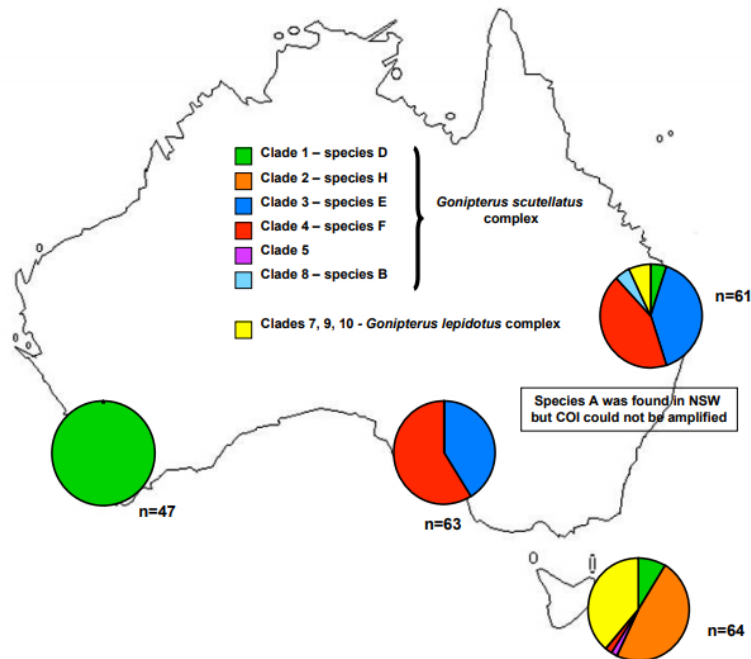


Figura 1. Composición regional del complejo de especies de *Gonipterus scutellatus* en Australia. Tomado de: Mapondera, 2008.

Únicamente los clados-especies: 1-D (verde), 3-E (azul), 4-F (rojo), 8-B (celeste) y 7, 9, 10 (amarillo) se encuentran en Australia. Se observa una diferente distribución en parte del país; porque en el sudoeste se observa la distribución endémica del clado 1, sin más representantes, esto contrasta con aquellos clados presentes en la parte del este donde sí hay más variedad, cosa que también se observa en Tasmania.



Figura 2. Parasitoide. Individuo de *Anaphes nitens*. Tamaño a escala.

a)

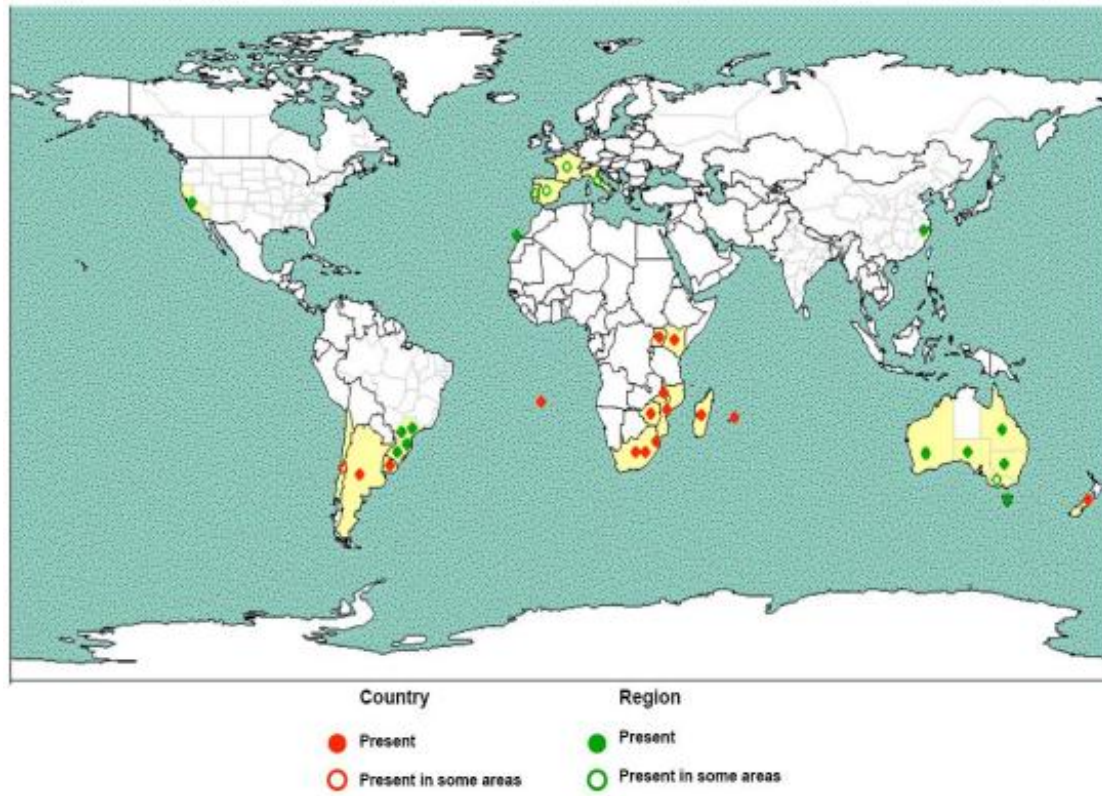


b)

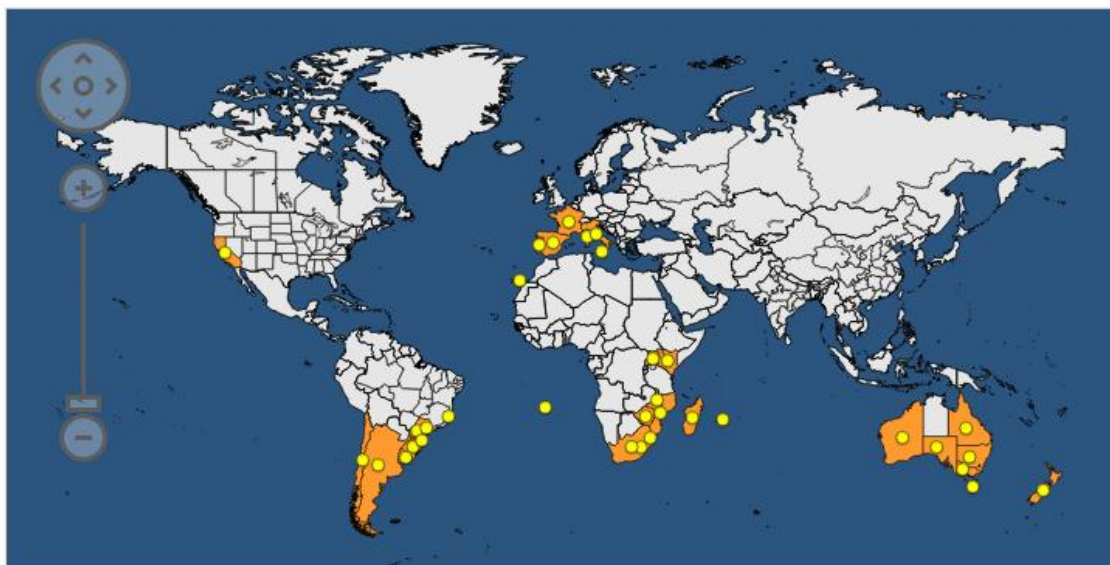


Figura 3. Presencia de *Gonipterus scutellatus* en manzanas. a) sobre manzanas b) individuo agarrado del peciolo. Tomado de: Vergara, 2016.

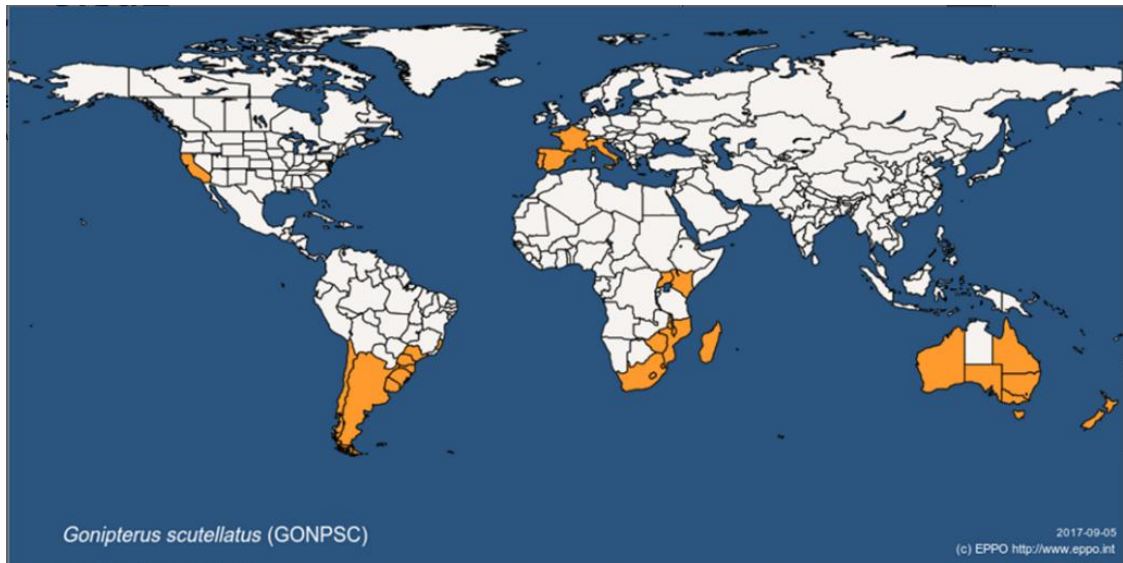
a)



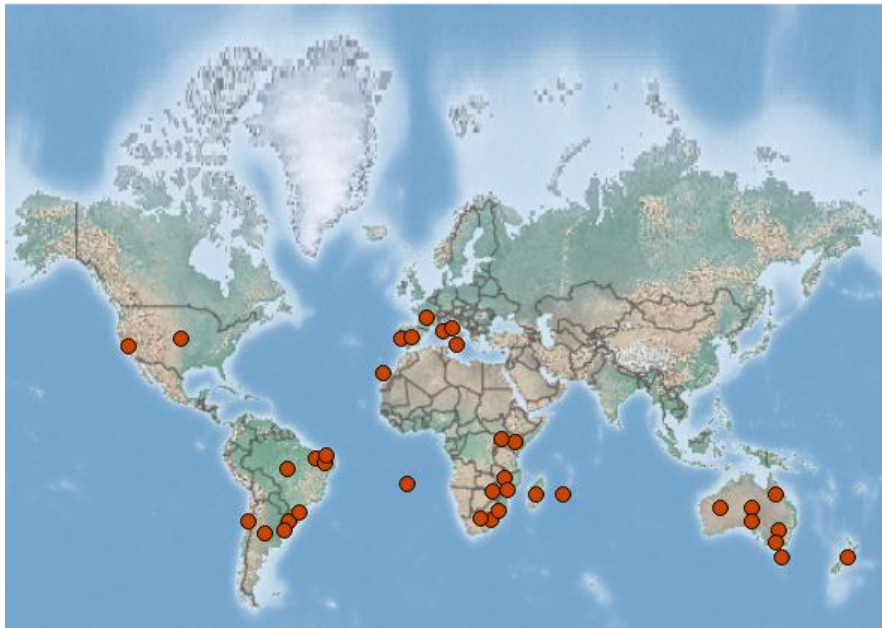
b)



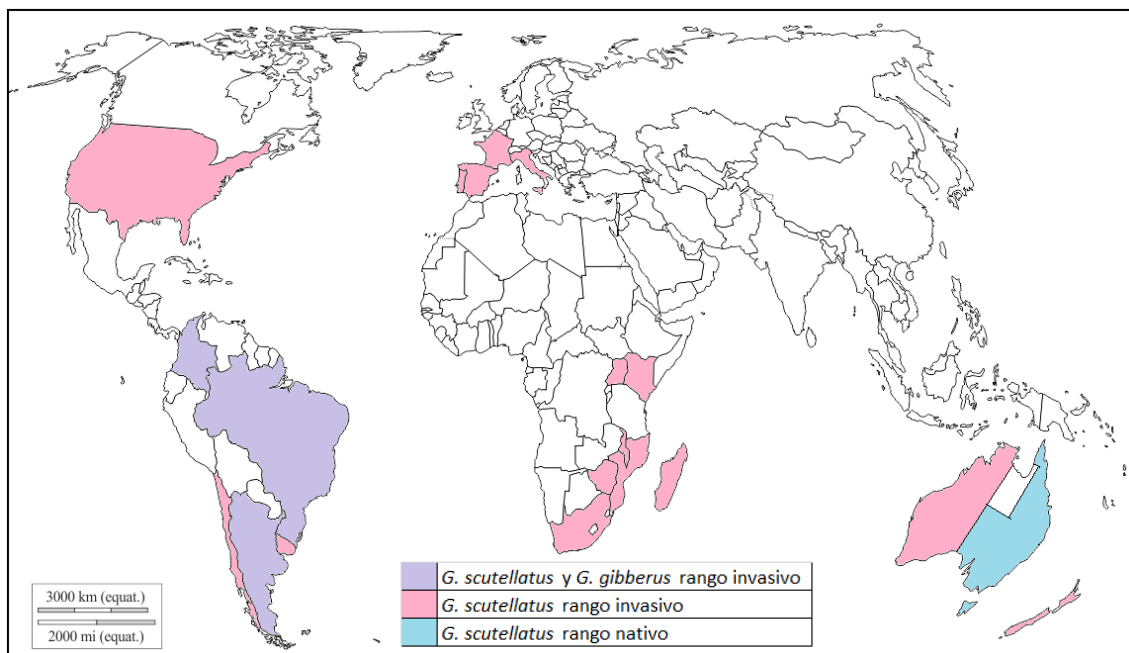
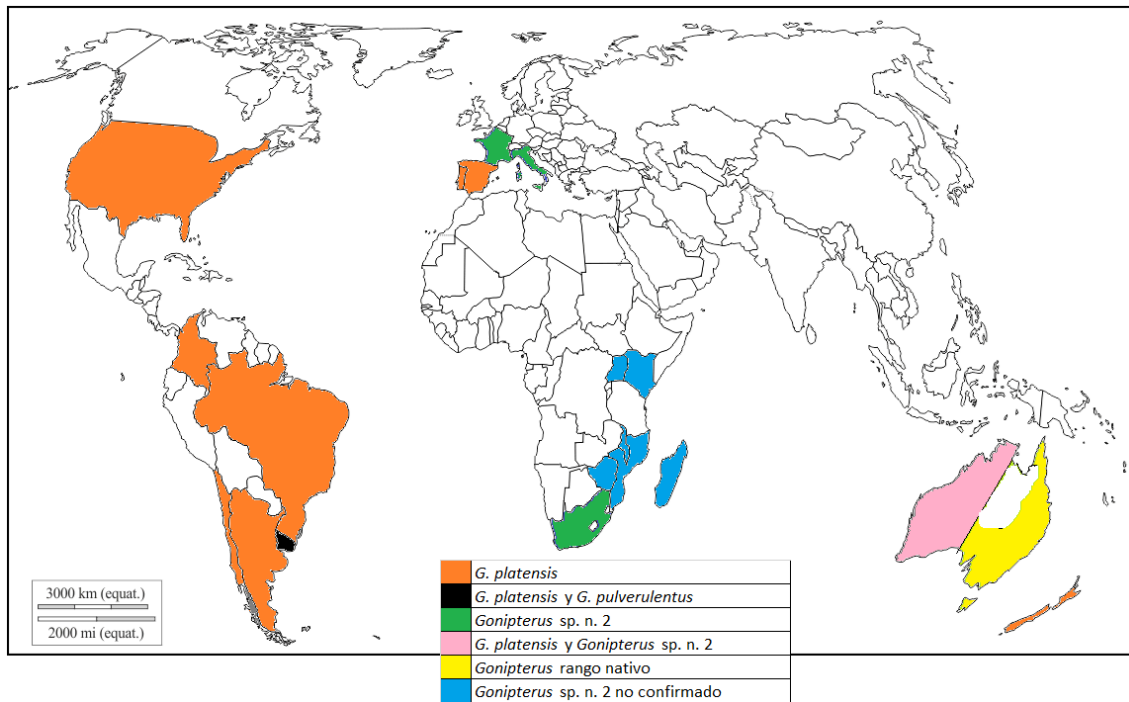
c)



d)



e)



f)

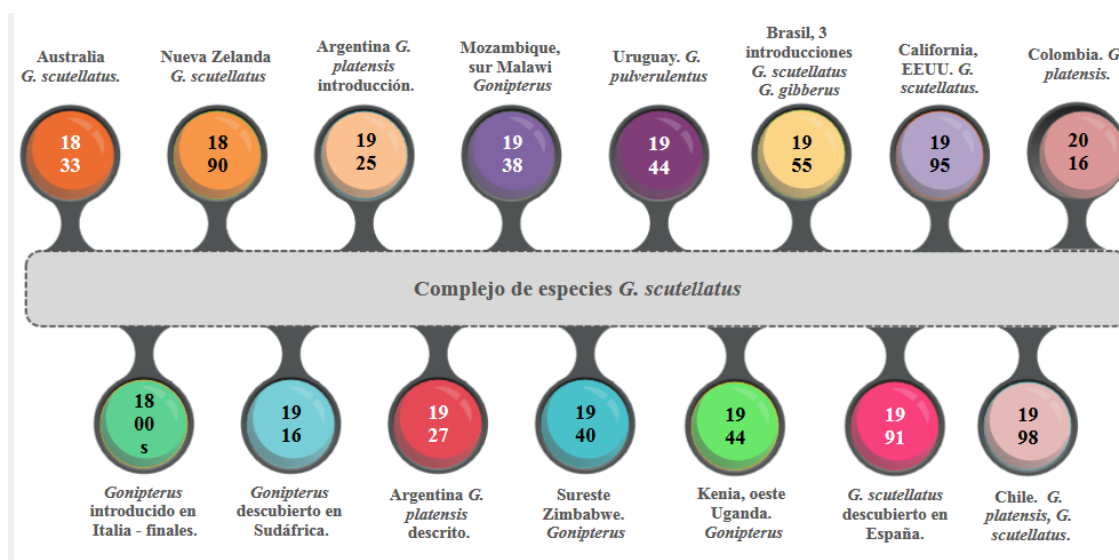


Figura 4. Mapa de distribución de *Gonipterus scutellatus*. a) Mapa de distribución de *Gonipterus scutellatus* a nivel mundial para el año 2005. b) Mapa de distribución de *G. scutellatus* para el año 2016. c) Mapa de distribución de *G. scutellatus* para el año 2017, mapas tomado de EPPO. d) Mapa de distribución de *G. scutellatus* tomado de CABI. e) Mapa de distribución de varias especies del género *Gonipterus*, detalle del rango de distribución nativo e invasivo de *G. scutellatus* modificado de Schröder *et al.*, 2019. f) Línea de tiempo de dispersión mundial del gorgojo.

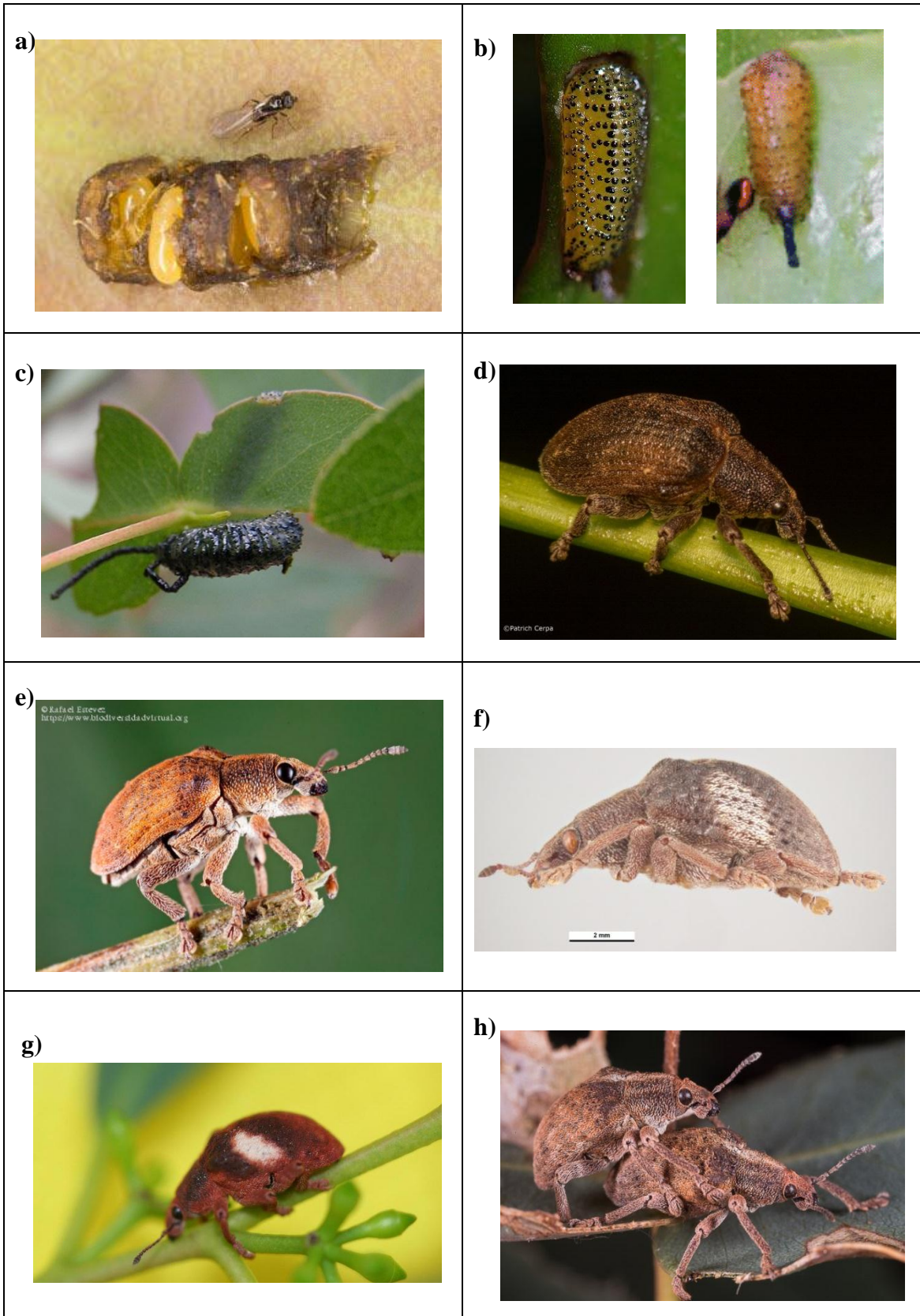
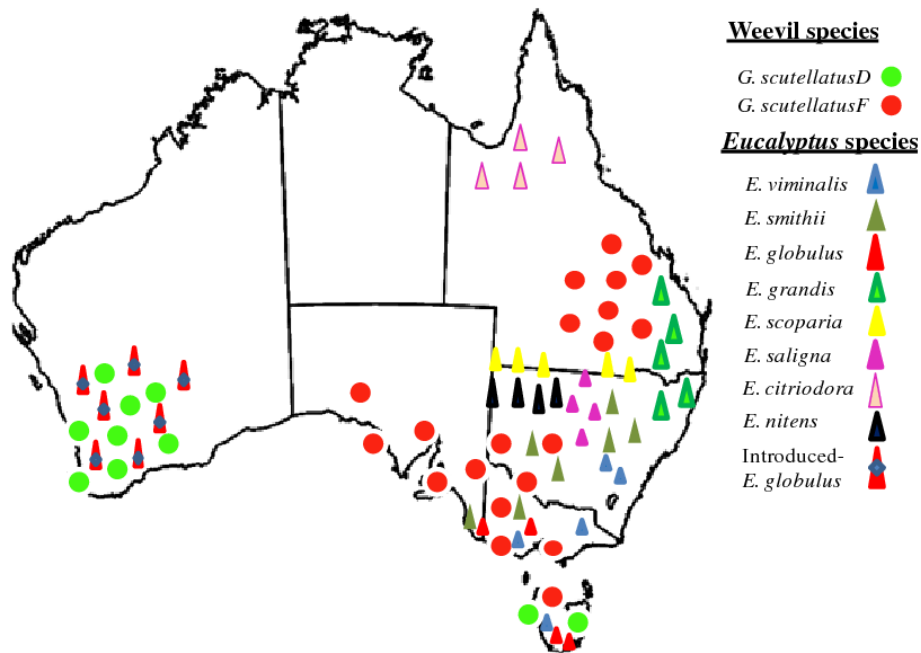


Figura 5. Detalle de estadios de *G. scutellatus*, individuos adultos de algunas especies del género *Gonipterus* y cópula. a) Detalle de los huevos, nótese la presencia del parasitoide en la parte superior de la imagen. b) Lado izquierdo: uno de los cuatro estadios larvales de *G. scutellatus*. Lado derecho: larva de *G. platensis* c) Estadio de pupa antes de caer al suelo. d) Individuo adulto de *G. scutellatus*. e) Individuo adulto de *G. platensis*. f) Individuo adulto de *G. gibberus*. g) Individuo adulto de *G. pulverulentus*. h) Detalle de cópula de una pareja de gorgojos.

a)



b)

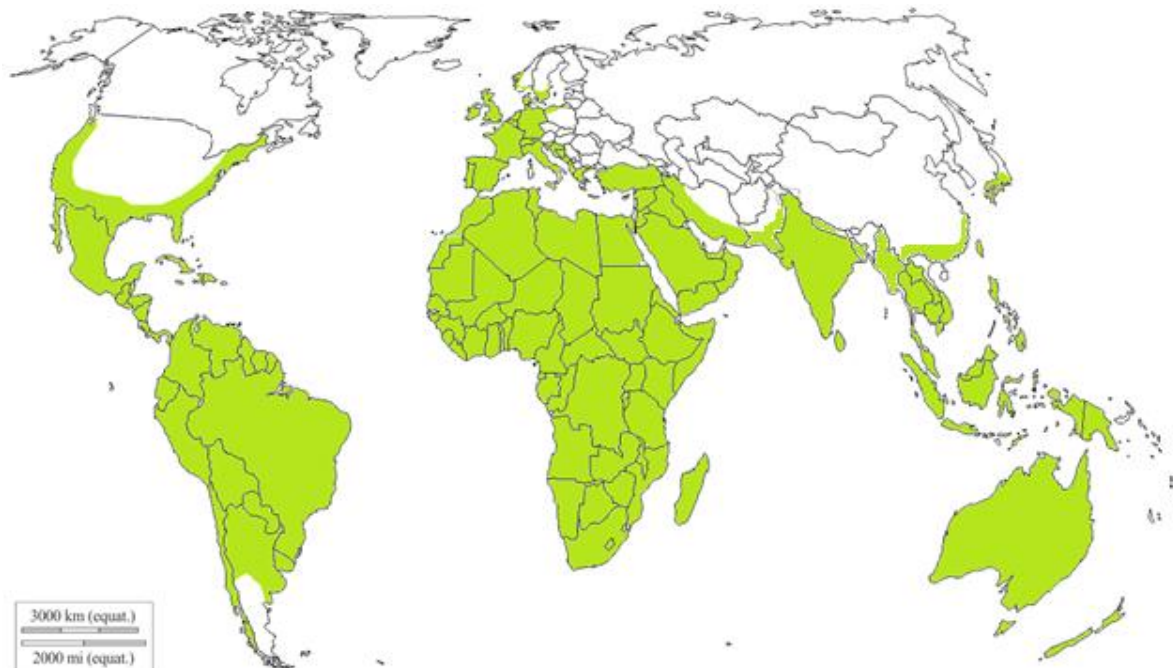


Figura 7. Mapa de distribución de *Eucalyptus*. a) Mapa de distribución natural de especies de *Eucalyptus*, con la presencia del gorgojo, tomado de: Newete, 2010. b) Mapa de distribución mundial de *Eucalyptus* cultivados para el año 2008. Modificado de: Eucalyptologics, 2008.





Figura 8. Individuo del complejo *Gonipterus scutellatus*

Individuo del complejo de especies *Gonipterus scutellatus* Gyll., sobre una hoja de eucalipto, fotografías tomadas en el Parque Metropolitano, cortesía de Esteban Bastidas.



Figura 9. Grados de defoliación de *Eucalyptus* causado por *Gonipetus platensis*. Desde la esquina superior izquierda en orden decente hasta la esquina inferior izquierda, se observa: Eucaliptos sin daño; daño entre el 10 y 30% del tercio superior; daño entre 30-60% del tercio superior; daño entre 60-90% del tercio superior, y daño superior al 90%. Tomado de: Vergara, 2016.

10. TABLAS

Tabla 1. Periodo de ovoposición y desarrollo del gorgojo.

Estadio	Meses		
	Febrero - Marzo	Abril - Junio	Julio - Agosto
Huevo	6 – 7	7 – 9	9 – 10
1° larva	3 – 4	4 – 5	5 – 6
2° larva	3 – 4	4 – 6	6 – 7
3° larva	3 – 4	4 – 6	5 – 8
4° larva	5 – 6	6 – 8	7 – 10
Pupa	29 – 31	31 – 35	32 – 38
Total	49 – 56	56 – 69	64 – 79
T promedio (°C)	27	23.6	21.3
T máxima (°C)	31.6	28.9	25.5
T mínima (°C)	24.4	20.0	17.8

En las tres columnas se observa la cantidad de días que tomó en completarse cada estadio de ciclo de vida del gorgojo desde huevo hasta pupa, también el rango de temperatura respectivo para cada periodo de tiempo (en meses). Tomado de: EPPO (2005), Vergara (2016), CABI (2018).

Tabla 2. Especies de insectos e invertebrados que atacan a los árboles de *Eucalyptus* spp. alrededor del mundo. Modificado de FAO, 1981.

Especie de insecto	Orden	Familia/ subfamilia	Especie vegetal	Estructura afectada
	Hymenoptera		<i>E. camaldulensis</i>	
	Coleoptera	Scarabaeidae		Raíces
<i>Gonipterus scutellatus</i>	Coleoptera	Curculionidae	* <i>E. globulus</i>	Hojas, epidermis
<i>Gonipterus platensis</i>	Coleoptera	Curculionidae	* <i>E. globulus</i>	Hojas, epidermis
<i>Gonipterus gibberus</i>	Coleoptera	Curculionidae	* <i>E. globulus</i>	Hojas, epidermis
<i>Paropsis obsoleta</i>	Coleoptera	Chrisomelidae	<i>E. globulus</i> , <i>E. viminalis</i> , <i>E. macarthurii</i> , <i>E. nitens</i>	Hojas, bordes
<i>Achradidius creticus</i>	Coleoptera	Curculionidae	<i>E. camaldulensis</i> , <i>E. gomphocephala</i>	
<i>Anoplognathus chloropyrus</i>	Coleoptera	Scarabaeidae	<i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i>	
<i>Sarsina violacens</i>	Lepidoptera	Noctuidae		
<i>Thyrintina arnobia</i>	Lepidoptera	Geometridae		
<i>Eupseudosoma involute</i>	Lepidoptera	Erebidae		
<i>Euselacia eucerus</i>	Lepidoptera	Riodinidae		
<i>Caphisus siccifolius</i>	Hemiptera	Cercopoidea		
<i>Taragama</i> sp.	Lepidoptera	Lasiocampidae	<i>E. cloeziana</i>	
<i>Narosa viridiana</i>			<i>E. cloeziana</i>	
<i>Buzura</i> sp.	Lepidoptera	Geometridae		
<i>Neocleora</i> sp.	Lepidoptera	Geometridae		
<i>Strepsicrates rothia</i>	Lepidoptera	Tortricidae		
<i>Madasia amblycalymna</i>	Lepidoptera			
<i>Eumeta cervina</i>	Lepidoptera	Psychidae		
<i>Nudaurelia diona</i>	Lepidoptera	Saturniidae		
<i>Hemiberlesia rapax</i>	Hemiptera	Diaspididae	<i>E. cornuta</i>	
<i>Sauna concolor</i>	Lepidoptera	Lasiocampidae		
<i>Ctenarytaina eucalypti</i>	Diptera	Psilidae	<i>E. globulus</i>	
<i>Oecophylla smaragadina</i>	Hymenoptera	Formicidae		
<i>Eriococcus coriaceus</i>	Hemiptera	Eriococcidae	<i>E. globulus</i> , <i>E. viminalis</i> , <i>E. macarthurii</i> , <i>E. gunnii</i>	
<i>Nudaurelia diona</i>	Lepidoptera	Saturniidae		
<i>Agnoscelis versicolor</i>			<i>E. viminalis</i>	
<i>Amblypelta cocophaga</i>	Hemiptera	Coreidae	<i>E. deglupta</i>	
<i>Icerya purchase</i>	Hemiptera		<i>Eucalyptus</i>	
<i>Leptoglossus australis</i>	Hemiptera	Coreidae	<i>E. deglupta</i>	
<i>Austromalaya</i> sp.	Hemiptera	Pentatomidae	<i>E. deglupta</i>	

<i>Paratella errudita</i>			<i>E. deglupta</i>	
<i>Apate monachus</i>	Coleoptera	Bostrychidae	<i>E. tereticornis, E. camaldulensis</i>	
<i>Apate terebrans</i>	Coleoptera	Bostrychidae	<i>E. torelliana</i>	
<i>Agrilus opulentus</i>	Coleoptera	Buprestidae	<i>E. deglupta</i>	
<i>Celosterna scabrator</i>	Coleoptera	Cerambycidae		Tallo. raíces
<i>Analeptes trifasciata</i>	Coleoptera	Cerambycidae	<i>E. torelliana</i>	Tallos jóvenes
<i>Sahyadrassus malabaricus</i>	Lepidoptera	Hepialidae	<i>E. globulus</i>	
<i>Zeuzera coffea</i>	Lepidoptera	Cossidae	<i>E. deglupta</i>	Taladra el cambium
<i>Macrotermes bellicosus</i>	Blattodea	Termitidae		
<i>Macrotermes natalensis</i>	Blattodea	Termitidae		
<i>Microtermes spp.</i>	Blattodea	Termitidae		
<i>Reticulitermes lucifugus</i>	Blattodea	Rhinotermitidae		
<i>Microtermes diversus</i>	Blattodea	Termitidae		
<i>Nasutitermes novarumhebridarum</i>	Blattodea	Termitidae		
<i>Atta spp.</i>	Hymenoptera	Formicidae		Hojas
<i>Acromyrmex</i>	Hymenoptera	Formicidae		Hojas

La información no indicada en el documento emitido no fue presentada en la tabla, por eso se observa columnas en blanco.

Tabla 3. Lista de especies de eucaliptos susceptibles a ataques de gorgojos.

Especie de gorgojo	Especie de eucalipto susceptible	
<i>G. scutellatus</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Eucalyptus globulus subsp. maidenii</i> <i>Eucalyptus punctata</i> <i>Eucalyptus robusta</i> <i>Eucalyptus smithii</i> <i>Eucalyptus viminalis</i> <i>Eucalyptus amigdalina</i> <i>Eucalyptus cinerea</i> <i>Eucalyptus delegatensis</i> <i>Eucalyptus dunnii</i>	<i>Eucalyptus fastigata</i> <i>Eucalyptus macarthurii</i> <i>Eucalyptus nitens</i> <i>Eucalyptus obliqua</i> <i>Eucalyptus ovata</i> <i>Eucalyptus polyanthemos</i> <i>Eucalyptus pulchella</i> <i>Eucalyptus saligna</i> <i>Eucalyptus tenuiramis</i> <i>Eucalyptus tereticornis</i>
<i>G. platensis</i>	<i>Eucalyptus globulus</i> <i>Eucalyptus nitens</i>	<i>Eucalyptus grandis</i> <i>Eucalyptus propinqua</i>
<i>G. gibberus</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Eucalyptus globulus subsp. maidenii</i> <i>Eucalyptus punctata</i> <i>Eucalyptus robusta</i>	<i>Eucalyptus smithii</i> <i>Eucalyptus viminalis</i> <i>Eucalyptus dunnii</i> <i>Eucalyptus grandis</i>

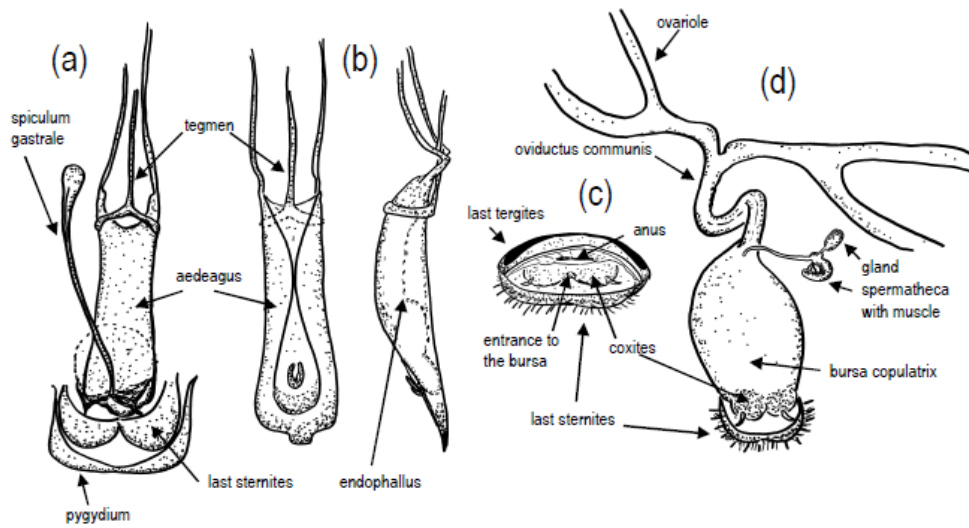
Modificado de: CABI (2019), EPPO (2019), Schröder *et al.*, 2019 y Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de plagas (2019).

Tabla 4. Registros del gorgojo en el Ecuador.

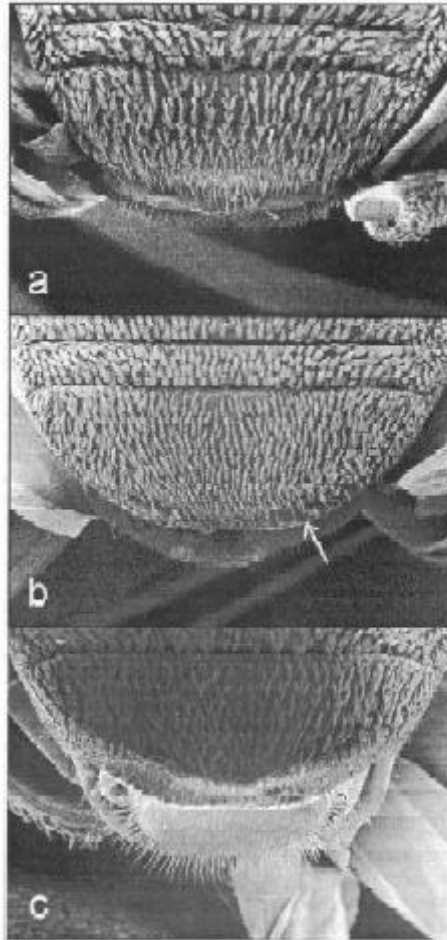
Estado	Lugar	Provincia
Presente	Faldas del Pichincha	Pichincha
Presente	Av. Simón Bolívar	Pichincha
Presente	Parque Metropolitano	Pichincha
Presente	Lumbisí – Ruta Viva	Pichincha
Registro solitario	Conocoto	Pichincha
Registro solitario	Sangolquí	Pichincha
No registrado	Perucho	Pichincha

Los registros datan desde finales del 2016 hasta la actualidad. En Perucho los daños en los eucaliptos no han sido evidenciados que fuesen causados por el gorgojo. En Sangolquí y Conocoto no se han registrado daños a los árboles, solo a un individuo solitario. Colectas realizadas por Ma. Fernanda Checa y estudiantes voluntarios del Museo QCAZ-I. Fuente: Álvaro Barragán comunicado personal.

11. ANEXOS



Anexo 1. Genitalia masculina y femenina de *Gonipterus scutellatus*. a) Genitalia masculina, vista ventral, b) Edeago, vista dorsal y lateral, c) Apertura genital femenina, vista posterior d) Genitalia femenina mostrando el ducto que conecta a la espermateca. Tomado de: Santolamazza Carbone y Cordero Rivera, 1998.



Anexo 2. Abdomen terminal de *Gonipterus scutellatus* macho y hembra, en SEM. a) macho, b) hembra c) hembra, nótese el último esternito (ovopositor) extruido. Tomado de: Santolamazza Carbone y Cordero Rivera, 1998.