

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Posgrados

Caracoles terrestres de la Isla San Cristóbal, Galápagos: determinantes climáticos y de uso de suelo en las relaciones poblacionales

María Isabel Villarruel Oviedo

Maestría en Ecología Aplicada

Ph.D. Stella de la Torre

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito
para la obtención del título de Magíster en Ecología

Quito, 17 de mayo de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE POSGRADOS

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

**Caracoles terrestres de la Isla San Cristóbal, Galápagos:
determinantes climáticos y de uso de suelo en las relaciones
poblacionales**

María Isabel Villarruel Oviedo

Firmas

Stella de la Torre Ph.D.

Directora del Trabajo de Titulación

Margarita Brandt Ph.D.

Director del Programa de Maestría en
Ecología

Stella de la Torre Ph.D.

Decano del Colegio de Ciencias Biológicas
y Ambientales

Hugo Burgos Ph.D.

Decano del Colegio de Posgrados

Quito, 17 de mayo 2017

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma de la estudiante: _____

Nombre de la estudiante: María Isabel Villarruel Oviedo

Código de la estudiante: 00128050

C. I.: 171663795-2

Lugar y Fecha: Quito, 17 de mayo de 2017

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mi tutora Stella de la Torre, a los miembros de mi comité de tesis Heinke Jäger y Carlos Valle. Este trabajo no se hubiera llevado a cabo sin la colaboración del Galapagos Science Center, del Parque Nacional Galápagos y la Estación Científica Charles Darwin. La investigación fue financiada por una GAIAS Grant de la Universidad San Francisco de Quito para Stella de la Torre. Un agradecimiento especial a Jeffrey Málaga por su asistencia en el trabajo de campo y a Sergio Miquel y Christine Parent por su guía en la identificación de las especies.

RESUMENES

Influencia del uso de suelo en la diversidad de especies de caracoles terrestres de la isla San Cristóbal, Galápagos

Resumen

Las poblaciones de los caracoles terrestres de las islas Galápagos están siendo afectados por los cambios en el uso de suelo. Las actividades agropecuarias y sobre todo las ganaderas han generado disminución de las especies hasta el borde de la extinción. Sin embargo, no todos los usos son igual de dañinos para los caracoles y ciertos cultivos podrían generar condiciones más favorables. En este estudio se hizo un inventario en cuatro áreas de la isla San Cristóbal: Hacienda el Cafetal, Hacienda Tranquila- donde se ubicaron dos áreas de muestreo: pasto/guayaba y reforestación, y el Parque Nacional Galápagos. Se registraron 11 especies de caracoles de las cuales 3 fueron identificadas solo a nivel de género. La diversidad de caracoles varió significativamente entre áreas con diferente uso del suelo, siendo el hábitat de reforestación el que tuvo la mayor diversidad en la época seca y los hábitats de reforestación y Cafetal los más diversos en la estación lluviosa. Se reportan también diferencias estacionales que apuntan a la importancia del clima en la dinámica poblacional de este grupo. El radio de caracoles muertos vs vivos fue mayor en la estación lluviosa pero la causa de esta diferencia no es conocida. Investigación realizada bajo los permisos de investigación PC6315 (año 2015) y PC2016 (año 2016).

Palabras clave

Caracoles terrestres, Galápagos, población, agricultura, usos del suelo

Evaluación preliminar del papel de los caracoles nativos e introducidos en la descomposición de hojarasca en San Cristóbal, Galápagos.

Resumen

Para evaluar el papel de los caracoles nativos e introducidos en la descomposición de hojarasca, realicé una serie de ensayos de ingestión en tres hábitats diferentes en la isla San Cristóbal: La Hacienda El Cafetal (plantación de café), la Hacienda Tranquila (área de reforestación) y el Parque Nacional Galápagos (PNG). Los ensayos se realizaron con hojarasca de guayaba en las dos épocas climáticas e incluyeron cuatro tratamientos: 1) sin caracoles, 2) con caracoles nativos, 3) con caracoles introducidos y 4) con caracoles nativos e introducidos. Mis resultados sugieren que la tasa de ingesta de hojas de los caracoles, estimada por las diferencias de peso de la hojarasca al inicio y al fin de los ensayos, está influida por el clima, más que por el hábitat o por el tipo de caracoles (nativos o introducidos). Son necesarios nuevos estudios para caracterizar las interacciones entre caracoles nativos e introducidos y evaluar con más profundidad su papel en los procesos de descomposición de los ecosistemas y el efecto del clima sobre la fisiología de los individuos así como la dinámica de las poblaciones de estas especies. Investigación realizada bajo los permisos de investigación PC6315 (año 2015) y PC2016 (año 2016).

Palabras claves: caracoles terrestres, Galápagos, descomposición, hojas de guayaba

ABSTRACTS

Influence of land use in terrestrial snails diversity in San Cristobal Island, Galápagos

Abstract

The community of terrestrial snails in Galápagos is being affected due to the land use changes. Agriculture activities represent a threat to the diversity of snails; however not every change in land use is as damaging as cattle ranching. There are some plantations that generate more favorable conditions for snails. In this study I carried out snail surveys in 4 different areas: Hacienda el Cafetal, Hacienda Tranquila- where we had two areas, the pasture/guava area and reforestation area and the Galapagos National Park. I found 11 species, 3 of them were identified to a gender level. The diversity of snails varied significantly between different land uses. In the rainy season the reforestation habitat was the most diverse and in the dry season the reforestation and Cafetal habitats were the most diverse. We also report differences due to seasonality that show the importance of the weather in the population dynamics of this group. I found a higher ratio of dead vs live snails in the rainy season; the causes of this pattern are still unknown. Research carried out under research permits PC6315 (year 2015) y PC2016 (year 2016).

Key words:

Terrestrial snails, Galapagos, population, agriculture, land uses

Preliminary evaluation of native and introduced snail decomposition of leaves in San Cristobal Island, Galápagos

Abstract

To evaluate the roll of native and introduced snails in litter decomposition, I carried out ingestion essays in three different habitats, in San Cristóbal Island: Hacienda Cafetal (coffee plantation), Hacienda Tranquila (reforestation area) and the Galapagos National Park PNG. The essays were conducted in two climatic seasons. For the essays I used guava leaves distributed in four treatments: 1) without snails, 2) with native snails, 3) with introduced snails and 4) with native and introduced snails. My results suggest that the rate of leaf ingestion, measured by the difference of weight, at the beginning and end of the essays, is influenced by weather, more than by habitats or snail type (native or introduced). More research is needed to characterize the interaction between native and introduced snails and to evaluate in depth their roll in decomposition processes of ecosystems as well as the effect of climate in individuals' physiology and population dynamics. Research carried out under research permits PC6315 (year 2015) y PC2016 (year 2016).

Key words: terrestrial snails, Galápagos, ingestion, guava leaves

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMENES	5
ABSTRACTS	6
TABLA DE CONTENIDO	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
INTRODUCCIÓN	10
Artículo 1: Influencia del uso de suelo en la diversidad de especies de caracoles terrestres de la isla San Cristóbal, Galápagos	13
Artículo 2: Evaluación preliminar del papel de los caracoles nativos e introducidos en la descomposición de hojarasca en San Cristóbal, Galápagos.	35

ÍNDICE DE TABLAS

ARTÍCULO 1: INFLUENCIA DEL USO DE SUELO EN LA DIVERSIDAD DE ESPECIES DE CARACOLES TERRESTRES DE LA ISLA SAN CRISTÓBAL, GALÁPAGOS

Tabla 1. Especies y género encontrados en los ecosistemas muestreados

Tabla 2. Abundancia (número de individuos) por especie, área y estación

ARTÍCULO 2: EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL PAPEL DE LOS CARACOLES NATIVOS E INTRODUCIDOS EN LA DESCOMPOSICIÓN DE HOJARASCA EN SAN CRISTÓBAL, GALÁPAGOS.

Tabla 1. Tasa de ingestión (peso perdido en gramos/día promedio \pm desviación estándar) por lugar, estación y tratamiento

ÍNDICE DE FIGURAS

ARTÍCULO 1: INFLUENCIA DEL USO DE SUELO EN LA DIVERSIDAD DE ESPECIES DE CARACOLES TERRESTRES DE LA ISLA SAN CRISTÓBAL, GALÁPAGOS

Figura 1. Mapa con los hábitats muestreados

Figura 2. Abundancia total de caracoles por cuadrante en la estación seca

Figura 3. Abundancia total de caracoles por cuadrante en la estación lluviosa

Figura 4. Abundancia total de caracoles introducidos y nativos en los hábitats muestreados

Figura 5. Precipitación histórica de la isla san cristóbal, estación san cristóbal-galápagos (inamhi 2016), encerrados en círculo, los niveles de los años de estudio (2015-2016)

ARTÍCULO 2: EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL PAPEL DE LOS CARACOLES NATIVOS E INTRODUCIDOS EN LA DESCOMPOSICIÓN DE HOJARASCA EN SAN CRISTÓBAL, GALÁPAGOS.

Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio en la isla San Cristóbal

INTRODUCCIÓN

Por muchos años los científicos han reconocido el valor de las Islas Galápagos, no solo en términos de conservación, sino por su situación especial de ser un archipiélago de origen volcánico. Un número considerable de estudios han aportado al conocimiento profundo de ciencias como la biogeografía, la ecología de especies nativas e introducidas así como la filogenia de distintos organismos (Parent 2012). Sin embargo, todavía hace falta realizar estudios a largo plazo en los ecosistemas terrestres, sobre todo en el área de invertebrados. En esta investigación yo trabajé con caracoles endémicos, nativos e introducidos de la zona agropecuaria y en el Parque Nacional Galápagos, de la Isla San Cristóbal para tratar de entender en qué medida los cambios en el uso del suelo afectan a la estructura de las comunidades de caracoles en el archipiélago.

Los caracoles son el grupo de animales que presentan la mayor tasa de extinción alrededor del mundo (IUCN 2014). El caso de los caracoles terrestres de Galápagos, no difiere de esta realidad. Muchas de las actividades humanas han contribuido a una disminución en las poblaciones, por ejemplo la introducción de especies como la hormiga *Wasmannia auropunctata* y la reducción de hábitats propios (Parent y Coppo 2009).

Otro de los factores que puede influenciar la diversidad y abundancia de caracoles es el uso de suelo que se da en la zona agropecuaria en las islas. Es un factor especialmente importante ya que estas áreas existe una mayor cantidad de agua, elemento indispensable para la vida de los caracoles. A pesar de esto, muchas áreas siguen siendo habitadas por caracoles, e incluso muestran ser lugares aptos para su supervivencia. Por esta razón, escogí cuatro áreas con diferentes usos de suelo y analicé la comunidad de caracoles de cada una de estas áreas, en términos de riqueza de especies, abundancia y mortalidad.

En los censos que realicé en las cuatro áreas en las dos épocas climáticas, encontré 11 especies de caracoles de las cuales dos son introducidas. En términos de la similitud de especies entre áreas, pude observar que en la estación lluviosa hay mayor similitud que en la estación seca. Además, pude observar que la Hacienda Cafetal es el hábitat con

mayor diversidad y abundancia de caracoles, lo cual sugiere que no todos los usos de suelo son igual de dañinos. Los cafetales, al ser ecosistemas creados para el mantenimiento de humedad y creación de hojarasca, brindan un espacio propicio para los caracoles.

Uno de los principales retos a los que se enfrenta el archipiélago es el manejo de especies introducidas. Estas especies pueden colonizar muchos de los ecosistemas y pueden representar un peligro para los caracoles nativos y endémicos pero no se conoce prácticamente nada sobre esto. Es por ello que realicé un ensayo en el cuál intenté analizar la relación entre especies introducidas de caracoles, como *Subulina octona* y especies nativas/endémicas como *Succinea* sp. y caracoles del género *Naesiotus*. El ensayo constó de diferentes tratamientos en los cuales se dio a los caracoles a hojas secas de guayaba (*Psidium guajava*) como alimento. Este es un árbol introducidos y abundante en gran parte de la isla y que puede ser consumido por los caracoles.

Los resultados sugieren que uno de los factores determinantes en las tasas de ingestión de los caracoles puede ser el clima. No encontré evidencia de interacciones entre los caracoles nativos y los introducidos.

Con esta investigación espero aportar a la construcción de planes de manejo donde se consideren a las especies de caracoles con las que trabajé, para mejorar su estado de conservación. Así mismo mis resultados son una base para futuros estudios más detallados sobre la ecología de los caracoles terrestres, nativos e introducidos, en la Isla de San Cristóbal.

En este trabajo de titulación presento dos artículos:

- 1. Influencia del uso de suelo en la diversidad de comunidades de caracoles terrestres de la isla San Cristóbal, Galápagos**
- 2. Evaluación preliminar del papel de los caracoles nativos e introducidos en la descomposición de hojarasca en San Cristóbal, Galápagos.**

Referencias:

Parent, C. 2012. Biogeographical and ecological determinants of land snail diversification on islands. *American Malacological Bulletin*, Vol.30, pp: 207-215.

Parent, C.,G. Coppois. 2009. On the Snails' Trail. Evolution and Speciation Among a Vanishing Tribe. Galápagos Preserving Darwin's Legacy. Parque Nacional Galápagos y la Fundación Charles Darwin. Tui De Roy (editora).

The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. <www.iucnredlist.org>.

Downloaded on **27 September 2014**

Artículo 1: Influencia del uso de suelo en la diversidad de especies de caracoles terrestres de la isla San Cristóbal, Galápagos

Resumen

Las poblaciones de los caracoles terrestres de las islas Galápagos están siendo afectados por los cambios en el uso de suelo. Las actividades agropecuarias y sobre todo las ganaderas han generado disminución de las especies hasta el borde de la extinción. Sin embargo, no todos los usos son igual de dañinos para los caracoles y ciertos cultivos podrían generar condiciones más favorables. En este estudio se hizo un inventario en cuatro áreas de la isla San Cristóbal: Hacienda el Cafetal, Hacienda Tranquila- donde se ubicaron dos áreas de muestreo: pasto/guayaba y reforestación, y el Parque Nacional Galápagos. Se registraron 11 especies de caracoles de las cuales 3 fueron identificadas solo a nivel de género. La diversidad de caracoles varió significativamente entre áreas con diferente uso del suelo, siendo el hábitat de reforestación el que tuvo la mayor diversidad en la época seca y los hábitats de reforestación y Cafetal los más diversos en la estación lluviosa. Se reportan también diferencias estacionales que apuntan a la importancia del clima en la dinámica poblacional de este grupo. El radio de caracoles muertos vs vivos fue mayor en la estación lluviosa pero la causa de esta diferencia no es conocida. Investigación realizada bajo los permisos de investigación PC6315 (año 2015) y PC2016 (año 2016).

Palabras clave

Caracoles terrestres, Galápagos, población, agricultura, usos del suelo

Abstract

The community of terrestrial snails in Galápagos is being affected due to the land use changes. Agriculture activities represent a threat to the diversity of snails; however not every change in land use is as damaging as cattle ranching. There are some plantations that generate more favorable conditions for snails. In this study I carried out snail surveys in 4 different areas: Hacienda el Cafetal, Hacienda Tranquila- where we had two areas, the pasture/guava area and reforestation area and the Galapagos National Park. I found 11 species, 3 of them were identified to a gender level. The diversity of snails varied significantly between different land uses. In the rainy season the reforestation habitat was the most diverse and in the dry season the reforestation and Cafetal habitats were the most diverse. We also report differences due to seasonality that show the importance of the weather in the population dynamics of this group. I found a higher ratio of dead vs live snails in the rainy season; the causes of this pattern

are still unknown. Research carried out under research permits PC6315 (year 2015) y PC2016 (year 2016).

Key words:

Terrestrial snails, Galapagos, population, agriculture, land uses

Introducción

Las actividades agropecuarias han causado cambios dramáticos en la composición de la biodiversidad alrededor del mundo. Su expansión ha simplificado los ecosistemas dejando solo espacios pequeños de hábitats nativos (Bianchi et al. 2006). Este cambio en el uso de suelo ha resultado especialmente perjudicial para los invertebrados, los cuales desaparecen localmente o se recluyen en los bordes buscando ambientes más estables y sin disturbios (Bianchi et al. 2006).

En las Islas Galápagos, el área destinada a la agricultura es muy reducida, aproximadamente un 3% (entre la zona urbana y agrícola). Muchas hectáreas en esta zona se encuentran ahora abandonadas debido al éxito económico que representan las actividades turísticas. Este abandono ha causado una expansión importante de plantas introducidas, las cuales están afectando un 60% de las áreas agrícolas en la isla San Cristóbal (INEC 2010, Guzmán y Poma 2015).

La modificación de los hábitats naturales y su homogeneización ha sido una de las razones por las cuales se ha visto afectada la comunidad de invertebrados edáficos. En el caso de los caracoles terrestres de las Islas Galápagos, Coppois (2009) relata la complejidad y diversidad de las comunidades encontradas en la isla de Santa Cruz (isla colonizada más tarde que San Cristóbal y Floreana). Describe cómo las poblaciones de caracoles fueron cambiando a medida que los asentamientos humanos se hicieron mayores, se introdujeron especies exóticas y se reemplazó el bosque endémico por pastizales (Parent y Coppois 2009). Otro factor muy importante para la afectación de las comunidades de caracoles es la variación natural del clima, en especial con eventos como El Niño y La Niña, los cuales pueden causar estragos importantes debido a la cantidad de lluvia o a las sequías prolongadas que acarrearán (McPhaden 1999). Se ha evidenciado que en años donde El Niño se hizo presente, superficies grandes de bosques de *Scalesia*, de la isla de Santa Cruz, se perdieron pues las raíces se descompusieron por

la lluvia y como consecuencia los árboles se cayeron a causa de la cantidad de agua (Coppo 2005). En estos eventos, los microhábitats de los caracoles se destruyeron. En años de La Niña, la sequía prolongada y la falta de sombra que proporcionaba el dosel de *Scalesia*, ponen en riesgo a muchas especies de caracoles (Coppo 2005). Sin embargo, el efecto del clima sobre los caracoles no ha sido adecuadamente evaluado aunque es especialmente importante debido a los futuros escenarios de cambio climático.

La fauna nativa de caracoles del archipiélago cuenta con 103 especies descritas, en 13 géneros, siendo la familia Bulimulidae con su género *Naesiotus* la más diversificada. *Naesiotus* contiene más de 70 especies descritas (Hunter et al. 2016). El aislamiento del archipiélago y el entorno fragmentado por las islas son las razones por las cuales este grupo tiene mayor diversidad en las islas que en el continente (Villanea et al. 2016). Si bien se conoce que este género no presenta una relación específica con ninguna planta, si se distribuye en microhábitats locales que son creados por estratos determinados, elevación, y sobre todo tipo de vegetación. Esta es una de las razones por las cuales es tan importante mantener la vegetación nativa (Parent y Crespi 2009).

Debido a que la agricultura se ha realizado en la parte alta de las islas, que es la más húmeda y con mayor diversidad de caracoles, este grupo enfrenta una pérdida poblacional importante. Además, la pérdida de sus hábitats no solo por el aislamiento, sino producto de la fragmentación de los ecosistemas nativos y la baja capacidad de dispersión de estos invertebrados (Coppo 1995) es lo que los ha puesto en riesgo de extinción (IUCN 2014). En este contexto, los objetivos de mi estudio fueron: 1) evaluar el efecto de la agricultura sobre la diversidad alfa y beta de caracoles terrestres de la isla San Cristóbal. 2) Evaluar el efecto de la estacionalidad sobre la diversidad de los caracoles, así como sobre su mortalidad en la isla.

Metodología

Área de estudio

Alrededor del 90% de la isla San Cristóbal es área protegida. Sus suelos son profundos y se caracterizan por ser fértiles, por lo que son aptos para la agricultura (GAD 2016). El área destinada a usos agropecuarios presenta varias especies introducidas entre las

que destacan *Rubus niveus* (mora), *Cedrela odorata* (cedro/cedrela), *Psidium guajava* (guayaba), Poaceae spp. (pasto) y *Syzygium jambos* (pomarosa) (GAD 2016). Para este estudio se escogieron cuatro sitios dentro del área de uso agropecuario, los sitios se presentan a continuación:

Hacienda El Cafetal, se ubica a una altura de aproximadamente 260 msnm (Fig 1). Su extensión es de 500 hectáreas de las cuales 400 hectáreas son plantaciones de café (*Coffea arabica*). Algunas especies introducidas han colonizado a esta plantación como *Momordica charantia* (melón amargo), *Cinchona pubescens* (cascarilla), *Rubus niveus* (mora) y *Citrus sinensis x latifolia* (naranja). Otras especies introducidas se han sembrado intencionalmente por su producción de frutos y hojas, como la guaba o bejuco (*Inga edulis*), y madera como el aguacate (*Persea americana*) y el cedro/cedrela (*Cedrela odorata*) (Valle 2016). El cedro/cedrela es una planta muy utilizada en los cafetales porque proporciona sombra y además suelta grandes cantidades de hojas, las cuales enriquecen el suelo (Farfán et al. 2010). Cada cierto tiempo se hacen actividades de limpieza manual de las especies introducidas que pueden perjudicar al café, como el melón amargo y la mora.

Hacienda Tranquila, ubicada en el recinto La Soledad a 370 msnm. Aquí se muestrearon dos áreas. La primera es la zona de reforestación, donde se creó un pequeño bosque de *Scalesia gordilloi*. Además se tiene un programa de reforestación de especies nativas como *Zanthoxylum fagara* (Uña de gato) y *Lecocarpus darwinii* y se controlan especies introducidas, sobre todo mora y guayaba. La segunda es la zona de guayaba (*Psidium guajava*) y pasto (Poaceae) en donde se mantiene ganado vacuno y equino.

Parque Nacional Galápagos (PNG), área ubicada adyacente al recinto La Soledad. En esta zona no se realiza ningún tipo de actividad agropecuaria. Casi no se hacen labores de limpieza de especies introducidas, por lo tanto hay abundancia de guayaba, mora, pasto y cabuya/penco (*Furcraea hexapetala*), pero también plantas nativas, especialmente árboles maduros de *Hippomane mancinella* (manzanillo).

Métodos

Llevé a cabo la investigación de campo de agosto a septiembre de 2015 y de marzo a abril del 2016. De esta manera, colecté los datos de las dos estaciones climáticas (seca-

septiembre y octubre y lluviosa- febrero y marzo) (Hamann 1979). Trabajé con un sistema de transectos y cuadrantes los cuales fueron previamente marcados (de la Torre 2013). En cada área de estudio, con excepción del PNG (ver abajo), los transectos de 50 metros estuvieron separados entre si por 15 metros. Cada transecto fue marcado cada 10 m. Al azar, escogí dos de estas marcas como puntos de muestreo de 1 × 1m para realizar los censos de caracoles. Cada hábitat contó con 10 puntos de muestreo.

En los cuadrantes de 1m², al azar arrojé un subcuadrante pequeño de 25 × 25 cm, donde realicé los muestreos de caracoles. En el PNG los puntos de muestreo no fueron ubicados al azar, sino específicamente en áreas donde había un menor número de plantas introducidas pues lo que se buscaba era tener un área control, con vegetación nativa.

En los subcuadrantes realicé los censos de caracoles con la técnica de barrido, la cual consiste en una exploración detallada desde el inicio del cuadrante hasta el final. La acción se llevó a cabo máximo 5 cm de profundidad, además analicé con detenimiento la hojarasca que estaba sobre el suelo, observando cuidadosamente cada hoja. Cada censo tuvo una duración de 15 a 20 minutos por censo y los realicé de 7:30AM a 15:30 PM. Los individuos vivos que encontré fueron removidos temporalmente hasta terminar el censo, después fueron devueltos al lugar donde les encontré. A los individuos muertos los retiré después de cada censo y los dejé lejos de cada cuadrante. Realicé dos censos por cuadrante en cada época climática. En los barridos, tomé datos de abundancia, reconocimiento de cada especie y registré tanto a individuos vivos como muertos. Una vez que terminaba el censo deposité las conchas de los individuos muertos fuera de los cuadrantes.

Para la identificación en campo de las familias de los caracoles me basé en Correoso (2008) y Villarruel Oviedo y de la Torre (2014). Cuando encontré individuos de especies desconocidas, colecté las conchas de animales muertos naturalmente para su identificación en el laboratorio de ecología terrestre del Galapagos Science Center. No colecté especímenes vivos. La identificación de especies desconocidas se realizó basándose en Miquel y Herrera (2014) y con la ayuda personal de Sergio Miquel y Christine Parent, expertos en la taxonomía de los caracoles de Galápagos. Utilizando el estereoscopio y su cámara de fotos integrada medí la longitud de la concha y del

opérculo. Registré también la forma y el color de la concha. Las fotografías fueron enviadas a los expertos. Si bien no todos los individuos pudieron ser reconocidos a nivel de especie, sobre todo del género *Naesiotus* de la familia Bulimulidae, pude hacer una identificación preliminar hasta el género con la ayuda de Christine Parent.

Análisis de datos

Para estimar la diversidad de caracoles de los diferentes hábitats en estudio, calculé el índice de Shannon (H) para cada censo y calculé el promedio de H de todos los censos de cada cuadrante en cada estación climática. Para calcular este índice utilicé los datos de los caracoles vivos y muertos. En los censos realizados en El Cafetal, no pude discriminar visualmente a los individuos de lo que posteriormente se identificaron como dos especies del género *Naesiotus*. Por lo tanto, para el análisis de diversidad estas dos especies fueron analizadas como un solo taxón, a nivel de género. Es por esto que, en esta área, el índice calculado está subestimando la diversidad de caracoles. Con los promedios obtenidos por cuadrante, realicé una comparación entre estaciones climáticas y hábitats con un ANOVA multifactorial.

La diversidad beta se analizó con la medida de similitud de sitios múltiples (multiple-site similarity measure) (Diserud y Odegaard 2007), para cada una de las estaciones climáticas.

La relación entre las estaciones climáticas y el número de caracoles vivos y muertos se evaluó con una prueba de Ji cuadrado.

Resultados

En total en todos los hábitats registré un total de 1912 individuos en la estación seca y 1006 individuos en la estación lluviosa. En las dos estaciones climáticas, el hábitat donde registré la mayor abundancia de caracoles fue El Cafetal con 1488 individuos en la estación seca (Fig. 2) y 710 individuos en la estación lluviosa. El lugar con menor cantidad de caracoles fue la Hacienda Tranquila, en el hábitat pasto y guayaba con 44 individuos en la estación seca y 18 individuos en la estación lluviosa (Fig. 3). En la estación seca, el PNG encontré con 299 caracoles en total y en la estación lluviosa conté

204 caracoles. En el caso del hábitat de reforestación en la estación seca registré 81 individuos y en la estación lluviosa 74 individuos.

El Cafetal fue el hábitat con mayor cantidad de individuos nativos (1271) seguido por el hábitat de reforestación (66). Encontré 945 individuos de caracoles introducidos en total en la estación seca y 587 caracoles introducidos en la estación lluviosa. De estos, se registró la mayor cantidad en El Cafetal en las dos estaciones con 601 caracoles introducidos en la estación seca y 326 en la estación lluviosa. El siguiente hábitat con la mayor cantidad de caracoles introducidos fue el PNG con 266 individuos en la estación seca y 33 en la estación lluviosa. En el hábitat de reforestación registré 37 caracoles en la estación seca y 52 caracoles en la estación lluviosa. Por último, el hábitat de pasto y guayaba contó con 41 individuos introducidos en la estación seca y 14 individuos en la estación lluviosa (Fig.4).

Identifiqué 11 especies de caracoles de las cuales 3 fueron identificadas solo a nivel de género (Tabla 1). Las especies encontradas fueron las siguientes:

- *Helicina nesiotica* (Dall 1892). Especie endémica, su concha es pequeña, comprimida y con la periferia redonda, el opérculo es de color blanquecino y tiene una superficie suave (Miquel y Herrera 2014).
- *Tornatellides chathamensis* (Dall 1892). Especie endémica. Concha muy pequeña con espiras redondas, el ápice de la concha tiene una forma redondeada (Miquel y Herrera 2014).
- *Euconulus galapaganus* (Dall 1893). Especie endémica. Concha pequeña, cuenta con 5 espiras, el ápice de la concha tiene una forma puntiaguda.
- *Succinea* sp. (Dall 1896). Especie nativa. Tienen conchas pequeñas y frágiles, con espiras finas, menos la vuelta corporal que es grande (Correoso 2008).
- *Retinella* sp. (Dall 1893). Especie nativa. Concha pequeña, delgada y comprimida. Tiene cuatro espiras (Miquel y Herrera 2014).
- *Habroconus (Pseudoguppya) aff. pacificus* (Pfeifer, 1846). Especie nativa. Tiene una concha pequeña 2-3 mm, que puede presentar variaciones en los tonos de café oscuro (Miquel y Herrera 2014). En todos los muestreos en los que se registró esta especie, los individuos hallados directamente en el suelo, no se encontró *Habroconus* en hojas de plantas ni troncos.

- *Naesiotus cf. curtus* (Reibisch, 1892). Especie endémica. Conchas con estrías axiales, son muy coloridos (Correoso 2008). Esta especie se encuentra en la categoría de seriamente amenazada según la Lista Roja de la IUCN (2003).
- *Naesiotus cf. galapaganus* (Pfeiffer 1855). Especie endémica. Esta especie se encuentra en la categoría de seriamente amenazada según la Lista Roja de la IUCN (2003).
- *Naesiotus cf. canaliferus* (Reibisch, 1892). Especie endémica.
- *Subulina octona* (Bruguière 1792). Especie introducida. Concha en forma de forma de torre, con muchas espiras pequeñas, alrededor de 8 (Correoso 2008).
- *Zonitoides arboreus* (Say 1816). Especie introducida. Concha comprimida con espiras que aumentan de tamaño regularmente (Miquel y Herrera 2014).

Dos de las especies registradas son introducidas *Subulina octona* y *Zonitoides arboreus*. Hay tres especies del género *Naesiotus*, las cuales fueron registradas en el área de reforestación y en el cafetal que requieren de confirmación taxonómica. Sin embargo, de algunas especies como *Naesiotus cf. canaliferus* fueron registradas solo las conchas.

Encontré una diferencia altamente significativa entre la diversidad de los caracoles y los hábitats

($F_{3, 72} = 8,749$; $p < 0,001$). Este resultado sugiere que el uso del suelo tiene un rol importante en la diversidad de la comunidad de caracoles.

No encontré una diferencia significativa del índice de Shannon y las estaciones. Sin embargo, el valor promedio del índice de Shannon, en las cuatro áreas de estudio, en la estación seca fue de ($H = 0,872$; $s = 0,41$) y en la estación lluviosa fue de ($H = 0,770$; $s = 0,42$). En las dos estaciones climáticas El Cafetal fue el hábitat que tuvo los índices más altos ($H = 1,161$; $s = 0,13$ y $H = 0,916$; $s = 0,11$, en la época seca y lluviosa, respectivamente) y los índices más bajos pertenecieron al PNG en la estación seca ($H = 0,655$; $s = 0,32$) y la guayaba con pasto en la estación lluviosa ($H = 0,212$; $s = 0,42$).

La similitud de especies de caracoles entre los hábitats en la temporada seca fue de $C = 0,6$ lo que significa que, si bien si se comparten algunas especies en todos los hábitats, como las introducidas *Subulina octona* y *Zonitoides arboreus*, hay algunas

especies que son únicas para ciertas áreas como *Euconulus galapaganus* (registrada en El Cafetal). En la temporada lluviosa la similitud fue de $C=0,8$. El valor nos indica que en esta temporada se pudo encontrar las mismas especies en casi todos los hábitats, como *Helicina nesiotica* que fue la más recurrente de las especies nativas en todos los hábitats (Tabla 2).

Encontré una diferencia significativa entre el número de caracoles vivos y muertos de todas las especies, en las dos estaciones climáticas ($\chi^2=20,111$; $gl=1$; $p<0,001$). En la estación seca hubo un 59% de individuos vivos ($n=1143$) y un 41% de muertos ($n=796$), mientras que en la estación lluviosa hubo un 50% vivos ($n=506$) y 50% muertos ($n=500$). Los individuos muertos correspondieron a todas las especies más o menos equitativamente.

Discusión

Este estudio es una contribución al conocimiento de la diversidad de caracoles de la isla San Cristóbal en áreas con diferentes usos de suelo. Es, además, un análisis de cómo esta diversidad está siendo afectada por actividades humanas, como la agropecuaria, en una isla con un largo historial de impacto humano (sobre todo en comparación con Santa Cruz). Los nuevos descubrimientos apuntan a la necesidad de continuar con este tipo de investigaciones para descubrir lo que queda de la diversidad de caracoles en la isla de San Cristóbal. La información generada en esta investigación es importante para la conservación de este grupo diverso de invertebrados ya que establece la importancia del uso de suelo para la subsistencia de los caracoles. Con este conocimiento espero que se contribuya a la formulación de estrategias de conservación, sobretodo en áreas agropecuarias que son fundamentales para la vida de los caracoles.

En relación al estudio previo que realizamos sobre la diversidad de caracoles en la isla, (Villarruel y de la Torre 2014), en esta nueva fase registré a *Habroconus (Pseudoguppya) aff. pacificus*. Aunque esta especie si había sido reportada para la isla San Cristóbal (Miquel y Herrera 2014) en los censos anteriores en los hábitats de estudio no fue registrada. Esta vez se la encontró en todos los ecosistemas muestreados, pero únicamente en el Cafetal (83 caracoles), área de pasto/guayaba (4 caracoles) y

reforestación (2 caracoles) se observaron individuos vivos. Su abundancia fue baja y no hay información respecto a su ecología en las islas Galápagos.

También reporto a 3 especies del género *Naesiotus*, que demuestra ser uno de los más diversos en el archipiélago (Hunter et al. 2016). Dos de estas especies *Naesiotus* cf. *curtus* (Parent 2003) y *Naesiotus* cf. *galapaganus* (Parent 2003) están consideradas como amenazadas y fueron encontradas solo en el cafetal, mientras que *Naesiotus* cf. *canaliferus*, se reportó únicamente en el hábitat de reforestación.

En múltiples estudios realizados en varios lugares del planeta se ha analizado el rol de la agricultura y su influencia en la composición y diversidad de las comunidades de invertebrados (Baker 1998). La forma de labranza, como la rotación de cultivos, tratamientos con fertilizantes o pesticidas, utilización de animales y manejo inadecuado de residuos, pueden afectar a las comunidades de invertebrados del suelo (Baker 1998). La pérdida de hábitat nativo es una de las amenazas más evidentes causadas por las actividades antes mencionadas, sobre todo en las islas donde los asentamientos humanos son más abundantes. En estos lugares, se ha podido observar que las poblaciones de caracoles están seriamente afectadas (Parent y Coppois 2009).

En este estudio pude comprobar que la diversidad varía significativamente con los diferentes tipos de uso de suelo. Esto evidencia que, no todas las actividades agrícolas tienen el mismo impacto. En el caso del área de pasto y guayaba donde además hay presencia de ganado equino y vacuno se pudo evidenciar que la abundancia de caracoles fue mucho menor (Fig. 2) así como la diversidad, en especial en la temporada lluviosa ($H= 0,212$; 6 especies). La compactación de suelo por el pisoteo quita su porosidad normal. Si bien la compactación puede beneficiar a lombrices (Haplotaxida) y no afecta a grupos como los Collembola, es perjudicial para buena parte de la fauna edáfica porque al perderse la estructura del suelo los invertebrados no tienen donde habitar (Schon et al. 2010). La ausencia de plantas nativas o endémicas también podría alterar severamente el hábitat de los caracoles (Murgueitio et al. 2015).

Por otro lado, en las plantaciones de café que contienen árboles que brindan sombra y reducen la velocidad del viento y la temperatura, la humedad relativa es más alta y hay menos evapotranspiración generando una disponibilidad mayor de agua (DaMatta 2014,

Rapidel et al. 2015). Estos factores favorecen notablemente a los caracoles nativos, endémicos e introducidos, cuya necesidad de agua es fundamental. Posiblemente estos son los factores que determinaron que el Cafetal fuera el hábitat con mayor abundancia y diversidad de caracoles en las dos estaciones climáticas ($H= 1,161$ estación seca; número de especies = 8 y $H= 0,916$ estación lluviosa; número de especies = 8). Algunas de las plantas, como la guaba, producen abundante materia orgánica, lo que podría beneficiar a los caracoles ya que hay mayor cantidad de alimento. Exceptuando la temporada de cosecha del café, hay poco pisoteo y además, durante el estudio se realizaron actividades de limpieza esporádica. Las actividades de limpieza podrían ser perjudiciales para los caracoles, ya que se remueve el estrato arbustivo y se deja al suelo sin cobertura vegetal. En este estudio, en los días siguientes a las limpiezas observé un número considerable de caracoles muertos fuera de los cuadrantes de muestreo. Esto puede deberse a que los moluscos, y en especial los caracoles, son especies sensibles a los cambios ambientales, en este caso la remoción de la vegetación, por esta razón se los considera bioindicadores (Ramírez-Prado et al. 2016).

Si bien estudios previos no han encontrado evidencia de que los caracoles tengan alguna preferencia especial por un tipo de planta (Parent y Crespi 2006), el área de reforestación, donde se mantiene un pequeño bosque de *Scalesia gordilloi*, fue el lugar donde se encontró la mayor cantidad de individuos de la especie nativa *Succinea* sp. y por lo menos una especie del género *Naesiotus*, *Naesiotus* cf. *canaliferus*. Estas especies también se observaron en el hábitat de pasto/guayaba y en el PNG, pero sus números fueron mucho más bajos ($n= 4$ individuos o menos). En cambio en el área de reforestación fueron más abundantes ($n= 11$). En muestreos previos (Villarruel Oviedo y de la Torre 2014) registramos esta especie únicamente en el área de reforestación.

Es posible que los registros escasos de estas especies mencionadas de caracoles, ya sea en el PNG o en el área de pasto/guayaba, se deban a una ampliación del rango de distribución de estas especies cuando las condiciones climáticas fueron favorables.

Por otro lado, la composición de la comunidad vegetal y, específicamente, la proporción de plantas nativas vs. introducidas, podría ser otra de las razones por las cuales hay diferencias en la diversidad de caracoles (Parent y Crespi 2009). Sin embargo, el hecho de que en mi estudio el área con más diversidad (El Cafetal) haya presentado una

proporción alta de especies introducidas, sugiere que este factor no es uno de los más importantes para determinar la ocupación de un hábitat por parte de las especies registradas.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta es el tipo de estratificación vegetal que utilizan los caracoles. En el caso del hábitat de guayaba y pasto, donde las plantas introducidas han desplazado a las nativas casi en su totalidad, hubo menor abundancia y diversidad de caracoles. Puede que la homogenización de los ecosistemas reduzca el número de hábitats que pueden ser colonizados por los caracoles (Parent y Crespi 2009).

La diferencia encontrada en la proporción de especies compartidas entre hábitats en las dos estaciones climáticas puede deberse a la heterogeneidad ambiental que hay a pequeña escala en los ecosistemas, que se puede generar por propiedades especiales del suelo, el uso que se le da, el pH, elevación y clima. Las características mencionadas son factores que pueden influenciar en la estructura de las comunidades (Gabriel et al. 2006). Por lo que se conoce de los caracoles, no es normal que la diversidad alfa sea más alta en la época seca, como en el caso de este estudio. Esto podría deberse a las anomalías climáticas que se dieron durante el año de estudio, con poca lluvia en la época seca y casi ausencia total de lluvia en la época lluviosa. Según los reportes del INAMHI (2015 y 2016) el año 2015 presentó una anomalía en la temperatura, subió 1.5 grados centígrados, y en el primer semestre del 2016 se registraron muy pocas lluvias, bajo del promedio (Fig. 4).

Los efectos del clima se evidencian también en la diferencia entre el número de caracoles vivos y muertos en las dos estaciones climáticas, siendo la temporada lluviosa en la que mayor cantidad de caracoles muertos se registró. Como se puede observar en la Figura 4, el año 2015 e inicios del 2016 están entre los 10 años más secos de los últimos años. En los censos realizados en esa estación los caracoles presentaron claros signos de estivación. Este es un mecanismo que se manifiesta para sobrevivir en épocas de sequía. Se caracteriza por la reducción de la actividad metabólica y el ocultamiento del cuerpo (Cameron 1970). En el campo se pudo observar una de las características más importantes que es un sello mucoso de protección el cual permite que haya una adhesión del caracol al sustrato o a las hojas. En algunas conchas translucidas como de

Subulina octona también se observó una disminución de la masa corporal en relación al tamaño de su concha. La estivación fue especialmente evidente en la especie de *Succinea* sp.

Debido a la necesidad constante de agua o humedad ambiental para llevar a cabo procesos fisiológicos, las sequías prolongadas puede causar grandes mortandades en este grupo de animales. Si bien tienen adaptaciones, como la estivación, para resistir este tipo de eventos climáticos se ha observado que el tiempo de estivación es limitado y depende las especies, puede variar desde días hasta meses (Ramos Vasconcelos 2015). No se conoce con claridad cuáles son los procesos fisiológicos de los caracoles de las Islas Galápagos. Por ejemplo, *Succinea* sp, con conchas pequeñas y delicadas (Correoso 2008) podrían ser los primeros en ingresar en procesos de estivación. La estivación puede durar de 9 a 10 meses en otros lugares (Storey 2002), pero en el caso de los caracoles de Galápagos la duración no se conoce. Investigaciones posteriores deberían enfocarse en conocer mejor los cambios en el comportamiento, la fisiología y la dinámica de las poblaciones de caracoles en respuesta a cambios en el clima.

Si bien estos datos muestran que el uso de suelo si afecta a la diversidad de caracoles, los datos de las proporciones de caracoles muertos apuntan a la posible influencia del clima. Es más, puede ser que muchas especies nativas se hayan extinguido debido a los cambios en el clima. Coppois (1995) menciona que el Niño de 1982-83 tuvo un impacto tan fuerte en las poblaciones que, junto a la colonización humana, causó que algunas especies como *Bulimulus lux* se extinguieran. Sin embargo, los que si lograron sobrevivir a cambios ambientales, especialmente como los de El Niño y estuvieron en situaciones de aislamiento puede que hayan iniciado procesos de especiación que pueden llevar a la aparición de nuevas especies y nuevos comportamientos como el consumo de especies de plantas introducidas (Coppois 1995).

En el caso de las especies introducidas podemos observar que el en PNG registramos la mayor cantidad de caracoles introducidos, siendo *Subulina octona* la especie más abundante. Este es un caracol tropical que tiene una distribución muy amplia debido a su entrada involuntaria en distintos países. En muchos de estos países ha causado daños considerables a las plantaciones y puede ser transmisor de enfermedades (JuřIčKová 2006). Es una especie que aparentemente resiste a sequías prolongadas como la que se

dio en la isla durante el año de estudio. Esta especie fue especialmente abundante en todos los hábitats, con excepción del Cafetal.

Recomiendo continuar con los censos anuales para aportar al conocimiento sobre la estructura de la comunidad de caracoles, posibles movimientos poblaciones y su diversidad. También recomiendo estudiar los impactos posibles que puede causar el cambio climático en este tipo de especies que son muy sensibles a los cambios de precipitación (Coppo 1995). Es necesario conocer más sobre los caracoles terrestres de Galápagos, todavía poco estudiados y muy importantes para entender procesos evolutivos del pasado y del presente, entre estos últimos, por ejemplo, el efecto de los organismos introducidos, aportando así también a su conservación. Con estos resultados, podemos eventualmente manejar áreas, como el cafetal, para que haya una mayor diversidad y abundancia de caracoles.

Se debe tener en cuenta que la preservación de ecosistemas nativos y el evitar la introducción de especies, pueden ayudar considerablemente a la supervivencia de las especies estudiadas (Coppo 1995). Por lo tanto, considero que un paso importante es la generación de programas de conservación ex situ, en especial de las especies que están amenazadas, para una reintroducción posterior. Al mismo tiempo, sugiero un manejo integral de las áreas agropecuarias para los caracoles puedan seguir habitando en espacios asignados e incentivar usos de suelo más favorables para la vida de los invertebrados. Es importante recalcar que los caracoles de las islas cuentan con diversidades sorprendentes debido a sus procesos evolutivos y todavía falta estudiarlos. De esta manera se podrán tomar acciones a favor de la supervivencia de las especies de caracoles nativas y endémicas de las islas.

Referencias

- Baker, G.H, 1998. Recognising and responding to the influences of agriculture and other land- use practices on soil fauna in Australia. *Applied Soil Ecology*, No.9, pp: 303-310.
- Bianchi, F., C. Booij y T. Tscharnkte. 2006. Sustainable pest regulation in agriculture landscapes: a review on landscapes composition, biodiversity and natural pest

- control. The Royal Society Publishing, Vol. 273, No.1595. DPNG, CGREG, FCD y GC, pp:25-29.
- Cameron, R.A.D. 1970. The survival, weightloss and behaviour of three species of land snail in conditions of low humidity. *Journal of Zoology, Zoological Society of London*. No. 160, pp: 143-157.
- Coppois, G. 1995. The vulnerability of “island” species. Threatened Galápagos bulimulidae land snails: an update. The IUCN Species Survival Commission. *The Conservation Biology of Molluscs*. IUCN, pp: 8-12.
- Correoso, M. 2008. Los moluscos terrestres y fluviales del Ecuador Continental. La biodiversidad desconocida. Simbioe, Quito. Ecuador.
- de la Torre, S. 2013. Research in Agricultural and Urban Areas in Galapagos: A Biological Perspective. *Science and Conservation in the Galapagos Islands*. S. Walsh y C. Mena (eds). Springer, New York, pp:185–198.
- DaMatta, F. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*. No. 86, pp 99-114.
- Darby, P., R. Bennetts., S. Miller., H. Percival. 2002. Movements of Florida Apple Snails in relation to water levels and drying events. *Wetlands*, Vol. 22, No.3, pp: 489-498.
- Diserud, O., F. Odegaard. 2007. A multiple-site similarity measure. *Biology Letters*, Vol.3, pp: 20-22.
- Farfán, F., J. Baute., P. Baute., H. Menza., 2010. Guamo Santaferense en Sistemas Agroforestales con Café. *Avances técnicos Cenicafé*. N0. 396.
- Gabriel, D., I. Roschewitz., T. Tschardtke., C. Thies. 2006. Beta diversity at different spatial scales: plant communities in organic and inorganic and conventional agriculture. *Ecological Applications*, Vol. 16, No. 5, pp 2011-2021.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón San Cristóbal. 2016. Plan de desarrollo y ordenamiento Territorial 2012-2016.

<http://www.gobiernogalapagos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/08/PDOT-San-Cristobal-2012.pdf>

Guzmán, J., J. Poma. 2015. Bioagricultura: Una oportunidad para el buen vivir insular. Informe Galápagos 2013-2014.

Hamann, O. 1979. On climatic Conditions, Vegetation Types, and Leaf Size in the Galapagos Islands. *Biotropica*. Vol. 11, No.2, pp 101-122.

Hunter, S., M. Settles., D. New., C. Parent., y A. Gerritsen. 2016. Mitochondrial Genome Sequence of the Galapagos Endemic Land Snail *Naesiotus nux*. *Genome Announcements*. Vol. 4, No.1, pp 1-7.

Juříčková, L. 2006 *Subulina octona* (Bruguiere, 1798)- a new greenhouse species for the Czech Republic (Mollusca: Gasteropoda: Subulinidae). *Malacologica Bohemoslovaca*. No.5, pp 1-2.

INEC. 2010. Censo nacional de población y vivienda 2010.

INAMHI. 2016. Boletín climatológico.

http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_men_gua.pdf

INAMHI. 2015. Boletín climatológico anual 2015.

http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_anu.pdf

McPhaden, M. 1999. Genesis and Evolution of the 1997-98 El Niño. *Science*, Vol. 283, pp: 950-953.

Miquel, S., H. Herrera. 2014. Catalogue of terrestrial gastropods from Galápagos (except Bulimulidae and Succineidae) with a description of a new species of *Ambrosiella Odhner* (Achatinellidae). *Arch Molluskenkunde*, Vol. 143, No.2, pp: 107-133.

Murgueitio, E., M. Xóchitl., Z. Calle., J. Chará., R. Barahona., C. Hernando., F. Uribe. Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina, pp:59-105.

- Parent, C. 2003. *Bulimulus curtus*. The IUCN Red List of Threatened Species: e.T43998A10840143. <http://www.iucnredlist.org/details/43998/0>
- Parent, C. 2003. *Bulimulus galapaganus*. The IUCN Red List of Threatened Species: e.T43998A10840143. <http://www.iucnredlist.org/details/43998/0>
- Parent, C., B. Crespi. 2006. Sequential Colonization and Diversification of Galápagos Endemic Land Snail Genus *Bulimulus* (Gastropoda, Stylommatophora). *Evolution*, Vol.60, pp: 2311-2328.
- Parent, C., G. Coppois. 2009. On the Snails' Trail. Evolution and Speciation Among a Vanishing Tribe. Galápagos Preserving Darwin's Legacy. Parque Nacional Galápagos y la Fundación Charles Darwin. Tui De Roy (editora).
- Parent, C., B. Crespi. 2009. Ecological Opportunity in Adaptive Radiation of Galápagos Endemic Land Snail. *The American Naturalist*. Vol. 174, No.6, pp: 898-905.
- Ramírez- Prado, N., B. Pernía., M. Mero., E. Larreatea., A. Noboa- Cárdenas., L. Ramírez- Moreira., D. López., J. Zambrano., J. Muñoz., K. Bravo., M. Baquerizo., A. Benavides y R. Castro. 2016. *Pomacea canaliculata* (Lamarck, 18) como bioindicador de la presencia de cadmio en el río Guayas, Daule y Babahoyo. Vol. 10, No.1, pp: 19-28.
- Ramos- Vasconcelos, G., Cardoso, L., y Hermes-Lima, M. 2005. Seasonal modulation of free radical metabolism in estivating land snails *Helix aspersa*. *Comparative Biochemistry and Physiology*. Part C, pp: 165-174.
- Rapidel, B., C. Allinne., C. Cerdán., L. Meylan., E. de Melo., V. Fihlo., J. Avelino. 2015. Efectos ecológicos y productivos del asocio de sombra con café en sistemas agroforestales. *Sistemas Agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*, pp:5-21. Colciencias, Colombia.
- Schon, N.L., Mackay, A.D., Yeates, G.W., M.A., Minor. 2010. Separating the effects of defoliation and dairy cow treading pressure on the abundance and diversity of soil invertebrates in pastures. *Applied Soil Ecology*. No.9, pp: 209-221.

Storey, K. 2002. Life in the slow lane: molecular mechanism of estivation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*. No. 133, pp: 733-754.

The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. <www.iucnredlist.org>.

Downloaded on **27 September 2014**

Valle, R. 2016. Control y registro de la explotación y movilización de recursos madereros. Conservación y restauración de ecosistemas insulares. Control y vigilancia insular. Parque Nacional Galápagos.
http://www.carlospi.com/galapagospark/programas/desarrollo_sustentable_uso_especial_madera.html

Villarruel Oviedo, I., S. de la Torre. 2014. Estudio preliminar de caracoles terrestres en la isla San Cristóbal, Galápagos. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, Vol.6, No.2, pp: B20-B25.

Anexos

Tabla 1. Especies y género encontrados en los ecosistemas muestreados

Especie	Guayaba	Reforestación	Parque	Cafetal
<i>Helicina nesiotica</i>	X	X	X	X
<i>Tornatellides chathamensis</i>	X	X	X	
<i>Euconulus galapaganus</i>				X
<i>Subulina octona</i>	X	X	X	X
<i>Zonitoides arboreus</i>	X	X	X	X
<i>Succinea sp.</i>	X	X	X	X
<i>Retinella sp.</i>		X		X
<i>Habroconus (Pseudoguppya) aff. pacificus</i>	X	X	X	X
<i>Naesiotus cf. curtus</i>				X
<i>Naesiotus cf. galapaganus</i>				X
<i>Naesiotus cf. canaliferus</i>		X		

Tabla 2. Abundancia (número de individuos) por especie, área y estación

Estación Seca				
Especie	Pasto/Guayaba	Reforestación	Cafetal	Parque
<i>Helicina nesiotica</i>	4	7	149	6
<i>Tornatellides chathamensis</i>	0	0	0	9
<i>Euconulus galapaganus</i>	0	0	1	0
<i>Subulina octona</i>	27	17	358	239
<i>Zonitoides arboreus</i>	13	20	243	27
<i>Succinea sp.</i>	3	41	0	3
<i>Retinella sp.</i>	0	2	0	0
<i>Habroconus</i>	3	1	78	10
<i>Naesiotus</i>	0	6	661	1
No identificado	6	0	0	0

Estación lluviosa				
Especie	Pasto/Guayaba	Reforestación	Cafetal	Parque
<i>Helicina nesiotica</i>	1	1	7	0
<i>Tornatellides chathamensis</i>	1	4	0	3
<i>Euconulus galapaganus</i>	0	0	1	0
<i>Subulina octona</i>	13	35	226	176
<i>Zonitoides arboreus</i>	1	17	92	19
<i>Succinea sp.</i>	1	10	0	4
<i>Retinella sp.</i>	0	0	5	0
<i>Habroconus</i>	1	1	5	0
<i>Naesiotus</i>	0	5	368	1
No identificado	0	0	0	0

Figura 1. Mapa con los hábitats muestreados

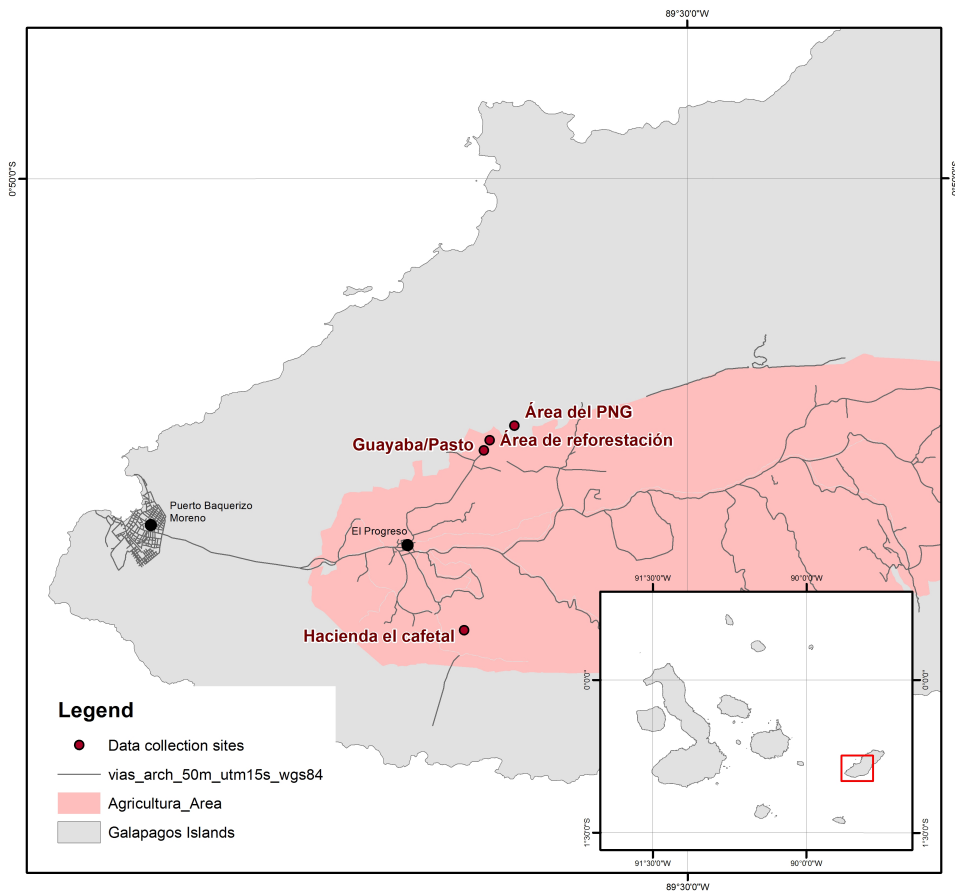


Figura 2. Abundancia total de caracoles por cuadrante en la estación seca

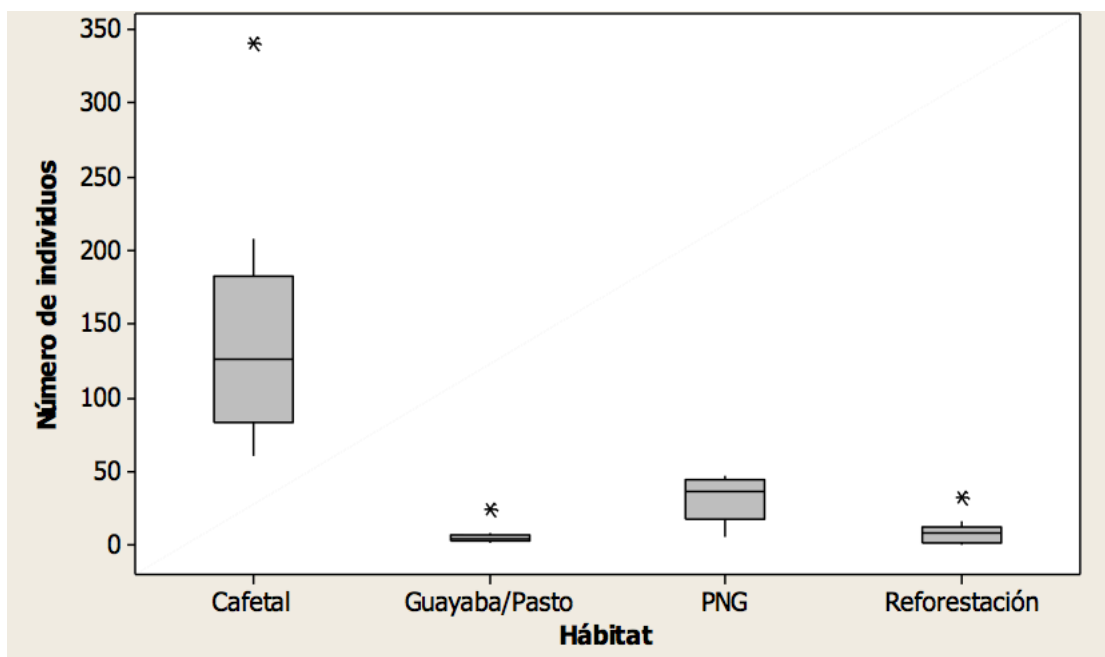


Figura 3. Abundancia total de caracoles por cuadrante en la estación lluviosa

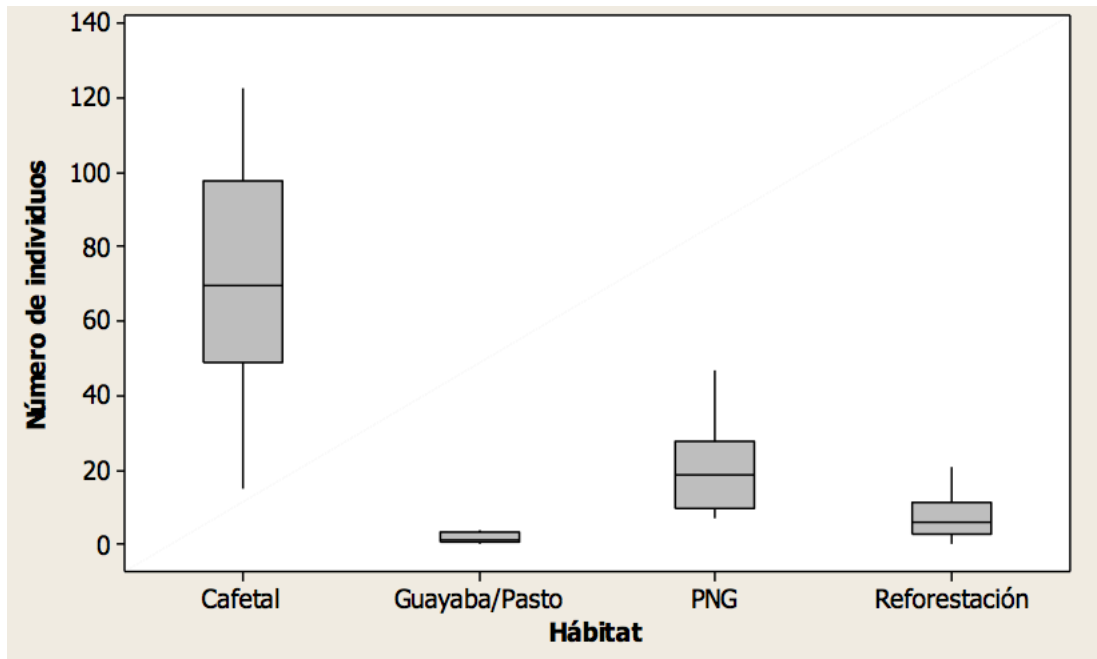


Figura 4. Abundancia total de caracoles introducidos y nativos en los hábitats muestreados

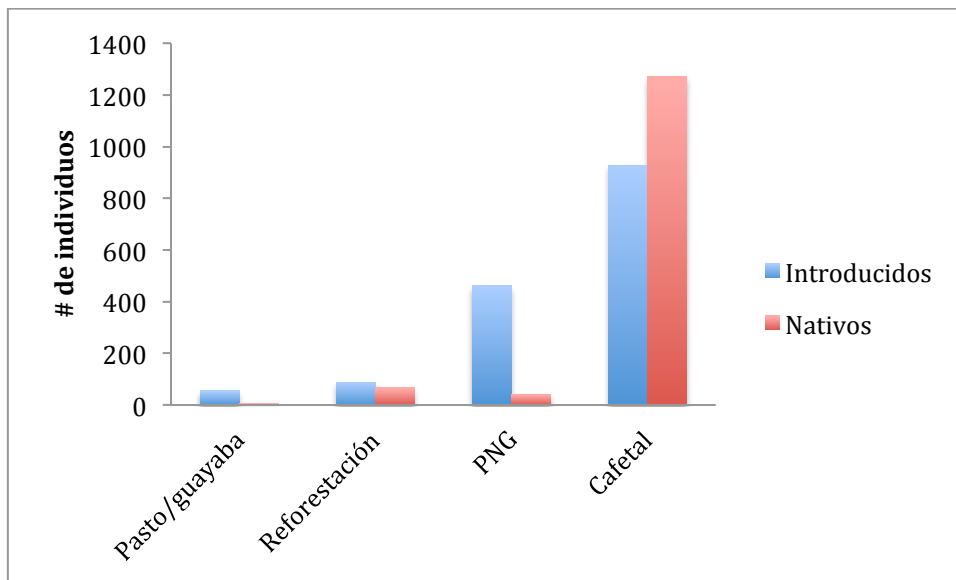
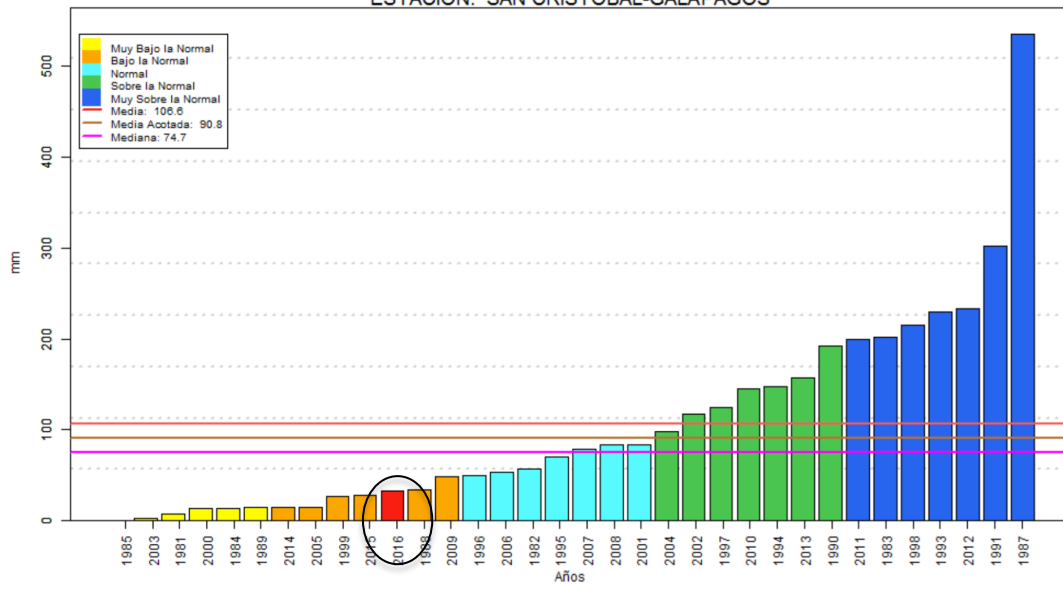


Figura 5. Precipitación histórica de la isla San Cristóbal, estación San Cristóbal-Galápagos (Inamhi 2016), encerrados en círculo, los niveles de los años de estudio (2015-2016)

PRECIPITACIÓN HISTÓRICA FEBRERO (1981-2016)
ESTACIÓN: SAN CRISTÓBAL-GALÁPAGOS



Artículo 2: Evaluación preliminar del papel de los caracoles nativos e introducidos en la descomposición de hojarasca en San Cristóbal, Galápagos.

Resumen

Para evaluar el papel de los caracoles nativos e introducidos en la descomposición de hojarasca, realicé una serie de ensayos de ingestión en tres hábitats diferentes en la isla San Cristóbal: La Hacienda El Cafetal (plantación de café), la Hacienda Tranquila (área de reforestación) y el Parque Nacional Galápagos (PNG). Los ensayos se realizaron con hojarasca de guayaba en las dos épocas climáticas e incluyeron cuatro tratamientos: 1) sin caracoles, 2) con caracoles nativos, 3) con caracoles introducidos y 4) con caracoles nativos e introducidos. Mis resultados sugieren que la tasa de ingesta de hojas de los caracoles, estimada por las diferencias de peso de la hojarasca al inicio y al fin de los ensayos, está influida por el clima, más que por el hábitat o por el tipo de caracoles (nativos o introducidos). Son necesarios nuevos estudios para caracterizar las interacciones entre caracoles nativos e introducidos y evaluar con más profundidad su papel en los procesos de descomposición de los ecosistemas y el efecto del clima sobre la fisiología de los individuos así como la dinámica de las poblaciones de estas especies. Investigación realizada bajo los permisos de investigación PC6315 (año 2015) y PC2016 (año 2016).

Palabras claves: caracoles terrestres, Galápagos, descomposición, hojas de guayaba

Abstract

To evaluate the roll of native and introduced snails in litter decomposition, I carried out ingestion essays in three different habitats, in San Cristóbal Island: Hacienda Cafetal (coffee plantation), Hacienda Tranquila (reforestation area) and the Galapagos National Park PNG. The essays were conducted in two climatic seasons. For the essays I used guava leaves distributed in four treatments: 1) without snails, 2) with native snails, 3) with introduced snails and 4) with native and introduced snails. My results suggest that the rate of leaf ingestion, measured by the difference of weight, at the beginning and end of the essays, is influenced by weather, more than by habitats or snail type (native or introduced). More research is needed to characterize the interaction between native and introduce snails and to evaluate in depth their roll in decomposition processes of ecosystems as well as the effect of climate in individuals' physiology and population dynamics. Research carried out under research permits PC6315 (year 2015) y PC2016 (year 2016).

Key words: terrestrial snails, Galápagos, ingestion, guava leaves

Introducción

La descomposición de materia orgánica controla la disponibilidad de los nutrientes en las diferentes capas del suelo. Los descomponedores primarios como los microbios y los hongos se encargan de la mayor parte de los procesos de mineralización de los nutrientes. Mientras tanto, la micro, meso y macrofauna del suelo influyen en la rapidez a la cual ocurren estos procesos. Su rol es primordial porque pueden fragmentar la materia orgánica y mezclarla con partículas minerales modificando la estructura y composición durante el proceso metabólico. Este es un proceso que ayuda a que haya mayor actividad microbiana (Astor 2014). Como resultado de estos procesos de descomposición realizados por gusanos, hormigas y caracoles, entre otros, se incrementa la porosidad del suelo lo cual ayuda a la circulación de nutrientes y mejora la calidad del suelo. Además aumenta la aeración y el drenaje gracias a la desintegración de los tejidos fibrosos (Kellert 1993).

A pesar de la importancia de la mesofauna en la composición del suelo, disponibilidad de calcio y pH (Kappes 2006), no se conoce lo suficiente sobre las necesidades nutritivas y las interacciones ecológicas de grupos importantes, como los caracoles. Estos animales tienen la capacidad de transformar hidratos de carbono en azúcares sencillos, grasas en glicerina y ácidos grasos y proteínas en aminoácidos, por lo cual son claves en el reciclaje de los nutrientes en algunos ecosistemas terrestres (García 2000).

Varios estudios han demostrado que ciertas especies de caracoles introducidos han tenido un impacto negativo sobre las especies nativas (Martin et al. 2012). En los caracoles de Hawaii, por ejemplo, la situación es especialmente crítica ya que se ha disminuido la población de caracoles nativos entre un 65 a 75%, especialmente en la familia Amastridae (de más de 300 especies quedan aproximadamente 10) (Meyer y Cowie 2010). Uno de los factores más importantes para esta reducción tan severa es la introducción de dos especies de caracoles predadores *Euglandina rosea* y *Oxychilus alliarius*. *Euglandina rosea* fue introducido intencionalmente como controlador biológico de otra especie introducida, el caracol africano *Achatina fulica*. Sin embargo, su comportamiento omnívoro afectó severamente a las poblaciones de caracoles nativos y endémicos (Brown 1982, Meyer y Cowie 2010). Como resultado de estos impactos

los caracoles son el segundo grupo de animales que ha sufrido mayores extinciones nivel mundial (Lydeard 2004).

Aunque los caracoles terrestres de las islas Galápagos son reconocidos como uno de los ejemplos más interesantes de diversificación por radiación adaptativa (Hunter et al. 2016), no conocemos prácticamente nada sobre sus interacciones interespecíficas. Este conocimiento es importante, sobre todo si se considera que existen especies nativas/endémicas e introducidas. Con este estudio busqué contribuir a entender la relación entre las especies introducidas y nativas de caracoles de la isla San Cristóbal en los procesos de descomposición de hojarasca. Para ello realicé un ensayo de ingestión de hojas de guayaba (*Psidium guajava*), uno de los recursos, que, dada su abundancia y conspicuidad, posiblemente usan los caracoles en la isla San Cristóbal. Si bien esta es una planta introducida (Schofield 1989), en mi investigación observé a caracoles nativos e introducidos consumiendo hojas de esta especie. Mi estudio se llevó a cabo utilizando individuos del caracol introducido *Subulina octona* y de las especies nativas *Succinea* sp y *Naesiotus* sp.

Subulina octona es originario de zonas tropicales del Caribe y América del Sur. Sin embargo, su distribución actual es más amplia debido a introducciones involuntarias (JuřičKová 2006). Tiene una concha en forma de torre, de tamaño pequeño (0,5-0.9 mm) y con bastantes espiras. Usualmente viven en hábitats disturbados donde hay abundante materia orgánica. Pocas veces se lo encuentra en áreas boscosas. La mayoría de veces se encuentran en densidades altas. Su comportamiento alimenticio es detritívoro, micófago y hervíboro (Correoso 2008).

Succinea es un género propio de los trópicos y subtrópicos, su distribución es mundial. Sin embargo, la mayor diversidad se encuentra en las islas del Pacífico y es nativo de Galápagos. Su concha es pequeña (0,8- 1,2cm) y frágil, las espiras son finas y la última vuelta corporal es grande, su color varía entre tonos amarillentos. Si bien la literatura dice que este género se encuentra mayoritariamente en el suelo y hierbas bajas (Correoso 2008), en esta investigación así como en estudios anteriores (Villarruel y de la Torre 2014) se registró una preferencia por estratos más altos, siendo las hojas de guayaba uno de los sitios donde más fueron encontrados.

Naesiotus es uno de los géneros de caracoles nativos y endémicos del archipiélago. Se caracterizan por ser pequeños, sus conchas son de aproximadamente 1 a 1,3 cm y su color puede variar dependiendo del sustrato donde habitan (Parent 2016). Se encuentran preferentemente en las áreas con mayor humedad ambiental de las islas e islotes más altos (Hunter et al. 2016). Su diversificación es el resultado de un proceso de radiación adaptativa importante en el archipiélago, siendo el género más diverso, con un aproximado de 70 especies (Hunter et al. 2016).

Debido a su situación de aislamiento y su rango de distribución restringido, los caracoles de Galápagos se encuentran en peligro de extinción. Si además consideramos la introducción de especies como una de las amenazas más severas, se puede afirmar que son especies que se enfrentan a un escenario complicado (Parent y Crespi 2009). En este contexto, en mi estudio traté de evaluar si existía una afectación por parte de los caracoles introducidos hacia los nativos durante la alimentación. Si los caracoles introducidos afectan negativamente a los nativos (depredándolos o inhibiendo su actividad), esperaba que la tasa de ingestión en mis ensayos fuera mayor en los tratamientos con solo caracoles nativos que con caracoles nativos e introducidos. Por otro lado, si los caracoles nativos no consumieran hojas de guayaba y los introducidos sí, esperaba encontrar una mayor tasa de ingestión en el tratamiento con introducidos que en el tratamiento de solo nativos. En caso de que existiera otro grupo de invertebrados que participe en la descomposición de la hojarasca de guayaba, esperaba encontrar una mayor tasa de ingestión en el tratamiento de malla gruesa donde individuos de todos los grupos de invertebrados podían ingresar. Por último, el tratamiento sin caracoles es un control que me permite evaluar la tasa de descomposición de la hojarasca por parte de otros grupos de organismos, principalmente bacterias y hongos.

La fauna de invertebrados de las islas Galápagos se encuentra amenazada y no se ha estudiado lo suficiente todavía (Roque-Albelo 2006). Hasta donde conozco, este es el primer estudio que se ha enfocado en la ingestión de hojas en caracoles y sus posibles relaciones con otros caracoles e invertebrados. El entender mejor las interacciones entre especies nativas e introducidas de caracoles es una contribución importante para diseñar acciones de manejo, en especial en áreas agropecuarias que, en el futuro, contribuyan a la conservación de este grupo diverso de invertebrados en el archipiélago.

Metodología

Área de estudio

Llevé a cabo la investigación en la isla San Cristóbal, Galápagos. El archipiélago está formado por 15 islas principales y alrededor de 107 islotes los cuales suman 788 200 hectáreas aproximadamente. Se encuentran a 1000 km al oeste de la costa de América del Sur. En el año 1959 se declaró área protegida y se creó el Parque Nacional Galápagos (PNG) y en el año 1998 se declaró la Reserva Marina de Galápagos. La mayor parte (97%) del territorio terrestre está dentro del área protegida.

El origen de las islas es volcánico. Los suelos se caracterizan por ser profundos y fértiles. San Cristóbal es una de las islas más antiguas y fue la primera donde se iniciaron actividades agropecuarias en 1832 (Gordillo y Work 1989). Además cuenta con fuentes de agua dulce como riachuelos. El área agropecuaria en esta isla está ubicada en la zona húmeda y alberga la mayor cantidad de plantas introducidas. Muchas de estas son comestibles y han sido cultivadas intencionalmente, como la guayaba *Psidium guajava*, guaba *Inga edulis*, maracuyá *Passiflora edulis*, naranja *Citrus sinensis x latifolia*, aguacate *Persea americana*, café *Coffea arabica*, mora *Rubus niveus* entre otros (Guézou et al. 2010). Además están las introducidas accidentales y las maderables, como la higuerilla *Ricinus communis*, poma rosa *Syzygium jambos* y cedro *Cedrela odorata* (Guézou et al. 2010).

Llevé a cabo el estudio en tres hábitats en la parta alta de la isla: la Hacienda el Cafetal, la Hacienda La Tranquila y el PNG (Fig.1).

La Hacienda el Cafetal fue creada inicialmente por Manuel J. Cobos y adquirida por la familia González- Ducha en 1990. Actualmente cuenta con 500 hectáreas de las cuales 400 son plantaciones de café. Se ubica a una altura de aproximadamente 260 msnm. En el área donde se realizaron los ensayos existen algunas especies introducidas como *Momordica charantia* (melón amargo), *Citrus sinensis x latifolia* (naranja), *Solanum quitoense* (naranjilla), *Rubus niveus* (mora), *Persea americana* (aguacate), *Inga edulis* (guaba) y *Cinchona pubescens* (cascarilla, de esta especie hubo solo un registro de un

individuo en un área donde hay limpieza constante). Una de las especies nativas que se encontró fue *Cyathea weatherbyana* (helecho). En la zona de café se realizan actividades periódicas de limpieza de especies invasivas como el melón amargo y mora. Además, se realizan podas a las plantas de café.

La Hacienda Tranquila, es una hacienda de 50 hectáreas ubicada en el recinto La Soledad a 370 msnm aproximadamente. En esta área hay una zona de reforestación que es donde se realizó el estudio, allí se sembró y se mantiene un pequeño bosque de *Scalesia gordilloi*. Adicionalmente, en un área aledaña se trabaja en un programa de restauración con especies como *Zanthoxylum fagara* (Uña de gato) y *Lecocarpus darwinii*. Otras especies nativas registradas en esta área son: *Tournefortia rufo*, *Asdepias curassavica* y *Croton scouleri*. El programa de restauración cuenta con un control permanente de especies introducidas, sobre todo mora y guayaba.

El área dentro del Parque Nacional Galápagos (PNG), es adyacente al recinto La Soledad. En esta zona no se realiza ningún tipo de actividad agropecuaria. Se realizan pocas actividades de limpieza de especies introducidas, por lo que se pueden encontrar abundancia de guayaba, mora, pasto (Poaceae), pencos (*Furcraea hexapetala*), así como plantas nativas, especialmente árboles maduros de *Pscidia carthagenensis* (manzanillo). Otras especies nativas registradas en esta área son: *Zanthoxylum fagara* y *Tournefortia rufo*.

Métodos

Para los ensayos de ingestión utilicé bolsas de 10x10 cm con mallas de distintas tramas. Tuve bolsas con agujero fino, sin caracoles, donde solo puse hojas; bolsas con agujero fino, con caracoles (nativos o introducidos, dependiendo del tratamiento) y bolsas con agujero grueso, para que ingresen caracoles nativos e introducidos y otros invertebrados.

Para cada uno de estos tratamientos usé cinco bolsas por hábitat. En todos los hábitats, las bolsas de ingestión fueron ubicadas en las cercanías de los cuadrantes utilizados para los censos de caracoles (ver capítulo respectivo en esta tesis), en sitios donde el sol no caía directamente y las hormigas eran escasas o inexistentes.

Con base en los censos de caracoles que realicé en los cuadrantes de muestreos (ver capítulo respectivo en esta tesis), escogí las especies con las que trabajé en los ensayos de descomposición de hojas. Basé el criterio de selección en la abundancia relativa de cada especie. Una vez analizados estos datos, escogí el cuadrante con mayor abundancia relativa de la especie seleccionada y ahí coloqué los tratamientos. A continuación detallo las especies empleadas en los ensayos:

- Especies introducidas: *Subulina octona* en todos los hábitats
- Especies nativas: *Succinea* sp. solo en el hábitat de reforestación.

Naesiotus sp. solo en el hábitat del Cafetal.

En el PNG no registré especies nativas por lo que realicé los ensayos solo con la especie introducida *S. octona*.

En cada una de las bolsas coloqué 10 individuos de la especie de caracol que correspondía a cada tratamiento. Todos los caracoles utilizados en los distintos tratamientos en cada hábitat fueron colectados en ese hábitat y fueron devueltos al mismo una vez terminados los ensayos.

Dentro de cada una de las bolsas coloqué 5 gramos de hojas secas de guayaba. Utilicé hojas secas para controlar de manera más efectiva la pérdida de agua propia de las hojas. La cantidad equivalió a un aproximado de 4 a 6 hojas. Las plantas de donde recolecté las hojas, fueron únicamente del PNG, de tres árboles maduros ubicados muy cerca uno del otro aproximadamente a 1 metro. Las hojas se secaron dentro del laboratorio de Ecología Terrestre del Galápagos Science Center por una semana. Una vez que las bolsas tenían la hojarasca, introducía los caracoles en el campo y las cerraba manualmente.

Realicé los ensayos en las dos estaciones climáticas; en el 2015 durante los meses de octubre y noviembre que corresponden a la estación seca (26 días de muestreo) y en el 2016 durante los meses de febrero y marzo que corresponden a la estación lluviosa (27 días de muestreo). A continuación detallo los tratamientos que se aplicaron en cada sitio.

En la estación seca realicé los siguientes ensayos:

- Hacienda Tranquila: bolsas de descomposición con *Subulina octona* (tratamiento especie introducida) y *Succinea* sp. (tratamiento con especie nativa), bolsas de trama fina (tratamiento sin caracoles) y bolsas de trama gruesa (tratamientos con caracoles nativos e introducidos). Total de bolsas: 20 unidades.
- Hacienda El Cafetal: bolsas de descomposición con *Subulina octona*, bolsas de ingestión con *Naestiotus* sp., bolsas de trama fina (tratamiento sin caracoles) y bolsas de trama gruesa (tratamientos con caracoles nativos e introducidos). Total de bolsas: 20 unidades.
- PNG: bolsas de descomposición con *Subulina octona*, bolsas de trama fina y bolsas de trama gruesa (tratamientos con caracoles nativos e introducidos). Total de bolsas: 15 unidades.

En la estación lluviosa realicé los siguientes ensayos:

- Hacienda Tranquila: bolsas de descomposición con *Subulina octona* bolsas de ingestión con *Succinea* sp., bolsas de trama fina (tratamiento sin caracoles) y bolsas de trama gruesa (tratamientos con caracoles nativos e introducidos). Total de bolsas: 20 unidades.
- Hacienda El Cafetal: bolsas de descomposición con *Subulina octona*, bolsas de ingestión con *Naestiotus* sp., bolsas de trama fina (tratamiento sin caracoles) y bolsas de trama gruesa (tratamientos con caracoles nativos e introducidos). En la época lluviosa, pude obtener suficiente cantidad de caracoles para hacer tres repeticiones del set de tratamientos, por lo tanto tuve 60 bolsas.
- PNG: bolsas de descomposición con *Subulina octona*, bolsas de trama fina (tratamiento sin caracoles) y bolsas de trama gruesa (tratamientos con caracoles nativos e introducidos). Total de bolsas: 15 unidades.

Revisé las fundas pasando un día para confirmar que los caracoles estuvieran vivos, luego de la revisión las dejé en el mismo lugar. Aunque inicialmente pesé las fundas en cada revisión, la variación en peso causada por los cambios en la humedad del suelo fue considerable, por lo que estos datos no fueron usados para los análisis. Debido al bajo número de caracoles disponibles para los ensayos, en especial en la estación lluviosa,

tuve que modificar el diseño inicial, eliminando el retiro periódico de un número determinado de bolsas para secar su contenido y obtener el peso seco de la hojarasca.

Análisis de datos

Para estimar la tasa diaria ingestión resté el peso final del peso inicial de cada una de las bolsas y dividí la diferencia de peso para el número de días del ensayo, asumiendo que la reducción en el peso se debió exclusivamente a la ingesta por parte de los caracoles. Ya que la variable dependiente (tasa diaria de ingestión) no presentaban normalidad, la transformé con raíz cuadrada y confirmé la homoscedasticidad. Dado que la única especie de caracol que estuvo presente en todos los hábitats fue *Subulina octona*, realicé un ANOVA multifactorial analizando la tasa de ingestión de hojas de guayaba de esta especie junto con el resto de tratamientos, menos el de especie nativa, con hábitat y estación climática como factores. Este análisis lo llevé a cabo con el programa estadístico Minitab. Con los datos obtenidos de los ensayos realizados en el Cafetal en la estación lluviosa, realicé un ANOVA de una vía, para comprar las tasas de ingestión de la especie nativa y la especie introducida.

Resultados

Las tasas de ingestión variaron entre 0,021 g/d a 0,061 g/d (Tabla 1). No encontré diferencias significativas en las tasas de ingestión entre los tratamientos ni hábitats, aunque si entre estaciones climáticas ($F_{1, 84} = 54,08$; $p < 0,001$). En la estación lluviosa hubo una tasa de ingestión más alta en todos los hábitats y en todos los tratamientos (Tabla 1).

Al analizar separadamente las tasas de ingestión de la especie *Subulina octona* encontré diferencias significativas entre estaciones climáticas ($F_{1, 84} = 61,81$; $p < 0,001$) y entre los hábitats ($F_{2, 84} = 5,69$; $p = 0,005$). Tanto en la estación seca como en la lluviosa, *Subulina octona* presentó una mayor tasa de ingesta en la hacienda Tranquila.

En la evaluación de las diferencias en las tasas de ingestión entre caracoles nativos e introducidos realizada en la estación lluviosa en el Cafetal no encontré diferencias

significativas en las tasa de ingestión que puedan considerarse como evidencia de algún tipo de interacción positiva o negativa entre las especies.

Discusión

Mis resultados apuntan a la importancia que puede ejercer el clima sobre las tasas de ingestión de los caracoles y en su papel como descomponedores de hojarasca. Los caracoles terrestres necesitan un mínimo de humedad ambiental para sobrevivir, su piel es permeable y para desplazarse producen una sustancia con alto contenido de agua (Schmidt-Nielsen, Taylor y Schkolnik 1971). En hábitat secos muchos logran sobrevivir en microhábitats, por ejemplo debajo de las rocas, pero en estas áreas pequeñas no siempre hay la cantidad necesaria de alimento o suficientes individuos como para facilitar la reproducción, por lo que, eventualmente, los caracoles deben salir de estos refugios. Estos movimientos son marcados por las estaciones climáticas. Cuando las condiciones ambientales son favorables (con mayor humedad ambiental), los caracoles salen de sus microhábitats y tienen una mayor actividad (Moreno- Rueda et al. 2009). Este patrón de mayor actividad, relacionado con la ingestión de hojarasca, fue evidente en mi estudio, pues las tasas de ingestión fueron significativamente mayores en la estación lluviosa en todos los hábitats y en todos los tratamientos, a pesar de que las lluvias fueron inusualmente escasas en el año de mi estudio (INAMHI 2015-2016).

Por lo tanto, si bien hay una serie de adaptaciones que tienen los caracoles para resistir a variaciones estacionales, muchos de estos se ven afectados por los cambios climáticos. Se debe considerar que en las islas las fuentes de agua dulce son estacionales, lo cual representa un estrés extra para algunas especies mientras que para otras puede ser un factor decisivo de vida. Por esta razón, los géneros encontrados son pocos al igual que la abundancia de cada especie (Parent y Crespi 2009).

Tanto en la estación seca del 2015 como en la estación lluviosa del 2016, en las que hice mis ensayos, se registraron pocas lluvias en las islas (INAMHI 2015-2016). Los caracoles responden a la escasez de lluvias con la estivación, un comportamiento que se caracteriza por una disminución del metabolismo, la reducción de la respiración a 2 o 3 inhalaciones por hora y la generación de una secreción mucosa que cubre la apertura de la concha (Storey 2002). Es posible que dentro de las bolsas de ingestión algunos

caracoles entraran en estivación pues pude observar conchas cuya apertura estuvo cubierta de secreción; este fenómeno fisiológico pudo estar relacionado con bajas tasas de ingestión de hojarasca. Además del estado de estivación, la escasez de lluvias parece haber estado relacionada con un bajo número de caracoles vivos. Esta fue la razón por la cual solo pude usar en mis ensayos una especie de caracol introducido, *Subulina octona*.

Subulina octona se caracteriza por vivir en espacios con sombra y humedad, tiene la capacidad de colonizar nuevos lugares y en muchos sitios pueden ser una plaga (Matamoros 2014). En mi investigación pude observar que esta fue la única especie con un número considerable de individuos vivos en todos los hábitats en las dos estaciones climáticas (642 individuos en la estación seca y 450 individuos en la estación lluviosa), lo cual sugiere que su resistencia a las sequías prolongadas es mayor que la de las especies nativas. Esta resistencia podría representar una ventaja competitiva para esta especie frente a los caracoles nativos. Sin embargo, el hecho de no haber encontrado diferencias significativas en las tasas de ingestión entre esta especie y los caracoles nativos en ningún hábitat, sugiere que existen otros factores que afectaron a las tasas de ingestión. Uno de estos factores podrían estar relacionado con el tipo de hojas usadas en los ensayos. Si por alguna razón las hojas de guayaba no son preferidas por algunas especies de caracoles, el efecto de estas preferencias sobre las tasas de ingestión podría ser opuesto al de otros factores, como el clima, explicando así la ausencia de diferencias entre los tratamientos.

Por otro lado, es importante considerar que los caracoles parecen ser tolerantes en el uso compartido del espacio. En especies del género *Hydrobia* en Dinamarca, por ejemplo, se ha reportado que coexisten en una misma área hasta tres especies, cada una con una temporada de reproducción diferente (Fenchel y Kofoed 1976). En mi estudio también registré cuadrantes en el que vivían varias especies, sobre todo del género *Naesiotus*. Esta “convivencia” entre especies con similares requerimientos alimenticios podría darse precisamente porque no hay diferencias importantes en las tasas de ingestión de las especies; es decir, porque no hay una especie que, por tener una tasa más alta de ingestión, pueda desplazar a las demás. Es posible que este comportamiento se deba a que los recursos alimentarios no son escasos y por lo tanto no se genere competencia. Sin embargo, podría también ser el resultado de una partición de recursos

que evolucionó como respuesta a una competencia que existió en el pasado (Brown 1982). Como consecuencia, son otros factores los que pudieran influenciar en la relación entre especies nativas e introducidas. Algunos estudios han demostrado que hay una relación entre la diversidad de caracoles y el tipo de sustrato. Existe también una relación entre diversidad y área. Los hábitats que son grandes y con recursos guardan mayor diversidad en comparación con aquellos hábitats que son pequeños y temporales (Brown 1982).

Los resultados de mi estudio son preliminares pero importantes, sobre todo porque abren un espacio para nuevos temas de investigación enfocados en evaluar las especies de plantas preferidas por cada especie, sus adaptaciones frente a condiciones climáticas adversas (sequías, por ejemplo) y el efecto del clima sobre la actividad de los individuos y la dinámica de las poblaciones de caracoles nativos e introducidos en el archipiélago. Para futuras investigaciones sugiero repetir los ensayos de ingestión con un mayor número de bolsas de ingestión por tratamiento, de tal manera que sea posible retirar periódicamente un determinado número de muestras para medir su peso seco y así tener medidas más confiables de las tasas de ingestión, así como la utilización de plantas nativas y si fuera posible adicionar otros hábitats. También sugiero seguir experimentando con las hojas de guayaba, para recrear las condiciones actuales a las que se enfrentan los caracoles en las isla.

Recomiendo reproducir los ensayos durante más temporadas climáticas para comprender mejor el efecto del clima sobre la actividad de las diferentes especies. Es importante también realizar experimentos en laboratorio en los cuales se pueda estudiar las preferencias de dietas de los caracoles, así como sus respuestas a variaciones de humedad y luz.

Referencias

Brown, K. 1982. Resource overlap and competition in pond snails: an experimental analysis. *Ecology* Vol. 63, pp: 412- 422.

Correoso, M. 2008. Los Moluscos terrestres y fluviales del Ecuador Continental. La Biodiversidad desconocida. SIMBIOE, Quito, Ecuador.

Fenchel, T., y Kofoed, L. 1976. Evidence for exploitative interspecific competition in mud snails. OIKOS. Vol. 27, No. 3, pp: 367-376.

Juříčková, L. 2006 *Subulina octona* (Bruguiere, 1798) - a new greenhouse species for the Czech Republic (Mollusca: Gasteropoda: Subulinidae). Malacologica Bohemoslovaca. No.5, pp:1-2.

García, M. 2000. Nutrición de caracoles. IdiaXXI, pp: 90-94.

Gordillo, J., y Work, A. 1989. Isla San Cristóbal. Noticias de Galápagos. Charles Darwin Foundation. No. 48, pp: 18-20.

Hunter, S., M. Settles., D. New., C. Parent., y A. Gerritsen. 2016. Mitochondrial Genome Sequence of the Galapagos Endemic Land Snail *Naesiotus nux*. Genome Announcements. Vol. 4, No.1, pp: 1-7.

INAMHI. 2015. Boletín climatológico anual 2015.

http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_anu.pdf

INAMHI. 2016. Boletín climatológico.

http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_men_gua.pdf

Kalio, G.A., Okafor, B.B., y Legbara, K.P. 2009. Multipurpose trees and shrub foliage as valuable feed resources for integration into commercial snail farming. Journal Vocational Education and Technology. Vol.6, No. 1 y 2, pp: 143-150.

Kappes, H., W. Topp., P. Zach, and J. Kulfan. 2006. Coarse Woody debris, soil properties and snails (Mollusca: Gastropoda) in European primeval forests of different environmental conditions. European Journal of Soil Biology. Vol 42, pp: 139-146.

Kellert, S. 1993. Values and Perceptions of Invertebrates. Conservation Biology. Vol 7, pp: 845-855

Lydeard, C., R. H. Cowie., W. F. Ponder., A. E. Bogan., P. Bouchet., S. A. Clark., K. S. Cummings., T. J. Frest., O. Gargominy., D. G. Herbert., R. Hershler., K. E. Perez., B. Roth., M. Seddon, E. E. Strong, and F. G. Thompson. 2010. The Global Decline of Nonmarine Mollusks. *BioScience*. Vol.54, pp: 321-330.

Matamoros, M. 2014. Los moluscos fitófagos en la agricultura cubana. *Agricultura orgánica*. No.2, pp 9-13.

Meyer, W y R, Cowie. 2010. Feeding preferentes of two predatory snails introduced to Hawaii and their conservation implations. *Malacología*. Vol. 53, pp: 135-144.

Parent, C. 2003. *Bulimulus galapaganus*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2003*: e.T44002A10847122.

<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2003.RLTS.T44002A10847122.en>

Parent, C.,B. Crespi. 2009. Ecological Opportunity in Adaptative Radiation of Galápagos Endemic Land Snail. *The American Naturalist*. Vol. 174, No.6, pp: 898-905.

Parent, C. 2016. On the trail of the snail. *Galapagos news on Galapagos Conservancy*, pp: 8-10

Roque-Albelo, L. 2006. Evaluating land invertebrates species: prioritizing endangered species. *Biodiversity and Biophysical Resources*. Galápagos Report 2006-2007. Galápagos Conservancy, pp:111-117.

Schmidt- Nielsen, K., Taylor, C., y Shkolnik, A. 1971. Desert snails: problems of heat, water and food. *Journal of Experimental Biology*. Vol. 55, pp: 385-398.

Schofield, E. 1989. Effects of Introduced Plants and Animals on Island Vegetation: Examples from the Galápagos Archipelago. *Conservation Biology*. Vol. 3, No. 33, pp: 227- 238

Storey, K. 2002. Life in the slow lane: molecular mechanism of estivation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*. No. 133, pp: 733-754.

Anexos

Tabla 1. Tasa de ingestión (peso perdido en gramos/día promedio \pm desviación estándar) por lugar, estación y tratamiento

Temporada	Tratamiento	Parque	Reforestación	Cafetal
Seca	Especie introducida	0,030 $\pm= 0,011$	0,033 $\pm=0,006$	0,021 $\pm= 0,020$
Seca	Especie nativa	-	0	0,064 $\pm= 0,018$
Seca	Sin caracol	0,030 $\pm= 0,020$	0,039 $\pm=0,004$	0,013 $\pm= 0,018$
Seca	Con caracoles nativos e introducidos	0,031 $\pm= 0,012$	0,041 $\pm= 0,004$	0,003 $\pm= 0,007$
Lluviosa	Especie introducida	0,045 $\pm= 0,025$	0,061 $\pm= 0,005$	0,048 $\pm= 0,027$
Lluviosa	Especie nativa	-	0,060 $\pm= 0,001$	0,050 $\pm= 0,010$
Lluviosa	Sin caracol	0,061 $\pm= 0,007$	0,0437 $\pm= 0,016$	0,048 $\pm= 0,008$
Lluviosa	Con caracoles nativos e introducidos	0,053 $\pm= 0,007$	0,0475 $\pm= 0,015$	0,060 $\pm= 0,002$

Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio en la isla San Cristóbal

