



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y GESTIÓN**

**DIVERSIDAD DE MICRO HIMENÓPTEROS EN UN BOSQUE ÚNICO DE  
*SCALESIA* EN GALÁPAGOS, DENTRO DE UN ÁREA INVADIDA POR LA  
MORA *RUBUS NIVEUS* Y UNA CON CONTROL DE LA MORA, A LO LARGO  
DE LOS AÑOS 2014 A 2018.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de: BIÓLOGO CON  
MENCION EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN

Autor:

Rubén Patricio Picón Rentería

Director:

Pablo Sebastián Padrón Martínez

CUENCA-ECUADOR

2019

## DEDICATORIA

*A mi madre, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ella he logrado llegar hasta aquí.*

*A mis abuelos por estar siempre presentes, acompañando y apoyándome incondicionalmente, con el cariño que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.*

*A todas las personas que me han apoyado y han hecho que este trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.*

*A tí.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres, y tristes. Estas palabras son para ustedes.

A mi familia por todo su amor, comprensión y apoyo pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida.

De manera especial a mi tutor de tesis, Sebastián Padrón por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.

A Boris Tinoco y Antonio Crespo que con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional.

A José Falcón por su amistad y apoyo a lo largo de mi carrera.

A las instituciones: Fundación Charles Darwin y Dirección del Parque Nacional Galápagos por todo su trabajo en el proyecto al cual pertenece esta tesis.

A José Avendaño por su ayuda y enseñanza de la identificación de los individuos colectados para esta tesis.

Finalmente a Heinke Jäger y Jacqueline Rodríguez por todo su apoyo dentro de este trabajo, y por el esfuerzo y dedicación en la conservación y la ciencia.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	I
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	II
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	IV
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	IV
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	IV
<b>RESUMEN</b> .....	V
<b>ABSTRACT</b> .....	VI
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>CAPITULO 1</b> .....	8
<b>METODOLOGÍA</b> .....	8
1.1 Área de estudio .....	8
1.2 Diseño de la Investigación .....	9
1.3 Identificación .....	11
1.4 Análisis estadísticos .....	11
1.4.1 Diversidad de micro himenópteros .....	11
1.4.2 Abundancia de micro himenópteros .....	12
<b>CAPITULO 2</b> .....	13
<b>RESULTADOS</b> .....	13
2.1 Composición y estructura de las comunidades de micro himenópteros .....	13
2.2 Diversidad de micro himenópteros .....	14
2.3 Abundancia de micro himenópteros .....	15
2.4 Familias relevantes .....	16
<b>CAPITULO 3</b> .....	17
<b>DISCUSIONES</b> .....	17
<b>REFERENCIAS</b> .....	21
<b>ANEXOS</b> .....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> Mapa del sitio de muestreo, a) áreas de estudio; b) localización de “Los Gemelos”; c) isla Santa Cruz-Galápagos (imágenes obtenidas de google earth y datazone de la estación científica charles darwin). .....	9
<b>FIGURA 2:</b> Mapa del área de estudio con los dos sitios de muestreo: <i>Control y Tratamiento</i> , con la distribución y ubicación de sus cuadrantes, numerados de 1 a 17, además de la ubicación de las 4 trampas malaise, dentro del bosque de Scalesia-sector Los Gemelos, (Imágenes obtenidas de Google Earth). .....	10
<b>FIGURA 3:</b> Histograma de la abundancia de micro himenópteros.....	13
<b>FIGURA 4:</b> Boxplots; a) total de familias de micro himenópteros por áreas de estudio en todos los años; b) total de individuos de todos los años por área de estudio. ....	14
<b>FIGURA 5:</b> Diversidad de familias dentro de las dos áreas de estudio: <i>Control y Tratamiento</i> , en los distintos años de muestreo. ....	14
<b>FIGURA 6:</b> Diagrama de ordenación de escalamiento no multidimensional basado en la composición de micro himenópteros en cada áreas de estudio <i>Control y Tratamiento</i> . ....	15
<b>FIGURA 7:</b> Aumento en el intercepto por cada efecto al azar de cada familia. ....	16
<b>FIGURA 8:</b> Variaciones en la abundancia de las 9 familias con mayor número de individuos en los diferentes años de muestreo para las 2 áreas de estudio. ....	17

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1:</b> Comparación de modelos nullos de bajas especificaciones con el modelo mixto lineal generalizado al azar (glmm). El p-value es tomado de una distribución del $\chi^2$ . ....	15
<b>TABLA 2:</b> Varianzas de los efectos al azar.....	15
<b>TABLA 3:</b> Efecto de las áreas de estudio tratamiento y control en la abundancia de individuos. ....	16

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1:</b> Tabla con la abundancia de individuos por familias dentro de las dos áreas de estudio: control y tratamiento, dentro de los años de muestreo. .... <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
<b>ANEXO 2:</b> Tabla general del número de individuos totales por cada familia para cada área de estudio, ordenada con la familia de mayor a menor abundancia.....	31

## RESUMEN

El control químico de la especie invasora *Rubus niveus* ha sido aplicado en el bosque de *Scalesia* de la isla Santa Cruz – Galápagos en los últimos años. Debido a las preocupaciones de los posibles efectos de este control se llevan a cabo trabajos con distintos grupos de fauna para evaluar su posible impacto sobre estas comunidades. Este trabajo analizó y comparó la diversidad y abundancia a nivel de familia de micro himenópteros durante un periodo de cinco años, dentro de un área infestada por *R. niveus* y otra donde se realiza un control de esta especie. Los resultados mostraron una diversidad similar entre las dos parcelas y una variación en la abundancia. Además se encontró un aumento en la diversidad y abundancia desde el año 2014 al 2018. También se identificaron cambios específicos en la abundancia de individuos de cada familia. Aunque las razones específicas de estos cambios en las comunidades de micro himenópteros no están muy claras, ya que puede existir de factores externos que pueden tener un efecto. Se necesita de futuras investigaciones para entender el posible efecto del control de *R. niveus* en el bosque de *Scalesia* en Galápagos.

**Palabra clave:** Conservación, Entomología, Ecuador, Especies invasoras, Insectos.



Pablo Sebastián Padrón Martínez Ph.D

**Director de tesis**



Antonio Crespo Ampudia Ph.D

**Coordinador de Escuela**



Rubén Patricio Picón Rentería

**Autor**

**ABSTRACT**

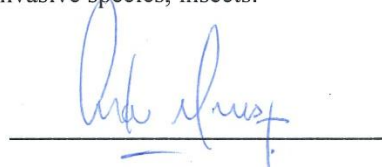
In recent years, the chemical control of the invasive species *Rubus niveus* has been applied in the *Scalesia* forest from the Santa Cruz Island in Galapagos. Due to concerns about the possible effects of this control, work was carried out with different wildlife groups to assess its possible impact on the communities. This work analyzed and compared the diversity and abundance at the family level of micro hymenoptera for a period of five years within a plot infested by *R. niveus* and another where control of this species was carried out. The results showed a similar diversity between the two plots and a variation in abundance. In addition, an increase in diversity and abundance was found from 2014 to 2018. Specific changes in the abundance of individuals in each family were identified. The specific reasons for these changes in the micro hymenoptera communities are not very clear as there may be external factors that may have an effect. Future research is needed to understand the possible effect of the control of *R. niveus* in the *Scalesia* forest in Galapagos.

Keywords: conservation, enthomology, Ecuador, invasive species, insects.



Pablo Sebastián Padrón Martínez, PhD.

**Thesis Director**




Antonio Crespo Ampudia PhD.

**Faculty Director**



Rubén Patricio Picón Rentería

**Author**



Translated by  
Ing. Paúl Arpi

## INTRODUCCIÓN

El bosque de *Scalesia* de la isla Santa Cruz es el más extenso de las islas Galápagos (Hamann, 2001). Es un bosque único en el mundo, con niveles altos de endemismo. El mejor ejemplo de un bosque de *Scalesia* se encuentra cerca de los cráteres ‘Los Gemelos’ en la zona húmeda de Santa Cruz. Desafortunadamente, este bosque ha sufrido una reducción drástica de su extensión (Snell *et al.*, 2002), actualmente existe solo el 1.1 por ciento de su cobertura original del bosque de *Scalesia* que existía antes de la llegada de los primeros humanos. (Mauchamp y Atkinson, 2011). Esto se debe a distintos factores: la expansión agrícola en el pasado y el establecimiento de especies introducidas e invasoras en los últimos años (Rentería, *et al.*, 2012b). Una de las amenazas actuales para algunos ecosistemas naturales de las Islas Galápagos, es la presencia de la planta invasora *Rubus niveus* Thunb, 1813, un arbusto de rápido crecimiento (Jäger *et al.*, 2017), capaz de extenderse de manera vegetativa mediante sus ramas cuando entran en contacto con el suelo y considerado una especie altamente invasiva a nivel mundial (Mauchamp, 1997; Rentería *et al.*, 2012a). Algunas especies de este género son consideradas como una de las peores malezas, dada su alta capacidad de invadir áreas importantes para la conservación a nivel mundial (Landazuri y Lane, 1996)

En las islas Galápagos, *R. niveus* fue introducida en la isla de Santa Cruz en 1968 y luego ha sido llevado por el hombre a San Cristóbal e Isabela y se dispersó a Santiago (Rentería *et al.*, 2012b). Actualmente desplaza vegetación nativa y amenaza a especies endémicas (Rentería *et al.*, 2012a). Debido a esto, en los últimos 20 años se han implementado programas de control de plantas invasoras (Rentería *et al.*, 2012b) y desde hace quince años comenzó el control mecánico (con machete) y químico (aplicación de herbicidas) de *R. niveus* en el bosque de *Scalesia* en el área de Los Gemelos (Gardener *et al.*, 2010). Con el objetivo de evaluar los impactos de dicho control a corto y largo plazo en especies nativas y endémicas de aves, invertebrados y plantas, la Fundación Charles Darwin (FCD) y la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG) iniciaron el proyecto: “Restauración del ecosistema de Los Gemelos frente a los impactos actuales y evaluación de la posibilidad de un control biológico de la mora” en el año 2014.

Aunque la aplicación de herbicidas para el control de especies invasoras es una práctica comúnmente utilizada, muchos estudios han demostrado los efectos negativos de estos, en plantas que no son el objetivo principal de su uso (Weidenhamer y Callaway, 2010; Strandberg *et al.*, 2012). También, se han identificado efectos negativos en artrópodos, al alterar la composición de las áreas expuestas a estos químicos (Taylor *et al.*, 2006). Por ejemplo, la exposición constante al glifosato, uno de los herbicidas utilizados en el bosque de *Scalesia*, y sus surfactantes, agentes químicos que se encuentra aún activos en la superficie, afectan tanto a la supervivencia como el



comportamiento de artrópodos (Evans *et al.*, 2010).

Dentro de los artrópodos afectados está el Orden Hymenoptera, considerado uno de los grupos más diversos del mundo (Noyes, 2000; Fernández y Sharkey, 2006). Los himenópteros cumplen funciones sumamente importantes dentro de los ecosistemas (Del Toro *et al.*, 2012; Fabian *et al.*, 2013; Delfín González y Burgos Ruíz, 2013); como el de la polinización (Smith *et al.*, 2008), control biológico (La Salle, 1993), como bioindicadores (Lindsey, 1984; Reyes-Novelo *et al.*, 2008, López-Flores, 2019). Se han realizado varios estudios enfocados en su diversidad (Tylianakis *et al.*, 2006; Beatriz *et al.*, 2009), taxonomía (Mendel *et al.*, 2004; Gibbs, 2009), evolución (Ronquist, 1995; Pennacchio y Strand, 2006), biogeografía (Jones *et al.*, 2009; Mugrabi y Azevedo, 2010), ecología (Jones *et al.*, 2009), estado de conservación (Macías-Macías *et al.*, 2011), e incluso sobre los efectos de los herbicidas (Khan *et al.*, 2015; Alcántara-de la Cruz, *et al.*, 2017). Estos últimos estudios han demostrado que los micro himenópteros parasitoides, tienden a ser susceptibles a perturbaciones con pesticidas, ya sea por exposición directa al químico o porque sus hospederos se ven afectados (de Menezes *et al.*, 2014; Khan *et al.*, 2017). Otro grupo susceptible que se ha visto afectado, es el de los polinizadores, cuando los herbicidas atacan a plantas no objetivo a las que estos se encuentran asociados (Bohnenblust *et al.*, 2016).

Por otro lado, se ha demostrado que existen ciertas familias de himenópteros que no están afectados por herbicidas o que muestran tolerancia a estos (Albajes, *et al.*, 2008). Stecca, *et al.* (2016) experimentaron con *Telenomus remus* (Platygastridae), exponiéndola a distintos herbicidas y concluyeron que los derivados del glifosato no afectan a dicha especie, al igual que Sebai, *et al.* (2012), quienes comprobaron que el glifosato no presenta efectos negativos en *Trichogramma evanescens* (Trichogrammatidae). Se han realizado también, investigaciones sobre el efecto del herbicida en hospederos de himenópteros; Menezes *et al.* (2012) colocaron distintos químicos en pupas hospederas de *Palmistichus elaeisis* (Eulophidae) y obtuvieron nacimientos exitosos además de un alto número de hembras en pupas tratadas con glifosato, comprobando que este químico no afectó al hospedero del micro himenóptero. Similar al caso de Manual *et al.* (2006), quienes trabajaron con los hospederos de *Trichogramma chilonis*, sometidos a cinco distintos herbicidas y analizaron el número de individuos nacidos al igual que su desarrollo posterior, demostrando que ninguno de estos herbicidas afecta al desarrollo y la aparición posterior de los adultos.

En las islas Galápagos, se han realizado estudios recientes dentro del bosque de *Scalesia*, como el de Schmidt (2016), que comparó los efectos de las medidas de control de *R. niveus* en artrópodos, midiendo la riqueza, abundancia y composición dentro de las mismas área de estudio como utilizado en este estudio. Schmidt (2016), utilizó como parámetro la cobertura vegetal, altura de la vegetación, riqueza y composición de plantas; en tres diferentes áreas. La primera, un

área recientemente controlada, la segunda, un área controlada hace tres años y la tercera, un área donde no ha existido control. El tipo de control aplicado fue el mismo que se redacta en este trabajo. Schmidt (2016) obtuvo como resultado una abundancia y riqueza de artrópodos (Aranea, Coleoptera, Formicidae, Orthoptera), similares en el área controlada hace 3 años y el área sin control. En el caso de área recientemente controlada, la abundancia resultó ligeramente más baja que las otras dos. Sin embargo, en el caso de individuos endémicos, Schmidt (2016) obtuvo una baja abundancia en el área sin control en comparación con el área controlada hace 3 años, lo que podría explicarse por los cambios y alteraciones del hábitat por la presencia de *R. niveus*.

Los estudios del grupo Himenoptera dentro las Islas Galápagos son pocos (Peck, 2001) y no se conoce el número total de micro himenópteros introducidos, nativos y endémicos presentes en el archipiélago (Peck *et al.*, 1998). En la actualidad, no existen trabajos sobre el posible efecto del tratamiento usado para controlar *R. niveus* sobre los micro himenópteros. Es por esta falta de información de este grupo y el desconocimiento de los efectos del control de la especie invasora *R. niveus* que el presente trabajo constituye un análisis para evaluar los cambios en la riqueza y abundancia de micro himenópteros a nivel de familia, en los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, dentro de dos sitios de muestreo: uno en el que no se lleva a cabo el control de *R. niveus* y otro en el que sí se realiza el control.

## CAPITULO 1 METODOLOGÍA

### 1.1 Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la isla Santa Cruz – Galápagos, dentro del área protegida del bosque de *Scalesia*, en el sector de Los Gemelos (Fig.1), en la carretera Puerto Ayora – Canal de Itabaca kilómetro 22. Se encuentra en la parte alta de la isla a las 600 m de altura, y a los 3.8 km al noreste del pueblo de Santa Rosa, con coordenadas 0°45'00" S - 90°19'00" W. Los cráteres de Los Gemelos son formaciones volcánicas de origen similar a las calderas (estas son consecuencia de colapsos estructurales seguidos del hundimiento de la parte más elevada, una vez evacuado el magma subyacente), pero de menor tamaño (Gallardo y Toulkeridis, 2018). Estos cráteres se encuentran rodeados de vegetación y están dentro de un bosque único en el mundo, el bosque de *Scalesia*.

El bosque de *Scalesia* está situado dentro de la zona húmeda (Rentería *et al.*, 2012b), con una precipitación media anual de aproximadamente 1845 mm (Trueman y d'Ozouville, 2010). El bosque de *Scalesia* de la isla de Santa Cruz es el mayor remanente de *S. pedunculata* (Hamann, 2001). Constituye el hábitat de especies nativas y endémicas actualmente amenazadas por la expansión agrícola y la presencia de especies introducidas (Snell *et al.*, 2002). Tiene una extensión de alrededor de 100 hectáreas, con un rango altitudinal entre los 400 a 600 metros sobre el nivel

del mar (Rentería, *et al.*, 2012a).

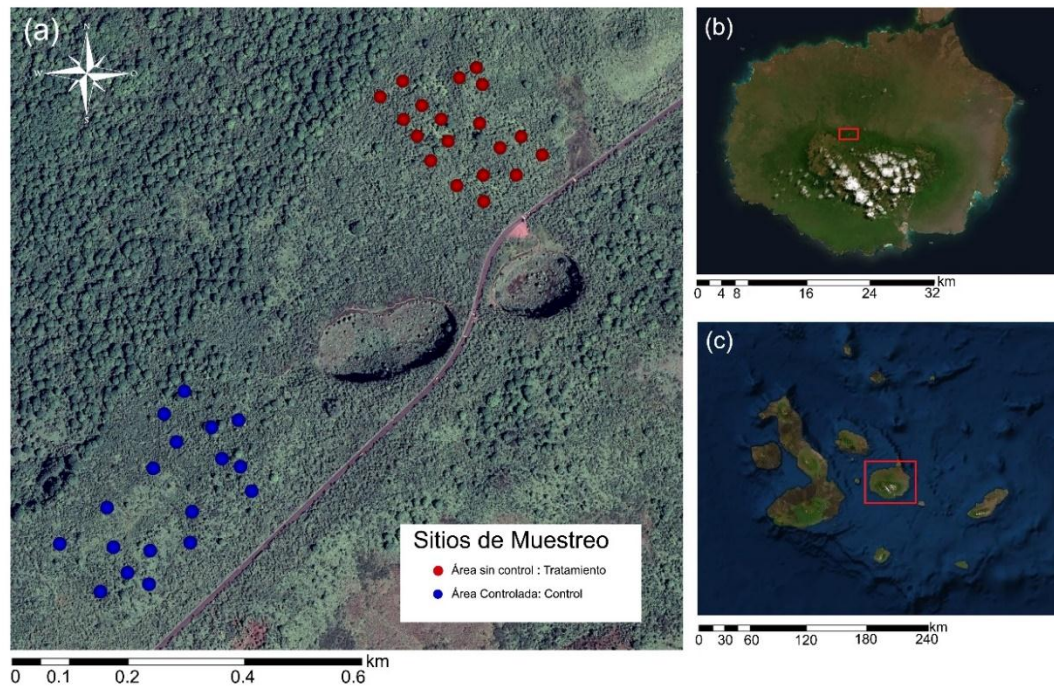


Figura 1: Mapa del sitio de muestreo, a) áreas de estudio; b) localización de “Los Gemelos”; c) Isla Santa Cruz-Galápagos. (Imágenes obtenidas de Google Earth y dataZone de la Fundación Charles Darwin).

## 1.2 Diseño de la Investigación

El diseño de estudio fue establecido por los investigadores del proyecto: “Restauración del ecosistema de Los Gemelos frente a los impactos actuales y evaluación de la posibilidad de un control biológico de la mora” en el cual establecieron 2 áreas de estudio, la primera denominada Tratamiento, de 200 x 300 m ( $0^{\circ} 37.392' S$ ,  $90^{\circ} 23.105' W$ ) (Fig. 1). La segunda llamada Control, de 400 x 200 m ( $0^{\circ} 37.710' S$ ,  $90^{\circ} 23.387' W$ ) (Fig. 1). Dentro de cada área de estudio, se establecieron 17 cuadrantes permanentes de 10 x 10 m, en total 34 cuadrantes para toda el área de estudio (Fig. 2). El área de *Tratamiento*, ha sido sometida a control manual y químico de *R. niveus*; además, dentro de esta área de estudio se han implementado medidas de reforestación con *Scalesia*, entre otras especies endémicas y nativas. En el área de estudio *Control*, considerada como el sitio de referencia, no se ha realizado ninguna intervención química o manual por lo que, la presencia de *R. niveus* es predominante.

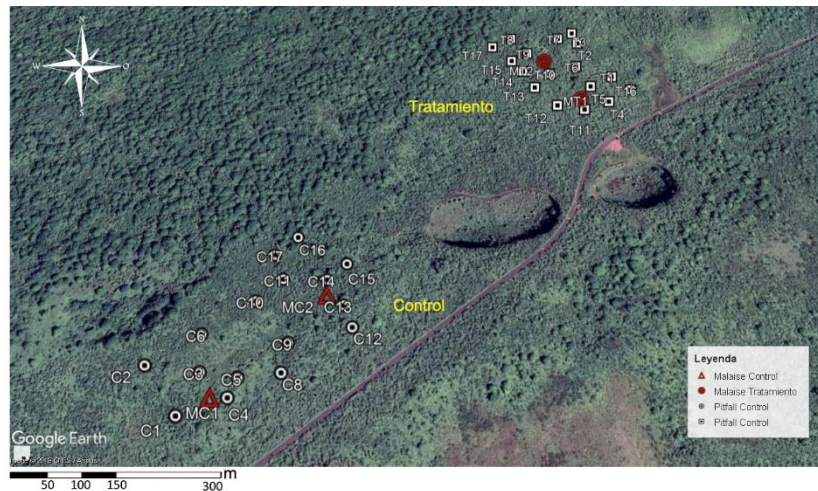


Figura 2: Mapa del área de estudio con los dos sitios de muestreo: *Control* y *Tratamiento*, con la distribución y ubicación de sus cuadrantes, numerados de 1 a 17, además de la ubicación de las 4 trampas Malaise, dentro del bosque de *Scalesia*-sector Los Gemelos, (imágenes obtenidas de Google Earth).

El equipo entomológico del proyecto “*Restauración del ecosistema de Los Gemelos frente a los impactos actuales y evaluación de la posibilidad de un control biológico de la mora*” ha realizado colectas desde el 2014 en las dos áreas de estudio (*Control* y *Tratamiento*), para medir los impactos del control en distintos grupos de invertebrados terrestres. Se han realizado estos muestreos una vez al año entre los meses de marzo y abril, mediante 3 métodos: trampas Malaise, Pitfall y colecta manual.

La trampa Malaise, con la que se colectaron los individuos utilizados en esta tesis, es una trampa de interceptación de vuelo que captura una gran diversidad de insectos (Campbell y Hanula, 2007). Los insectos chocan con la pared interna, central de la trampa y ascienden en busca de una salida, encontrándose con un frasco que contiene alcohol al 75%. Se colocaron 2 por cada área de estudio y se las dejó en el área de estudio por 30 días. Al retirar las trampas, se desenroscaron los frascos de las trampas, se colocó una etiqueta de identificación con el nombre, número de la trampa, fecha y colector en cada uno, se los tapó y transportó a la Estación Científica Charles Darwin.

Las trampas Pitfall son trampas de caída, utilizadas para muestrear artrópodos que habitan en el suelo (Morrill, 1975), están conformadas por un recipiente que se coloca a nivel del suelo con agua y jabón (para romper la tensión superficial y evitar que el insecto escape) y una protección en la parte superior de la trampa. Se colocaron 3 trampas Pitfall en cada cuadrante de cada área de estudio; una en el centro y una en cada esquina, estas se ubicaron siempre en dirección Noroeste-Sureste, 102 en total. Estas trampas fueron retiradas después de 2 días, las muestras fueron preservadas en alcohol al 75%. Este tipo de trampas (Malaise y Pitfall), no son de tipo cebo (Wang *et al.*, 2001), es decir, no buscan atraer insectos a largas distancias.

### 1.3 Identificación

El proceso de separación, identificación y procesamiento de muestras se lo realizó en el área de invertebrados de la Estación Científica Charles Darwin (EECD). Las muestras colectadas fueron separadas inicialmente a nivel de Orden. Después se separaron por morfotipos, para continuar con la identificación taxonómica de cada individuo a nivel de familia. Para el grupo de micro himenópteros se utilizaron las claves: (Gauld y Carter, 1983; Goulet y Huber, 1993; Fernández y Sharkey, 2006; Choate, 2011). Se utilizó un estéreo microscopio MEIJI techno EMZ- 13TR.

Una vez identificado a nivel de familia se los almacenó en viales individuales dentro de frascos con alcohol con una concentración del 75%, con su respectiva etiqueta de localidad e información adicional como tipo de trampa, área de estudio, fecha, colector, etc.

### 1.4 Análisis estadísticos

Para los análisis estadísticos se juntaron los datos de los individuos colectados en las trampas pitfall y Malaise de cada área de estudio, esto debido a que no es un factor de comparación el tipo de trampa o colecta. Se comprobó la normalidad de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk; este análisis plantea como hipótesis nula que los datos provienen de una población normalmente distribuida, si el p-valor no muestra significancia, la hipótesis nula es rechazada, concluyendo que los datos no tienen una distribución normal (Royston, 1992). A manera exploratoria se representó gráficamente mediante boxplots la abundancia de individuos como riqueza de familias por área de estudio.

#### 1.4.1 Diversidad de micro himenópteros

Para el análisis de la diversidad de micro himenópteros dentro de las dos áreas de estudio, se realizó un test PERMANOVA (Anderson, 2014) mediante la función Adonis (Oksanen *et al.*, 2007). Para este análisis se tomaron los años de colecta como repeticiones (2014-2018), el tipo de área de estudio como factor predictivo y como variable de respuesta, la composición de familias. Se representó además mediante gráfico de líneas la riqueza de familias de las dos áreas de estudio: *Control* y *Tratamiento* en los distintos años de muestreo.

Con la finalidad de representar en un espacio geométrico la composición de familias de micro himenópteros en las dos áreas de estudio, se realizó un escalamiento multidimensional no métrico (NMDS); este análisis es un método de ordenación adecuado para datos que no son normales, es una técnica ampliamente utilizada en ecología y para comunidades biológicas (Minchin, 1987), este análisis nos señala que tan diferentes son las dos áreas de estudio en cuanto a que familias se encuentran en cada una. Para este análisis se utilizó como medida de disimilitud la distancia de Sorensen (Demey *et al.*, 2011). En este caso se descartaron la presencia de las familias: Apidae, Trichogrammatidae, Vespidae, Crabronidae y Eucharitidae, debido a su baja presencia, las cuales

pueden afectar el análisis.

#### **1.4.2 Abundancia de micro himenópteros**

Para el análisis de la abundancia de estos micro himenópteros, se utilizó un modelo mixto lineal generalizado al azar (GLMM); este es una extensión del modelo lineal generalizado (GLM) en el que el predictor lineal contiene efectos aleatorios además de los efectos fijos habituales, además de que al igual que los modelos GLM su uso se extiende a datos no normales (Bolker *et al.*, 2009). Se utilizó este modelo con la intención de saber si existe un efecto al azar por parte del tiempo y las familias de micro himenópteros en la abundancia de estos, dentro de las dos áreas de estudio. Esto se realizó con el propósito de no sobreestimar o subestimar el efecto de las dos áreas de estudio sobre la composición de micro himenópteros pues pueden existir familias o años en los que sus valores sean altos pero no precisamente por efectos de las áreas de estudio, sino por otros factores no controlados.

Debido a que el enfoque de la investigación fue hallar diferencias entre las dos áreas de estudio: *control* y *tratamiento*, la diferencia entre estas fue considerada como el efecto fijo, además de que las condiciones en estas son controladas. En cambio, diferencias entre año y familias debido a que presentan más susceptibilidad por condiciones no controlables, fueron evaluadas como efectos al azar.

En este modelo, los efectos al azar se dan en el punto de intercepción, mientras el efecto del tratamiento no varía dependiendo del año o la familia. Los efectos de las familias y el año son agregados al efecto del tratamiento. Debido a que el tipo de datos en este caso fueron de conteo, la función utilizada fue la *glm* (Fuentes *et al.*, 2012). Finalmente se corrió el modelo con el efecto al azar específico para cada familia. Además, mediante el uso de grafico de líneas se representó también la abundancia según el año y área de estudio, de las nueve familias más abundantes.

Todos los modelos y análisis se realizaron en el software R (R Core Team, 2013); para la prueba NMDS y Adonis se implementó el paquete *vegan* (Dixon, 2003), para NMDS la función *metaMDS* (Oksanen, 2009). Para el modelo mixto lineal generalizado al azar (GLMM), se implementó el paquete *lme4* (Pinheiro, 2012), mediante la función *glm* (Brooks *et al.*, 2017). Los boxplots se generaron usando el paquete *graphics* (Bone, 2001) y la visualización de los datos se realizó con el paquete *ggplot2* (Wickham, 2016).

## CAPITULO 2

### RESULTADOS

#### 2.1 Composición y estructura de las comunidades de micro himenópteros

En total fueron colectados 2768 individuos, entre las trampas Malaise y Pitfall. En el área de estudio *Control* se registraron 1142 individuos distribuidos en 20 familias en los cinco años de estudio (Anexo 1). En el área de estudio *Tratamiento* se registraron 1626 individuos, distribuidos en 19 familias en los cinco años de estudio (Anexo 1). En este trabajo al hablar de diversidad nos referimos al número de familias por sitio y al hablar de abundancia al número total de individuos por sitio.

La familia con mayor abundancia dentro de las dos áreas de estudio fue Platigastridae con un total de 1057 individuos, seguida de las familias Eulophidae con 346 individuos, Braconidae con 269 y Bethylidae con 251 (Anexo 2). Las familias poco comunes fueron Crabronidae con 3 individuos, Eucharitidae y Signiphoridae con 2 individuos y Aphelinidae con un solo individuo (Anexo 2).

El Test de Shapiro–Wilk indicó anormalidad en los datos ( $p\text{-value} < 2.2e-16$ ), estos no poseen una estructura normal (Fig. 3), un número alto de conteos unitarios y la cola larga a la derecha indicaron que los datos requieren especificaciones no-normales para su análisis.

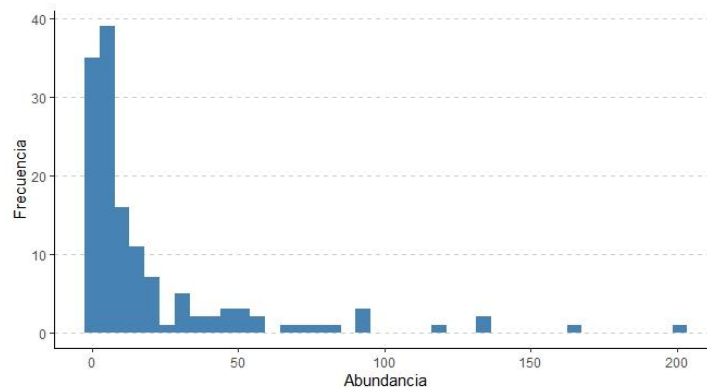


Figura 3: Histograma de la Abundancia de micro himenópteros.

En la exploración de los datos mediante el uso de boxplots (Fig. 4), pudimos observar que existe una pequeña diferencia en la riqueza de familias entre las 2 áreas de estudio *Control* y *Tratamiento*. Se analizó también la abundancia de micro himenópteros en las dos áreas de estudio (Fig. 4), y se pudo observar que el área *Tratamiento* tiene mayor abundancia.

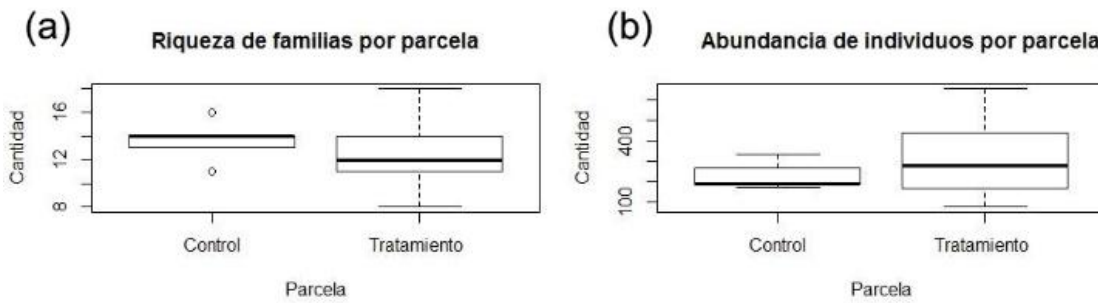


Figura 4: Boxplots, a) Riqueza de familias de micro himenópteros por áreas de estudio en todos los años; b) abundancia de individuos de todos los años por área de estudio.

## 2.2 Diversidad de micro himenópteros

El test PERMANOVA demostró que la composición de micro himenópteros entre las 2 áreas de estudio no tiene diferencias significativas ( $R^2 = 0.11$ ,  $df = 9$ ,  $p > 0,005$ ). En lo que respecta a los distintos años de muestreo se encontraron ciertas diferencias, como podemos observar en la figura 5; en 2014 hubo una menor diversidad en el área de estudio: *Tratamiento* a diferencia de la *Control*, esta relación se invierte a partir del año 2017, donde se evidencia un aumento de la diversidad en el área de estudio *Tratamiento* en comparación con la *Control*.

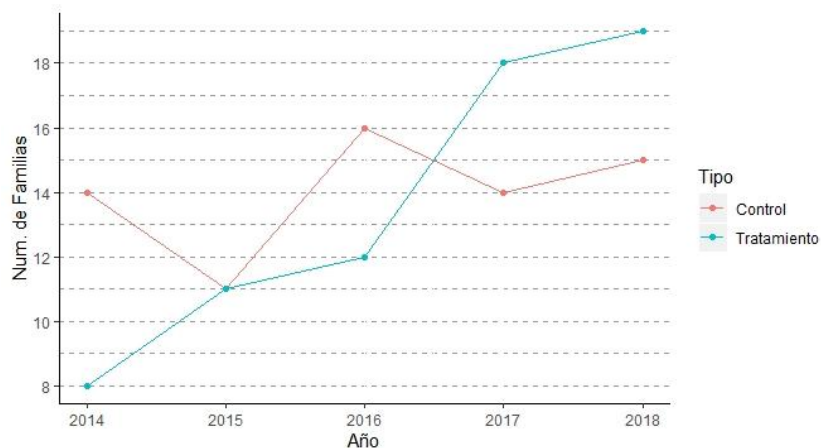


Figura 5: Diversidad de familias dentro de las dos áreas de estudio: *Control* y *Tratamiento*, en los distintos años de muestreo.

En la representación espacial de la composición de micro himenópteros del análisis NMDS (Fig. 6), pudimos observar una sobre posición, es decir una similitud entre las dos áreas de estudio, indicándonos así que no existe diferencia en la composición de micro himenópteros.



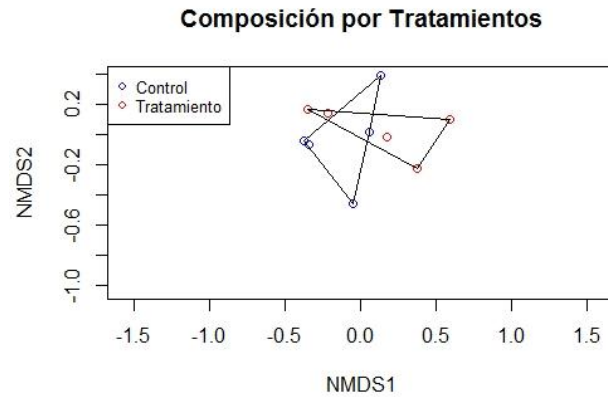


Figura 6: Diagrama de ordenación de escalamiento no multidimensional basado en la composición de micro himenópteros en cada áreas de estudio *Control* y *Tratamiento*.

### 2.3 Abundancia de las familias de micro himenópteros

La comparación del modelo mixto lineal generalizado al azar (GLMM), con modelos nulos (modelos con menos efectos, en este caso sin el efecto al azar del año y sin el de las familias de micro himenópteros) (Tabla.1), demostró mediante la significancia de los *p-values* La importancia de haber agregado los efectos de la familia y años, además, la desviación, así mismo, disminuye en cada interacción. Con esto, se comprobó que el modelo de factores al azar explica una porción importante de la varianza.

Modelo	Desviación	p-value
Solo Tratamiento	1085.43	
Familias + Tratamiento	997.47	6.66e-21
Familias + Año + Tratamiento	992.95	3.34e-02

Tabla 1: Comparación de modelos nulos de bajas especificaciones con el modelo mixto lineal generalizado al azar (GLMM). El p-value es tomado de una distribución del  $\chi^2$ .

Al comparar ambos efectos: año y familias, con la finalidad de observar cual tiene más varianza observamos que entre años no existe tanta diferencia como entre familias. Esto se puede explicar dado que la información de familias (n=21) es mayor a la información de los años (n=5).

Variable	Varianza	Desviación estándar
Familias	1.2984588	1.13
Años	0.0828931	0.28

Tabla 2: Varianzas de los efectos al azar.

El modelo, mediante el efecto al azar específico para cada familia, nos indicó que ciertas familias se ven más influenciadas por el tratamiento (Fig. 7). El aumento del intercepto nos indicó el cambio que existe dentro de cada una de las familias, debido a variables que no conocemos y por la variable conocida que es la del tratamiento. Un mayor incremento del intercepto significa que esa familia ha tenido una mayor variación en el número de individuos a comparación de una con un incremento en el intercepto menor.

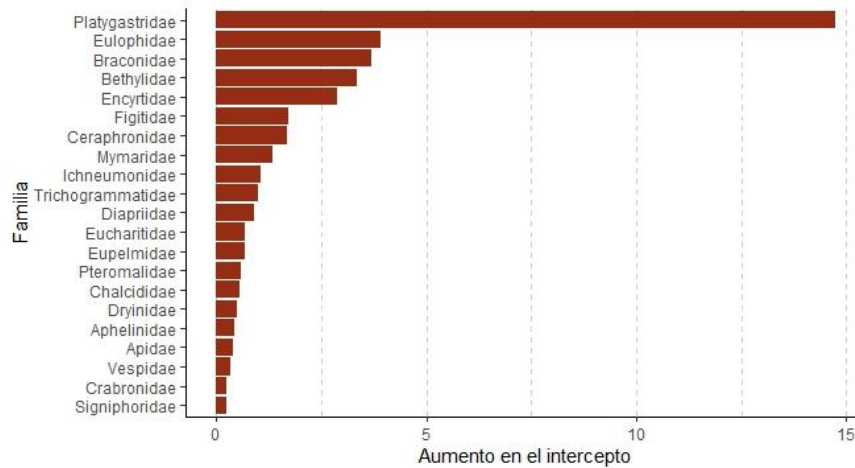


Figura 7: Aumento en el intercepto por cada efecto al azar de cada familia.

El efecto de las áreas de estudio *Control* y *Tratamiento* en la abundancia de individuos, por parte del modelo establecido, es significativo (Tabla 3). El área de *Tratamiento* mostró tener una mayor abundancia de micro himenópteros.

Tipo	Estimado	Error estándar	p-value
Control	5.25	1.64	
Tratamiento	8.58	2.72	0.0021

Tabla 3: Efecto de las áreas de estudio: *Tratamiento* y *Control* en la abundancia de individuos.

## 2.4 Familias relevantes

En el análisis de las 9 familias más abundantes (Fig. 8), se observó que en general el área de estudio: *Tratamiento* tiene mayor abundancia de individuos frente a la de *Control*. Además, pudimos observar un incremento en el número de individuos cada familia, a excepción de Diapriidae, Encyrtidae y Ceraphronidae, desde el año 2014 hasta el 2018.

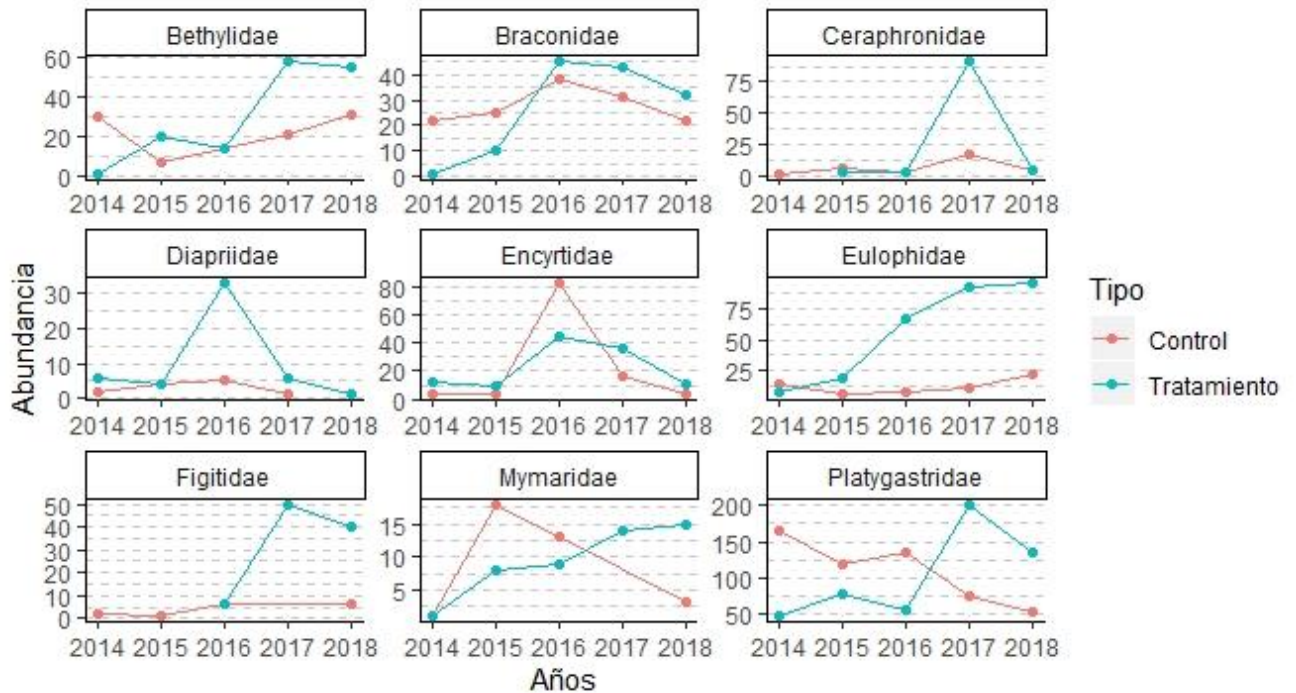


Figura 8: Variaciones en la abundancia de las 9 familias con mayor número de individuos en los diferentes años de muestreo para las 2 áreas de estudio.

### CAPITULO 3 DISCUSIONES

En las Islas Galápagos existe poca información sistematizada sobre los micro himenópteros en general y hasta la actualidad, no hay información sobre los impactos de un control de plantas invasoras sobre este grupo. Por ende, esta investigación contribuye al entendimiento de los micro himenópteros y su respuesta al control mecánico y químico de *R. niveus*. Los resultados indican que la abundancia de individuos varía según el tipo de área de estudio *Control* y *Tratamiento*. Además, esta abundancia mostró también una variación en los distintos años de muestreo. Sin embargo, la riqueza de familias no presenta una diferencia significativa entre las dos áreas, hay similitud en la composición de micro himenópteros en ambas áreas de estudio. En cuanto a la riqueza en el tiempo de muestreo se observó un incremento desde el año 2014 hasta el 2018. Este aumento se da en las dos áreas de estudio: *Tratamiento* como en la *Control*.

La diversidad de micro himenópteros resultó ser la misma en las dos áreas de estudio, mostrando una posible influencia por parte de estos individuos a las perturbaciones o la ausencia de un efecto del control químico utilizado. Varios estudios han demostrado que no existen efectos por parte de ciertos pesticidas en la composición en distintos grupos de himenópteros dada a la capacidad de tolerancia a productos químicos por parte de este grupo (Albajes *et al.*, 2008; Sebai., *et al* 2012). Wang *et al.* (2000), investigaron el efecto a largo plazo por parte de pesticidas aplicados en

bosques y no obtuvieron cambios en la diversidad de himenópteros, al igual Wilkinson *et al.* (1975), quienes analizaron la exposición de ocho de los principales pesticidas utilizados, en distintos individuos de las familias Chalcididae, Braconidae e Ichneumonidae, obteniendo porcentajes menores a 35%) de mortalidad. Si bien ciertas familias muestran no ser afectadas totalmente por el control de *R. niveus* por su respuesta a ciertos pesticidas, dentro de las dos áreas de estudio existen incrementos y disminuciones en el número de individuos de diferentes familias, lo que podría significar que el control de *R. niveus* está afectando a ciertas familias e influenciando a otras, similar a otros trabajos donde han tenido este tipo de respuestas: (Choi, 2008; Chung y Park, 2009; Barbosa *et al.*, 2015; Turchen *et al.*, 2015). En este caso, según el modelo de efectos al azar para cada familia; el análisis encargado de medir como varía la abundancia de individuos para cada familia debido a efectos externos (desconocidos) sumado al efecto conocido, el del tratamiento, las familias: Platygastriidae, Eulophidae, Braconidae y Bethilidae mostraron ser más influenciadas por estos efectos en comparación con las familias Apidae, Vespidae, Crabronidae y Signiphoridae. Lo que significaría que existen diferentes respuestas al control por parte de cada familia de micro himenópteros.

Una posible explicación de la similitud de diversidad entre las dos áreas de estudio sería la movilidad de los insectos. Según Gaston (1993); Nieves-Aldrey y Fontal-Cazalla (1997); los micro himenópteros tienen la capacidad de recorrer grandes distancias (impulsados principalmente por los vientos); Fahrner *et al.*, (2014) registraron que una especie de la familia Eulophidae se puede movilizar hasta 7 km, Munro (1998) en Australia estimó la distancia que se mueven individuos de la familia Ichneumonidae entre 13 a 24 km en un año y de 8 a 15 igualmente por año. La distancia existente entre las áreas de estudio *Control* y *Tratamiento* de nuestro estudio es de aproximadamente un kilómetro, lo que no representaría una distancia que evite que estos individuos crucen entre las dos áreas de estudio.

Además de la poca distancia entre las dos áreas de estudio existen otros componentes que podrían influenciar en la movilidad de estos individuos entre las 2 áreas de estudio: la ausencia de barreras geográficas, altitudinales o climáticas. El área donde se encuentran es el mismo ecosistema (bosque de *Scalesia*) con diferentes micro hábitats (áreas con la presencia y ausencia de *R. niveus*) (Schmidt 2016). Estos factores podrían explicar la presencia de las mismas familias de micro himenópteros en los dos lugares.

De las nueve familias más abundantes, se encontró que en el caso de Bethilidae, Platygastriidae, Eulophidae y Braconidae, existe un incremento de la abundancia (número de individuos) desde el año 2014 al año 2015 dentro del área de *Tratamiento*, en comparación con el área *Control*, lo que indica que dentro de los primeros años de estudio estas familias pudieron ser influenciadas positivamente por el control de *R. niveus*. De igual manera, el modelo de efecto al azar específico

para cada familia, mostró que estas 4 familias son las más influenciadas por el tratamiento. Una posible respuesta a esto se refleja en la respuesta de ciertos individuos de estas familias al químico utilizado para el control de *R. niveus*.

Dentro del área *Tratamiento* hasta el año 2015 no se encontraba la familia Ceraphronidae y hasta el año 2016 la familia Figitidae, mientras que en el área de *Control* sí estaban presentes. Lo que podría significar que posiblemente estas familias fueron afectadas inicialmente por el control. Y en ambos casos el número de individuos de cada una de estas familias tienen una disminución del 2017 al 2018, indicándonos que son probablemente las más afectadas, por el control de *R. niveus*. Las familias Mymaridae y Eulophidae son las únicas que mostraron un incremento en su abundancia del 2014 al 2018 dentro del área *Tratamiento* en comparación con el área *Control*. Entre el año 2016 y 2017 las familias Bethilidae, Figitidae, Ceraphronidae y Platygastriidae tuvieron un incremento abrupto de su abundancia en comparación con el área *Control*.

Por otro lado, las distintas respuestas que tienen las familias en las áreas de estudio *Control* y *Tratamiento* no necesariamente pueden ser por efectos directos del control o la resistencia de estos al químico, sino también debido al comportamiento de estos himenópteros (movilidad, capacidad de establecimiento, etc.), efectos climáticos y la disponibilidad de recursos (Petit *et al.*, 2008; Tryjanowski *et al.*, 2010; Hines y Hendrix, 2005). La manera en la que cada familia responde al control, es una variable importante a considerar en futuras investigaciones, ya que los recursos florales u hospederos pueden estar siendo afectados por el control y por ende sus himenópteros asociados (Cohen *et al.*, 2005; Régnière y Nealis, 2007; Hempel, 2011; Sutherland y Dolman, 1994).

Individuos del grupo himenóptera como polinizadores y parasitoides han demostrado tener relaciones de coevolución con sus recursos (Ollerton, 1999; Basso y Grille 2009), al igual que otros organismos en la naturaleza; especies y ordenes diferentes a los himenópteros (Jordano, 2009; Badii *et al.*, 2013) y como sugieren Castelo y Capurro (2000), cuando uno de los dos componentes declina puede conducir a efectos negativos en su componente asociado, por lo que es posible que como efecto del control de *R. niveus* exista una pérdida de recursos que afecte a sus himenópteros asociados a sus recursos a los cuales se encuentran adaptados particularmente .

Sin embargo, se ha demostrado también cierta adaptación de parasitoides a los cambios en sus hospederos, proporcionando al parasitoide una plasticidad para adaptar sus respuestas a las oportunidades de alimentación (Powell *et al.*, 1998). Esta podría ser otra posible razón de por qué los representantes de cada familia tengan variaciones dentro de las dos áreas de estudio, ciertos individuos pueden estar adaptándose mejor que otros en lo que respecta cambios en sus recursos.

Por otra parte, también existe una probabilidad de que los resultados estén influenciados por factores climáticos. Las islas Galápagos se encuentran influenciadas por la interacción de vientos,

por movimientos de la zona de convergencia intertropical y por la presencia de corrientes oceánicas que rodean las islas como El Niño (Trueman y d'Ozouville, 2010). Y se ha demostrado como estas condiciones afectan a la flora y fauna de las islas (Trillmich y Limberger, 1985; Romero y Wikelski, 2001; Roque Albelo y Causton, 1999) por lo que es probable que en los años que se obtuvieron mayores diferencias en las poblaciones de micro himenópteros tanto en el área *Control* como *Tratamiento* haya sido por efectos climáticos.

Dentro de las 2 áreas de estudio *Control* y *Tratamiento* encontramos las mismas familias presentes en las dos áreas y cambios en el número total de individuos, de igual manera estos cambios se dan en el número de individuos para cada familia. Estas variaciones pueden verse influenciadas por la presencia de *R. niveus* o los efectos que conllevan el control de esta planta introducida, efectos de especies generalistas, distancias, condiciones geográficas, condiciones idóneas para ciertos grupos, disponibilidad de recursos, entre otras. Debido a que este trabajo fue realizado y analizado a nivel de familias, es difícil concluir o asegurar sobre cuáles son las razones principales de los cambios en estos grupos. Es necesario para futuras investigaciones de trabajar a un nivel taxonómico más alto, con la finalidad de comprender mejor el comportamiento y respuesta a nivel de especie de cada himenóptero. Además se recomienda analizar otros parámetros, como las condiciones específicas de cada área de estudio; como tipo de vegetación, surfactantes en cada área de estudio. La respuesta de este grupo de micro himenópteros a condiciones climáticas en las islas; cómo se comportan sus poblaciones en los distintos años en los cuales existen fenómenos ambientales influyentes. Cambios en otros artrópodos y cambios en la vegetación (recursos florales), es decir analizar cómo responden los micro himenópteros al cambio de otros artrópodos.

Este trabajo nos da una idea preliminar de las posibles respuestas que tiene el grupo de micro himenópteros de insectos en el bosque de *Scalesia*, al control químico aplicado para especies invasoras. Nuestros resultados destacan el hecho de que distintos individuos de cada familia pueden mostrar respuestas relacionadas al control de *R. niveus* u otros factores asociados que están interviniendo en las comunidades de micro himenópteros dentro del bosque de *Scalesia*. Este bosque tiene períodos de vida relativamente cortos y sufre cambios de muerte periódica masiva, seguida de una regeneración (Jäger *et al.*, 2009), cambios a los cuales los artrópodos y fauna en general se han adaptado. Probablemente en la presencia de especies invasoras como *R. niveus*, represente un nuevo reto de adaptación para las especies nativas y endémicas (Schmidt, 2016). Esta investigación se encuentra dentro de un proyecto más amplio que analiza los efectos del control en otras especies animales y vegetales, además de evaluar y llevar a cabo medidas de restauración ecológica. Con esta investigación se espera aportar a un mejor conocimiento de los micro himenópteros para así poder contribuir en su conservación y entendimiento en las Islas Galápagos.

## REFERENCIAS

- Albajes, R., Eizaguirre, M., Casado, D., Pérez, M., López, C., Lumbierres, B., y Pons, X. (2008). Impact of glyphosate use on arthropods in transgenic herbicide-tolerant maize; preliminary results from studies in Spain. *GMOs in Integrated Plant Production—Ecological impact of genetically modified organisms, IOBC wprs Bulletin*, 33, 23-29.
- Alcántara-de la Cruz, R., Zaniccio, J. C., Lacerda, M. C., Wilcken, C. F., Fernandes, F. L., de Souza Tavares, W., y Sedyama, C. S. (2017). Side-effects of pesticides on the generalist endoparasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). *Scientific Reports*, 7(1), 10064.
- Anderson, M. J. (2014). Permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA). *Wiley statsref: statistics reference online*, 1-15.
- Badii, M. H., Rodríguez, H., Cerna, E., Valenzuela, J., Landeros, J., y Ochoa, Y. (2013). Coevolución y Mutualismo: Nociones Conceptuales Coevolution and Mutualism: Conceptual Notions. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 8(1), 23-31.
- Barbosa, W. F., De Meyer, L., Guedes, R. N. C., y Smagghe, G. (2015). Lethal and sublethal effects of azadirachtin on the bumblebee *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae). *Ecotoxicology*, 24(1), 130-142.
- Basso, C. y Grille, G (Eds.) (2009). Relaciones entre organismos en los sistemas hospederos-parasitoides simbioses, César Basso, Gabriela Grille eds. *Biblioteca Plural*.
- Beatriz, R. V., Zaragoza-Caballero, S., y Rodríguez, J. M. (2009). Diversidad de Encyrtidae (Hymenoptera: Chalcidoidea) y otras familias de Hymenoptera obtenidas con trampas Malaise en el bosque tropical caducifolio de la región de Huatulco, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80(3), 709-719.
- Bohnenblust, E. W., Vaudo, A. D., Egan, J. F., Mortensen, D. A., y Tooker, J. F. (2016). Effects of the herbicide dicamba on nontarget plants and pollinator visitation. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(1), 144-151.
- Bolker, B. M., Brooks, M. E., Clark, C. J., Geange, S. W., Poulsen, J. R., Stevens, M. H. H., y White, J. S. S. (2009). Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology y Evolution*, 24(3), 127-135.
- Bone, P. F., y France, K. R. (2001). Package graphics and consumer product beliefs. *Journal of Business and Psychology*, 15(3), 467-489.
- Brooks, M. E., Kristensen, K., van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., y Bolker, B. M. (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R Journal*, 9(2), 378-400.

- Bruzzese, E., y Lane, M. (1996). blackberry management handbook. In *Blackberry Management Workshop 1993*: Keith Turnbull Research Institute. Dept. of Conservation and Natural Resources. Melbourne, Australia.
- Campbell, J. W., y Hanula, J. L. (2007). Efficiency of Malaise traps and colored pan traps for collecting flower visiting insects from three forested ecosystems. *Journal of Insect Conservation*, 11(4), 399-408.
- Castelo, M. K., y Capurro, A. F. (2000). Especificidad y denso-dependencia inversa en parasitoides con oviposición fuera del hospedador: el caso de *Mallophora ruficauda* (Diptera: Asilidae) en la pampa argentina. *Ecología Austral*, 10(1), 89-101.
- Choate, P. M. (2011). Key to the Sub-orders of hymenoptera. *University of Florida, Entomology Department*.
- Choi, B. R., Kwon, M., Lee, S. W., y Park, H. M. (2008). Selection of Low Toxic Pesticides to *Microplites mediator*. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 12(2), 177-183.
- Chung, B. K., y Park, C. G. (2009). Management of the development of insecticide resistance by sensible use of insecticide, operational methods. *Korean Journal of Applied Entomology*, 48(2), 123-158.
- Cohen, J. E., Jonsson, T., Müller, C. B., Godfray, H. C. J., y Savage, V. M. (2005). Body sizes of hosts and parasitoids in individual feeding relationships. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(3), 684-689.
- de Menezes, C. W., Soares, M. A., Fonseca, A. J., dos Santos, J. B., Camilo, S. D. S., y Zanuncio, J. C. (2014). *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) as an indicator of toxicity of herbicides registered for corn in Brazil. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(3), 361-365.
- de Menezes, C. W., Soares, M. A., Fonseca, A. J., dos Santos, J. B., Camilo, S. D. S., y Zanuncio, J. C. (2014). *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) as an indicator of toxicity of herbicides registered for corn in Brazil. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(3), 361-365.
- Del Toro, I., Ribbons, R. R., y Pelini, S. L. (2012). The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 17, 133-146.
- Delfín González, H., y Burgos Ruíz, D. (2000). Los braconídeos (Hymenoptera: Braconidae) como grupo parámetro de biodiversidad en las selvas deciduas del Trópico: una discusión acerca de su posible uso. *Acta Zoológica Mexicana*, (79), 43-56.
- Demey, J. R., Pla, L., Vicente-Villardón, J. L., Di Rienzo, J., y Casanoves, F. (2011). Medidas de distancia y similitud. *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con*



- los servicios ecosistémicos*, 384, 47-59.
- Dixon, P. (2003). VEGAN, a package of R functions for community ecology. *Journal of Vegetation Science*, 14(6), 927-930.
- Evans, S. C., Shaw, E. M., y Rypstra, A. L. (2010). Exposure to a glyphosate-based herbicide affects agrobiont predatory arthropod behaviour and long-term survival. *Ecotoxicology*, 19(7), 1249-1257.
- Fabian, Y., Sandau, N., Bruggisser, O. T., Aebi, A., Kehrl, P., Rohr, R. P., y Bersier, L. F. (2013). The importance of landscape and spatial structure for hymenopteran-based food webs in an agro-ecosystem. *Journal of Animal Ecology*, 82(6), 1203-1214.
- Fahrner, S. J., Lelito, J. P., Blaedow, K., Heimpel, G. E., y Aukema, B. H. (2014). Factors affecting the flight capacity of *Tetrastichus planipennis* (Hymenoptera: Eulophidae), a classical biological control agent of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae). *Environmental Entomology*, 43(6), 1603-1612.
- Fernández, F., y M. J. Sharkey (eds.). (2006). Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical. Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C., 174-894.
- Fuentes, A., Rivera, N., Pinos, R., y Zurita, G. (2012). Software Estadístico para Regresión. El caso de Regresión Logística y Regresión Poisson. ESPOL, Guayaquil, Ecuador
- Gallardo, G., y Toulkeridis, T. (2008). Cuevas volcánicas y otras atracciones espeleológicas- Volcanic caves and other speleological attractions-Santa Cruz, Galápagos. Quito, Ecuador, 56pp.
- Gardener, M. R., Atkinson, R., y Rentería, J. L. (2010). Eradications and people: lessons from the plant eradication program in Galapagos. *Restoration Ecology*, 18(1), 20-29.
- Gardener, M. R., Tye, A., y Wilkinson, S. R. (1999). Control of introduced plants in the Galapagos Islands. In *12th Australian Weeds Conference, Papers and Proceedings, Hobart, Tasmania, Australia, 12-16 September 1999: Weed management into the 21st century: do we know where we're going?* (pp. 396-400). University of Tasmania.
- Gaston, K. J. (1993). Spatial patterns in the description and richness of the Hymenoptera. *Hymenoptera and Biodiversity*, 277-293.
- Gauld, I. D., y Carter, J. M. (1983). The Ophioninae of the Galápagos Islands (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Journal of Natural History*, 17(2), 145-155.
- Gibbs, J. (2009). Integrative taxonomy identifies new (and old) species in the *Lasioglossum* (Dialictus) *tegulare* (Robertson) species group (Hymenoptera, Halictidae). *Zootaxa*, 2032(1), 1-38.
- Goulet, H., y Huber, J. T. (1993). Hymenoptera of the world: an identification guide to families. *Centre for Land and Biological Resources*, Ontario, USA.

- Goulson, D., y Stout, J. C. (2001). Homing ability of the bumblebee *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae). *Apidologie*, 32(1), 105-111.
- Gutiérrez-Martínez, P. R. (2014). Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del bosque tropical lluvioso de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, Costa Rica. *Entomotropica*, 29(2), 69-76.
- Hamann, O. (2001). Demographic studies of three indigenous stand-forming plant taxa (*Scalesia*, *Opuntia*, and *Bursera*) in the Galápagos Islands, Ecuador. *Biodiversity & Conservation*, 10(2), 223-250.
- Hempel, P. S. (2011). Evolutionary parasitology: the integrated study of infections, immunology, ecology, and genetics. *Oxford University Press*.
- Hermý, M., Honnay, O., Firbank, L., Grashof-Bokdam, C., y Lawesson, J. E. (1999). An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implications for forest conservation. *Biological Conservation*, 91(1), 9-22.
- Hines, H. M., y Hendrix, S. D. (2005). Bumble bee (Hymenoptera: Apidae) diversity and abundance in tallgrass prairie patches: effects of local and landscape floral resources. *Environmental Entomology*, 34(6), 1477-1484.
- Jäger, H., Kowarik, I., y Tye, A. (2009). Destruction without extinction: long-term impacts of an invasive tree species on Galápagos highland vegetation. *Journal of Ecology*, 97(6), 1252-1263.
- Jäger, H., Cimadom, A., Tebbich, S., Rodríguez, J., Barrera, D., Walentowitz, A., Breuer, M., Carrión, A., Sevilla, C., y Causton, C. (2017) Restauración del bosque de *Scalesia* invadido por mora: Impactos en la vegetación, los invertebrados y las aves. *Informe Galápagos 2015-2016*. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador, 145-150.
- Jones, O. R., Purvis, A., Baumgart, E., y Quicke, D. L. (2009). Using taxonomic revision data to estimate the geographic and taxonomic distribution of undescribed species richness in the Braconidae (Hymenoptera: Ichneumonoidea). *Insect Conservation and Diversity*, 2(3), 204-212.
- Jordano, P., Vázquez, D., y Bascompte, J. (2009). Redes complejas de interacciones planta-animal. Santiago, Chile: Editorial Universitaria. 17-41.
- Khan, M. A., y Ruberson, J. R. (2017). Lethal effects of selected novel pesticides on immature stages of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pest Management Science*, 73(12), 2465-2472.
- Khan, M. A., Khan, H., y Ruberson, J. R. (2015). Lethal and behavioral effects of selected novel

- pesticides on adults of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pest Management Science*, 71(12), 1640-1648.
- La Salle, J., y Gauld, I. D. (1993). Hymenoptera: their biodiversity, and their impact on the diversity of other organisms. *Hymenoptera and Biodiversity.*, 1-26.
- Lindsey, A. H. (1984). Reproductive biology of Apiaceae. I. Floral visitors to *Thaspium* and *Zizia* and their importance in pollination. *American Journal of Botany*, 71(3), 375-387.
- López-Flores, X. L. (2019). Evaluación de las comunidades de himenópteros como indicadores del avance de la restauración ecológica en la Reserva Biológica Tapichalaca, Zamora Chinchipe (Bachiller tesis, Loja).
- Macías-Macías, J. O., Quezada-Euán, J. J. G., Contreras-Escareño, F., Tapia-Gonzalez, J. M., Moo-Valle, H., y Ayala, R. (2011). Comparative temperature tolerance in stingless bee species from tropical highlands and lowlands of Mexico and implications for their conservation (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Apidologie*, 42(6), 679-689.
- Manual, S. K., Debnath, M., y Panja, S. (2006). Effect of some herbicides on egg parasitism and development of *Trichogramma chilonis* Ishii (Trichogrammatidae: Hymenoptera). *Journal of Crop and Weed*, 2(1), 26-28.
- Mauchamp, A. (1997). Threats from alien plant species in the Galápagos Islands. *Conservation Biology*, 260-263.
- Mauchamp, A., y Atkinson, R. (2011). Pérdida de hábitat rápida, reciente e irreversible: Los bosques de *Scalesia* en las islas Galápagos En: Informe Galápagos 2009–2010. *Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador*.
- Medina-Gaud, S. (1977). Manual de procedimientos para coleccionar, preservar y montar insectos y otros artrópodos. *Boletín*, 254.
- Mejía, M., Bustillo, P., Orozco, H., y Cháves, C. (2000). Effect of four insecticides and *Beauveria bassiana* on *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyridae) parasitoid of the coffee berry borer. *Revista Colombiana de Entomología*, 26(3/4), 117-123.
- Mendel, Z., Protasov, A., Fisher, N., y La Salle, J. (2004). Taxonomy and biology of *Leptocybe invasa* gen. y sp. n. (Hymenoptera: Eulophidae), an invasive gall inducer on *Eucalyptus*. *Australian Journal of Entomology*, 43(2), 101-113.
- Menezes, C. D., Soares, M. A., Santos, J. B., Assis Júnior, S. L., Fonseca, A. J., y Zanuncio, J. C. (2012). Reproductive and toxicological impacts of herbicides used in *Eucalyptus* culture in Brazil on the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). *Weed Research*, 52(6), 520-525.
- Minchin, P. R. (1987). An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination. In *Theory and models in vegetation science* (pp. 89-107). Springer, Dordrecht.
- Morrill, W. L. (1975). Plastic pitfall trap. *Environmental Entomology*, 4(4), 596-596.

- Mugrabi, D., y Azevedo, C. (2010). Insecta, Hymenoptera, Bethyridae: Range extension and filling gaps in Madagascar. *Check List*, 6, 62.
- Munro, V. M. (1998). A retrospective analysis of the establishment and dispersal of the introduced Australian parasitoids *Xanthopimpla rhopaloceros* (Krieger) (Hymenoptera: Ichneumonidae) and *Trigonospila brevifacies* (Hardy) (Diptera: Tachinidae) within New Zealand. *Biocontrol Science and Technology*, 8(4), 559-571.
- Nieves-Aldrey, J. L., y Fontal-Cazalla, F. (1997). Los insectos de la isla de Coiba (Panamá). Abundancia y dinámica estacional. Análisis del caso de los himenópteros (Hexapoda Hymenoptera). *Graellsia*. Madrid, 329-361.
- Noyes, J. S. (2000). Encyrtidae of Costa Rica (Hymenoptera: Chalcidoidea), 1. The subfamily Tetracneminae, parasitoids of mealybugs (Homoptera: Pseudococcidae). *Memoirs of the American Entomological Institute*, 62, 1-355.
- Oksanen, J. (2009). Ordination and analysis of dissimilarities: tutorial with R and Vegan. *Knoxv. Univ. Tennessee*.
- Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P., O'Hara, B., Stevens, M. H. H., Oksanen, M. J., y Suggests, M. A. S. S. (2007). The vegan package. *Community ecology package*, 10, 631-637.
- Ollerton, J. (1999). La evolución de las relaciones polinizador-planta en los artrópodos. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 26, 741-758.
- Peck, S. B. (2001). Smaller orders of insects of the Galápagos Islands, Ecuador: evolution, ecology and diversity. *NRC Research Press*.
- Peck, S.B. Heraty, J. Landry, B. Sinclair, B.J. (1998). Introduced insect fauna of an oceanic archipelago: the Galápagos Islands, Ecuador. *American Entomologist*, 44, 218-237
- Pennacchio, F., y Strand, M. R. (2006). Evolution of developmental strategies in parasitic Hymenoptera. *Annual Review of Entomology*. 51, 233-258.
- Petit, J. N., Hoddle, M. S., Grandgirard, J., Roderick, G. K., y Davies, N. (2008). Short-distance dispersal behavior and establishment of the parasitoid *Gonatocerus ashmeadi* (Hymenoptera: Mymaridae) in Tahiti: Implications for its use as a biological control agent against *Homalodisca vitripennis* (Hemiptera: Cicadellidae). *Biological Control*, 45(3), 344-352.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., y Team, R. C. (2012). nlme: Linear and nonlinear mixed effects models. *R package version*, 3(0).
- Powell, W., Pennacchio, F., Poppy, G. M., y Tremblay, E. (1998). Strategies Involved in the Location of Hosts by the Parasitoid *Aphidius ervi* Haliday (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). *Biological Control*, 11(2), 104-112.
- Régnière, J., y Nealis, V. G. (2007). Ecological mechanisms of population change during

- outbreaks of the spruce budworm. *Ecological Entomology*, 32(5), 461-477.
- Rentería, J. L., y Buddenhagen, C. (2006). Invasive plants in the *Scalesia pedunculata* forest at Los Gemelos, Santa Cruz, Galapagos. *Galapagos Research*, 64, 31-35.
- Rentería, J. L., Gardener, M. R., Panetta, F. D., y Crawley, M. J. (2012a). Management of the invasive hill raspberry (*Rubus niveus*) on Santiago Island, Galapagos: eradication or indefinite control? *Invasive Plant Science and Management*, 5(1), 37-46.
- Rentería, J. L., Gardener, M. R., Panetta, F. D., Atkinson, R., & Crawley, M. J. (2012b). Possible impacts of the invasive plant *Rubus niveus* on the native vegetation of the *Scalesia* forest in the Galapagos Islands. *PLoS One*, 7(10), e48106.
- Reyes-Novelo, E., Meléndez, V., Delfín, H., y Ayala, R. (2008). Wild bees (hymenoptera: apoidea) as bioindicators in the neotropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 1-13.
- Romero, L. M., y Wikelski, M. (2001). Corticosterone levels predict survival probabilities of Galapagos marine iguanas during El Nino events. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(13), 7366-7370.
- Ronquist, F. (1995). Phylogeny and early evolution of the Cynipoidea (Hymenoptera). *Systematic Entomology*, 20(4), 309-335.
- Roque Albelo, L., y Causton, C. (1999). El Nino and introduced insects in the Galapagos Islands: different dispersal strategies, similar effects. *Noticias de Galápagos*, 60, 30-36.
- Royston, P. (1992). Approximating the Shapiro-Wilk W-Test for non-normality. *Statistics and Computing*, 2(3), 117-119.
- Schmidt P. L. (2016). Effects of invasive plant control on arthropod abundance and diversity in the *Scalesia* forest on Santa Cruz, Galápagos. Tesis de Maestría. Institute for Conservation Biology, Berlin, Germany.
- Sebai, O. A., Mohamed, F., y Osama, A. E. (2012). Side-effect of certain herbicides on egg parasitoid *Trichogramma evanescens* (West.) (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Academic Journal of Entomology*, 5(1), 1-10.
- Simberloff, D., Schmitz, D. C., y Brown, T. C. (Eds.). (1997). Strangers in paradise: impact and management of nonindigenous species in Florida. *Island press*. Washington, DC.
- Smith, S. D., Ané, C., y Baum, D. A. (2008). The role of pollinator shifts in the floral diversification of *Iochroma* (Solanaceae). *Evolution: International Journal of Organic Evolution*. 62(4), 793-806.
- Snell, H. L., Tye, A., Causton, C. E., y Bensted-Smith, R. (2002). Current status of and threats to the terrestrial biodiversity of Galapagos. A biodiversity vision for the Galápagos Islands.

- Charles Darwin Foundation and World Wildlife Fund, Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador. 30-47.
- St. Quinton, J. M., Fay, M. F., Ingrouille, M., y Faull, J. (2011). Characterisation of *Rubus niveus*: a prerequisite to its biological control in oceanic islands. *Biocontrol Science and Technology*, 21(6), 733-752.
- Stecca, C. S., Bueno, A. D. F., Pasini, A., Silva, D. M., y Andrade, K. (2016). Side-effects of glyphosate to the parasitoid *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Platygasteridae). *Neotropical Entomology*, 45(2), 192-200.
- Strandberg, B., Bruus, M., Kjær, C., Damgaard, C., Andersen, H. V., Bossi, R., y Kudsk, P. (2012). Effects of herbicides on non-target plants: How do effects in standard plant tests relate to effects in natural habitats?. *Danish National Research data base*, 116pp.
- Sutherland, W. J., y Dolman, P. M. (1994). Combining behaviour and population dynamics with applications for predicting consequences of habitat loss. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 255(1343), 133-138.
- Taylor, R. L., Maxwell, B. D., y Boik, R. J. (2006). Indirect effects of herbicides on bird food resources and beneficial arthropods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 116(3-4), 157-164.
- Team, R. C. (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.
- Trueman, M., y d'Ozouville, N. (2010). Characterizing the Galapagos terrestrial climate in the face of global climate change. *Galapagos Research*, 67, 26-37.
- Trillmich, F., y Limberger, D. (1985). Drastic effects of El Niño on Galapagos pinnipeds. *Oecologia*, 67(1), 19-22.
- Tryjanowski, P., Pawlikowski, T., Pawlikowski, K., Banaszak-Cibicka, W., y Sparks, T. H. (2010). Does climate influence phenological trends in social wasps (Hymenoptera: Vespinae) in Poland?. *European Journal of Entomology*, 107(2).
- Tylianakis, J. M., Tscharnkte, T., y Klein, A. M. (2006). Diversity, ecosystem function, and stability of parasitoid–host interactions across a tropical habitat gradient. *Ecology*, 87(12), 3047-3057.
- Wang, C., Strazanac, J., y Butler, L. (2000). Abundance, diversity, and activity of ants (Hymenoptera: Formicidae) in oak-dominated mixed Appalachian forests treated with microbial pesticides. *Environmental Entomology*, 29(3), 579-586.
- Wang, C., Strazanac, J., y Butler, L. (2001). A comparison of pitfall traps with bait traps for studying leaf litter ant communities. *Journal of Economic Entomology*, 94(3), 761-765.
- Weidenhamer, J. D., y Callaway, R. M. (2010). Direct and indirect effects of invasive plants on

- soil chemistry and ecosystem function. *Journal of Chemical Ecology*, 36(1), 59-69.
- Wickham, H., Chang, W., y Wickham, M. H. (2016). Package 'ggplot2'. *Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics. Version*, 2(1), 1-189.
- Wilkinson, J. D., Biever, K. D., y Ignoffo, C. M. (1975). Contact toxicity of some chemical and biological pesticides to several insect parasitoids and predators. *Entomophaga*, 20(1), 113-120.

## ANEXOS

Anexo 1: Tabla con la abundancia de individuos por familias dentro de las dos áreas de estudio: Control y Tratamiento, dentro de los años de muestreo.

Área de estudio	Control						Tratamiento						Total general
Familia	2014	2015	2016	2017	2018	Total	2014	2015	2016	2017	2018	Total	
Aphelinidae			1			1							1
Apidae				2	3	5				3	2	5	10
Bethylidae	30	7	14	21	31	103	1	20	14	58	55	148	251
Braconidae	22	25	38	31	22	138	1	10	45	43	32	131	269
Ceraphronidae	2	6	4	17	5	34		4	3	91	5	103	137
Chalcididae	4		2	1	2	9		3	3	15	4	25	34
Crabronidae				1	1	2					1	1	3
Diapriidae	2	4	5	1		12	6	4	33	6	1	50	62
Dryinidae	1	1	2	5		9				9	2	11	20
Encyrtidae	4	3	83	17	3	110	12	10	45	36	11	114	224
Eucharitidae	2					2							2
Eulophidae	15	6	8	12	23	64	9	19	67	92	95	282	346
Eupelmidae	6		6	2	1	15			3	3	11	17	32
Figitidae	2	1	6		6	15			6	50	40	96	111
Ichneumonidae	15		7	1	8	31	5	10	5	6	4	30	61
Mymaridae	1	18	13		3	35	1	8	9	14	15	47	82
Platygastridae	164	118	135	74	51	542	46	78	54	202	135	515	1057
Pteromalidae		1	1	3	8	13		1		4	10	15	28
Signiphoridae										1	1	2	2
Trichogrammatidae					1	1				20	9	29	30
Vespidae			1			1				1	4	5	6
Total general	270	190	326	188	168	1142	81	167	287	654	437	1626	2768



**Anexo 2:** Tabla general del número de individuos totales por cada familia para cada área de estudio ordenada con la familia de mayor a menor abundancia.

Área de estudio	Control	Tratamiento	Total general
<b>Familia</b>			
Platygastridae	542	515	1057
Eulophidae	64	282	346
Braconidae	138	131	269
Bethylidae	103	148	251
Encyrtidae	110	114	224
Ceraphronidae	34	103	137
Figitidae	15	96	111
Mymaridae	35	47	82
Diapriidae	12	50	62
Ichneumonidae	31	30	61
Chalcididae	9	25	34
Eupelmidae	15	17	32
Trichogrammatidae	1	29	30
Pteromalidae	13	15	28
Dryinidae	9	11	20
Apidae	5	5	10
Vespidae	1	5	6
Crabronidae	2	1	3
Eucharitidae	2	0	2
Signiphoridae	0	2	2
Aphelinidae	1	0	1
<b>Total general</b>	1142	1626	2768