



BioInvasiones 1 (2015)

Revista de invasiones biológicas de América Latina y el
Caribe

Volumen 1- Año: 2015

<http://bioinvasiones.org/>

Simulación herbívora para un potencial agente defoliador de *Rubus niveus* Thunb. en la Isla Santa Cruz-Galápagos

Claudio F. Crespo¹, Mark. R. Gardener² & Jorge Luis Rentería^{3,4}

1 Fundación Charles Darwin, Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador

2 Research Institute for the Environment and Livelihoods, Charles Darwin University, Northern Territory, 0909, Australia

3 School of Agricultural, Earth and Environmental Sciences, University of KwaZulu-Natal, South Africa

4 Invasive Species Programme, South African National Biodiversity Institute, Kirstenbosch Research Centre, Cape Town, South Africa

Resumen

La simulación de herbivoría permite obtener un criterio preliminar para la selección de agentes eficaces para los programas de control biológico de malezas. Este estudio examina el efecto de la simulación de herbivoría, mediante diversos niveles de defoliación artificial (0-100%), sobre el crecimiento y reproducción de *Rubus niveus* (Thunb.) Estos niveles o tratamientos fueron evaluados en dos ensayos independientes. De manera general, se evidenció que el efecto de las defoliaciones artificiales afectó proporcionalmente al crecimiento y reproducción de las plantas. Los niveles de defoliación al 50% o más podrían ser considerados como un umbral de daño para la selección de agentes de control biológico potenciales con el objetivo del control de *R. niveus*

Palabras claves: simulación de herbivoría, programa de control biológico de malezas, umbral de daño, agentes de control biológico, herbivoría.

Abstract

Simulated herbivory can be used to obtain a preliminary criterion for the selection of effective agents for the biological control of weeds. This study examines the simulated effect of herbivory, by means of a range of artificial defoliation treatments (0-100%) on the growth and reproduction of *Rubus niveus* Thunb. These treatments were done on two independent trails. Artificial defoliation proportionally affected the plants growth and reproduction. Defoliation of 50% or more could be considered as an impact threshold when selecting potential biological control agents for *R. niveus*. The results of this study must be compared with natural herbivory studies.

Key words: simulated herbivory, biological weed control programs, impact threshold, biological control agents, herbivory.

Introducción

Las Islas Galápagos localizadas a 1.000 km de distancia desde las costas ecuatorianas (Kricher 2002) han presentado un aumento en la introducción de especies introducidas de plantas vasculares no nativas, como así lo registran Wiggins & Porter (1971), Porter (1983), Tye (2001), Tye (2007), Jaramillo

& Guézou (2013), siendo las plantas más notorias aquellas que presentan características invasoras y transformadoras del hábitat (Lawesson & Ortiz 1994). *Rubus niveus* es considerada la especie de planta introducida que ha producido una mayor cantidad de impactos en las Islas Galápagos (Gardener *et al.* 2009) por su habilidad de competir y

dispersarse grandes distancias (Rentería 2011).

Rubus niveus de la familia Rosaceae es una especie de arbusto espinoso perenne, trepador a erecto que puede llegar a medir de 4-5 m de altura en las islas Galápagos y es conocida localmente como mora (FCD & DPNG 2009). Esta especie es nativa de la India, sur-orientes de Asia, Filipinas e Indonesia (Morton 1987). Desde su introducción a finales de 1960s desde Ambato a Santa Cruz por su valor frutícola, su distribución se ha ampliado encontrándose en las islas San Cristóbal, Isabela, Floreana y Santiago (FCD & DPNG 2009). La dispersión de semillas por aves pudo haber sido un factor importante que contribuyó a la expansión de *R. niveus* desde su introducción (Soria 2006). Datos estimativos evidencian que *R. niveus* cubre 30.000 ha en las zonas húmeda y muy húmeda de las Islas Galápagos (FCD & DPNG 2009) e incluso la influencia del cambio climático sobre los ambientes terrestres podría ampliar su distribución hacia las zonas bajas (zona seca) de las islas (Trueman & d'Ozouville 2010).

Rubus niveus ha alterado áreas agrícolas con consecuencias económicas negativas para los agricultores; así como impactos a las comunidades vegetales del Parque Nacional Galápagos que son evidentes en el bosque de *Scalesia* de Santa Cruz que posee una remanencia original del 1.1% (Mauchamp & Atkinson 2010) y donde altos niveles de invasión de *R. niveus* tienden a reducir la diversidad, abundancia y cambiar la estructura del bosque (Rentería *et al.* 2012). Su control manual y químico inicia con un programa piloto de erradicación en el 2001 en Santiago y tres islas habitadas: Floreana, Isabela, y Santa Cruz en conjunto con otras especies de plantas introducidas; sin embargo, luego de cuatro años de control el programa de manejo para la erradicación de la especie

se vuelve difícil debido a los altos costos del control, logística y a las características biológicas y ecológicas de *R. niveus* lo que resulta en la necesidad de un nuevo modelo de manejo (Gardener *et al.* 2009). El Control Biológico Clásico (CBC) sería integrado como nuevo modelo de manejo para *R. niveus*. El CBC ha presentado ejemplos exitosos en áreas agrícolas y naturales como es el primer programa de CBC en las islas Galápagos mediante el uso de *Rodolia cardinalis* (Mulsant) para el control de *Icerya purchasi* Maskell (Hoddle *et al.* 2013). En general, el CBC en Chile y Australia para especies de *Rubus* ha sido usando cepas del hongo patógeno *Phragmidium violaceum* (Schultz) Winter (Ellison & Barreto 2004). Además, en la búsqueda de un agente de CBC para *Rubus ellipticus* (Sm.), Wu *et al.* (2013), encontró 62 insectos herbívoros de 22 familias con un daño potencial tanto en el crecimiento y reproducción.

La herbivoría provocada por insectos en partes aéreas y subterráneas puede resultar en una reducción en el fitness de la reproducción (Maron 1998). Así mismo, este tipo de herbivoría según Strauss & Agrawal (1999) puede generar tanto efectos negativos como positivos sobre la producción de semillas y/o frutos, la biomasa vegetal, supervivencia y crecimiento; es decir, si las plantas dañadas tienen la misma aptitud que las plantas sin daño, éstas tendrán luego la capacidad de compensar completamente por la herbivoría, y si las plantas dañadas tienen mayor aptitud que las plantas sin daño, después estas se sobre-compensarán y, finalmente, si ellas tienen aptitud más baja, la compensación será insuficiente.

Estas respuestas de las plantas en especial las que tienen que ver con las interacciones simples de una planta (crecimiento y reproducción) pueden ser evaluadas mediante la técnica de simular la acción de insectos herbívoros (simulación de

herbivoría) para evaluar las respuestas de las malezas, en varios patrones y niveles de daño e incorporando así la eficiencia del agente como parte integral del proceso de selección de los agentes (Raghu & Dhileepan 2005). La simulación de herbivoría se basa en el “modelo predictivo” que permite comprender los efectos de la herbivoría y determinar si los agentes de biocontrol pueden afectar a una maleza o insecto plaga antes de ser usados (en nuestro estudio de una maleza) (Sheppard 2003). Las respuestas generadas por *R. niveus* a la simulación de herbivoría serán explicadas mediante los grados de tolerancia que son: la compensación completa e insuficiente (Strauss & Agrawal 1999) y que permitieron determinar un umbral de daño para esta especie.

La aplicación de un programa de CBC es un proceso que conlleva muchos recursos a largo plazo antes de ser usado. Así, el presente estudio empleó la técnica de la simulación de herbivoría por insectos fitófagos, como una aproximación, que nos permitió medir su impacto sobre el crecimiento y reproducción de *R. niveus* y obtener un umbral de daño preliminar sobre el potencial agente de control biológico a ser seleccionado.

Materiales y Métodos

En la zona alta de la Isla Santa Cruz se realizaron dos ensayos defoliativos con un número total de 90 plántulas de *R. niveus* marcadas y dispuestas en parcelas experimentales en el vivero de la Fundación Charles Darwin (FCD), localizado en la parroquia Bellavista (00.4100°S, 00.1890°W) a una altura de 268msnm que dista 7km del cantón Puerto Ayora. Los ensayos fueron desarrollados en dos condiciones: condiciones controladas (ensayo 1) y condiciones semi-controladas (ensayo 2). El primer

ensayo fue realizado en casa sombra con la siembra en fundas plásticas para intentar controlar todas las variables, mientras que en el segundo las plantas crecieron en el suelo para tener un mejor aproximación a las condiciones naturales. Mientras mas variables pudieron ser controladas en las fundas plásticas, el crecimiento de las raíces puede ser restringido en las plantas grandes. En el ensayo 2, las plantas crecieron con suficiente espacio en el suelo y lo cual no limitó su crecimiento radicular.

Recolección y establecimiento de plántulas.

Las plántulas recolectadas de *R. niveus* para los dos ensayos, provinieron de un área de infestación en el sector de “Los Gemelos” (300msnm). El ensayo 1 fue establecido en abril de 2010 con un total 80 plántulas distribuidas en una parcela de 24m² dentro de una casa sombra (umbráculo). Las plántulas fueron sembradas en fundas de polietileno de 45.5cm de longitud x 30cm de ancho con una mezcla de suelo y granillo. El ensayo 2 se estableció en marzo de 2010 con un total 50 plántulas sembradas directamente al suelo y distribuidas en una parcela experimental con área total de 25m². Las plántulas de los dos ensayos fueron marcadas con placas metálicas indicando su número y tratamiento defoliativo. Para los dos ensayos se desarrollaron cuatro tratamiento defoliativos que fueron asignados al azar para las 16 plántulas (repeticiones) del ensayo 1 y 10 plántulas del ensayo 2: T1= 100%, T2= 75%, T3= 50%, T4= 25% y el respectivo control: T5= 0%.

Proceso para la defoliación artificial.

En los dos ensayos la defoliación artificial se realizó periódicamente cada 30 días por un periodo de 7 meses (mayo-noviembre)

y 5 meses (abril-agosto), respectivamente por el ensayo 1 y 2. La defoliación artificial se realizó usando tijeras de podar cortando completamente las hojas al azar a nivel del pecíolo, simulando así el daño hecho por insectos fitófagos. Los cortes incluían hojas en buen estado a lo largo de los tallos presentes de cada planta según el tratamiento. Por lo tanto, la defoliación artificial fue aplicada a las plántulas como unidad para los ensayos desarrollados. Los niveles de defoliación artificial fueron realizados de manera arbitraria ya que se desconocen datos de estudios con relación a estos. Por último, durante el primer mes de defoliación artificial para el ensayo 1 se evidenció el ataque de insectos fitófagos sobre las hojas de *R. niveus* por lo que se aplicó un insecticida foliar hasta la ausencia de los mismos (2 semanas). El insecticida se aplicó a todas las plantas (afectadas y no afectadas por los insectos) para reducir el efecto sobre los tratamientos.

Procedimiento para la cosecha.

La cosecha de las plantas para los dos ensayos fue realizada luego del último evento defoliativo para evidenciar el efecto de la defoliación artificial. Los datos colectados en el momento de la cosecha para el ensayo 1 fueron: Longitud máxima (longitud del tallo más largo medida desde el ápice de crecimiento hasta el límite del tallo con el suelo, usando un flexómetro en metros), número de tallos, hojas y flores (el conteo de flores incluyó tanto flores abiertas y capullos); además, en fundas de papel fueron colocadas por separado cada parte de las plantas seccionadas (raíz, tallos, hojas, flores y frutos) para su posterior secado y pesado. Únicamente, para el ensayo 2 no se extrajo la raíz de las plantas y por lo tanto no existen análisis para biomasa.

Secado y pesado

Las plantas cosechadas fueron ingresadas a una secadora de plantas del Departamento de Botánica de la FCD y mantenidas por un lapso de 4 a 7 días a una temperatura constante de 40°C. Una vez secas las secciones de las plantas fueron llevadas al laboratorio del mismo Departamento, donde fueron pesadas en una balanza analítica para obtener los gramos de la biomasa en seco. Considerada la planta como unidad, los tallos producidos en una misma planta fueron pesados en conjunto.

Análisis de datos.

El análisis se realizó independientemente para cada ensayo, no se consideró las plantas que murieron ya que el nivel de mortalidad fue muy bajo a excepción del tratamiento de defoliación 100% en donde ninguna planta sobrevivió. Los valores de los parámetros obtenidos de los dos ensayos fueron transformados usando $\log_{10} + 1$, antes del análisis, para aumentar la homogeneidad de la varianza y normalizar la distribución de los datos. Los datos fueron analizados usando ANOVA de una vía, con el nivel de defoliación (4 niveles) como el factor y, según sea el caso, la longitud máxima, número de tallos, hojas, flores frutos y biomasa de raíz, tallo y hojas como las variables dependientes; se usó en paquete estadístico MINITAB 13. Interacciones con factores externos no fueron analizadas en este estudio. Finalmente, en el ensayo 2 al momento de la cosecha se evidenció que algunas plantas estaban en estado de fructificación, otras en estado de florificación y mixto (cuando una planta tenía flores y frutos). Por lo tanto, para homogenizar las observaciones los datos del número de flores y frutos fueron unificados. Además, no se analizó datos de biomasa para las raíces de las plantas en

este ensayo, ya que no fue posible la extracción del material vegetal por completo.

Resultados

Para los dos ensayos de simulación de herbivoría, la mortalidad de *R. niveus* es más evidente en los tratamientos defoliativos con mayor nivel de intensidad. Para el ensayo 1 de un total de 80 plantas, el 24% muere (19 plantas), las mismas que se distribuyen en los tratamientos defoliativos: 50% (2 plantas), 75% (1 planta) y 100% (16 plantas). Para el ensayo 2 de un total de 50 plantas, el 20% muere del tratamiento defoliativo al 100% (10 plantas).

Parámetros de crecimiento

La simulación de herbivoría tuvo un efecto significativo sobre los parámetros de crecimiento (longitud máxima, número de tallos, hojas y flores, biomasa de raíz,

tallos y hojas) cuando las plantas de *R. niveus* fueron defoliadas en altos porcentajes. Para el ensayo 1 el análisis de ANOVA detectó diferencias en los tratamientos defoliativos para la longitud máxima ($F= 8,91, P= 0,000$) y número de hojas ($F= 10,27, P= 0,000$) (fig. 1a); aunque para el número de tallos ($F= 1,48, P= 0,229$) no se evidenció una diferencia significativa en ninguno de los tratamientos defoliativos (fig. 1a). Para estos parámetros de crecimiento el efecto de la defoliación artificial se hace evidente en tratamientos defoliativos >50%. Para el ensayo 2 el análisis ANOVA muestra diferencias en los parámetros de longitud máxima ($F= 6,29, P= 0,002$) y número de hojas ($F= 10,48, P= 0,000$) con relación a los tratamientos defoliativos (fig. 1b); pero el número de tallos ($F= 1,47, P= 0,240$) no evidenció diferencias en ninguno de los tratamientos defoliativos (fig. 1b).

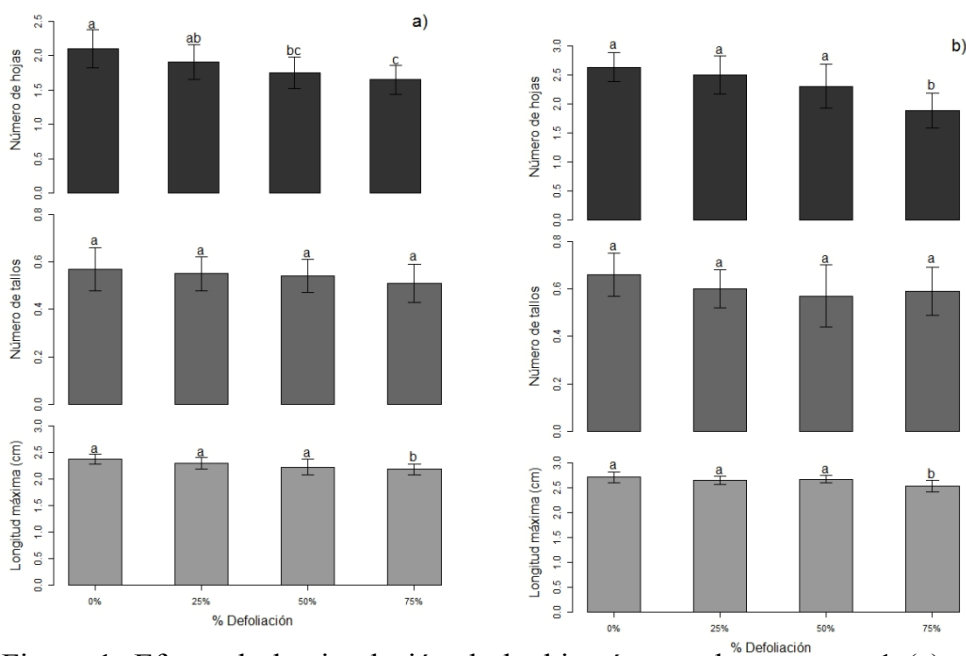


Figura 1. Efecto de la simulación de herbivoría para los ensayos 1 (a) y 2 (b) sobre los parámetros de crecimiento (hojas, longitud y tallos) de *R. niveus* según el test de Tukey. Los datos comparados son las medias (+S.E.) de los datos transformados con log10+1.

Los datos de biomasa según el análisis de ANOVA, muestran diferencias en relación a los tratamientos defoliativos de la biomasa de raíz ($F= 39,36$, $P= 0,000$), tallos ($F= 28,09$, $P= 0,000$) y hojas ($F= 18,34$, $P= 0,000$) (fig. 2a). Para el ensayo 2, el análisis indica diferencias en la biomasa de tallos ($F= 11,83$, $P= 0,000$) y

la biomasa de hojas ($F= 8,77$, $P= 0,000$) (fig. 2b). En general para los dos ensayos desarrollados, el efecto de las defoliaciones artificiales para los parámetros de crecimiento se hace más evidente en tratamientos defoliativos >50%.

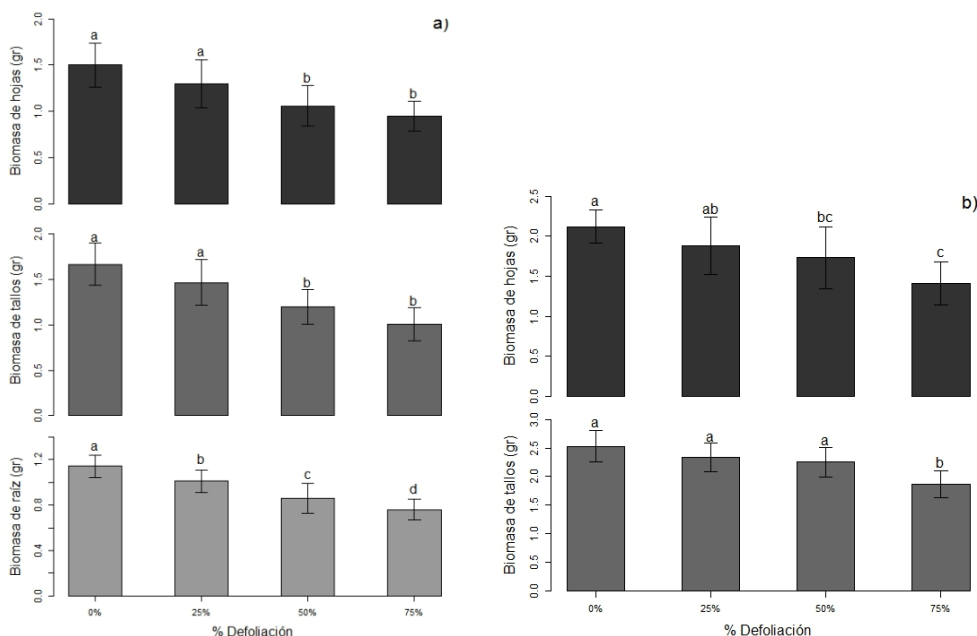


Figura 2. Efecto de la simulación de herbivoría para los ensayos 1 (a) y 2 (b) sobre la biomasa de *R. niveus* según el test de Tukey. Los datos comparados son las medias (+S.E.) de los datos transformados con $\log_{10}+1$.

Parámetros reproductivos

Al final del ensayo 1 un total de 23 plantas produjeron flores (12 para el tratamiento del 0%, 4 para el 25%, 5 para el 50% y 2 para el 75%). El análisis de ANOVA indica diferencias de los tratamientos defoliativos con respecto al control ($F= 6,70$, $P= 0,001$) y con una evidente disminución del número de flores desde

eventos defoliativos al >25% (fig. 3a). En relación al ensayo 2, un total de 35 plantas produjeron flores (10 plantas para el tratamiento defoliativo al 0%, 10 del 25%, 9 del 50% y 6 del 75% de defoliación artificial). Según el análisis ANOVA el tratamiento defoliativo al 75% ($F= 4,98$, $P= 0,005$) indica diferencia con relación al control (fig. 3a y 3b).

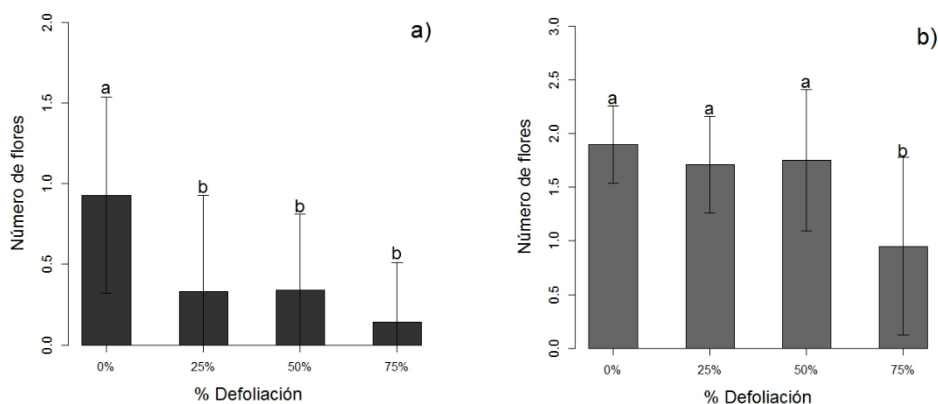


Figura 3. Efecto de la simulación de herbivoría para el ensayo 1 (a) y 2 (b) sobre parámetros reproductivos de *R. niveus* según el test de Tukey. Los datos comparados son las medias (+S.E.) de los datos transformados con $\log_{10}+1$.

Discusión

Respuestas de R. niveus a la defoliación

Por lo general, las plantas pueden generar diferentes respuestas a la herbivoría sobre sus procesos básicos como: la generación de nuevas hojas y tallos, aumento de biomasa, alocaión de recursos, entre otros o incluso respuestas sobre procesos complejos como la aparición de compuestos secundarios (fenoles, alcaloides y terpenos) que les permite resistir la herbivoría (Sánchez *et al.* 2008). Este estudio analizó las respuestas de *R. niveus* reflejadas en parámetros de crecimiento (biomasas, longitud máxima, número de tallos y hojas) y reproducción (flores y frutos). Las respuestas sobre procesos complejos no fueron el enfoque de este estudio ya que muchas veces estas se lograrían usando la herbivoría natural (Hjaltén 2004).

Para los dos ensayos la respuesta mas extrema de *R. niveus* a la simulación de un insecto fitófago, se evidenció cuando las plántulas fueron defoliadas al 100% produciendo una alta mortalidad de plantas para los dos ensayos y por ende estas plantas no lograron compensar el daño

infringido; por otra parte, las plantas de *R. niveus* afectadas al 75% de defoliación artificial respondieron compensando de manera insuficiente en relación al número de hojas, longitud y biomasas, así mismo la disminución en el número de flores. En conjunto esto indica un efecto negativo para el desarrollo integro de esta especie. Sin embargo, las plantas de los dos ensayos siguen generando tallos pero que pueden ser menos vigorosos a defoliaciones al 75% como lo indican las diferencias en la biomasa del número de tallos, aunque este hecho no previene que la planta siga desarrollándose de manera asexual e incluso sexual ya que al momento de la cosecha se evidenció que la mayoría de plantas de los tratamientos defoliativos al 50% y 75% poseían frutos verdes en contraste a los frutos semi-maduros presentes en plantas al 0% y 25%. De alguna manera esto indica que existió una variación individual ya que las plantas del 0% y el 25% florecieron más temprano. En relación al estudio de Broughton (2003) usando la simulación de herbivoría, encontró que defoliaciones artificiales al 50% y 100% no indicaron efectos significativos en plantas de

Lantana camara (L.) en relación a su biomasa de raíces, tallos y hojas; aunque al aumentar la frecuencia de las defoliaciones la biomasa declinó gradualmente pero no de manera significativa.

El resultado de las plantas evaluadas de *R. niveus* (muertas y vivas) puede ser atribuido a la disminución del alimento disponible por la pérdida de sus hojas que permiten realizar la fotosíntesis e influenciando de manera directa en la función de las raíces (Sánchez *et al.* 2008). Esto puede ser debido a que *R. niveus* se recupera del daño infringido usando reservas almacenadas en su sistema de raíces, como lo ocurrido con la liana invasora *Macfadyena unguis-cati* (L.) (Raghu *et al.* 2006). La reducción de la biomasa de la raíz (solo evaluado para el ensayo 1), indicaron que los recursos en el sistema radicular de *R. niveus* se estarían agotando; además, si las raíces son más pequeñas la adquisición de agua y nutrientes podrá ser limitada (Tiffin 2000) Se debe indicar que la realización de los dos ensayos a diferentes condiciones (controladas y semi-controladas) fue concebido para obtener datos de las plantas en condiciones idóneas y naturales; permitiendo en un caso (ensayo 1) poder evaluar las raíces y, además, evidenciar una mayor cantidad de plantas en estado reproductivo sexual y con un mayor tamaño de plantas (ensayo 2). Por lo que la combinación de los dos ensayos permitió una idea generalizada de lo que sucede con la planta al ser expuesta a la defoliación. Los resultados de los dos ensayos indicaron respuestas similares sobre el crecimiento y reproducción de *R. niveus*, indicando que existiría una tendencia general de la planta a la defoliación pero que necesitaría ser sustentando en mayor medida con ensayos usando herbívoros naturales.

Implicaciones para el biocontrol de R. niveus.

Según este estudio, el umbral de daño para el control de *R. niveus* en relación a su crecimiento y reproducción, se produciría al aplicar niveles de defoliación artificial mayores al 50%. En el estudio de Raghu *et al.* (2006) con *M. unguis-cati*, sugiere que los herbívoros especialistas dentro del gremio de insectos que se alimentan de hojas, podrían ser deseables en el control biológico de esta maleza, si fueran capaces de remover sobre el 50% de las hojas. El agente de control biológico debe infringir un daño dentro de este umbral para prevenir o disminuir el desarrollo de *R. niveus*. El umbral de impacto determinado en el estudio de Renteria (2011) indica que la disminución de la cobertura de *R. niveus* en un 60% (umbral de impacto) permitiría la regeneración del bosque donde las especies nativas vegetales podrían germinar y crecer mejor, en un sentido, por una mejor entrada de luz, aunque este cambio es un proceso lento y gradual. Entonces, futuras investigaciones en la búsqueda de potenciales agentes de control biológico, podrían determinar si niveles defoliativos al 75% (indicadas en este estudio como el umbral de daño) permitirían un manejo adecuado de esta especie al lograr ese umbral de impacto. En efecto los resultados de este estudio servirían como una hipótesis para esas investigaciones.

Por otra parte, enfocándonos en las plantas muertas de *R. niveus*, si el agente de control biológico causaría defoliaciones totales (100%) generaría el estrés suficiente para causar la muerte de *R. niveus*. Pero es muy raro que los agentes de control biológico maten las plantas de manera directa, pero puede ocurrir que si los enemigos naturales aumentan su número podrían consumir toda una planta (Hajek 2004)) y lo cual resulta en un proceso prolongado, con la biomasa de la

planta declinando de afuera hacia adentro a través de un tiempo considerable (Van Driesche 2007). Por las respuestas encontradas de *R. niveus* a la simulación de herbivoría, el CBC de un solo agente que ataque a nivel de hojas podría ser parcial debido a que estructuras reproductivas sexuales y asexuales siguen presentes en las plantas a pesar de evidenciar cierta disminución con relación al control.

El CBC de malezas busca agentes de control biológico que sean específicos y eficaces para el control de la planta hospedera. En este sentido, podría ser que agentes que afecten a nivel de flores y/o semillas implicaría daño a partes vitales para el éxito de invasión de *R. niveus*. Por otra parte, la idea de introducir fitopatógenos es una idea muy atractiva debido a su alta especificidad y un género utilizado para el control de *Rubus* spp. es *Pragmidium* spp. (Mahr & Bruzese 1998). Cualquiera sea el caso, siempre se debe considerar los riesgos potenciales de los proyectos.

Dentro del control biológico de malezas existen dos características importantes al momento de seleccionar enemigos naturales para ser liberados: la especificidad del hospedero y la habilidad de los enemigos naturales de responder a la población de la maleza en un sentido donde dependería de la densidad de ésta (Hajek 2004). Sin embargo, este estudio permitió evaluar la eficacia del agente que bien podría ser añadida a estas características. En esta línea, el método de la simulación de herbivoría permite poner un filtro de eficacia, antes de continuar con las pruebas de especificidad del hospedero que deberían ser hechas, una vez que se ha dado prioridad a cierto gremio de insectos con la posibilidad de evaluar su eficacia y así disminuir la liberación de agentes inefectivos (Raghu & Dhilepan 2005).

Conclusiones

Hasta cierto punto, la simulación de herbivoría permitió comprender un umbral aproximado de defoliación de agentes potenciales para *R. niveus*. Como una respuesta general a la simulación de herbivoría, se sugiere que el umbral de daño para el control de *R. niveus* debe ser mayor al 50% de defoliación pero se debe considerar que la evaluación actual fue realizada en el corto plazo. Por lo tanto, para observar un efecto negativo significativo contundente sobre el desarrollo de la planta, es necesario que el agente de control biológico genere daños sobre la población de *R. niveus* defoliando las plantas a un nivel del 75% que puede ser el umbral de daño necesario para lograr que *R. niveus* disminuya su cobertura vegetal a un nivel del 60% (umbral de impacto) permitiendo la regeneración del bosque nativo.

Agradecimientos

A Boston Environment, por financiar la presente investigación; Fundación Charles Darwin, brindar apoyo logístico y uso de sus instalaciones; y Universidad del Azuay por aprobar el presente estudio. Especial agradecimiento a: Rachel Atkinson por encaminarme en la presente investigación; Volker Koch (revisión de análisis estadísticos) y Mandy Trueman (respaldo bibliográfico). Además, a la familia Carrión por permitirme realizar parte del presente estudio en un área de su finca. Finalmente, a las personas que colaboraron durante del desarrollo del estudio. La presente publicación se baso en datos de tesis de grado

Literatura citada

- Lugo AE. 2009. The emerging era of novel tropical forests. *Biotropica* 41:589-591.
- Pauchard A, B Langdon, E Peña. 2008. Potencial invasivo de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en bosques

- nativos del Centro-Sur de Chile: patrones y recomendaciones. En: Mujica R, Grosse H y B Müller-Using (eds.) Bosques Seminaturales: una opción para la rehabilitación de bosques nativos degradados. 171 pág.
- Broughton S. 2003. Effect of artificial defoliation on growth and biomass of *Lantana camara* L (Verbenaceae). *Plant Protection Quarterly* 18: 110-115.
- Ellison CA, RW Barreto. 2004. Prospects for the management of invasive alien weeds using co-evolved fungal pathogens: a Latin American perspective. *Biological Invasions* 6: 23-45.
- Fundación Charles Darwin (FCD) y Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG). 2009. *Diagnóstico y planificación para el desarrollo de un agente de control biológico para Rubus niveus en las islas Galápagos*. Informe técnico. Puerto Ayora, Galápagos. 40 pág.
- Gardener MR, R Atkinson, JL Rentería. 2009. Eradication and People: Lessons from the Plant Eradication Program in Galapagos. *Restoration Ecology* 18:20-29.
- Hajek AE. 2004. Biology and ecology of agents used for biological control of weeds. En: Hajek A (ed) Cambridge: University Press.
- Hjältén J. 2004. *Simulating herbivory: problems and possibilities*. En Wolfgang WW & E Siemann (eds) *Insects and Ecosystem Function*. 413 pág.
- Hoddle MS, CR Crespo, CD Hoddle, J Loayza, MP Lincango, RG Van Driesche, CE Causton. 2013. Post release evaluation of *Rodolia cardinalis* (Coleoptera: Coccinellidae) for control of *Icerya purchasi* (Hemiptera: Monophlebidae) in the Galápagos Islands. *Biological Control* 67: 262–274.
- Jaramillo P & A Guézou. 2013. *CDF Checklist of Galapagos vascular plants*. Charles Darwin Foundation. Disponible en: <http://www.darwinfoundation.org/dataset/collections/>.
- Kricher JC. 2002. Galápagos. Washington & London: Smithsonian Institution Press. Smithsonian Natural History Series. 256 pág.
- Lawesson JE & L Ortíz. 1994. *Plantas introducidas en las Islas Galápagos*. En: Lawesson JE, O Hamann, G Rogers, G Reck & H Ochoa (eds.) *Botanical Research and Management in Galapagos Island*. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 32: 201-210.
- Mahr FA & E Bruzzese. 1998. The effect of *Phragmidium violaceum* (Shultz) Winter (Uredinales) on *Rubus fruticosus* L. agg. in south-eastern Victoria. *Plant Protection Quarterly* 13: 182-185.
- Maron JL. 1998. Insect herbivory above and below ground: individual and joint effects on plant fitness. *Ecology* 79: 1281–1293.
- Mauchamp A & R Atkinson. 2010. *Pérdida de hábitat rápida, reciente e irreversible: los bosques de Scalesia en las islas Galápagos*. En: Informe Galápagos 2009-2010. Puerto Ayora, Galápagos. 191 pág.
- Morton JF. 1987. *Mysore Raspberry*. En: Morton JF (eds). *Fruits of warm climates*. 445 pág.
- Rentería JL. 2011. *Towards an optimal management of the invasive plant Rubus niveus in the Galapagos Islands*. Tesis Doctoral. Imperial College London. 120 pág.
- Rentería JL, MR Gardener, FD Panetta, R Atkinson, MJ Crawley. 2012. Possible Impacts of the Invasive Plant

- Rubus niveus* on the Native Vegetation of the Scalesia Forest in the Galapagos Islands. *PLoS ONE* 7: e4806.
- Porter DM. 1983. *Vascular plants of the Galapagos: Origins and dispersal*. En: Bowman RI, M Berson, AE Leviton (eds) *Patterns of evolution in Galapagos organisms*. 568 pág.
- Raghu S & K Dhileepan. 2005. The value of simulating herbivory in selecting effective weed biological control agents. *Biological Control* 34: 265-273.
- Raghu S, K Dhileepan, M Treviño. 2006. Response of an invasive liana to simulated herbivory: implications for its biological control. *Acta Oecologica* 29: 335-345.
- Sánchez DG, PR Puga, HB Escorcía. 2008. Ecología de la Herbivoría. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14: 51-63.
- Soria, M. 2006. *Avian seed dispersers of the invasive Rubus niveus (Rosaceae) in Santa Cruz Island*. Tesis de maestría. University of Missouri-St Louis. 52 pág.
- Sheppard AW. 2003. *Prioritising agents based on predicted efficacy: Beyond the lottery approach*. En: Jacob HS & DT Briese (eds). *Improving the selection, testing and evaluation of weed biological control agents* (Proceedings of the CRC for Australian Weed Management Biological Control of Weeds Symposium and Workshop). 99 pág.
- Strauss SY, AA Agrawal. 1999. The ecology and evolution of plant tolerance to herbivory. *Tree* 14: 179-185.
- Tiffin P. 2000. Mechanisms of tolerance to herbivore damage: what do we know? *Evolutionary Ecology* 14: 523-536.
- Trueman M & N d'Ozouville. 2010. Characterizing the galapagos terrestrial climate in the face of global climate change. *Galapagos Research* 67: 26-37.
- Tye A. 2001. *Invasive plant problems and requirements for weed risk assessment in the Galápagos islands*. En: Groves RH, FD Panetta, JG Virtue (eds). *Weed Risk Assessment*. 241 pág.
- Tye A. 2007. *La flora endémica de Galápagos: aumentan las especies amenazadas*. En: Informe Galápagos 2006-2007. Puerto Ayora, Galapagos. 161 pág.
- Van Driesche RG, MS Hoddle, TD Center. 2007. *Control de plagas y malezas por enemigos naturales*. 751 pág.
- Wiggins IL, DM Porter. 1971. *Flora of the Galápagos Islands*. California: Stanford University Press.
- Wu K, TD Center, C Yang, J Zhang, J Zhang, J Ding. 2013. Potential Classical Biological Control of Invasive Himalayan Yellow Raspberry, *Rubus ellipticus* (Rosaceae). *Pacific Science* 67 :59-80.