

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTA Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

*Achatina fulica* como especie invasora

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

CARLA ELIZABETH RUBIO VILLAGRAN

QUITO – ECUADOR

2019

Certifico que la Monografía de Licenciatura en Ciencias Biológicas de la Srta. Carla Elizabeth Rubio Villagrán ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Dra. Verónica Crespo Pérez  
Directora de la monografía

Quito, 30 de agosto del 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres, por todo su amor y apoyo incondicional.

A Verónica Crespo por su excelente dirección, su ayuda y por la oportunidad brindada.

A mis hermanos, por todas las alegrías.

A Santiago, por todo el amor.

## TABLA DE CONTENIDOS.

Lista de tablas .....	v
Lista de figuras .....	vi
1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT .....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS .....	5
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
4. DESARROLLO TEORICO.....	6
4.1 TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA.....	6
4.1.1 Taxonomía:.....	6
4.1.2 Descripción morfológica: .....	7
4.2 BIOLOGIA REPRODUCTIVA Y COMPORTAMIENTO.....	9
4.3 PREFERENCIA DE HÁBITAT.....	12
4.4 HISTORIA DE INVASIÓN Y DISTRIBUCION ACTUAL.....	13
4.5 INVASIONES BIOLÓGICAS .....	16
4.6 ÉXITO DE INTRODUCCIÓN DE <i>ACHATINA FULICA</i> .....	18
4.7 ESTABLECIMIENTO FUERA DE SU RANGO NATURAL.....	21
4.8 IMPACTOS DE <i>ACHATINA FULICA</i> .....	23
4.8.1 Plaga agrícola:.....	23
4.8.2 Problema de salud pública: .....	24
4.9 ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN DE INVASIÓN.....	26
4.10 ESTRATEGIAS DE CONTROL.....	29
5. CONCLUSIONES .....	33
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
7. TABLAS .....	43
8. FIGURAS.....	46

## Lista de tablas

Tabla 1: Actividad de <i>Achatina fulica</i> 2008 en la ciudad de Lauro de Freitas, Brasil. Modificado de: Albuquerque <i>et al</i> , 2008. ....	43
Tabla 2: Número de especies nativas e invasivas en varios países. Modificado de: McNeely, 2001. ....	44
Tabla 3: Principales hospederos intermediarios de <i>Angiostrongylus cantonensis</i> en Ecuador 2012. Modificado de: Solórzano Álava <i>et al</i> , 2014. ....	44
Tabla 4: Predicción de extinción de las especies de <i>Partula</i> en Hawaii. Modificado de: Clarke <i>et al</i> , 1984. ....	45

## Lista de figuras

- Figura 1: Partes del caparazón de *Achatina fulica*. Modificado de: USDA–APHIS. 2005.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 2: Caparazón de *Achatina fulica*. Etiqueta de localidad: Papua New Guinea, Keravat, New Britain, Jun 1951, Dun. Preservado en: Peter Lillywhite Museum Victoria. Tomado de: Walker, 2005. ....46
- Figura 3: Variaciones en la morfología de la concha de *A. fulica* en distintas provincias de Filipinas. Modificado de: Sobrepeña y Demayo 2014.....47
- Figura 4: Adulto de *Achatina fulica*. Tomado de: GISD, 2019. ....48
- Figura 5: Huevo de *Achatina fulica*, en dos estadios inicial y final. Tomado de: Walker, 2005.....48
- Figura 6: A. *Iberus marmoratus* apareándose cara a cara. B. *Liguus fasciatus* y *Orthalicus florensis* apareándose por montura de caparazón. Tomado de: Davison y Mordan, 2007. ....49
- Figura 7: Ruta de dispersión de *Achatina fulica* desde el Este de África. Los años indican las fechas aproximadas del primer registro de observación de la especie en cada región, las líneas sólidas representan introducciones exitosas y las líneas entrecortadas representan introducciones interceptadas. Tomado de: Raut y Barker, 2002. ....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 8: Distribución de *Achatina fulica* en Ecuador. Tomado de: Goldyn et al., 2016.....51
- Figura 9: Distribución actual de *Achatina fulica*. Tomado de: CABI,2014. ....52
- Figura 10: Mapa de distribución de haplotipos 16S rRNA de poblaciones de *Achatina fulica*. Tomado de: Fontanilla et al., 2014. ....52
- Figura 11: Epifragma de *Achatina fulica*. Tomado de: Agrocalidad, 2019.....53
- Figura 12: Comparación de contenido proteico y grasa de origen animal Modificado de: Ghosh et al., 2016.....53

Figura 13: Tres individuos de <i>Achatina fulica</i> alimentándose de <i>Veronicella cubensis</i> en Kai Hawaii, septiembre 18, 2005. Tomado de: Meyer et al., 2008. ....	54
Figura 14: Modelo Bioclimático de áreas susceptibles a invasión: A modelo GARP y B modelo MaxEnt. Áreas más claras indican menor susceptibilidad y áreas oscuras indican alta susceptibilidad. Los puntos son los registros utilizados en el estudio. Modificado de: Vogler et al., 2013. ....	55
Figura 15: Ciclo de vida de <i>Angiostrongylus cantonensis</i> . Modificado de: Fontanilla, 2010. ....	56
Figura 16: Abundancia de <i>Achatina fulica</i> 2008. Lotes que fueron limpiados (Gris claro) vs los que no fueron limpiados (Gris oscuro). Modificado de: Albuquerque et al., 2008. ....	56
Figura 17: Distribución de hospederos intermedios positivos a <i>A. catonensis</i> en Ecuador. Tomado de: Solórzano Álava et al., 2014. ....	57

## 1. RESUMEN

El caracol africano, *Achatina fulica* (Achatinidae), es un molusco invasivo actualmente distribuido en varios países del Pacífico, el Caribe, Asia y América Latina. *A. fulica* es una especie de muy rápida dispersión que ocasiona serios problemas en los ecosistemas invadidos, como desplazamiento de poblaciones de moluscos nativos y daños a cultivos de importancia, que producen importantes pérdidas económicas. Además, genera problemas de salud pública por la transmisión del nemátodo *Angiostrongylus cantonensis*, causante de Meningoencefalitis en el sistema nervioso humano. Es sumamente urgente generar estrategias efectivas de control de este caracol, para lo cual es necesario entender sus requerimientos ecológicos, patrones de dispersión y tasa de crecimiento poblacional, para así determinar posibles zonas de riesgo, prevenir su invasión y controlar su dispersión.

Palabras clave: *Achatina fulica*, caracol gigante africano, especie invasora, plaga, salud pública.

## 2. ABSTRACT

The African giant snail, *Achatina fulica* (Achatinidae), is an invasive mollusk distributed in many countries of the Pacific, Caribbean, Asia and Latin America. *A. fulica* is a fast disperser that causes multiple ecosystem problems, including displacement of native mollusk species populations and generates economic losses through the damage of cultivated plants. This snail is also a public health concern because of the transmission of the nematode *Angiostrongylus cantonensis*, that causes meningoencephalitis in humans. Generating efficient control and management strategies against this species is urgent, but requires thorough understanding of its ecological requirements, dispersal patterns and population grow rates. This could allow us to determine zones with higher invasion risk and to generate effective prevention and control measures.

Keyword: *Achatina fulica*, African giant snail, invasive species, plague, public health.

### 3. INTRODUCCIÓN

Los moluscos constituyen el filo más representativo de invertebrados, después de los artrópodos. Todos los gasterópodos terrestres se ubican en el orden Stylommatophora, el cual incluye a la familia Achatinidae. *Achatina fulica* (Figura 1) es una de las 200 especies de esta familia. Tiene un registro fósil que data del Mioceno tardío (Pickford, 1987) y es originaria del Este de África (Kenia y Tanzania), aunque en la actualidad, habita también en otros países de África como Mozambique, Somalia, Etiopía, Madagascar, Uganda, Marruecos y Ghana (Hoffman y Pirie, 2014). *A. fulica* es una especie invasiva que ha sido transportada a casi todo el mundo de manera accidental, por ejemplo, en cargas de comercio, o intencional, como fuente de alimento, para la producción de baba de caracol, para investigación científica o como mascota (Malumphy y Reid, 2017).

La preocupación que generan las especies invasivas nace de la necesidad de mantener prístinos los ecosistemas. De hecho, los conservacionistas reconocen que la distribución de especies está cambiando constantemente, que la estructura de la comunidad es dinámica y que las especies foráneas entran y son introducidas en las comunidades naturales regularmente. Sin embargo, hay que hacer una distinción importante entre especies introducidas: las que ingresan a una nueva área, pero por lo general no ocasionan ningún tipo de daño y las especies invasivas, que causan daño a la biodiversidad, los ecosistemas y/o al humano (Lambertini, et al., 2011). Este es el caso de *Achatina fulica* que se ha convertido en una plaga agrícola polífaga de rápido crecimiento, llegando a ser clasificada como una de las 100 especies más invasivas por Unión para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (Vermeji, 1996; McNeely, 2001; Volger y Beltramino, 2014; Ademolu, Fantola, Bamidele, Dedeke, Idowu, 2016). De hecho, esta especie presenta muchas características que facilitan su invasión, establecimiento y daño en ecosistemas naturales y cultivados, produciendo serias pérdidas económicas y problemas de salud pública en países del Pacífico, el Caribe, Asia y América.

El éxito de introducción de esta especie se atribuye a su amplia tolerancia ambiental, es decir, a las especializaciones fisiológicas y comportamentales que le permiten adaptarse a diferentes condiciones. Por ejemplo, cuando los individuos están expuestos a condiciones ambientales no favorables, como temperaturas

extremas, falta de humedad o de alimento hace que los individuos entran en estado de estivación (estado de inactividad, donde el caracol genera una capa rica en calcio que sella el caparazón para mantener la humedad y protegerlo) (Hoffman y Pirie, 2014), que facilita su supervivencia durante el transporte desde su hábitat natural o desde regiones ya invadidas hasta nuevas localidades.

Después de ser introducido a nuevos hábitats, el caracol gigante africano tiene altísimas probabilidades de establecerse. Esto debido a su alta capacidad reproductiva y a su rápida maduración sexual (a los cinco y seis meses de edad) (Fontanilla, 2010). Además, cada individuo puede producir hasta 400 huevos por puesta, llegan a tener hasta seis puestas al año y pueden vivir hasta seis años (Fontanilla, 2010). Estos caracoles pueden almacenar esperma por prolongados periodos de tiempo, lo que les permite ovopositar durante condiciones ambientales propicias (Raut y Barker, 2002). *A. fulica* tiene un tipo de alimentación generalista, por lo que el alimento pocas veces se convierte en un recurso limitante para su establecimiento.

Una vez establecidos, los caracoles producen importantes impactos económicos y de salud pública. *Achatina fulica* se alimenta de alrededor de 500 especies de plantas, pero tiene una clara preferencia por especies cultivables, lo que genera serios daños a los cultivos. Las estrategias de control de este caracol son costosas. En Estados Unidos eliminar esta plaga ha tenido un costo de entre 60.000 a 700.000 dólares en 7 años. El estado de Florida estimó que las pérdidas anuales hubieran llegado a los 11 millones de dólares si no hubiera sido posible controlar a la especie (Vennette y Larson, 2004). En Brasil (Lauro de Freitas, 2008) se han invertido 3.300 dólares mensuales en estrategias de erradicación de *A. fulica* (Albuquerque, Peso-Aguiar, Assuncao-Albuquerque, 2008). Además de las pérdidas económicas el caracol gigante africano genera también problemas de salud pública debido a que es hospedero del nemátodo *Angiostrongylus cantonensis* que ocasiona meningoencefalitis en el humano (Fontanilla, 2010).

Para lograr mitigar la llegada de *A. fulica* a nuevos sitios es de vital importancia conocer sus medios de dispersión. La falta de información de las personas sobre los efectos negativos que tiene esta especie exótica, dificulta todos los esfuerzos por erradicarla ya que el desconocimiento es el que genera que esta

especie siga siendo comercializada por distintos motivos para su crianza y traslado a distintas partes del mundo. El propósito de esta monografía es revisar las causas y consecuencias que tiene *Achatina fulica* como especie invasora. Cómo su invasión es un problema, para los ecosistemas, la agricultura y la salud pública. Y cómo distintos métodos nos pueden ayudar a controlar a esta especie.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Examinar las causas y consecuencias que tiene *Achatina fulica* como especie invasora.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Establecer cómo ha sido su dispersión a lo largo del tiempo en distintas partes del mundo, pero sobre todo en América Latina.
2. Especificar los medios más comunes que permiten la dispersión de esta especie a través del mundo.
3. Determinar los factores que confieren el éxito a esta especie para establecerse dentro de ecosistemas nuevos.
4. Determinar el impacto que generan en los ecosistemas, la agricultura y la salud pública.
5. Analizar las posibles estrategias para el control de *Achatina fulica*.

## 4. DESARROLLO TEORICO

### 4.1 TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA

#### 4.1.1 Taxonomía:

Molusca es el segundo filo más grande de invertebrados en el mundo después de Artrópoda; se estima que posee alrededor de 118.061 especies (Zhi-Qiang, 2013) distribuidas en tierra, mar y agua dulce. Por su parte, con 62.000 especies, la clase Gastropoda es una de las más representativas del filo (Urgorri et al., 2017). En este grupo podemos encontrar al orden Stylommatophora, al cual pertenece la familia Achatinidae que agrupa a 13 géneros y 200 especies, incluyendo a *Achatina fulica* (Fontanilla, 2010). En base a las espirales nepiónicas (espirales del caparazón que se forman dentro del huevo durante el desarrollo embrionario) *A. fulica* se incluye frecuentemente en el sub género *Lissachatina*. En 1950 Bequaert colocó a las especies del oeste y centro de África dentro del género *Achatina*, por sus espirales neopiónicas esculpidas y granulosas. Este mismo autor colocó, en cambio, a las especies del este de África en el sub género *Lissachatina*, debido a que sus espirales nepiónicas son lisas. Estudios morfológicos del aparato reproductor de varios individuos de *Achatina* han dado soporte a esta diferenciación entre género y sub género. *Achatina* tiene un ducto espermolítico corto, con la espermateca debajo de la unión del conducto deferente y la porción uterina del ducto hermafrodita, mientras que *Lissachatina* tiene el ducto espermolítico largo, con la espermateca sobre la unión del conducto deferente y la porción uterina del ducto hermafrodita (Mead, 1995). Estudios moleculares realizados con grupos de genes de rRNA, actina y histona3 y con genes mitocondriales como la sub unidad 1 del citocromo oxidadaasa y 16S rRNA, dan soporte a esta separación entre poblaciones del oeste y centro de África (*Achatina*) y del este de África (*Lissachatina*), sugiriendo que *Lissachatina* no debería seguir siendo un sub género de *Achatina* (Fontanilla, 2010). Sin embargo, algunos autores utilizan *Lissachatina fulica* como un sinónimo para *Achatina fulica* (Volger y Beltramino, 2014). Para esta monografía se utilizará el nombre de *Achatina fulica* en base a la clasificación dada por Bowdich (1822).

Nomenclatura Taxonómica:

Dominio: Eukaryota

Reino: Metazoa

Filo: Mollusca

Clase: Gastropoda

Sub clase: Pulmonata

Orden: Stylommatophora

Sub orden: Sigmurethra

Familia: Achatinidae

Género: *Achatina*

Especie: *Achatina fulica*

#### 4.1.2 Descripción morfológica:

*Achatina fulica* tiene un caparazón (Figura 1) liso de forma cónica espiralado, largo, con suturas fuertemente marcadas entre los verticilos. Puede tener de siete a nueve espirales cuando el individuo es adulto (United States Department of Agriculture - Animal and Plant Health Inspection Service, 2005). La apertura del caparazón puede ser ovalo lunada o redonda lunada, con un borde marcado, convexo y delegado (Volger y Beltramino, 2014). El alto de la apertura del caparazón por lo general mide más de la mitad del largo del caparazón (Herbert, 2010). Su columela tiene un truncamiento (evidente a lo largo de toda la vida del espécimen) y un callo parietal. La columela y el callo parietal son de color blanco o azul-blanquecino (USDA-APHIS, 2005). El interior del labio de apertura es convexo, blanco (Figura 2) (USDA-APHIS, 2005; Herbert, 2010; Hoffman y Pirie, 2014).

Por lo general, la coloración del caparazón es amarillo-café o café-rojizo, con bandas axiales cafés no tan definidas que a veces pueden estar en zigzag. La punta del caparazón puede ser entre blanca y beige, pero el color puede perder su

intensidad con la edad del individuo (Figura 2), haciéndose más obscuro en la última vuelta de la espiral (Figura 1) (Cowie, 2010; Herbert, 2010; Volger y Beltramino, 2014).

La coloración del caparazón puede ser variable entre individuos, variabilidad que depende de las condiciones ambientales y de la alimentación (Hoffman y Pirie, 2014; Global Invasive Species Database, 2015). Estudios llevados a cabo por Sobrepeña y Demayo en el 2014, observaron que la variabilidad de la morfología del caparazón y del patrón de bandas dependen de la localidad donde se encuentre el caracol. Esta variación fenotípica fue encontrada al realizar análisis geométricos morfométricos en 15 provincias en Filipinas, que reveló 16 variaciones en la parte ventral de la concha (Ilustración 3). Estas variaciones generalmente se dan como resultado de factores ligados al medio ambiente, por ejemplo, la disponibilidad de carbonato de calcio (Fontanilla, 2010).

El tamaño promedio de un individuo adulto de *Achatina fulica* es de 5 a 10 cm, pero pueden llegar a medir hasta 30 cm (Meyer III, Hayes, Meyer, 2008; Herbert, 2010; Hoffman y Pirie, 2014). El peso promedio del caracol es de 32 g (Cowie, 2010), su cuerpo es de color café obscuro con dos pares de tentáculos. Unos cortos que se encuentran en la parte inferior de la cabeza, que son sensibles al tacto y a las señales químicas y otros largos que se encuentran en la parte superior de la cabeza con ojos redondos en la punta que sirven para su orientación (Ilustración 4). La boca de estos caracoles tiene una mandíbula en forma de cuernos con 142 hileras de dientes, con 129 dientes por hilera. Los juveniles son similares a los adultos, pero su caparazón es un poco más brillante. Los huevos son esféricos elipsoidales, de color crema, con un diámetro de 4.5mm - 5.5mm (Ilustración 5) (USDA–APHIS, 2005; Volger y Beltramino, 2014).

## 4.2 BIOLOGIA REPRODUCTIVA Y COMPORTAMIENTO

El caracol gigante africano alcanza la madurez sexual entre los cinco y seis meses de edad y vive entre cinco y seis años, aunque puede llegar a vivir hasta nueve (Fontanilla, 2010). La mejor manera de estimar la edad de un individuo de esta especie es mediante el tamaño de su caparazón y el grosor del peristoma (borde del labio del caparazón). Tomiyama (1992) los clasifica en tres categorías: 1) Joven adulto: largo del caparazón mayor a 4cm y grosor del peristoma menos de 0.5mm, sección reproductiva masculina en desarrollo o en completo desarrollo. 2) Intermedio: largo del caparazón mayor a 4cm y grosor del peristoma entre 0.5mm-0.8mm, sección reproductiva masculina desarrollada por completo y porción femenina en desarrollo. 3) Adulto mayor: largo del caparazón más de 4cm y grosor del peristoma más de 0.8mm con las dos partes reproductivas masculina y femenina completamente desarrolladas. (Raut y Barker, 2002). *Achatina fulica* es una especie hermafrodita protandra, es decir, que primero desarrolla los gametos masculinos y luego los femeninos (Tomiyama, 1992; Davison y Mordan, 2007; Hoffman y Pirie, 2014; Silva y Omena, 2014). Sin embargo, mientras los adultos juveniles solo producen espermatozoides, los mayores producen óvulos y espermatozoides (Tomiyama, 1992). Esta especie puede copular de dos maneras: 1) mediante una cópula recíproca, donde los dos individuos son hembra y macho simultáneamente e intercambian tanto óvulos como espermatozoides o, 2) mediante una cópula unilateral, donde cada individuo define su rol como macho o como hembra, e intercambian solo un tipo de gameto (el macho transfiere espermatozoides a la hembra). Cabe recalcar que después de la primera cópula unilateral los roles generalmente cambian (el individuo que tenía el rol de hembra cambia a macho transfiriendo sus espermatozoides al otro individuo que ahora es hembra), esto siempre y cuando los dos individuos tengan las dos partes reproductivas completamente desarrolladas (individuos adultos) (Davison y Mordan, 2007; Silva y Omena, 2014). La cópula unilateral es mucho más frecuente en individuos jóvenes por la diferencia de tiempo existente entre la formación de los dos tipos de gametos. La cópula puede darse mediante dos mecanismos: cara a cara o por monta de caparazón (Figura 6) (Davison y Mordan, 2007).

*A. fulica* tiene la capacidad de almacenar la esperma por periodos prolongados de tiempo, se ha registrado que 341 a 520 días después de la cópula pueden seguir colocando huevos, produciendo varias puestas anuales (Silva y Omena, 2014). El apareamiento tiene lugar en horas de la noche y dura aproximadamente de seis a ocho horas, en algunos casos extendiéndose hasta 24 horas (Venette y Larson, 2004; Volger y Beltramino, 2014). La ovoposición se da entre los 8 a 20 días después del apareamiento y la cantidad de huevos depositados depende de la edad del caracol. En el primer año de vida puede llegar a poner de 10 – 100 huevos, a partir del segundo año aproximadamente 200- 300 huevos y de 300-500 a partir del tercero (Raut y Barker, 2002). Fontanilla (2010) menciona que en un año el caracol africano puede llegar a poner hasta 1.800 huevos. Por lo general, sus puestas son colocadas sobre el suelo o en la base de plantas. Los huevos eclosionan después de 3 a 17 días siempre y cuando se encuentren en condiciones ambientales favorables, es decir en contacto con un grado de humedad adecuado (Maza, 2013; Hoffman y Pirie, 2014). Los caracoles recién eclosionados tienen una alimentación voraz, alimentándose mayormente de vegetación viva. Pocos individuos prefieren alimentarse de vegetación en descomposición o detritos (Venette y Larson, 2004). La época reproductiva está ligada a la época lluviosa (Tomiya, 1992), durante esta época la frecuencia de juveniles en la población es baja (Cowie, 2001). Estudios en el Salvador han documentado que la población que va envejeciendo es rápidamente remplazada por grupos de individuos jóvenes (Silva y Omena, 2014).

Por otro lado, la capacidad de volver siempre a un sitio determinado junto con la territorialidad y la agregación son factores determinantes para la distribución y abundancia de esta especie. La capacidad de volver siempre a un sitio determinado en los pulmonados se debe a su habilidad de quimio recepción. Tomiyama (1992) estudió esta capacidad en *Achatina fulica* con un experimento de captura-marcaje-recaptura de individuos jóvenes, adultos jóvenes y adultos mayores. Este estudio reveló que los adultos jóvenes recorrían mayores distancias y no regresaban a su sitio de descanso del día anterior, es decir, cambiaban de sitio de descanso todos los días: Mientras que los adultos mayores recorrían distancias menores y siempre regresaban al sitio de descanso de la noche anterior, inclusive, estos últimos fueron movidos a otro sitio de descanso y se observó que preferían volver a los sitios de

descanso donde estaban inicialmente. Este comportamiento es importante por el sistema de reproducción que tiene esta especie, al ser protandros, los caracoles jóvenes deben desplazarse más para tener mayores oportunidades de apareamiento, mientras que los caracoles adultos no necesitan cambiar de lugar porque otros individuos se acercan a ellos para copular.

Chase y Lubin Zeichner (1980) sugieren que el grado de agregación que posee *A. fulica* esta correlacionada con la edad, su nivel de parentesco y la hora del día. Los caracoles se agregan días después de eclosionar de sus huevos, agregándose solamente con individuos que hayan nacido del mismo grupo de huevos. Esta distinción entre individuos pertenecientes al mismo grupo lo hacen mediante señales químicas específicas. Durante las dos primeras semanas de vida los caracoles se agregan formando un solo conglomerado, lo que sugiere que la agregación puede ser una estrategia para evitar ser depredados. Cuando están expuestos a la luz los caracoles tienen alta tendencia a agruparse, mientras que cuando están expuestos a la oscuridad, éstos empiezan a dispersarse. Esto podría ser una estrategia para conservar la humedad, ya que al estar todos reunidos formando un consolidado, reducen la evaporación al disminuir su superficie total.

### 4.3 PREFERENCIA DE HÁBITAT

El caracol gigante africano es una especie de distribución mayormente tropical y se la puede encontrar en distintos tipos de hábitat como especie introducida. Se la ha registrado en bosques húmedos, en bosques secos tropicales y subtropicales (Venette y Larson, 2004), en áreas costeras, a orillas de los ríos, en humedales, matorrales (Hoffman y Pirie, 2014), cultivos agrícolas, áreas disturbadas y áreas urbanas (Herbert, 2010). Encontrándola generalmente en el suelo o en la hojarasca (Craze y Mauremootoo, 2002).

Este caracol tiene una preferencia clara por condiciones climáticas calientes, tiene un rango de tolerancia altitudinal de 1-1000 m s.n.m., con precipitaciones de 350-5000 mm/año y con un rango de temperatura que va desde los 2° C hibernando o hasta de 45° C estivando, con un óptimo entre los 22° C y 32° C (Rekha-Sarma, Munsri, Neelavara-Ananthram, 2015). La humedad es uno de los factores climáticos que más influencia tiene sobre la actividad de *A. fullica*, con una humedad relativa del 80% como la más óptima, es el factor clave para la supervivencia de individuos juveniles (Chase, Croll, Lubin-Zeichner, 1980). Durante la época seca, entra en estado de estivación hasta que la humedad relativa vuelva ser adecuada (Raut y Barker, 2002; Venette y Larson, 2004; Herbert, 2010). Es por esta razón que, en áreas húmedas con poca exposición al sol, esta especie registra mayor densidad poblacional (Albuquerque et al., 2008; Gutiérrez-Gregoric, Beltramino, Vogler y Rumi, 2013). Para evitar las altas temperaturas características de las zonas tropicales, *A. fullica* tiene su pico de actividad entre el atardecer y el amanecer, con mayor actividad en días nublados y lluviosos (Tabla 1) (Albuquerque et al., 2008). Tiene un periodo de reclutamiento a finales de la época lluviosa, que es cuando los jóvenes individuos se vuelven parte de la población reproductiva (Silva y Omena, 2014).

#### 4.4 HISTORIA DE INVASIÓN Y DISTRIBUCION ACTUAL

La evidencia fósil sugiere que la familia Achatinidae data de inicios del Pleistoceno (0.01-1.8 Ma) (Raut y Barker, 2002; Fontanilla, 2010). Raut y Barker (2002) reportan que los primeros Achatinidae son originarios del norte del Zambezi en Baja Guinea, Camerún y Gabón, al oeste de África. De donde se dispersaron hacia el sur del continente, ocupando hoy prácticamente toda el área del África sub-Sahariana (GISD, 2015). Se cree que *Achatina fulica* es originaria del Este de África, de Kenia y Tanzania (Venette y Larson, 2004). Actualmente se la puede encontrar en la parte Sur de Etiopia y Somalia, en todo Madagascar, Uganda, en el norte de Mozambique, Marruecos y Ghana (Raut y Barker, 2002).

Civeyrel y Simberloff en 1996 recopilan información sobre la historia de invasión de *Achatina fulica*. Reportan que, a inicios del siglo 19, uno de los primeros registros de esta especie fuera de su rango natural, es su llegada a la Isla de Amoy perteneciente a China, en el año 1931. Introducción que se dio a través de un envío de plantas desde Singapur. En 1950, este caracol ya se encontraba ocupando toda la China continental (Elliott-Graves, 2015). En 1931 se registra por primera vez en Filipinas. En 1936 un turista lleva este caracol a Hawaii (Cowie, 2001) desde China. En 1937 *A. fulica* parte desde Hawaii a Hong Kong por medio de unos agricultores. En ese mismo año, llega a Tailandia desde Malasia. A finales de la segunda guerra mundial (1945) soldados Japoneses llevaron a este caracol al Sur de Asia, Taiwan y a algunas islas del Pacífico para utilizarlo como alimento, medicina y mascota (Rekha Sarma et al, 2015). En 1947 se registró a este caracol en casi toda India (Fontanilla, 2010). En 1968 se registra en Cambodia, en 1972 en Nueva Caledonia y en 1983 ya se encontraba en todo Marruecos. En 1996 aproximadamente se registra en Australia por primera vez (Figura 7) (Raut y Barker, 2002).

El caracol gigante africano ingresó al continente americano en 1969, por Florida, con un niño que regresó de Hawaii con dos individuos del caracol. Esta introducción provocó la infestación de 42 ciudades dentro del Estado de Florida (Wolfenbarger, 1971; Simberloff, 2003). El primer registro en América Latina data de 1996 en Venezuela y Brasil (Martínez y Martínez, 1997; Albuquerque et al., 2008). A Brasil fue introducida probablemente desde Indonesia (Fontanilla, 2010) con propósitos comerciales, como una alternativa a la crianza de *Helix aspersa*

(petit gris), utilizado como escargot. Sin embargo, el consumo de este alimento no es muy popular en Brasil, por lo que su comercialización no tuvo mucho éxito y los caracoles fueron liberados en la naturaleza, esparciéndose con rapidez en el país, principalmente en áreas urbanas como jardines (Vogler, Beltramino, Sede, Gutiérrez, Núñez, Rumi, 2013).

En Argentina el caracol gigante africano se registró por primera vez en el 2010 en Puerto Iguazú en la provincia de Misiones. En menos de un año de su registro se confirmó la presencia de la especie en la provincia de Corrientes a 617 km del primer foco (Gutiérrez Gregoric et al., 2013), posteriormente se registró en Paraguay en dos localidades cercanas a Corrientes, que son Ayolas y Asunción (Fontanilla, 2010).

En Ecuador el primer registro de este caracol fue en el 2005, pero se presume que se lo introdujo a finales de los años 90, por medio de la CORPEI (organismo que promueve la competitividad productiva en el Ecuador), para la producción de baba de caracol (Correoso, 2009). Tiempo después estos caracoles fueron comercializados como mascotas en la ciudad de Esmeraldas y en el 2010 se registraron por primera vez en Galápagos, en la isla Santa Cruz. En el año 2011 se estimó que existían alrededor de 1300 granjas de caracoles en las provincias de Cañar, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Pichincha y en pocas localidades de la parte costera del país (Borrero, Breure, Chistensen, Correoso, Mogollón-Avila, 2009) y en el 2014 se reportó por primera vez en la Amazonia. Se ha registrado a esta especie en algunas reservas naturales como el bosque protector Cerro blanco, reserva de producción de fauna Cuyabeno, parque nacional Yasuní, reserva natural La Hesperia (Observaciones personales)

Al observar la rápida dispersión de esta especie en Ecuador, Goldyn y su equipo en el 2016, realizaron un monitoreo de este caracol utilizando la técnica de captura-marcaje-recaptura. Utilizaron datos provistos por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca del Ecuador de zonas con presencia de *Achatina fulica* para detectar localidades potenciales para el establecimiento de esa especie y realizar monitoreos al azar en estas áreas. Registraron a esta especie en 63 localidades nuevas, dando un total de 1.065 localidades en 20 provincias (Figura 8). Distribuidas mayormente en la zona costera y amazónica del país, donde Santo

Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos, Morona-Santiago, Pastaza y Napo son las provincias más afectadas, con mayor presencia de individuos en zonas urbanas y rurales (Albuquerque et al., 2008; Meyer et al., 2008).

No existen registros de esta especie sobre los 2.500 m s.n.m lo que concuerda con la correlación negativa que tiene esta especie con la altitud, debido a las bajas temperaturas que tienen estas zonas (Vogler et al., 2013; Goldyn et al., 2016). Siendo así que actualmente *Achaita fulica* tiene una distribución mundial mayormente Pan tropical (Figura 9) (Raut y Barker, 2002).

Datos sobre la variación genética de las poblaciones del caracol gigante africano proveen información útil sobre las rutas de introducción y colonización que esta especie ha tenido (Fontanilla, 2010). Estudios moleculares realizados por Fontanilla y su equipo en el 2014, encontraron 18 haplotipos (16S rRNA) en 560 individuos de *Achatina fulica* de 39 poblaciones en 26 territorios (Figura 10). De estos 18 haplotipos 14 fueron encontrados en el este de África y en las islas del Océano Índico, siendo el haplotipo C uno de estos y a su vez el que predomina globalmente. Fuera del Este de África y de las islas del océano Índico, se encontraron cuatro haplotipos: E (Filipinas), F (Nueva Caledonia y Barbados), P (India) y Q (Ecuador), que son haplotipos derivados del haplotipo C. Esto sugiere claramente que existe poca variación genética del *A. fulica* fuera de su rango natural, lo que podría implicar la posibilidad de que estas poblaciones estarían atravesando un cuello de botella, que puede ser atribuido al efecto fundador (Fontanilla, 2010; Fontanilla et al, 2014). La diversidad de haplotipos que se puedan encontrar está relacionada con la extensión del muestreo, es decir con el número de muestras que se analicen, por otra parte, cabe mencionar que el estudio de los haplotipos de *A. fulica* nos permite identificar el tiempo de generación de esta variabilidad genética. Las variaciones genéticas que han generado nuevos haplotipos en un periodo corto de tiempo pueden ser debido a que en esa zona se han dado múltiples introducciones, permitiendo así un cambio genético en corto plazo (Ayyagari y Sreerama, 2017).

#### 4.5 INVASIONES BIOLÓGICAS

Vermeij (1996) define a las invasiones biológicas como la extensión del rango de una especie a áreas donde antes no se encontraba. Estas invasiones se dan por actividad antropogénica generando costos económicos, culturales y ecológicos. La mayoría de las especies que llegan a un nuevo ecosistema son introducidas por el hombre, por tres razones generales, la primera por accidente, la segunda por importaciones de especies para algún fin específico que posteriormente escapan a la naturaleza y la tercera son introducciones deliberadas por el valor nutricional que tienen (Mcneely, 2001, Silva y Omena 2014).

Existen tres etapas en la invasión de una especie a un ecosistema no nativo: la llegada, el establecimiento y finalmente la integración. Vermeij define a la llegada como la dispersión de individuos a la región receptora (nuevo ecosistema) esto puede suceder por causas naturales o por acción del hombre. El establecimiento implica que la nueva población pueda sostenerse a sí misma a través de la reproducción y reclutamiento local. Y la integración ocurre cuando la especie invasora forja relaciones ecológicas con otras especies en la nueva región. En base a estas etapas podemos determinar cómo pueden unas especies establecerse con éxito y otras no, y como el éxito o fracaso están influenciados por circunstancias en la biota receptora, donadora o en la especie en sí.

Generalmente las especies que ingresan a un nuevo ecosistema se ven desprovistos de depredadores, parásitos, y competidores naturales, esto, sumado a condiciones ambientales favorables puede llevar a que las especies nuevas alcancen grandes densidades poblacionales (Silva y Omena 2014). Es por esta razón, que las especies invasoras después de la pérdida de hábitat, son la segunda causa de amenaza y extinción de especies nativas, ya que una vez establecidas, generan una pérdida de la biodiversidad local. Estas especies invasoras cambian la estructura y función del ecosistema aumentando la homogenización de la biota (Mcneely 2001, Silva y Omena 2014, Volger y Beltramino, 2014), como resalta McNeely (2001) en su estudio, se puede observar que en algunas islas las especies invasivas alcanzan casi el mismo número que las nativas (Tabla 2). Esto genera que, en términos de riqueza, estas islas sean el doble de valiosas que, en su estado natural (sin especies introducidas). Sin embargo, tomando en cuenta las especies

que se han extinto como consecuencia de la introducción, la diversidad nativa de la isla ha disminuido.

Los costos que generan las especies invasoras son de aproximadamente 42.6 mil millones por año en pérdidas y 6.7 mil millones de dólares en costos ambientales (Silva y Omena, 2014). En el Sur África los costos para controlar las especies invasivas han sido de aproximadamente 39 millones en los últimos 20 años (Nelufule, 2018).

#### 4.6 ÉXITO DE INTRODUCCIÓN DE *ACHATINA FULICA*

En el caso de *Achatina fulica* su invasión se dio por varias causas: (i) el caracol se adhiere fácilmente a diferentes superficies y tiene la capacidad de entrar en estado de estivación cuando las condiciones no son favorables (p.ej. temperatura extremas), haciendo que sea fácilmente transportado a largas distancias, (ii) se ha introducido a esta especie como mascota, (iii) se la ha introducido como alimento para humanos, pescado y ganado (Volger y Beltramino, 2014) y (iv) en menor medida para la producción de baba de caracol, como medicina o por su importancia religiosa (Correoso, 2009; Fontanilla, 2010). Causas que se detallan a continuación.

La estivación es una respuesta adaptativa al ambiente, que se relaciona con altas temperaturas, disminución de la humedad relativa y acceso limitado al alimento (Rahman y Raut, 2010). Cuando el caracol gigante africano entra en este estado, baja sus niveles de actividad y su tasa metabólica para conservar energía. El caracol forma una barrera llamada epifragma (Figura 11) que es una mucosa calcificada que cierra la apertura del caparazón y le protege contra la sequedad, impidiendo que se pierda agua por evaporación. El epifragma se forma en aproximadamente 14 días y está compuesto de Hierro, Calcio y Fosforo. El epifragma de *A. fulica* es bastante grueso y muy resistente a la pérdida de agua (Ademolu et al., 2016). Durante el periodo de formación del epifragma el caracol se entierra en el suelo o se esconde tras rocas para evitar la radiación directa del sol (Raut y Barker, 2002; Fagbuaro, Oso, Edward, Ogunleye, 2006). El mecanismo que lleva a que el caracol entre en estado de estivación es desconocido, pero Salway y colaboradores (2010) determinaron que existe una regulación molecular durante el despertar de la estivación. Observaron que la actividad de algunas enzimas antioxidantes como MnSO<sub>4</sub>, Glutatina peroxidasa y Glutatina reductasa aumentaban en el corazón, el hepatopáncreas y pie del caracol, concluyendo que estas enzimas antioxidantes juegan un rol importante en la defensa del estrés oxidativo al momento del despertar de la estivación en *Achatina fulica*. El entrar en este estado podría promover cambios en la fisiología del caracol con consecuencias en su desarrollo como, por ejemplo, disminución de la tasa de crecimiento (Albuquerque, Peso-Aguiar, Assunção-Albuquerque, Gálvez, 2009). Esta adaptación ha jugado un rol fundamental para el transporte involuntario del caracol

a grandes distancias. La mayoría de las introducciones accidentales se han dado en cargamentos de plantas, flores y frutas, donde juveniles de esta especie están dentro de bulbos de flores, en hojas, raíces y ramas, por lo que pasan desapercibidos al ojo humano (Civeyrel y Simberloff, 1996; Gutiérrez-Gregoric et al., 2013).

El comercio de mascotas es cada vez mayor, genera un ingreso anual estimado en 20 mil millones de dólares con 350 millones de animales vivos siendo comercializados en todo el mundo anualmente. Los animales que ingresan a diferentes países no se mantienen siempre como mascotas, algunos escapan o son liberados. Consecuentemente una pequeña porción de estos llega a convertirse en especies invasoras causando impactos negativos significantes (Nelufule, 2018). La alta demanda de mascotas exóticas ha generado que se las comercialicen por internet ilegalmente. *Achatina fulica* ha ganado popularidad como mascota en los últimos años (Vogler et al, 2013). Por ejemplo, en el sur de Campania, en Italia, son mantenidos como mascotas en colecciones privadas (Ovidio, Nermut, Adami, Santoro, 2019). En distintos sitios web el caracol gigante africano es ofrecido a la venta con un costo que varía entre los dos y los veinte euros, dependiendo de la edad del caracol. Inclusive existen kit de venta en los que se ofrecen al caracol junto con su alimento, musgo, fibra de coco y una botella con atomizador para su crianza (18 libras esterlinas) (ebay, 2019). La fácil accesibilidad y el bajo costo hacen que la demanda de este caracol en el mercado, para su crianza y negocio o para su tenencia como mascota se mantenga. Esta comercialización mantiene el flujo de *A. fulica* a través del mundo, lo que genera un problema para su control y erradicación.

El reto de alimentar a una población humana cada vez más grande, genera la búsqueda de nuevas alternativas. En el mundo existen aproximadamente 794 millones de personas sin suficiente de alimento disponible (Ghosh, Jung y Meyer-Rpchow, 2016). En países en desarrollo, la problemática de la deficiencia de alimento ha llevado a la búsqueda de nuevas fuentes alimenticias y sobre todo de proteína, que es fundamental para el mantenimiento de la población. Las fuentes de proteína existentes en la actualidad en estas regiones empiezan a decrecer por el costo elevado que tiene tecnificar los métodos de crianza de estos animales. Sin una tecnificación adecuada la productividad de proteína animal local, baja

provocando que el costo de adquisición este tipo de proteína convencional sea alto y poco accesible para las secciones pobres de la población (Mogbo, Nwankwo, Nwuzor, 2014; Nelufule, 2018).

Por esto, el consumo de gasterópodos parece ser una solución a este problema (Vennette y Larson, 2004). De hecho, el consumo de este tipo de proteína es común desde tiempos antiquísimos en algunos lugares como Taiwán, China, Filipinas, Tailandia y Europa. El escargot (*Helix* sp.) es uno de los moluscos más famosos a la hora de escoger un plato, se estima que cerca de 6.000 toneladas de caracoles se consumen en Francia en un año. Con 74.08% de proteína cruda por cada 100g de carne, el contenido proteico de los caracoles es más alto al de otros animales, como el pollo (54.69%), Carne de res (40.52%), cerdo (27.72%) (Figura 12) (Ghosh et al., 2016) o soya (35%). Además, la carne de *A. fulica* tiene alto contenido de nitrógeno y hierro, es bajo en grasa y contiene casi todos los aminoácidos esenciales (Babola y Akinsoyinu, 2009; Mogbo et al, 2014). En comparación con otros gasterópodos el crecimiento de este caracol es mucho más rápido, mientras que en 5 meses el caracol gigante africano puede alcanzar un peso de 33 g, el caracol romano en un año llega a alcanzar un peso de solamente 26 g (Manukovsky, Kovalev y Tikhomirov, 2015). Tanto es así que *A. fulica* ha reemplazado a *Helix* sp. en el mercado, generando un aumento en el cultivo y consumo de este caracol no solo para el humano sino también para animales de crianza como patos (Civeyrel y Simberloff, 1996).

Una cantidad menor de introducciones se han dado por motivos medicinales o idolatrías, como en Nepal donde los caracoles son venerados por su significado religioso (Fontanilla, 2010). También han sido introducidos para investigación como fue el caso del Malacólogo Británico William Henry Benson que llevó dos individuos de esta especie a la India, para describir su morfología, dejándolos a su amigo antes de abandonar el país. Posteriormente su amigo liberó a estos caracoles en su jardín (Rekha et al, 2015).

#### 4.7 ESTABLECIMIENTO FUERA DE SU RANGO NATURAL

El establecimiento de esta especie se da en tres fases: la primera es exponencial, donde esta especie alcanza rápidamente altas densidades poblacionales, esta es la fase más larga donde la población está conformada mayoritariamente por individuos vigorosos. Posteriormente entra en una fase estable donde existe la presencia tanto de jóvenes como adultos, se ha registrado varias veces que una vez alcanzado este pico la población declina repentinamente. Entrando en la tercera fase donde solo existe la prevalencia de individuos jóvenes, las razones de este declive no son claras aún (Clarke, Murray, Johnson, 1984; Albuquerque et al., 2009; Silva y Omena, 2014), sin embargo, eso no significa que luego del declive la población desaparezca. La colonización de un nuevo ecosistema por parte de una especie no es consecuencia solo de una causal (la introducción de la especie) sino de la suma de factores como, por ejemplo el cambio climático y la modificación del ecosistema por actividad antropogénica (Meyer *et al*, 2008), para *Achatina fulica* el humano es clave para su establecimiento como proveedor de espacios favorables para su proliferación.

La biología de este caracol le concede la habilidad de adaptarse fácilmente a diferentes tipos de ambiente, porque exhibe una amplia tolerancia ambiental (Fontanilla, 2010), pueden prosperar en un rango de distintos pH de suelo, humedad y cobertura vegetal (Raut & Barker, 2002). Posee una capacidad reproductiva alta, llegando a su madurez sexual en corto tiempo (Fontanilla, 2010; Goldyn et al., 2016), esta característica le permite alcanzar altas densidades poblacionales en periodos cortos de tiempo (Rekha Sarma et al., 2015) esto explica como al momento de establecerse este caracol no encuentra mayores dificultades.

Una de las características más importantes para el establecimiento de *Achatina fulica* en ecosistemas nuevos parece ser la presencia de actividad humana, ya que por lo general se registra a esta especie en zonas urbanas, por ejemplo, en Brasil se ha encontrado a este caracol en la parte externa de las casas, en terrenos baldíos, dentro de paredes (Albuquerque et al., 2008; Meyer et al., 2008; Goldyn et al., 2016). En muy pocos casos que se la ha encontrado al caracol gigante africano en bosque primario y secundario como en Hawaii, India, Sureste de Asia y Nueva Caledonia (Fontanilla, 2010). La preferencia de establecimiento de esta especie en

zonas urbanas podría estar ligada a su alimentación generalista, ya que los recursos que disponen en estas zonas son ilimitados.

El caracol gigante africano es altamente voraz y se alimenta de una amplia variedad de especies vegetales, líquenes, algas, hongos (Volger y Beltramino, 2014), detritos y materia vegetal en descomposición (Raut y Barker, 2002; Fontanilla, 2010; Meyer et al., 2008). Meyer y colaboradores (2008) reportan que se puede alimentar de cartón mojado, animales muertos, he incluso caracoles de su misma especie. También se ha registrado el consumo de *Veronicella cubensis* en dos localidades en la isla de Oahu en Hawaii. Meyer pudo observar que individuos *A. fulica* atacaron a *V. cubensis* y en un lapso de 5 minutos mataron a la babosa y consumieron su integumento (Figura 13). Se ha registrado también comportamiento saprofítico, alimentándose de heces de caballo y ratón (Albuquerque et al., 2008), este tipo de alimentación es en particular algo de mucha atención ya que ese es el medio por el cual este caracol se convierte en el hospedero intermedio de *Angiostrogilus cantonensis*. Es así que la disponibilidad de alimento rara vez es un limitante para la dispersión y establecimiento de *A. fulica*. Esta voracidad es lo que la ha llevado a convertirse en una plaga para la agricultura y un predador generalista (Fontanilla, 2010; Meyer et al., 2008).

## 4.8 IMPACTOS DE *ACHATINA FULICA*

### 4.8.1 Plaga agrícola:

Una vez establecido, el caracol gigante africano tiene un gran impacto negativo en la biodiversidad nativa, en la agricultura y en la horticultura (Silva y Omena, 2014; Rekha Sarma et al., 2015; Goldyn et al., 2016). Se estima que *A. fulica* puede alimentarse de alrededor de 500 especies de plantas, la mayoría de importancia económica (Vennette y Larson, 2004; Meyer et al, 2008). Su voracidad genera afectaciones en las hojas, ramas, frutos, bulbos, brotes y frutas (Rekha et al., 2015). Esta especie también es dispersora de esporas de hongos patógenos de una gran variedad de plantas cultivadas. Por otro lado, no solo el consumo de especies vegetales por parte del caracol genera problemas, si no también sus caparazones. Una vez que el caracol muere el caparazón se secan e ingresan a los suelos lo que provoca un incremento de pH (Vennette y Larson, 2004).

A pesar de que su alimentación es generalista se han realizado algunos estudios donde se ha observado que, cuando la disponibilidad de alimento es bastante grande, como en el caso de las zonas de cultivo, *A. fulica* muestra preferencia por ciertas plantas. En Brasil se ha registrado preferencia por las siguientes especies: Rosa de siria (*Hibiscus syriacus*), Ricino (*Ricinus communis*), Papaya (*Carica papaya*), Fazendeiro (*Galinsoga coccinea*), Salvia morada (*Lippia alba*), Llama de los bosques (*Ixora coccinea*), Banano (*Musa paradisiaca*), Hierba buena (*Mentha spicata*) y Toronjil (*Cymbopogon citratus*). (Albuquerque et al., 2008). En Ecuador las plantaciones más afectadas por el caracol son las de cacao (*Theobroma cacao*), que representan el 24.8% del total de sitios donde existe la plaga, seguidas por plantaciones de banano (*Musa Paradisiaca* y *Musa acuminata*) que representa el 23%, otros cultivos menos afectados son: Piña (*Ananas comosus*) 4.5%, Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) 4.2%, Pitahaya (*Hylocereus undatus*) 3%, Papaya (*Carica papaya*) 2.6%, limón (*Citrus limon*) 2.3%, Café (*Coffea arabica*) 2.3%, Mandarina (*Citrus nobilis*) 2.2%, Maní (*Manihot sculenta*) 2%, Maíz (*Zea Mays*) 2%. Afectando a un total de 59 especies agrícolas con clara preferencia por los cultivos frutales (Goldyn et al., 2016). El caracol ha ocasionado también grandes pérdidas en los cultivos de arroz (*Oriza sativa*) en las provincias de Guayas, Manabí, Los Ríos y EL Oro. (Maza, 2013).

#### 4.8.2 Problema de salud pública:

Cuando *Achatina fulica* alcanza altas densidades poblacionales dentro de zonas urbanas, se convierte no solo en un problema de estética, sino también de salud pública. Primero, los cadáveres de los caracoles emanan un olor desagradable al morir dentro sus caparazones y durante su descomposición se convierten en sitios propicios para la reproducción de larvas de distintas especies de mosquitos. Segundo, porque el caracol es hospedero intermediario del nemátodo intraarterial *Angiostrongylus cantonensis* (Cowie, 2001; Volger y Beltramino, 2014), perteneciente a la familia Metastrongyloidea (Graeff-Teixeira, 2007). Este parásito, también conocido como lombriz pulmonar de las ratas, fue descrito por primera vez por Chen en 1935 en China (Solórzano-Álava et al., 2014). En el humano *A. cantonensis* causa meningitis eosinofílica o angiostrongiliasis, que es una afectación al sistema nervioso central. *A. fulica* se infecta de nemátodos juveniles de *A. cantonensis* al ingerir heces de ratón contaminadas. Una vez ingeridos, los nemátodos se desarrollan hasta su etapa 2 y 3 en un tiempo aproximado de 18 días. Se alimentan de la sangre de su huésped y se hospedan generalmente en la cabeza, aunque también se los ha encontrado en los pulmones, riñón (Fontanilla, 2010), tejidos fibromuscular y en la baba del caracol (Graeff-Teixeira, 2007). En su tercera etapa de desarrollo, *A. cantonensis* llega a su hospedero final cuando el caracol es consumido por una rata. En el caso de que el caracol no sea consumido, el nematodo se enquistado y permanece en el hospedero por meses.

Los humanos se pueden infectar accidentalmente al ingerir carne de caracol con larvas juveniles en tercer estadio (Fontanilla, 2010). Cuando el caracol es consumido crudo o poco cocinado por el humano, los nemátodos pasan del sistema digestivo hacia la sangre, penetrando la pared intestinal y en el transcurso de 2 a 3 días llegan al cerebro donde se convierten en larvas de estadio 4 y 5. La presencia de estos parásitos en las meninges y en el parénquima cerebral produce una reacción inflamatoria (Figura 14) (Graeff-Teixeira, 2007; Solórzano Álava et al., 2014). Su tratamiento con corticoides parece ser el método más efectivo.

No solamente el consumo de carne de *Achatina fulica* infectada puede causar transmisión de este nemátodo al humano, sino también la manipulación del

caracol sin guantes y sin posterior lavado de manos, el tomar agua o ingerir vegetales que hayan estado en contacto con el caracol, debido a que el nemátodo puede salir del caracol por sus poros respiratorios o en su baba (Fontanilla, 2010). La prevención para evitar el contagio con este nematodo es sencilla se recomienda sumergir los vegetales o frutas en agua con cloro durante una hora y posteriormente lavarlos. Si los vegetales, frutas o carne de caracol van a ser consumidos cocinados se recomienda asegurarse que la cocción se lleve a punto (Graeff-Teixeira, 2007).

Se han registrado casos de angiostrongiliasis en África, Asia, las Islas del Pacífico, India, al sur de Estados Unidos, algunas islas del Caribe y en América latina (Graeff-Teixeira, 2007). En el Ecuador la presencia de *Angiostrongylus cantonensis* se reportó primera vez en el 2008, en dos hospitales de la Ciudad de Guayaquil y en la Provincia de los Ríos, los pacientes infectados habían consumido caracoles crudos. Estudios han encontrado dos géneros de caracoles (*Achatina fulica* y *Pomacea lineata*) infectados con este nemátodo en 10 provincias del Ecuador, con mayor frecuencia en individuos del género *Achatina* (Tabla 3). Hasta el 2014 se registraron 87 casos de personas infectadas con este nematodo y 3 muertos (Solórzano Álava et al., 2014).

#### 4.9 ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN DE INVASIÓN

Una de las estrategias para reducir el problema con las especies invasoras es evitar su introducción a nuevos lugares. En este sentido, los modelos de distribución que permiten identificar áreas idóneas para la supervivencia de las especies, podrían constituir una herramienta útil para identificar zonas vulnerables a la invasión por *A. fulica*. Los modelos GARP (Genetic Algorithm for Rule-Setting Prediction) y MaxEnt (Maximun Entropy) utilizados por Vogler y su equipo en el 2013 indican que la estacionalidad climática es una de las variables que tiene mayor efecto sobre la distribución potencial de *Achatina fulica*. Lo que explica la ausencia de esta especie en la parte Sur de América Latina que se caracteriza por temperaturas bajas y climas secos, siendo Chile y Uruguay zonas menos susceptibles a la invasión. El norte de Argentina tiene susceptibilidad media, mientras que el centro norte del país es un área con susceptibilidad alta, debido a la presencia del bosque Yungas que posee características similares al bosque Paranaense, donde la especie ya se encuentra presente. El este de Paraguay es una zona susceptible, pero solo se ha reportado a la especie al sur del país en Ayolas (Gutiérrez-Gregoric et al., 2013). Bolivia, Guyana, Surinam y la Guyana Francesa tienen alta susceptibilidad a la invasión en casi todo su territorio. Venezuela es susceptible en la parte noreste. Perú en la parte Norte central y Este. Ecuador es altamente susceptible en toda la región Oeste. Colombia tiene una mayor susceptibilidad en la parte central al suroeste, en el medio oeste y la costa del Atlántico y al norte del país (Figura 13) (Vogler et al., 2013).

A pesar de que los modelos de predicción son bastante confiables, la actividad antropogénica ocasiona que estos no siempre sean exactos, por ejemplo, en Ecuador, los mapas de predicción sugerían a la parte este de los Andes como una zona de baja susceptibilidad (Correoso, 2009; Vogler et al., 2013). Debido a que esta especie para establecerse al este, debía cruzar la cordillera de los Andes, algo que era poco probable (Correoso, 2009). Sin embargo, en el 2008 se registraron 2 individuos de *Achatina fulica* en Mindo, mantenidos como mascotas (Borrero et al., 2009). Estudios posteriores registraron altas densidades de estos caracoles en la Amazonia Ecuatoriana (Goldyn et al, 2016), establecimiento que se pudo dar por la

movilización de esta especie hacia esa zona para su comercialización (Borrero et al., 2009).

Generar modelos de predicción con parámetros ambientales que afectan a gran escala como el calentamiento global, proveen herramientas valiosísimas para el manejo de las especies. El modelo de predicción de modelamiento de nicho ecológico (MNE) realizado por Rekha et al. (2015), donde utilizaron datos ambientales de capas bioclimáticas para predecir la distribución del caracol gigante africano en la India bajo un escenario de Cambio climático. Reportan que existen tres hotspots para la invasión de *Achatina fulica* en la India: la costa Oeste en Kerala y Karnatak, el Este de Tamil Nadul y la zona costera de Andhra Pradesh. La temperatura media anual, el rango de temperatura anual y la precipitación anual fueron los factores que tienen mayor influencia sobre el establecimiento o no de *A. fulica* y su dispersión a mayores rangos. La época con mayor riesgo de invasión es de Junio a Noviembre durante el monzón.

Las especies invasoras sumadas al cambio climático pueden llegar a tener consecuencias drásticas sobre la biodiversidad y el bienestar humano. Las especies pueden responder este cambio adaptándose a las condiciones climáticas nuevas, cambiando su nicho, expandiéndose a nuevas áreas o en el peor de los casos extinguiéndose. Estudios de densidad poblacional realizados en Ecuador, concuerdan con el modelo propuesto por Rekha Sarma et al. (2015). El cual reporta que el número de individuos juveniles disminuyo drásticamente con la llegada del fenómeno del Niño en el 2015-2016, época que se caracteriza por ser seca, apoyando así la teoría de Rekha Sarma et al. (2015), que el cambio climático es un factor que influye fuertemente en la estructura poblacional de *A. fulica* (Goldyn et al., 2016).

Realizar mediciones sobre el factor determinante de una especie nos permite conocer la condición de vigor de la especie en base al cálculo de la masa y del tamaño de los individuos. Es justamente lo que Albuquerque y sus colaboradores realizaron en el 2009 en Lauro de Freitas (Brasil). Utilizaron cinco variables ambientales: rango de temperatura, temperatura media, humedad, precipitación y densidad humana, para determinar si estos factores afectaban o no las poblaciones del caracol gigante africano. Los resultados se sus modelos de regresión múltiple

indican que la población estudiada estaba en la segunda fase del establecimiento. Varios individuos jóvenes y adultos mostraban un crecimiento alométrico negativo, que podría estar afectando el crecimiento de su caparazón y por ende a su peso total, como consecuencia de la humedad y la densidad humana que fueron los factores que mostraron tener mayor influencia sobre la biometría del caracol.

#### 4.10 ESTRATEGIAS DE CONTROL

Se han aplicado varios tipos de estrategias para el control de *Achatina fulica*, como controles químicos, mecánicos y bio controles. El uso de químicos molusquicidas, como el metaldehído, sulfato de cobre o tricloroformo que tienen efectos negativos asociados, como por ejemplo, al no son compuestos específicos para *A.fulica*, afectan a otras especies de caracoles. Por su alta toxicidad afectan al ecosistema. La manipulación incorrecta de estos compuestos representa riesgo para el humano (Raut and Barker 2002). El Metaldehído al 5% es un compuesto granulado que debe ser aplicado de manera focal, es decir, en la zona donde existan varios individuos, porque para ser efectivo debe ser ingerido o entrar en contacto con el caracol. El molusquicida actúa deshidratando e inmovilizando al caracol lo que ocasiona su muerte. Según la Organización Mundial de la Salud el Metaldehído al 5% tiene una toxicidad tipo II para las personas y dependiendo del grado de exposición puede causar desde toxicidad tóxica, ocular, dérmica, hasta daño al hígado y riñones. El metaldehído puede fácilmente despolimerizarse a acetaldehído, el cual puede provocar edema pulmonar, irritación del tracto respiratorio, afectaciones neurotóxicas y efectos en el desarrollo. Por su solubilidad en el agua es recomendable no usarlo cerca de canales de riego, porque tiene una ecotoxicología aguda, afectando a peces, crustáceos, dáfnidos, aves, insectos, algas y algunas plantas que pueden bioacumularlo (Maza, 2013).

Otra forma de control es el control mecánico, que es un método bastante factible por el hecho de que *Achatina fulica* se encuentra en áreas urbanas. Una estrategia puede ser la colecta manual de los caracoles y posterior destrucción de los caracoles colectados en cámaras de incineración. La colecta manual debe ser realizada con guantes y se recomienda realizarla durante los periodos de inactividad de los caracoles (Volger y Beltramino, 2014). En Brasil, el Instituto de Ambiente y Recursos Naturales Renovables desarrolló un programa de manejo en el 2004 donde las municipalidades estaban a cargo del “Día C”, día para combatir el caracol africano. En estos días se realizaban colectas masivas del caracol por parte de los niños de las escuelas locales (Fischer y Costa, 2010). Otra medida mecánica de control que parece funcionar bien es la limpieza de terrenos, Albuquerque y sus colaboradores (2008) sugieren que el limpiar los terrenos

baldíos tiene un efecto significativo positivo sobre la disminución de la densidad poblacional del caracol gigante africano (Figura 15). Esta alternativa podría ser utilizada para controlar el crecimiento poblacional de esta especie en zonas donde la invasión es reciente.

En Ecuador, los controles del caracol gigante africano han sido llevados a cabo por Agrocalidad (Agencia de regulación y control fito y zoonosanitario). Esta agencia ha propuesto varias estrategias para controlar la dispersión del caracol dentro del país. Agrocalidad ha realizado capacitaciones a técnicos y productores agrícolas sobre la vigilancia fitosanitaria, identificación, recolección y muestreo de *A. fulica*, enfatizando en el problema agrícola y de salud que ocasiona (Maza, 2013). Esta agencia también propone se realice control mecánico con ayuda de trampas para caracoles. Estas trampas son baldes plásticos que se los coloca al ras del suelo con trozos de fruta y sal en grano, los caracoles que caen en las trampas son posteriormente incinerados. Sugiere también realizar colectas manuales con posterior incineración de individuos y combinar todos estos métodos con un mantenimiento adecuado de los cultivos o zonas verdes, para evitar que existan lugares idóneos para la reproducción y desarrollo de los caracoles (Agrocalidad, 2019).

El uso de un control biológico nace de la necesidad de buscar alternativas amigables con el medio ambiente para el control de *A. fulica*. Existen pocos registros de enemigos naturales del caracol gigante africano, algunos de estos son: el caracol toro (*Euglandina rosea*), el caracol (*Gonaxis quadrilateralis*), el Cauca chino (*Centropus sinensis*), el gavilán caracolero (*Rostrhamus sociabilis*), el Carrao (*Aramus guarauna*), la hormiga roja de fuego (*Solenopsis geminata*), el cangrejo rojo (*Gecarcoidea natalis*) (Maza, 2013; Volger y Beltramino, 2014). En el 2017, en la Provincia del Oro en Ecuador, en parches de cultivo de cacao, se registró al Gavilán pico de gancho, *Chondrohierax uncinatus* como predador de *A. fulica*. (Ramírez-Jaramillo, 2018).

Sin embargo, el uso de controles biológicos independiente de su éxito controlando la especie deseada, causan daños colaterales a especies nativas que no son objeto de control, ocasionado en algunos casos la extinción de ciertas especies (Cowie, 2001) como sucedió en Hawaii. Durante los años cincuenta,

*Achatina fulica* se encontraba con grandes densidades poblacionales dentro de Hawaii, por lo que tomar medidas de control era una cuestión urgente. Se realizaron varias pruebas de biocontrol para controlar esta especie y uno de los primeros candidatos fue el caracol *Gonaxis kibweziensis*. Los experimentos para comprobar la eficacia de control que tenía *G. kibweziensis* como predador fueron llevados a cabo en una parte remota de la isla. Donde observaron que esta especie podía sobrevivir en la isla y preda a *A. fulica*, pero no controlaba a la población de manera efectiva, sin embargo, sin esperar la respuesta del programa piloto de control y ante la presión por parte de los pobladores, las autoridades decidieron liberar a *G. Kibwwziensis* en la Isla en el año de 1952, sin resultados satisfactorios.

Posterior al fracaso con *G. kibwwziensis* la autoridad a cargo sugirió que los escasos resultados se debían a que *Gonaxis kibweziensis* es un caracol pequeño en comparación con *Achatina fulica* y que esa diferencia de tamaños solo le permitía alimentarse de especímenes jóvenes. Entonces decidieron introducir otra especie de mayor tamaño para el control *Gonaxis quadrilateralis* en 1957, dos años antes de este nuevo bio control en 1955, *Euglandina rosea* es introducida con el mismo propósito, servir de bio control. Esta especie se estableció y disperso con rapidez, pero se evidenció que esta especie no actuaba como enemiga natural de *Achatina fulica* al analizar sus rangos de distribuciones y observar que no se sobrelapaban. Por lo tanto *E. rosea* no estaba actuando como depredador de *A. fulica*. Adicionalmente a esas introducciones se registra aproximadamente 12 introducciones más de especies para el control de *Achatina fulica* en Hawaii (Cowie, 2001).

La utilización del caracol *Euglandina rosea* como medida de control para *Achatina fulica* fue bastante popular durante los años 80s (Clarke *et al*, 1984; Cowie, 2001; Coote y Loèv, 2003) sin resultados positivos en los lugares donde el programa fue implementado. Esto pudo deberse a que *E. rosea* es generalista y además es una especie pequeña en comparación con *A. fulica*, prefiriendo alimentarse de especies de menor tamaño (Cowie, 2001; Coote y Loèv, 2003).

Se han realizado varios intentos de erradicación con esta metodología de bio controles en diferentes lugares como el Caribe, Islas del Pacifico, el sur y el este de Asia, algunos con resultados lamentables, como fue el caso de las islas de la

Polinesia. En estas islas se dio una extinción masiva de especies de caracoles de la familia Partilidae (Cowie, 2001; Coote y Loèv, 2003). Partilidae está conformada por alrededor de tres géneros y 120 especies, la mitad de estas especies se podían encontrar en las islas de Polinesia. Algunas de estas especies eran endémicas a esta zona y eran utilizadas por la población Polinesia para la elaboración de joyas. Al introducir a *Euglandina rosea* se esperaba ataque a *A. fulica*, pero en lugar de eso empezó a depredar a *Partula sp.*, ahora solamente quedan 5 de 61 especies que existían originalmente. La extinción de *Partula sp.* se dio en un periodo de 7 años desde 1980, que se introdujo a *E. rosea*, hasta 1987 que se realizó un censo de *Partula* que permitió establecer que especies se habían extinguido y el año aproximado (Tabla 4). Actualmente la isla esta infestada de *E. rosea* y la pérdida de las especies de *Partula* han generado: consecuencias micro ecológicas en su bosque nativo, pérdidas económicas para la comunidad Polinesia y una pérdida para la ciencia. En cuanto a *Achatina fulica* sus densidades poblacionales disminuyeron, siendo encontradas rara vez en bosques o en jardines (Coote y Loèv, 2003; Clarke et al, 1984). La introducción de caracoles como medida de biocontrol fue determinada, en algunos casos por especialistas entomólogos o agricultores mas no por macólogos, llevando a decisiones desafortunadas para el ecosistema (Cowie, 2001).

## 5. CONCLUSIONES

*Achatina fulica* es una especie que tiene un éxito rotundo al momento de ingresar a un nuevo ecosistema, sus adaptaciones evolutivas le han conferido la capacidad de establecerse con facilidad en nuevos ecosistemas y su introducción ha tenido varias consecuencias negativas. El humano es el medio principal que mantiene el flujo de esta especie en el mundo y no solamente eso, sino también propician ambientes adecuados para que esta especie se establezca y prolifere. Los beneficios que el humano obtiene de esta especie son muy pocos (fuente de proteína), en comparación con las desventajas que generan (plaga agrícola, pérdida de biodiversidad, problemas de salud pública, etc.). Claramente el desconocimiento que tiene la población sobre este caracol y sus impactos fomenta la prevalencia de *A. fulica*.

Generar programas que informen a las poblaciones sobre *Achatina fulica* sería una estrategia útil. La información que se debe proporcionar debería abarcar la problemática que genera esta especie invasiva, pero también métodos sencillos y de bajo costo que se puedan replicar para controlar a la especie. En este sentido, realizar campañas informativas y talleres de capacitación sobre el manejo esta especie en áreas urbanas, que es donde existe mayor prevalencia de la especie, podría generar un impacto positivo en el control de las densidades poblacionales del caracol gigante africano.

El uso de control mecánico parece ser el más efectivo controlando las poblaciones de *A. fulica*. Existen varios métodos que pueden ser utilizados como: realizar colectas manuales de forma segura, para evitar contagio con el nematodo *A. cantonensis*. Colocar trampas con frutas y sal al ras del suelo, para capturar individuos de esta especie. Y realizar limpiezas de áreas verdes, como terrenos baldíos, jardines, o áreas de cultivo, para eliminar sitios adecuados que permitan el establecimiento de la especie. Todos los caracoles que se colecten por cualquier método mencionado deben ser incinerados. Considero que estos tres métodos de control son bastante útiles y fáciles de aplicar y que si se aplicaran los tres métodos conjuntamente el control de las poblaciones de *A. fulica* sería más efectivo.

Por otro lado, el uso de métodos químicos es una alternativa para el control del caracol gigante africano, que puede ser remplazado por el uso de compuestos de origen natural, como extractos de Nimm (*Azadirachta indica*), ajo (*Allium sativum*) o ají (*Capsicum frutescens*) (Maza, 2013). El uso de estos compuestos naturales tiene un menor impacto sobre especies que no son blanco de erradicación y no generan repercusiones sobre la salud de las personas que los utilizan. Todas estas estrategias deben ir de la mano con políticas ambientales que controlen de manera efectiva el ingreso de especímenes para uso comercial, ya que muchas veces los efectos negativos de una especie son enmascarados por el beneficio económico que genera. Las normativas de control y prohibición de ingreso de esta especie que se han aplicado en distintos países del mundo, como Estados Unidos, Canadá, China, Australia e Israel deberían ser aplicadas en una escala global (Correoso, 2009).

El uso de herramientas predictivas como el modelamiento ecológico de nicho nos permite identificar áreas potenciales para el establecimiento de *A. fulica*. Generando así, la posibilidad de priorizar estrategias de control en estas zonas para evitar el ingreso de la especie a las mismas (Rekha et al, 2015). Para generar estos modelos de manera más precisa es importante tener datos de las poblaciones de *A. fulica* dentro de las áreas ya invadidas, para obtener modelos más exactos (Craze y Mauremootoo 2002). Este método es efectivo, fácil, bajo costo y nos permite prevenir el ingreso de esta especie a nuevas áreas.

El desarrollo de políticas de manejo es clave para controlar las poblaciones de *Achatina fulica*. Estas políticas deben ser generadas en base a evidencia científica que tome en cuenta las relaciones interespecíficas, el cambio climático, el uso de suelos y los aspectos de vida de las personas en la zona invadida (Rekha et al, 2015). Una especie invasora tiene más posibilidad de ser erradicada si es controlada al inicio de su llegada al nuevo ecosistema, por ejemplo, poco tiempo después de que *Achatina fulica* fue registrada en Florida, el estado inició un programa de erradicación utilizando: colectas manuales, trampas con veneno, cuarentena y fuertes campañas publicitarias durante un prolongado periodo tiempo, llegando a erradicar a esta especie en 1975. Lo interesante de este programa es que se extendió por un poco más de tiempo luego de que se declaró ya erradicada

la especie (Simberloff, 2003). Este es un ejemplo de cómo un control adecuado ejecutado a tiempo puede ser altamente efectivo y es esto lo que se debe tratar de replicar. Todos los esfuerzos realizados para controlar esta especie podrían ser maximizados si existiera una red de apoyo global sobre el tema, no solo de información sobre la especie, sino de políticas de manejo que puedan establecerse de forma general.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de regulación y control fito y zoosanitario . (2019) Ficha Caracol Africano (*Achatina fulica*). Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/dcz/4di-ficha-caracol-africano.pdf>
- Albuquerque, F.S., Peso-Aguiar, M.C., Assuncao-Albuquerque, M.J.T. (2008). Distribution, feeding behavior and control strategies of the exotic land snail *Achatina fulica* (Gastropoda: Pulmonata) in the northeast of Brazil. Braz. J. Biol, 68(4), 837-842.
- Albuquerque, F. S., Peso-Aguiar, M. C., Assunção-Albuquerque M. J. T, Gálvez., L (2009). Do climate variables and human density affect *Achatina fulica* (Bowditch) (Gastropoda: Pulmonata) shell length, total weight and condition factor? Brazilian Journal of Biology 69, 879–885.
- Ademolu, K.O., Fantola, F.O., Bamidele, J.A., Dedeke, G.A., Idowu, A.B. (2016). Formation and composition of epiphragm in three giant African land snails (*Achatina marginata*, *Achatina fulica* and *Achatina achatina*). Ruthenica, 26 (3-4), 165-169.
- Ayyagari, V.S. y Sreerama, K. (2017). Evaluation of haplotype diversity of *Achatina fulica* (*Lissachatina*) (Bowdich) from Indina sub-continent by means of 16S rDNA sequence and its phylogenetic relationships whit other global populations. 3 Biotech, 7(4), 252.
- Babalola, O.O. y Akinsoyinu, A.O. (2009). Proximate Composition and Mineral Profile pf Snail Meat form Different Breeds of Land Snail in Nigeria. Pakistan Journal of Nutrition, 8(12),1842-1844.
- Bequaert, J.C., (1950). Studies in the Achatininae, a group of African land snails. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology, Harvard, 105(1), 1-216. Recuperado de <https://www.biodiversitylibrary.org/page/11841320#page/9/mode/1up>
- Borrero, F.J., Breure, A.SH., Chistensen, C.C., Correoso, M., Mogollón Avila, V. (2009). Into the Andes: three new introductions of *Lissachatina fulica*

(Gastropoda, Achatinidae) and its potential distribution in south. *Tentacle*, 17, 6-8.

Civeyrel, L. y Simberloff, D. (1996). A tale of two snails: is the cure worse than the disease?. *Biodiversity and Conservation*, 5, 1231–1252.

Correoso, M. (2009). Modelación y distribución de *Lissachatina fulica* (Gastropoda, Achatinidae) en Ecuador. Potenciales impactos ambientales y sanitarios. *Revista Geospacial*, 6 (11), 79-90.

Coote, T. y Loève, E. (2003). From 61 species to five: endemic tree snails of the Society Islands fall prey to an ill-judged biological control programme. *FFI, Oryx*, 37(1), 91–96

Cowie, R.H. (2001). Can snails ever be effective and safe biocontrol agents?. *International Journal of Pest Management*, 47(1), 23-40.

Cowie, R.H. (2010). "Achatina fulica (mollusc)", *Global Invasive Species Database*. Recuperado de <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=64&fr=1&sts=sss&lang=N>

Chase, R., Croll, R.P., Lubin Zeichner, L. (1980). Aggregation in Snails, *Achatina fulica*. *Behavioral and Neural Biology*, 30, 218-230.

Clarke, B., Murray, J., Johnson, M. (1984). The Extinction of Endemic Species by a Program of Biological Control. *Pacific Science*, 38(2), 97-104.

Craze, P.G. y Mauremootoo, J.R. (2002). A test of methods for estimating population size of the invasive land snail *Achatina fulica* in dense vegetation. *Journal of Applied Ecology*, 39, 653–660.

Davison, A. y Mordan, P. (2007). A literature database on the mating behavior of Stylommatophoran land snails and slugs\*. *American Malacological Bulletin*, 23(1), 173-181.

d'Ovidio, D., Nermut, J., Adami, Ch. y Santoro, M. (2019). Occurrence of Rhabditid Nematodes in the Pet Giant African Land Snails (*Achatina fulica*). *Front. Vet. Sci.* 6(88), 1-5.

- Ebay. *Achatina fulica* On line, (2019). Recuperado de <https://www.ebay.co.uk/bhp/giant-african-land-snails4>
- Elliott-Graves, A. (2015). The problem of prediction in invasion biology. *Biology and Philosophy*, 31(3), 373-393.
- Fagbuaro, O., Oso, J.A., Edward, J.B., Ogunleye, R.F. (2006). Nutritional status of four species of giant land snail in Nigeria. *J Zhejiang Univ SCIENCE B*, 7(9):686-689.
- Fischer, M.L., Costa, L.C. (2010) O Caramujo Gigante Africano *Achatina fulica* no Brasil Curitiba, Brazil: Champagnat Editora, 269 pp
- Fontanilla, I.K. (2010) *Achatina (Lissachatina) fulica* BOWDICH: its molecular phylogeny, genetic variation in global populations, and its possible role in the spread of the rat lungworm *Angiostrongylus cantonensis* (CHEN) (Tesis Doctoral). Universidad de Nottingham, Nottingham, Reino Unido.
- Fontanilla I.K., SantaMaria M.P., Garcia R.M., Ghate H., Naggs F., Wade C.M. (2014). Restricted Genetic Variation in Populations of *Achatina (Lissachatina) fulica* outside of East Africa and the Indian Ocean Islands Points to the Indian Ocean Islands as the Earliest Known Common Source. *PLoS ONE* 9(9): e105151. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105151>
- Gutiérrez Gregoric, D., Beltramino, A., Vogler, R. y Rumi, A. (2013). Expansión del rango de distribución de *Achatina fulica* Bowdich, 1822 (Gastropoda) en la Argentina y su concordancia con modelos predictivos. *Amici Molluscarum*, 21(1), 17-21.
- Goldyn, B., Ríos-Guayasamín, P., Aguirre-Sanchez, K. (2016). Note on the distribution and invasion potential of *Achatina fulica* Bowdich, 1822 (Gastropoda: Pulmonata: Achatinidae) in. *Folia Malacologica*, 2(2), 85-90.
- Global Invasive Species Database (GISD). (2015). Species profile: *Achatina fulica*. Recuperado de <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=64>
- Ghosh, S., Jung, Ch. y Meyer-Rpchow, B. (2016). Snail Farming: An Indian Perspective of a Potential Tool for Food Security. *Ann Aquatic Res*, 3(3), 1024.

- Graeff-Teixeira, C. (2007) Expansion of *Achatina fulica* in Brazil and potential increased risk for angiostrongyliasis. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene 101, 743—744.
- Herbert, D.G. (2010). The introduced terrestrial Mollusca of South Africa. SANBI Biodiversity Series 15. South African National Biodiversity Institute, Pretoria.
- Hoffman, T. y Pirie, N. (2014). "*Achatina fulica*"; Animal Diversity Web. Recuperado de [https://animaldiversity.org/accounts/Achatina\\_fulica/](https://animaldiversity.org/accounts/Achatina_fulica/)
- Lambertini, M., Leape, J., Marton-Lefevre, J., Mittermeier, R., Rose, M., Robinson, J., Stuart, S., Waldman, B., Genovesi, P. (2011). Invasive species: A Major Conservation Threat. SCIENCE 333, 404.405.
- Malumphy, C., Reid, S. (2017). Giant African Land Snail, *Lissachatina fulica*. Ukot plant pest fact sheet. Department of Environment, Food and Rural Affairs.
- Manukovsky, N.S., Kovalev, V.S. y Tikhomirov A.A. (2015). The Giant African Land Snail *Achatina fulica* (Bowdich, 1822) as a Candidate Species for Bioregenerative Life Support Systems. Journal of Siberian Federal University. Biology, 1(8), 18-31.
- Maza, J.E. (2013) Efecto de los extractos botánicos de para control del caracol (*Achatina fulica*) en el cultivo de arroz (*Oriza sativa*)” (Tesis de Maestría). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Meyer III, W. M., Hayes, K.A., Meyer, A.L. (2008) Giant African snail, *Achatina fulica*, as a snail predator. American Malacological Bulletin. 24(1),117-119.
- Matínez Escarbassiere, R. y Matínez Moreno, E. (1997). Note concerning *Achatina (Lissachatina) fulica* (Bowdich, 1822), a dangerous *African snail* (Pulmonata-Achatinidae) introduced into Venezuela. Acta Biológica Venezuelica, 17(1),37-40.
- Mogbo T. C., Nwankwo O. D., Nwuzor I. L. (2014). Growth Performance of Snails (*Achatina Fulica*) Fed with Three Different Leaf Materials. American Journal of Biology and Life Sciences, 2 (4), 96-99.
- McNeely, J. (2001). Invasive species: a costly catastrophe for native biodiversity. Land Use and Water Resources Research, 1 (2),1-10.

- Nelufule A. (2018). An assessment of alien terrestrial invertebrate species in the pet trade in South Africa (Tesis de Maestría) University of Pretoria, Pretoria, South Africa.
- Pickford, M. 1987. Fossil Terrestrial Gastropods from the Namurungule Formation, Kenya. African study monographs. Supplementary issue, 5,155-156.
- Rahman, M.S. y Raut S.K. (2010). Factors Inducing Aestivation of the Giant African Land Snail *Achatina fulica* Bowdich (Gastropoda: Achatinidae). Proc. Zool. Soc. 63(1), 45-52
- Raut, S.K. y Barker, G.M. (2002) *Achatina fulica* Bowdich and other Achatinidae as Pests in Tropical Agriculture. CAB International. Mollusks as Crop Pests. 55-114.
- Rekha Sarma, R., Munsri, M., Neelavara Ananthram, A. (2015). Effect of Climate Change on Invasion Risk of Giant African Snail (*Achatina fulica* Férussac, 1821, Achatinidae) in India. PLoS ONE, 10 (11), 1-16.
- Salway, K.D., Tattersall, G.J., Stuart J.A. (2010). Rapid upregulation of heart antioxidant enzymes during arousal from estivation in the Giant African snail (*Achatina fulica*). Comparative Biochemistry and Physiology, Part A 157, 229–236
- Simberloff, D. (2003) How Much Information on Population Biology Is Needed to Manage Introduced Species? Conservation Biology, 17(1), 83-92.
- Silva, E.C., Omena, E.P. (2014). Population dynamics and reproductive biology of *Achatina fulica* Bowdich 1822 (Mollusca, Gastropoda) in Salvador- Bahía. Biota Neotropica. 14(3), 1-11.
- Sobrepeña, J.M., Demayo, C.G. (2014) Outline-based geometric morphometric analysis of shell shapes in geographically isolated populations of *Achatina fulica* from the Philippines. Journal of Entomology and Zoology Studies. 2 (4), 237-243.
- Solórzano Álava, L., Martini Robles, L., Hernández Álvarez, H., Sarracent Pérez, J., Muzzio Aroca, J., Rojas Rivero, L. (2014). *Angiostrongylus cantonensis*: un

parásito emergente en Ecuador. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 66(1), 20-33.

Tomiyama, K. (1992). Homing Behaviour of the Giant African Snail, *Achatina fulican* (Ferussac) (Gastropoda; Pulmonata). *J. Ethol.* 10,139-147.

Tomiyama, K. (2000). Daily dispersals from resting sites of the giant African snail, *Achatina fulica* (Férussac) (Pulmonata; Achatinidae), on a North Pacific island. *Tropics*, 10, 243–249.

Urgorri, V., Trigo, J.E., García-Álvares, O., Rolán-Mosquera, E., Díaz-Agras, G., Señarís, M.P., y Troncoso, J.S. (2017). FILO Molusca, CLASE Gastropoda. En: Bañón, R. (Ed.). *Inventario de la biodiversidad marina de Galicia: Proyecto LEMGAL*. Consellería do Max, Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, 277-300.

United States Department of Agriculture - Animal and Plant Health Inspection Service. (2005). *New Pest Response Guidelines Giant African Snails: Snail Pests in the Family Achatinidae*. USDA–APHIS–PPQ–Emergency and Domestic Programs–Emergency Planning, Riverdale, Maryland. Recuperado de [http://www.aphis.usda.gov/import\\_export/plants/manuals/index.shtml](http://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/index.shtml)

Vermeji, G. (1996) An Agenda for Invasion Biology. *Biological Conservation*, 78 (1), 3-9.

Vennette, R.C. y Larson, M. (2004). Mini Risk Assessment Giant African Snail, *Achatina fulica* Bowdich [Gastropoda: Achatinidae]. CAPS PRA: *Achatina fulica*. University of Minnesota. St. Paul, Minnesota, USA. 1-30.

Vogler, R.E., Beltramino, A.A., Sede M.M., Gutiérrez, G. Nuñez, V., Rumi, A. (2013). The giant African snail, *Achatina fulica* (Gastropoda: Achatinidae): Using bioclimatic models to identify South American areas susceptible to invasion. *American Malacology Bull.* 31(1), 39–50.

Volger, R.E. y Beltramino, A. A. (2014) “*Achatina fulica*”; *Invasive Species Compendium*. Wallingford, UK: CABI International. Recuperado de <http://www.cabi.org/isc/datasheet/2640>

- Walker, K. (2005). Giant African Snail (*Achatina fulica*). PaDIL Recuperado de <http://www.padil.gov.au/pests-and-diseases/pest/main/136488>
- Wolfenbarger, D.O. (1971). Dispersion of the giant African snail, *Achatina fulica*. Quarterly Journal of the Florida Academy of Sciences 34, 48–52. Recuperado de <https://www.biodiversitylibrary.org/page/41511435#page/418/mode/1up>
- Zhi-Qiang, Z. (2013). Animal biodiversity: an update of classification and diversity in 2013. Zootaxa, 3703(1),005-011.

## 7. TABLAS

Tabla 1: Actividad de *Achatina fulica* 2008 en la ciudad de Lauro de Freitas, Brasil.

MES	ACTIVIDAD ACHATINA FULICA	
	EMPIEZA	TERMINA
NOVIEMBRE	17:45	12:10
DICIEMBRE	17:50	6:45
ENERO	19:00	6:27
FEBRERO	-	-
MARZO	17:50	7:51
ABRIL	18:00	8:00
MAYO	17:43	8:15
JUNIO	17:55	10:35
JULIO	18:00	6:50
AGOSTO	17:41	6:56
SEPTIEMBRE	17:30	7:30
OCTUBRE	-	-
NOVIEMBRE	17:00	6:45
<b>PROMEDIO</b>	18:01	8:00

Modificado de: Albuquerque et al., 2008.

**Tabla 2: Número de especies nativas e invasivas en varios países.**

PAIS/ÁREA	NUMERO DE ESPECIES NATIVAS	NUMERO DE ESPECIES INVASIVAS	FUENTE
Nueva Zelanda (plantas)	1,790	1,570	Heywood, 1989
Hawaii (plantas)	956	861	Wagner <i>et al.</i> , 1990
Hawaii (todas las especies)	17,591	4465	Miller and Eldridge, 1996
Tristan de Cunha (plantas)	70	97	Moore, 1983
Isla Campbell (plantas)	128	81	Moore, 1983
Georgia del Sur (plantas)	26	54	Moore, 1983
Africanas del Sur (FW pescado)	176	52	De Moor & Bruton, 1988; Bruton & Van As, 1986
California (FW pescado)	83	50	Moyle, 1976
USA (plants)	22,000	5,000	Pimentel <i>et al.</i> , 2000

Modificado de: McNeely, 2001.

**Tabla 3: Principales hospederos intermediarios de *Angiostrongylus cantonensis*, en Ecuador 2012.**

GÉNERO	MUESTRAS ANALIZADAS	MUESTRAS POSITIVAS A <i>ANGIOSTRONGYLUS CANTONENSIS</i>	% DE POSITIVIDAD
<i>Acahtina</i> sp.	1730	282	16.32
<i>Pomacea</i> sp.	1054	30	2.8
Totales	2784	312	11.2

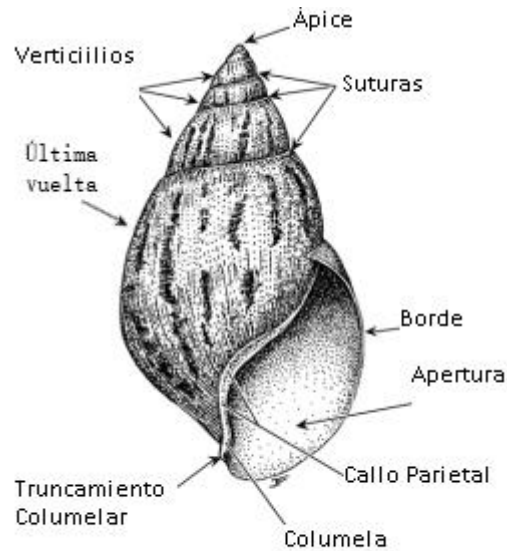
Modificado de: Solórzano Álava et al., 2014.

**Tabla 4: Predicción de extinción de las especies de *Partula* en Hawaii.**

<b>TAXÓN</b>	<b>AÑO PRONOSTICADO DE EXTINCIÓN</b>
<i>Parula taeniata striolata</i>	ya extinta
<i>Partula taeniata spadicea</i>	1984
<i>Partula taeniata elongata</i>	1986
<i>Partula taeniata simulans</i>	1986
<i>Partula taeniata nucleola</i>	1986-1987
<i>Partula exigua</i>	sin confirmar
<i>Partula aurantia</i>	ya extinta
<i>Partula tohiviana olympia (P. olympia Crampton)</i>	1983
<i>Partula tohiviana tohiviana</i>	1984
<i>Partula mirabilis</i>	1985
<i>Partula mooreana</i>	1985
<i>Partula suturalis dendroica (P. dendroica Crampton)</i>	1984
<i>Partula suturalis strigosa</i>	1986
<i>Partula suturalis vexillum</i>	1986-1987

Modificado de: Clarke et al., 1984.

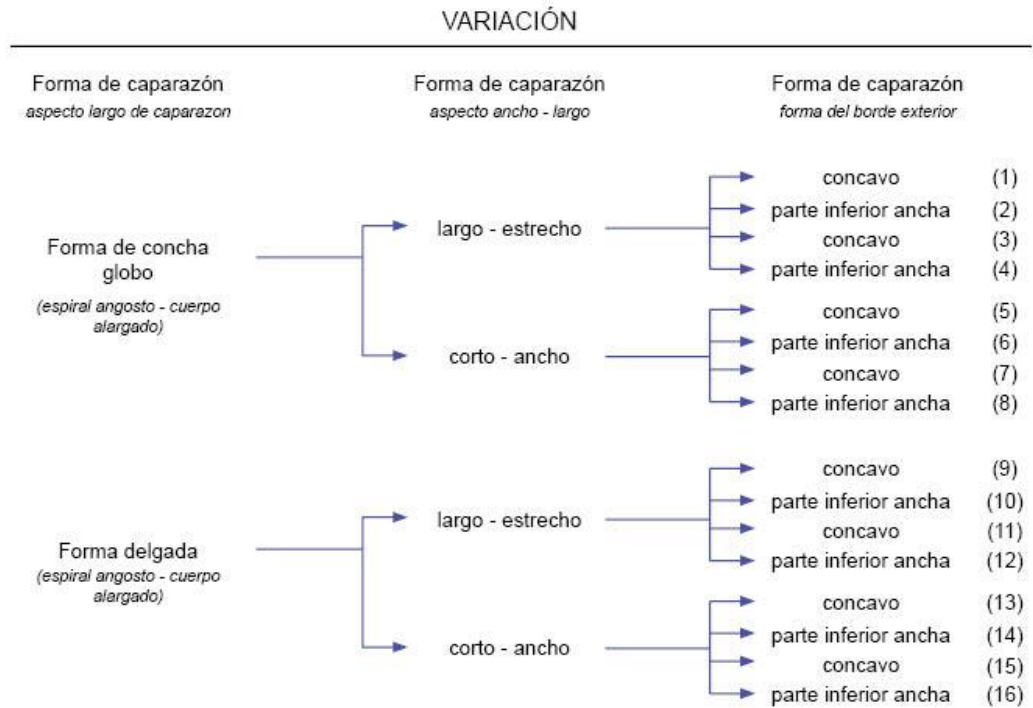
## 8. FIGURAS



**Figura 1: Partes del caparazón de *Achatina fulica*.** Modificado de: USDA–APHIS, 2005.



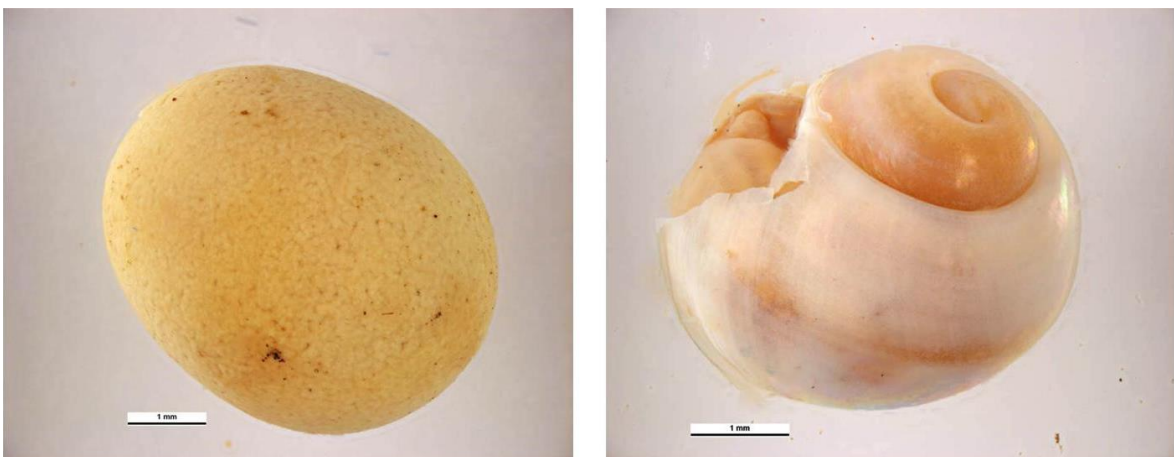
**Figura 2: Caparazón de *Achatina fulica*.** Etiqueta de localidad: Papua New Guinea, Keravat, New Britain, Jun 1951, Dun. Preservado en: Peter Lillywhite Museum Victoria. Tomado de: Walker, 2005.



**Figura 3: Variaciones en la morfología de la concha de *A. fulica* en distintas provincias de Filipinas. Modificado de: Sobrepeña y Demayo 2014.**



**Figura 4: Adulto de *Achatina fulica*.** Tomado de: GISD, 2019.



**Figura 5: Huevo de *Achatina fulica*, en dos estadios inicial y final.** Tomado de: Walker, 2005.

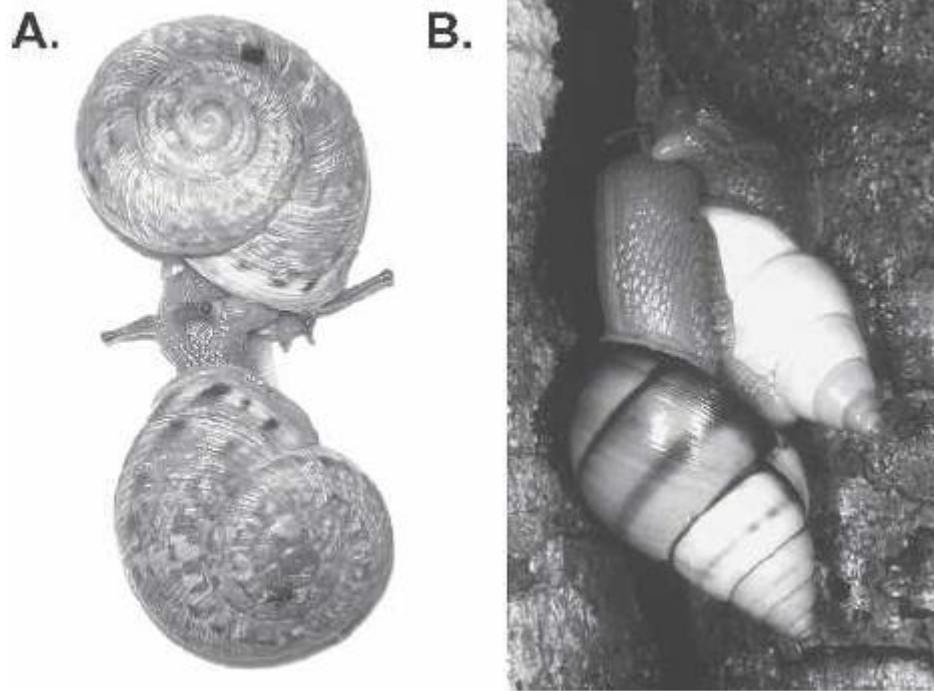
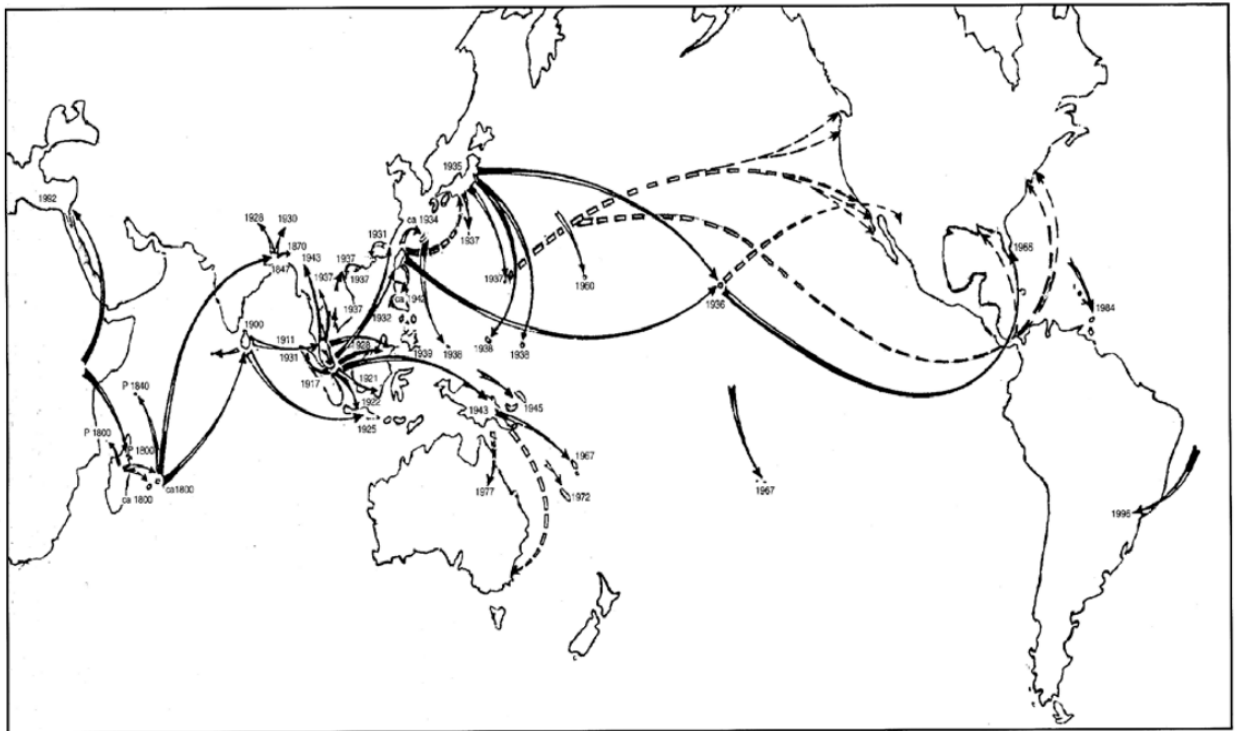
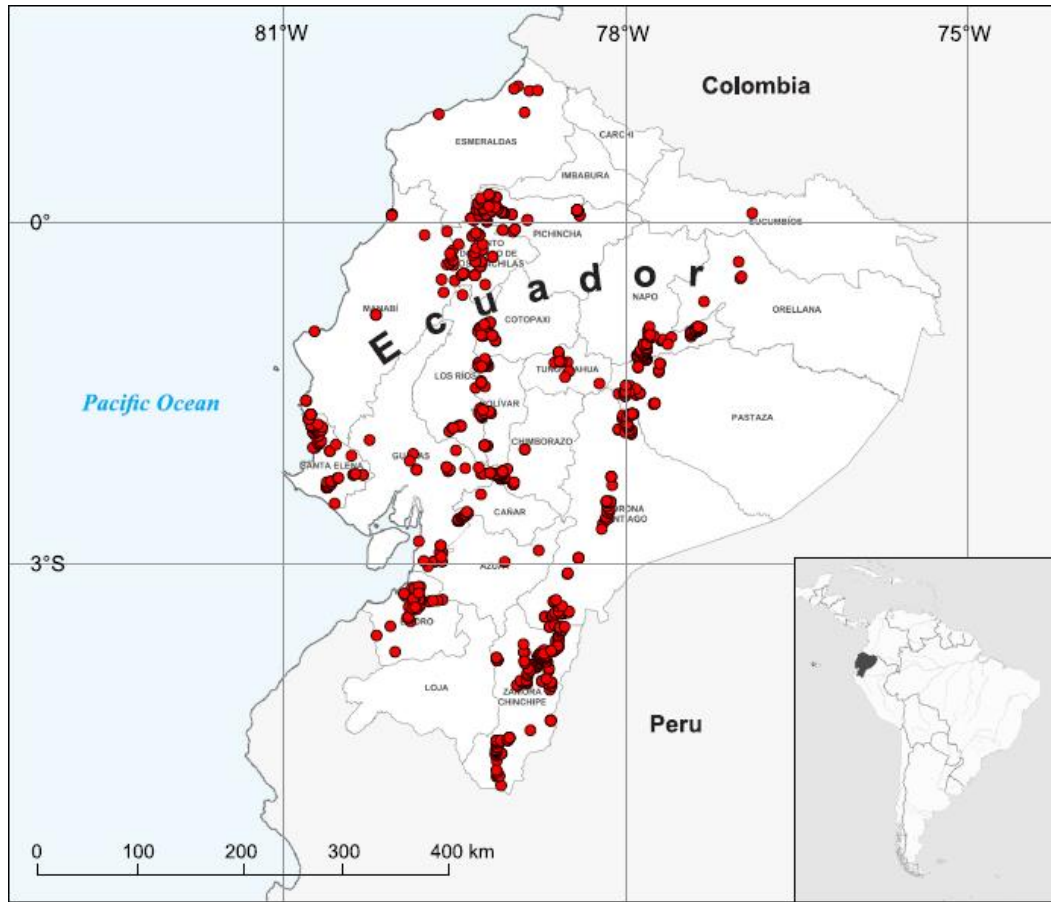


Figura 6: A. *Iberus marmoratus* apareándose cara a cara. B. *Ligguus fasciatus* y *Orthalicus florensis* apareándose por montura de caparazón. Tomado de: Davison y Mordan, 2007.



**Figura 7: Ruta de dispersión de *Achatina fulica* desde el Este de África.** Los años indican las fechas aproximadas del primer registro de observación de la especie en cada región, las líneas sólidas representan introducciones exitosas y las líneas entrecortadas representan introducciones interceptadas. Tomado de: Raut y Barker, 2002.



**Figura 8: Distribución de *Achatina fulica* en Ecuador.** Tomado de: Goldyn et al., 2016.

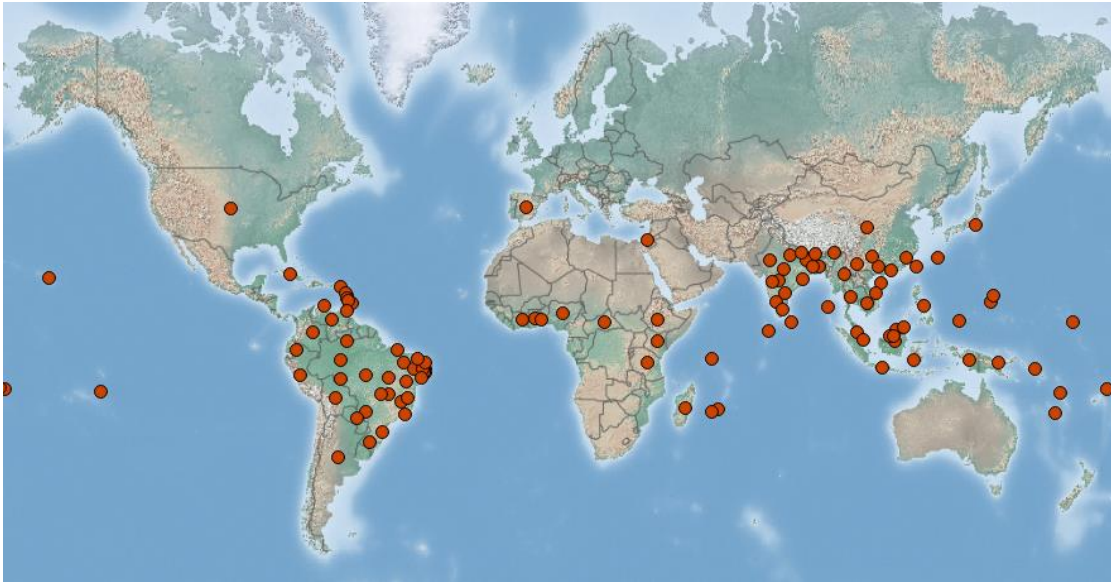


Figura 9: Distribución actual de *Achatina fulica*. Tomado de: Raut y Barker, 2002

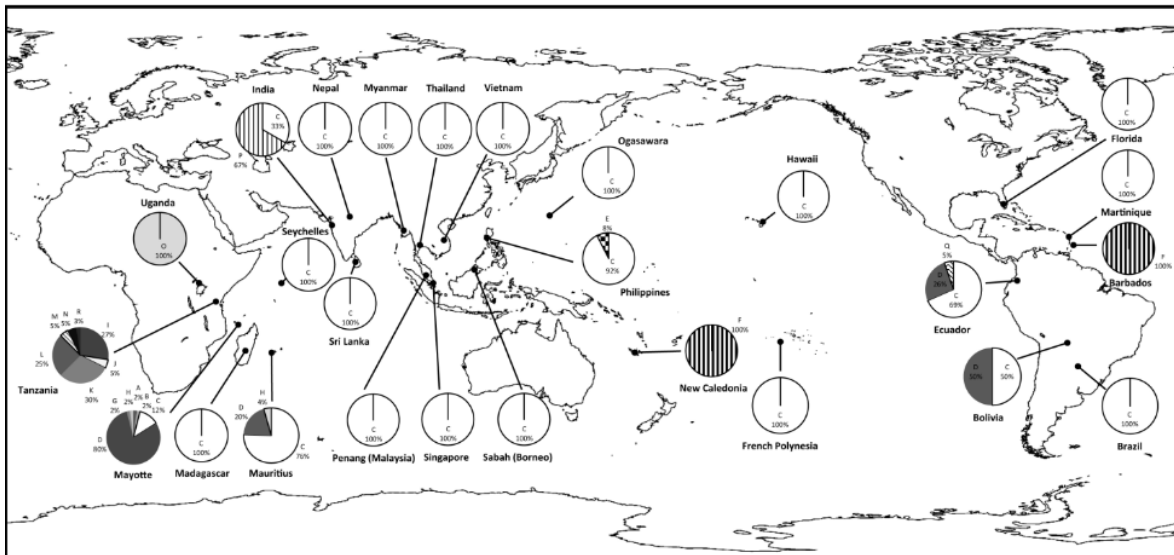
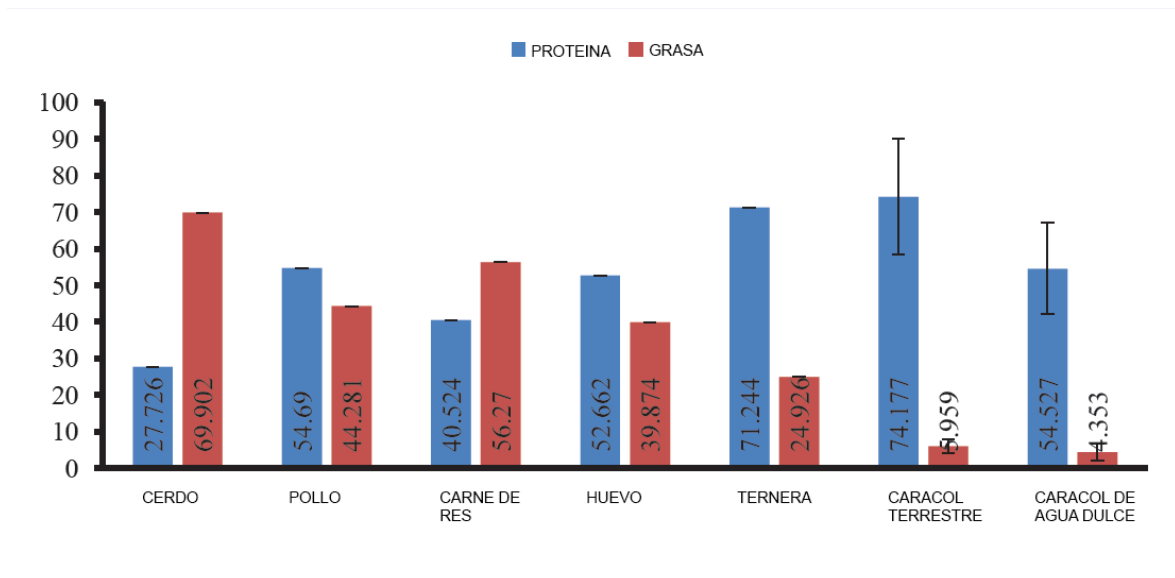


Figura 10: Mapa de distribución de haplotipos 16S rRNA de poblaciones de *Achatina fulica*. Tomado de: Fontanilla et al., 2014.



**Figura 11: Epifragma de *Achatina fulica*.** Tomado de: Agrocalidad, 2019.

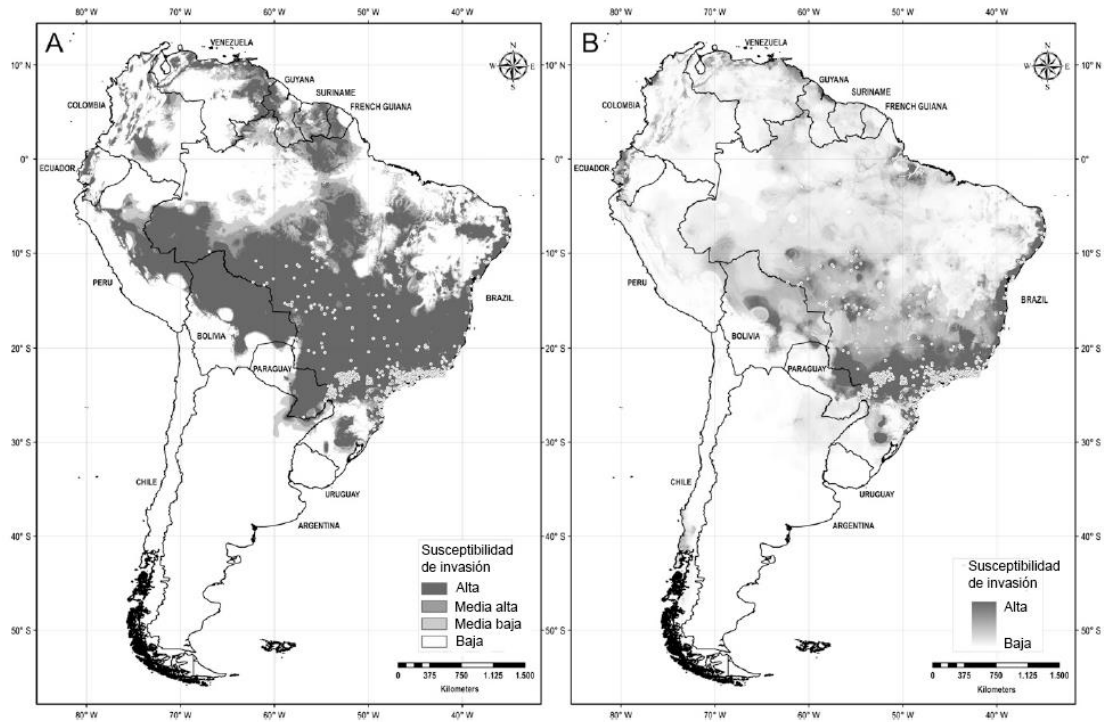


**Figura 12: Comparación de contenido proteico y grasa de origen animal.**

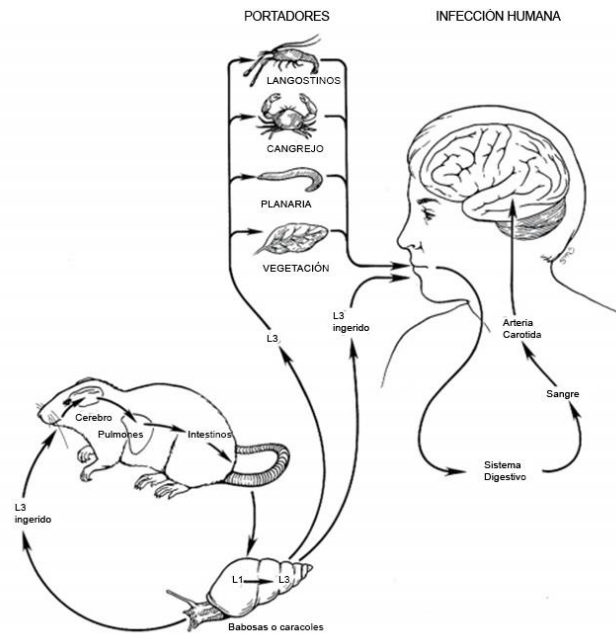
Modificado de: Ghosh et al., 2016.



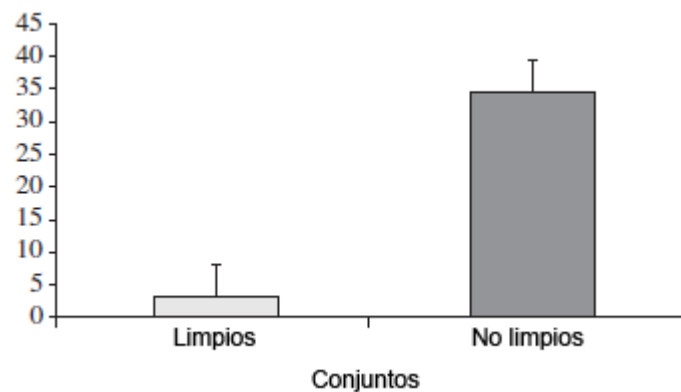
**Figura 13:** Tres individuos de *Achatina fulica* alimentándose de *Veronicella cubensis*. Kai Hawaii, septiembre 18, 2005. Tomado de: Meyer et al., 2008.



**Figura 14: Modelo Bioclimático de áreas susceptibles a invasión:** A modelo GARP y B modelo MaxEnt. Áreas más claras indican menor susceptibilidad y áreas oscuras indican alta susceptibilidad. Los puntos son los registros utilizados en el estudio. Modificado de: Vogler et al., 2013.



**Figura 15: Ciclo de vida de *Angiostrongylus cantonensis*.** Modificado de: Fontanilla, 2010.



**Figura 16: Abundancia de *Achatina fulica*.** Lotes que fueron limpiados (Gris claro) vs los que no fueron limpiados (Gris oscuro). Modificado de: Albuquerque et al., 2008.



**Figura 17: Distribución de hospederos intermedios positivos a *A. catonensis* en Ecuador.** Tomado de: Solórzano Álava et al., 2014.