

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**Depredación de Gatos Domésticos y Ferales sobre las
Lagartijas de Lava de San Cristóbal (*Microlophus bivittatus*),
Galápagos**

Paola Lorena Carrión Avilés

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención de título de Licenciatura
en Ecología Aplicada

Quito, Mayo de 2012

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Depredación de Gatos Domésticos y Ferales sobre las
Lagartijas de Lava de San Cristóbal (*Microlophus bivittatus*),
Galápagos**

Paola Lorena Carrión Avilés

Carlos Valle, Ph.D.
Director de Tesis y
Miembro del Comité de Tesis

Diego Cisneros, MSc
Miembro del Comité de Tesis

Stella de la Torre, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis y
Decana del Colegio de Ciencias
Biológicas y Ambientales

Quito, Mayo de 2012

© Derechos de Autor
Paola Lorena Carrión Avilés
2012

Resumen

En la actualidad, una de las amenazas más preocupantes para la pérdida de la biodiversidad es la presencia de especies exóticas en los ecosistemas naturales. El proyecto “Depredación de gatos domésticos y ferales sobre las Lagartijas de Lava de las isla San Cristóbal, Galápagos” tiene como objetivo principal el establecimiento de una herramienta alternativa para la determinación de la actividad y depredación de los gatos ferales y domésticos que pueda ser relacionada con diferentes características demográficas, morfométricas y comportamentales de las poblaciones de lagartijas de lava de la isla San Cristóbal (*Microlophus bivittatus*), en Galápagos. De este modo, se puede analizar si existen antecedentes de un posible impacto de los gatos domésticos y ferales, como especie introducida, sobre las lagartijas de lava, que son una especie endémica del archipiélago de Galápagos. Además, la metodología empleada durante este estudio, podría ser utilizada en nuevos proyectos que se realicen en otras islas de Galápagos y del mundo, de manera que se pueda establecer relaciones ecológicas depredador-presa entre gatos y lagartijas, que permitan conocer si existen o no posibles amenazas hacia la supervivencia de éstas últimas, y así poder influenciar en la toma de decisiones de conservación oportunas y puntuales al respecto.

Abstract

Nowadays, one of the biggest concerns about loss of biodiversity is the presence of exotic species in the natural ecosystems. The project “Predation of feral and domestic cats on the lava lizards of San Cristóbal Island, Galápagos” has as main objective to find an alternative tool to establish the level of activity and predation of feral and domestic cats, so it can be related to different demographic, morphologic and behavioral characteristics of the lava lizard populations of San Cristóbal (*Microlophus bivittatus*). In this way, we can analyze if there are antecedents related to a possible impact of domestic and feral cats, an introduced species, on the lava lizards, that are endemic to the Galápagos Islands. Besides, the methods applied in this research can be used in future projects on other islands in Galápagos or around the world, so ecological predator-prey relations between cats and lizards can be established in order to know if there are or not possible threats towards the lizards survival and thus influence on the decision making about the conservation of this species.

Tabla de Contenido

Introducción	2
Metodología	5
Área de Estudio	5
Investigación de Campo.....	5
Análisis de heces e identificación de la dieta de los gatos.....	8
Análisis de datos	9
Resultados	11
Caracterización de Localidades y Estructura Demográfica de la Población	11
Abundancia y Tamaño Total de las Lagartijas de Lava.....	13
Distancia de Fuga y Distancia de Escape	15
Discusión	16
Referencias	22
Anexos	25

Lista de Figuras

Tabla 1. Caracterización de localidades por aspectos físicos y por actividad de gatos ferales/domésticos.....	25
Tabla 2. Composición demográfica de las poblaciones de lagartijas de lava (<i>M. bivittatus</i>) en tres localidades de la isla San Cristóbal, Galápagos.	26
Figura 1. Localidades de estudio en la isla San Cristóbal, Galápagos.	234
Figura 2. Comparación de frecuencias de las tres especies de vertebrados depredadas por los gatos que fueron encontradas en las muestras de heces colectadas.	28
Figura 3. Correlación entre el número de heces por cuadrante y el número de lagartijas depredadas en el mismo.....	29
Figura 4. Tamaño Total de Lagartijas en 2 Niveles de Depredación de Gatos. ...	37
Figura 5. Correlación entre las variables Cobertura y Tamaño Total de las Lagartijas de Lava.	38
Figura 6. Correlación entre las variables Sustrato y Tamaño Total de las Lagartijas de Lava.	39
Figura 7. Correlación entre las variables Tamaño Total de las Lagartijas de Lava y la Distancia de Escape.....	33

Introducción

Diversos estudios han demostrado el impacto de las especies introducidas en los ecosistemas insulares (Iverson 1978; Snell et al. 1984; Kirkpatrick y Rauzon 1986; Steadman 1986; Cruz y Cruz 1987; Fritts 1988; Case y Bolger 1991). En el Archipiélago de Galápagos, los animales domésticos que se han tornado ferales como cabras y cerdos afectan de manera severa a las poblaciones de plantas y animales indígenas y endémicos de las islas (Coblentz 1978, Coblentz y Baber 1987 y Stone et al 1994). Tales afectaciones involucran desde deterioro de hábitat (Coblentz 1990), parasitismo (Schofield 1989), competencia (Case y Bolger 1991) y depredación (Case y Bolger 1991). Todo lo cual provoca cambios en la densidad, estructura y distribución de sus poblaciones hasta la modificación de su comportamiento. El impacto que los gatos domésticos y ferales tienen en los ambientes insulares ha sido estudiado por diferentes investigadores (van Aarde 1980, Fitzgerald et al 1991; Peck et al 2007; Dickman 2009), estableciendo que la presencia de los mismos contribuye a la disminución de poblaciones de varias especies de mamíferos, reptiles y sobre todo aves. Las consecuencias que la introducción de gatos tiene en las islas Galápagos, sin embargo, apenas es conocida. Entre los vertebrados endémicos, a más de las aves terrestres, las especies potencialmente más afectadas son las lagartijas de lava (*Microlophus* spp.).

Las lagartijas aparentemente son fácilmente capturadas y consumidas por los felinos debido a la mansedumbre propia de la fauna de Galápagos, producto de la ausencia de depredadores vertebrados terrestres naturales por lo que no han desarrollado sofisticadas y abundantes estrategias antidepredatorias (Stone et al. 1994).

Pocos son los estudios acerca del impacto que tienen los gatos domésticos y ferales en las poblaciones de las lagartijas de lava en las islas Galápagos (Stone et al. 1994, Kruuk 1979, Kramer 1984, Konecny 1987). Estos concuerdan en que la presencia de gatos ferales modifica las características morfológicas de las lagartijas así como también su comportamiento antidepredatorio (Stone et al. 1994, Blázquez et al. 1997). En los sitios en donde existe la presencia de gatos ferales, las poblaciones de lagartijas de lava presentan tamaños más pequeños en comparación con las zonas en las no existen dichos depredadores (Grant 1975, Steadman 1986); además, las lagartijas que viven en lugares con presencia de gatos ferales o domésticos son mucho más cautelosas (Stone et al. 1994). Por otro lado, los gatos son más abundantes en zonas donde existe presencia humana y tienen una distribución espacial bastante amplia: la de los machos es de aproximadamente 3 kilómetros cuadrados, mientras que las de las hembras es de 0,82 (Konecny 1987) lo cual hace complejo su estudio y seguimiento. Es por esta razón que este estudio pretende establecer una metodología alternativa para estudiar las relaciones ecológicas entre los gatos introducidos y las lagartijas de lava, especies nativas y endémicas de Galápagos.

El presente estudio sobre la depredación de los gatos domésticos y ferales en las lagartijas de lava de la isla San Cristóbal (*Microlophus bivittatus*), tuvo como objetivo principal determinar la estructura poblacional, la densidad y el comportamiento de las lagartijas de lava en relación con diferentes niveles de depredación de gatos domésticos y ferales. Las hipótesis que se plantearon predecían encontrar lagartijas en menor cantidad (abundancia), de menor tamaño y con comportamientos antidepredatorios (distancia de fuga y escape) más pronunciados en aquellas zonas en las que existía mayor depredación de gatos, utilizando como indicador de actividad de gatos el número de heces encontradas en cada zona. Finalmente, también se pretende que este estudio pueda replicarse a otras islas de Galápagos y sirva como precedente para la realización de proyectos de conservación a favor de esta especie endémica de las islas.

Aunque las causas para la reducción y modificación de las poblaciones de lagartijas pueden ser varias debido a su susceptibilidad como especies endémicas de las islas Galápagos, aparentemente una de las causas que aporta significativamente en su desaparición local es la depredación de los gatos ferales y domésticos (comunicación personal). Es por esta razón, que el conocimiento del impacto de la depredación de organismos introducidos como los gatos domésticos y ferales sobre poblaciones de especies endémicas como las lagartijas de lava es fundamental en la conservación de las islas Galápagos, puesto que permite la identificación y priorización de acciones de conservación oportunas.

Metodología

Área de Estudio

El estudio tuvo lugar en la zona periférica de Puerto Baquerizo Moreno ($0^{\circ} 54' 9''$ S, $89^{\circ} 36' 33''$ W) en la isla San Cristóbal, Galápagos, ya que es un lugar, que por su urbanización, no sólo posee gatos salvajes sino también domésticos, los cuales frecuentan libremente los espacio pertenecientes al Parque Nacional y tienen acceso a los territorios de las lagartijas. Se escogieron tres áreas de muestreo, dos alrededor de cerro Tijeretas (Tijeretas 1 y Tijeretas 2) y una cerca de la playa la Lobería (La lobería), todas las cuales tienen características físicas y florísticas similares (Figura 1). Dichas áreas corresponden a una zona de vegetación árida, caracterizada mayormente por la presencia de arbustos y suelo constituido por rocas de origen volcánico de diferentes tamaños.

Investigación de Campo

El trabajo de campo tuvo lugar durante la estación seca entre mayo y julio del 2011. Durante esta fase se tomó información de indicadores de la presencia y actividad de gatos domésticos/ferales (conteo y colección de heces fecales); y la

abundancia, medidas morfométricas y comportamiento de las lagartijas de lava. Los lugares de muestreo fueron establecidos a una distancia de al menos 30 m de los senderos turísticos para evitar el registro de lagartijas directamente expuestas a la presencia de seres humanos. En cada una de las localidades se estableció un cuadrante o plot de 70 m x 70 m dividido en subcuadrantes de 10 m x 10 m, cada uno de los cuales fue tratado como una unidad experimental.

Dentro de cada cuadrante de 10x 10 m simultáneamente se procedió a buscar y registrar las lagartijas presentes y número de heces por el lapso de una hora. Se tomaron también registros de la cobertura vegetal a nivel herbáceo (en % estimado), estableciendo como el 100 % cuando todo el subcuadrante estaba en su mayoría cubierto por hierba, y 0 % cuando el sustrato del subcuadrante estaba mayormente limpio; y el tipo de sustrato (roca grande, mediana, pequeña y suelo) de cada subcuadrante. De cada una de las lagartijas encontradas, se registró su sexo (en base a la coloración y el tamaño de los individuos), clase de edad (adulto, subadulto, juvenil), tamaño total observado y longitud rostro-cloaca (SVL) observada, distancia de fuga y distancia de escape. Las observaciones fueron realizadas durante la mañana de 8:00 a 12:00 y en la tarde de 14:00 a 17:00, tiempo del día en el cual las lagartijas son más activas (Carpenter 1966).

El tamaño total observado es la medida de la longitud total (punta de la nariz a la punta de la cola) de cada lagartija estimada sin la captura del individuo y a distancia. Para esto, en el campo y de manera visual en el sustrato se establecieron los puntos donde se proyectó la nariz y la punta de la cola de cada lagartija cuando esta

estuvo estática. Luego, con un flexómetro se midió la distancia entre los dos puntos referenciales. La medición de la longitud rostro-cloaca fue tomada al mismo tiempo y de manera similar. La distancia de fuga y de escape son dos medidas referentes al comportamiento de las lagartijas. La distancia de fuga es la distancia entre el observador y la lagartija justo antes de que ésta salga corriendo; mientras que la distancia de escape se designa como la medida entre el lugar donde estaba la lagartija antes de salir corriendo y el lugar en donde se encuentra una vez que se detiene (Snell et al. 1994).

Para medir la distancia de fuga, primero se observaba una lagartija, a la cual el investigador se acercaba lentamente siempre de frente y dando un paso a la vez a una velocidad aproximada de 0,5m/sec (Snell et al. 1994). Una vez que la lagartija huía, se medía la distancia entre la punta del pie del investigador y la punta de la cabeza de la lagartija con un flexómetro. Inmediatamente, también se medía la distancia de escape. Tanto el tamaño y el SVL observados, como las distancias de fuga y escape fueron medidas por la misma persona y con el mismo flexómetro con el fin de evitar sesgos con respecto a la medición.

Para el muestreo de rastros de gato, el investigador recorría lentamente cada cuadrante buscando cualquier indicio de la presencia de gatos (e.g., heces, pelo, piel) Durante el estudio solo se encontraron heces, las cuales fueron manipuladas con guantes y cada muestra de heces individual colocada en una funda hermética tipo Ziploc y etiquetada con la fecha y el nombre del cuadrante en el cual fue

encontrada. El sitio en el que cada muestra de heces fue encontrada y colectada fue registrado en un GPS. Se consideró como una muestra de heces, a cada uno de los diferentes pedazos encontrados juntos, ya que conoce que cada gato puede expulsar los desechos de una misma presa en diferentes deyecciones (Medina y Nogales 1993). Las muestras fueron transportadas a la ciudad de Quito donde se procedió con el análisis para la determinación de la dieta de los gatos.

Análisis de heces e identificación de la dieta de los gatos

Cada muestra de heces fue pesada (no se necesitó secarlas puesto que ya estaban bastante secas) y posteriormente examinada bajo un estereoscopio. De cada muestra se extrajeron todos los restos encontrados incluyendo restos óseos, piel, pelo y partes del exoesqueleto de invertebrados. Para la inspección de las muestras bajo el estereoscopio se estableció como protocolo un tiempo de búsqueda de 8 minutos por cada 1,5 gr de muestra seca de heces. Una vez que fueron extraídos todos los restos óseos y otros restos de las heces, éstos fueron colocados en alcohol al 75% para eliminar bacterias patógenas y para su preservación. De literatura previa (van Aarde 1980, Fitzgerald et al. 1991; Peck 2007; Dickman 2009), se conoce que las principales presas de los gatos son los reptiles, roedores introducidos y aves. Los restos óseos fueron identificados en el Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales mediante la comparación con esqueletos de lagartijas de lava

(*Microlophus albemarlensis* y *M. delanonis*) y de roedores (*Mus musculus* y *Ratus ratus*). Durante el proceso de clasificación, primero se separaron los huesos de lagartijas de los huesos restantes. Posteriormente, se utilizaron como referencia los huesos mandibulares de las diferentes especies para determinar el número de individuos por muestra de heces. Esto se decidió ya que las mandíbulas fueron los huesos mejor preservados en los restos de heces y los que permiten una determinación más segura del número de individuos (por ejemplo, si se encontraban dos mandíbulas superiores derechas en una muestra, se podía asumir que se trataba de dos individuos diferentes). Con este método se determinó el número de individuos de lagartijas de lava, ratones y ratas en cada muestra de heces. Debido a que se encontraron restos escasos de invertebrados, sólo se los clasificó con presencia o ausencia.

Análisis de datos

Previo al análisis de datos, se decidió combinar la información de cuatro subcuadrantes adyacentes que daban en total un área de 20m x 20m, los cuales fueron tratados como las nuevas unidades experimentales. Esto se decidió ya que los cuadrantes de 10m x 10m resultaron ser un área muy pequeña dada la densidad relativamente baja de lagartijas encontrada en ellos. Cada uno de estos subcuadrantes están físicamente juntos pero pueden ser considerados como unidades experimentales individuales debido a que no se encontró diferencias

significativas en las características físicas de las localidades y porque son áreas en las que es difícil que las lagartijas se muevan rápidamente durante el lapso de una hora que dura el muestreo, con lo que se evita contar a la misma lagartija dos veces para diferentes cuadrantes.

Los datos fueron analizados con el programa estadístico StatView. Los análisis estadísticos incluyeron principalmente pruebas paramétricas de regresión/correlación usando principalmente el número de lagartijas depredadas (medida directa de la depredación de los gatos), en vez del proxy originalmente considerado (actividad de los gatos, cuantificada como la abundancia y distribución de heces fecales por subcuadrante), como regresor o variable independiente. Esto se decidió debido a la fuerte correlación que mostraron ambas variables (Figura 1). La abundancia, el tamaño total, SVL, la distancia de fuga y la distancia de escape fungieron como variables dependientes o de respuesta. También se realizaron pruebas ANOVAS para las cuales se transformó a la variable independiente categórica de depredación de gatos, en una variable nominal con dos categorías: depredación baja para valores entre 0 y 7, y depredación alta para valores de 8 en adelante. Además, se realizaron pruebas ANOVA y análisis de covarianza para investigar si existen relaciones significativas entre las variables antes mencionadas pero incluyendo además los datos de cobertura vegetal y sustrato para determinar si existe algún efecto de las mismas sobre las poblaciones de lagartijas. Finalmente, se utilizó ANOVA para determinar si existen diferencias significativas entre las especies depredadas por los gatos.

Para el análisis del tamaño de las lagartijas, únicamente se utilizaron las medidas de tamaño observado y no el SVL, puesto que las primeras medidas pudieron ser tomadas con mayor exactitud a diferencia del SVL ya que se tuvo problemas determinando el sitio exacto de las cloacas de cada individuo de lagartija.

Para comparar las características (sustrato, cobertura, actividad de gatos, depredación de gatos) de cada localidad estudiada, se utilizaron estadísticas descriptivas y pruebas ANOVA. Se utilizaron el número de sustratos y los sustratos predominantes para analizar la variable sustrato; la cobertura expresada en decimales (siendo 1 el valor que expresa cobertura total) para analizar la variable cobertura; el número de heces por cuadrante para analizar la variable actividad de gatos; y el número de lagartijas depredadas por cuadrante para analizar el nivel de depredación de los gatos.

Resultados

Caracterización de Localidades y Estructura Demográfica de la Población

Las tres áreas donde se llevó a cabo el estudio fueron esencialmente similares en cuanto a sus características físicas como también en cuanto a la presencia de gatos

y las características demográficas y comportamentales de las lagartijas. Se obtuvieron estadísticas descriptivas (i.e media, desviación estándar) y porcentajes de las variables de sustrato, cobertura y composición demográfica para la caracterización de las tres localidades estudiadas a fin de analizar diferencias entre ellas en cuanto a características físicas incluyendo el sustrato y la cobertura herbácea, así como también con respecto a la actividad de los gatos y la tasa de depredación (Tabla 1). En todas las localidades el sustrato predominante fue la roca tipo mediana, y la diversidad de sustratos fue de aproximadamente 2. Análisis ANOVA indicaron que la cobertura herbácea en los tres sitios fue similar, aunque Tijeretas 2 fue la zona con menos cobertura ($F= 1,99$, $gl=1,29$ y $p = 0,155$). Del mismo modo, no hubo diferencias significativas entre localidades en cuanto a la actividad de los gatos ($F= 1,06$, $gl=1,29$ y $p= 0,359$), ni en cuanto a la intensidad de depredación ($F= 0,91$, $gl=1,26$ y $p = 0,413$). Se determinó también que de los 30 subcuadrantes analizados, en un 10% no se encontraron heces; y en un 16% de los mismos no se encontró ninguna lagartija depredada.

Con respecto a la dieta de los gatos, se realizó un ANOVA para comparar la depredación de los gatos sobre cada una de las especies encontradas en las muestras de heces. Los resultados mostraron de manera significativa que la especie más consumida es *Microlophus bivittatus*, en comparación con *Mus musculus* y *Ratus ratus* ($F= 14,66$, $g= 2$, 89 y $p = <0,0001$) (Figura 2). Del mismo modo, se realizó un ANOVA para comparar la depredación de *M. bivittatus* en las tres localidades encontrando resultados no significativos.

En relación a la estructura demográfica, se obtuvieron los porcentajes de adultos e inmaduros de cada una de las localidades y en total, y se encontró que de todas las lagartijas muestreadas en las tres localidades, apenas el 19% eran inmaduros, mientras que el de adultos fue 81% (Tabla 2). Además se determinó que en un 60% de los cuadrantes analizados hubo ausencia de lagartijas inmaduras.

Abundancia y Tamaño Total de las Lagartijas de Lava

La fuerte correlación entre el número de heces de gato y el número de lagartijas depredadas ($r = 0,874$ y $p = <0.0001$) demuestra que esta última variable puede fungir como un proxy apropiado tanto para la determinación de zonas de actividad de los gatos de los niveles de depredación de lagartijas por gatos (Figura 3).

Los análisis de correlación entre abundancia de lagartijas y el número de heces ($r = 0,082$ y $p = 0,665$) y abundancia de lagartijas y el número de lagartijas depredadas ($r = 0,087$ y $p = 0,667$) no mostraron asociación significativa entre estas variables y no sostienen la hipótesis de que en los sitios en donde hay mayor actividad de gatos se espera encontrar menor cantidad de lagartijas.

Análisis de varianza usando como factor dos niveles de depredación de gatos mostraron diferencias significativas en el tamaño total de las lagartijas entre los cuadrantes con altos y bajos niveles de actividad de los gatos ($F = 8,637$, $g = 146$ y $p = 0,0038$). La media y desviación estándar del tamaño de las lagartijas para

cuadrantes con niveles de depredación altos fueron $X = 164,71$ mm y $s = 36,92$; y para los cuadrantes con niveles de depredación bajos $X = 158,91$ mm y $s = 40,11$ (Figura 4). Sin embargo, contrario a lo usualmente esperado, los análisis indicaron que las lagartijas tienden a ser de mayor tamaño en los cuadrantes donde la actividad de gatos es más alta.

Dentro del mismo análisis se añadió a la variable cobertura como covariante y los resultados indican que ésta también influye en el tamaño de las lagartijas. Sin embargo, el efecto de la cobertura en el tamaño total de las lagartijas apenas se refleja en una ligera tendencia (Figura 5).

Otro análisis de covarianza entre el tamaño de las lagartijas y la depredación, pero esta vez usando como covariante a la variable sustrato también indicó que las lagartijas fueron de mayor tamaño en los sitios con mayor actividad de gatos ($F = 3,762$, $g = 146$, $p = 0,054$) y se observó una tendencia ligera entre el tamaño de las lagartijas y el número de sustratos, indicando mayores tamaños de lagartijas con mayor diversidad de sustratos (Figura 6).

Posteriormente, se realizaron los mismos análisis utilizando como variables dependientes a machos y hembras adultos individualmente, y a las covariantes cobertura y sustrato. Únicamente se encontró resultados significativos para el tamaño de las hembras versus el nivel de depredación de lagartijas utilizando la covariante sustrato, determinando que existen lagartijas más pequeñas en sitios con mayor actividad de gatos (Factor $p = >0,0001$; Covariante $p = 0,006$ e Interacción $p = >0,0001$). Los análisis para el tamaño de los machos, aunque no significativos,

también mostraron que en los sitios en donde hay mayor actividad de gatos, las lagartijas son más pequeñas. Esto demuestra que los resultados acerca del tamaño total de las lagartijas, que muestra que el tamaño es mayor en sitios con mayor actividad de gatos, está influenciado mayormente por los tamaños de las lagartijas subadultos y juveniles.

Distancia de Fuga y Distancia de Escape

Análisis de regresión y correlación simple demuestran una relación significativa ($r=0,265$; $n= 160$ y $p= 0,0007$) entre el tamaño total de lagartijas y la distancia de escape (Figura 7).

Análisis de regresión y correlación no mostraron relación entre la distancia de fuga y la distancia de escape y el nivel de depredación (número de lagartijas depredadas). Sin embargo, la distancia de fuga y la distancia de escape estuvieron positiva y significativamente correlacionadas pero con una asociación pobre entre variables ($r = 0,180$, $n= 160$, $p = 0,0226$).

Discusión

Los resultados muestran que las tres localidades poseen características físicas, porcentajes de actividad de gatos y depredación similares lo cual confirma que fue adecuada su consideración como unidades independientes y su análisis en conjunto.

La estructura poblacional de lagartijas de lava, con un pequeño porcentaje de inmaduros (juveniles y subadultos), en las tres localidades, resulta intrigante; especialmente, el alto número de cuadrantes estudiados en donde no se encontró ninguna lagartija inmadura. Estudios realizados en otras especies de lagartijas reportan que el porcentaje de inmaduros después de la época reproductiva es de alrededor del 60 al 70% (Barbault y Mou 1988), por lo que se puede considerar que el porcentaje de inmaduros de lagartijas de lava encontrados en este estudio es considerablemente bajo (19%). Las lagartijas de lava tienen un periodo reproductivo dependiente de la lluvia que va aproximadamente de diciembre a junio (Werner 1978), por lo que se esperaba encontrar gran cantidad de inmaduros para los meses de mayo, junio y julio en los cuales fue realizado el estudio. Incluso se podría haber esperado un número considerablemente mayor de inmaduros puesto que, durante el 2011, el Archipiélago de Galápagos experimentó un periodo de lluvias extenso, más largo de lo usual, lo que hubiera proporcionado mayor cantidad de recursos para la supervivencia de los individuos inmaduros de las lagartijas. El resultado de este estudio, entonces, puede deberse a un nivel alto de depredación por parte de los

gatos y otros depredadores hacia los individuos inmaduros de lagartijas en comparación con los adultos. Los inmaduros al no tener experiencia en estrategias antidepredatorias (algo común de las especies de Galápagos) (Stone et al. 1994), son presa fácil de depredadores, reduciendo y afectando así, el reclutamiento de las poblaciones de lagartijas de lava (C. Valle comunicación personal). Sin embargo, se sugiere que en próximos estudios se realicen también muestreos en otras zonas de San Cristóbal e incluso otras islas del archipiélago para observar el estado poblacional de los juveniles y subadultos de dichos lugares. Otra explicación tiene lugar en el hecho de que los individuos inmaduros, al ser más pequeños que los adultos, pudieron esconderse más y mejor, razón por la cual fue difícil verlas y consecuentemente, contarlas.

La depredación de lagartijas de lava por parte de los gatos muestra ser un proxy más adecuado para la determinación de la actividad de los gatos por la fuerte correlación entre el número de heces por cuadrante y el número de lagartijas depredadas por cuadrante. El número de lagartijas consumidas representa un factor mucho más directo para analizar la actividad de gatos en comparación que sólo el número de heces. Esto puede soportarse bajo el hecho de que estudios como los de Konecny (1987) muestran que el consumo de las lagartijas por parte de los gatos no varía entre zonas y con los cambios de estación, lo que sugiere que el número de heces encontradas en un lugar podría funcionar como un buen indicador de la actividad de los gatos para futuros estudios debido a su estrecha relación con la depredación de lagartijas.

Los resultados sobre la abundancia de las lagartijas de lava, no sustentan la hipótesis planteada inicialmente de que hay menos lagartijas en los lugares donde hay más actividad de gatos. Una potencial explicación podría estar relacionada con las observaciones y resultados preliminares de Carlos Valle (comunicación personal) de que fuera de la época reproductiva las lagartijas de lava de San Cristóbal parecen ser menos territoriales y/o amplían sus áreas de vida o se dispersan de manera más amplia y frecuente. Si la dispersión es más amplia y frecuente en la época no reproductiva, en una población local las lagartijas podrían presentar un patrón en el que de manera frecuente y recurrente colonizan aquellos territorios que quedan vacíos como consecuencia de la depredación de los gatos. A su vez, tal patrón podría estar determinado por otras características del territorio, como mejores condiciones de alimentación o para el cortejo. De ser este el caso, esta hipótesis explicaría la ausencia de una relación y las diferencias en la abundancia de lagartijas, el nivel de depredación (número de lagartijas por cuadrante) y el nivel de actividad de los gatos (número de heces de gatos por cuadrante).

El mayor tamaño de las lagartijas de lava en las zonas en donde existe mayor actividad de gatos es contrario a lo establecido en la hipótesis inicial. Esto podría deberse a que ante el alto nivel de depredación de gatos, únicamente las lagartijas más grandes y con mayor experiencia en métodos antidepredatorios son las que están sobreviviendo (comunicación personal Carlos Valle). Esta conclusión también es sustentada por la correlación encontrada entre la distancia de escape y el tamaño de las lagartijas, indicando que a mayor tamaño existe mayor distancia de

escape. Además, aunque no se encontraron resultados significativos al respecto, si se pudo observar que existen en promedio distancias de fuga y de escape más grandes en los sitios en donde hay mayor actividad de gatos ferales y domésticos. Estudios como los de Stone et al. (1994) indican que sí existen diferencias significativas en comportamientos antidepredatorios entre poblaciones de lagartijas expuestas a especies introducidas como gatos ferales y las que no lo están, explicando además, que este cambio puede tener causas evolutivas. Otras variables que jugaron un rol importante en esta relación entre la depredación de gatos y el tamaño de lagartijas fueron la cobertura vegetal y el sustrato, los cuales demostraron, aunque con tendencias ligeras, que las lagartijas eran más grandes en sitios con mayor cobertura y con mayor número de sustratos. Estas relaciones posiblemente son explicadas porque a mayor complejidad de hábitat (cobertura y heterogeneidad de sustratos) mayor será la disponibilidad de sitios en donde esconderse de los depredadores (Snell et al. 1988), lo cual a su vez incrementaría las probabilidades de supervivencia de las lagartijas y por ende tamaño. Grant (1975) y Stone et al. (1994) sugieren que existen lagartijas de menor tamaño en islas en donde existen gatos domésticos y ferales en comparación con aquellas islas en las que estos depredadores no están presentes. Sin embargo, hay que notar que la escala comparativa es diametralmente diferente entre las conclusiones de este estudio y las de Grant (1975) y Stone et al. (1994). El análisis individual por sexos, indicó que únicamente el tamaño de las hembras es significativamente más pequeño en los sitios con mayor actividad de gatos, lo cual concuerda con la hipótesis

propuesta. La razón puede deberse al periodo reproductivo en el que las lagartijas se encontraban que hace que éstas sean muy territoriales, lo cual las hace estar más expuestas al ataque de gatos y otros depredadores.

El estudio de Konecny (1987) determinó que la mayor parte de intentos de captura de los gatos en Galápagos fueron hacia ortópteros y lagartijas de lava de entre otros animales (roedores y aves); y que además, la eficiencia de captura de los gatos fue ligeramente mayor hacia dichas especies. Esto concuerda con el análisis de la dieta de los gatos ferales y domésticos en la isla San Cristóbal, que mostró que significativamente ($p = <0,0001$), la especie *Microlophus bivittatus* es la más consumida en comparación con las otras especies encontradas en las muestras de heces como son el ratón común, *Mus musculus*, y la rata común, *Rattus rattus*. Esto no sugiere directamente una amenaza a la especie de lagartija de lava de San Cristóbal, pero si representa un fuerte antecedente para futuros estudios acerca de las relaciones depredador-presa entre gatos introducidos y las lagartijas de lava. Además, el mismo estudio de Konecny (1987) estableció que la presencia de lagartijas en las heces de gato se mantuvo estable entre estaciones, lo cual sustenta nuevamente el hecho de que utilizar el número de heces en otros estudios puede ser un buen proxy para la determinación de actividad de gatos, ya que su seguimiento resulta más complejo y requiere más tiempo (Konecny 1987b).

El presente estudio para futuras investigaciones que puedan encontrar un claro impacto de la depredación de gatos ferales y domésticos sobre distintos aspectos de

las poblaciones de lagartijas de lava de Galápagos. La identificación de un nuevo elemento para determinar la actividad de los gatos como lo es el número de heces de los mismos (por su estrecha relación con la depredación de lagartijas), permitirá a próximos estudios establecer nuevas hipótesis o analizar nuevamente las establecidas en este estudio pero amplificadas a otros sitios de la isla o incluso en otras islas del archipiélago y del mundo. Conocer las relaciones ecológicas entre una especie introducida específica y una especie insular, sobre todo si es ésta es endémica, resulta fundamental en el intento de conocer el verdadero impacto que dichas relaciones pueden tener sobre la conservación de la fauna y flora de las islas Galápagos. Es importante crear nuevas herramientas que permitan estudiar más a fondo los posibles impactos de los gatos ferales y domésticos introducidos sobre las lagartijas de lava, de modo que se puedan generar continuamente nuevos conocimientos que nos permitan saber si es urgente la aplicación de estrategias de conservación que permitan no sólo proteger a una especie específica nativa de Galápagos sino a todas aquellas que dependen de ella.

Referencias

Barbault, R. y Y, Mou. 1988. Population Dynamics of the Common Wall Lizard, *Podarcis muralis*, in Southwestern France. *Herpetologica* 44:38-47.

Blázquez, M., R, Rodríguez-Estrella y M, Delibes. 1997. Escape behavior and predation risk of mainland and island spiny-tailed iguanas (*Ctenosaura hemilopha*). *Ethology* 103: 990–998.

Carpenter, C. 1966. Comparative behaviour of the Galapagos lava lizards *Tropidurus*. In: Bowman R, ed. The Galapagos proceedings of the Galapagos International Scientific Project. Berkeley, CA: University of California Press, 269–273.

Case, T., y D, Bolger. 1991. The role of introduced species in shaping the distribution and abundance of island reptiles. *Evolutionary Ecology* 5:272-290.

Coblentz, B. 1978. The effects of feral goats (*Capra hircus*) on island ecosystems. *Biological Conservation* 13: 279-286.

Coblentz, B. 1990. Exotic Organisms: A Dilemma for Conservation Biology. *Conservation Biology* 4: 261–265.

Coblentz, B. y D, Baber. 1987. Biology and Control of Feral Pigs on Isla Santiago, Galapagos, Ecuador. *Journal of Applied Ecology* 24: 403-418.

Cruz, J., y F, Cruz. 1987. Conservation of the dark-rumped petrel *Pterodroma pbaeopygia* in the Galapagos Islands, Ecuador. *Biological Conservation* 42:303-311.

Fitzgerald, B., Karl, B y Veitch, C. 1991. The diet of feral cats (*felis catus*) on Raoul island, Kermadec group. *New Zealand Journal of Ecology* 15(2): 123-129.

Fritts, T. 1988. The brown tree snake, *Boiga irregularis*, a threat to Pacific Islands. *Biological Report* 88(31). Fish and Wildlife Service, U. S. Department of the Interior.

- Grant, P. 1975. Four Galapagos islands. *The Geographical Journal* 141:76-87.
- Iverson, J. 1978. The impact of feral cats and dogs on populations of the West Indian rock iguana, *Cyclura carinata*. *Biological Conservation* 14:63-73.
- Kirkpatrick, R., y M, Rauzon. 1986. Foods of feral cats *Felis catus* on Jarvis and Howland Islands, Central Pacific Ocean. *Biotropica* 18(1):72-75.
- Konecny, M. 1987. Food Habits and Energetics of Feral House Cats in the Galápagos Islands. *Oikos* 50: 24-32.
- Konecny, M. 1987. Home Range and Activity Patterns of Feral House Cats in the Galápagos Islands. *Oikos* 50 (1):17-23.
- Kramer, P. 1984. Man and other introduced organisms. Pages 253-258 in R.J. Berry, editor. *Evolution in the Galapagos Islands*. Academic Press, London, England.
- Kruuk, H. 1979. Ecology and control of feral dogs in Galapagos. Technical Report to Charles Darwin Research Station, Galapagos, Ecuador.
- Medina, F y M, Nogales. 1993. Dieta del Gato Cimarrón (*Felis catus L.*) en el piso basal del Macizo de Teno (Noroeste de Tenerife). *Acta Vertebrata* 20 (2): 291-296.
- Peck, D., L, Faulquier., P, Pinet., S, Jaquemet y M, Le Corre. 2008. Feral cat diet and impact on sooty terns at Juan de Nova Island, Mozambique Channel. *Animal Conservation* 11: 65–74.
- Schofield, E. 1989. Effects of Introduced Plants and Animals on Island Vegetation: Examples from Galápagos Archipelago. *Conservation Biology* 3: 227–239.
- Snell, H., M, Snell, y C, Tracy. 1984. Variation among populations of Galapagos land iguanas (*Conolophus*): Contrasts of phylogeny and ecology. *Biological Journal of the Linnean Society* 21:185-207.

Snell, H., R, Jennings, H, Snell y S, Harcourt. 1988. Intrapopulation variation in predator-avoidance performance of Galápagos lava lizards: The interaction of sexual and natural selection. *Evolutionary Ecology* 2:353-369.

Simon, C. y G, Middendorf. 1976. Resource Partitioning by an Iguanid Lizard: Temporal and Microhabitat Aspects. *Ecology* 57 (6): 1317-1320.

Stone, P., H, Snell, and M, Snell. 1994. Behavioral Diversity as Biological Diversity: Introduced Cats and Lava Lizard. *Conservation Biology* 8: 569-573.

Steadman, D. 1986. Holocene vertebrate fossils from Isla Floreana, Galapagos. *Smithsonian Contributions to Zoology*, Number 413. Smithsonian Institution, Washington, D.C.

van Aarde, R. 1980. The diet and feeding behaviour of feral cats, *Felis catus* at Marion Island. Mammal Research Institute, University of Pretoria.

Werner, D. 1978. On the biology of *Tropidurus delanonis*, Baur (Iguanidae). *Tierpsychologie* 4 (7): 337- 395.

Anexos

Tabla 1. Caracterización de localidades por aspectos físicos y por actividad de gatos ferales/domésticos.

LUGAR	N	SUSTRATO		COBERTURA		ACTIVIDAD DE GATOS	DEPREDACIÓN
		SP	DS	%	X, s	X, s	X, s
Tijeretas 1	12	m	1,42 (0,71)	84	0,84 (0,15)	5,00 (3,77)	6,64 (4,95)
Tijeretas 2	9	m	1,89 (0,33)	67	0,67 (0,21)	4,89 (2,67)	6,78 (3,80)
Lobería	9	m	1,67 (0,71)	80	0,80 (0,22)	3,11 (2,71)	4,29 (2,50)
Total	30	m	1,63 (0,56)	79	0,79 (0,20)	4,40 (3,18)	6,07 (4,06)

*N: Número de cuadrantes. SP: Sustrato Predominante. DS: Diversidad de Sustratos. m: roca mediana. Los valores de la izquierda representan las medias; mientras que los de la derecha en paréntesis son las desviaciones estándar.

Tabla 2. Composición demográfica de las poblaciones de lagartijas de lava (*M. bivittatus*) en tres localidades de la isla San Cristóbal, Galápagos.

LUGAR	Na*	ADULTOS			IMMADUROS		
		M	F	T-ad	S	J	T-im
Tijeretas 1	69	34 (49 %)	29 (42 %)	63 (91 %)	1 (1,5 %)	5 (7,3 %)	6 (9 %)
Tijeretas 2	38	19 (50 %)	12 (32 %)	31 (82 %)		7 (18 %)	7 (18 %)
Lobería	54	23 (43 %)	16 (30 %)	39 (73 %)	4 (7,4 %)	11 (20 %)	15 (27 %)
Total	161	76 (47 %)	54 (34 %)	130 (81 %)	5 (3,5 %)	23 (15 %)	28(19 %)

*Na: número total de individuos de lagartijas de lava (*M. bivittatus*). M: machos. H: hembras. T-ad: total adultos. S: subadultos. J: juveniles. T-im: total inmaduros.



Figura 1. ● Localidades de estudio (Tijeretas 1 y 2, Lobería) en la isla San Cristóbal, Galápagos.

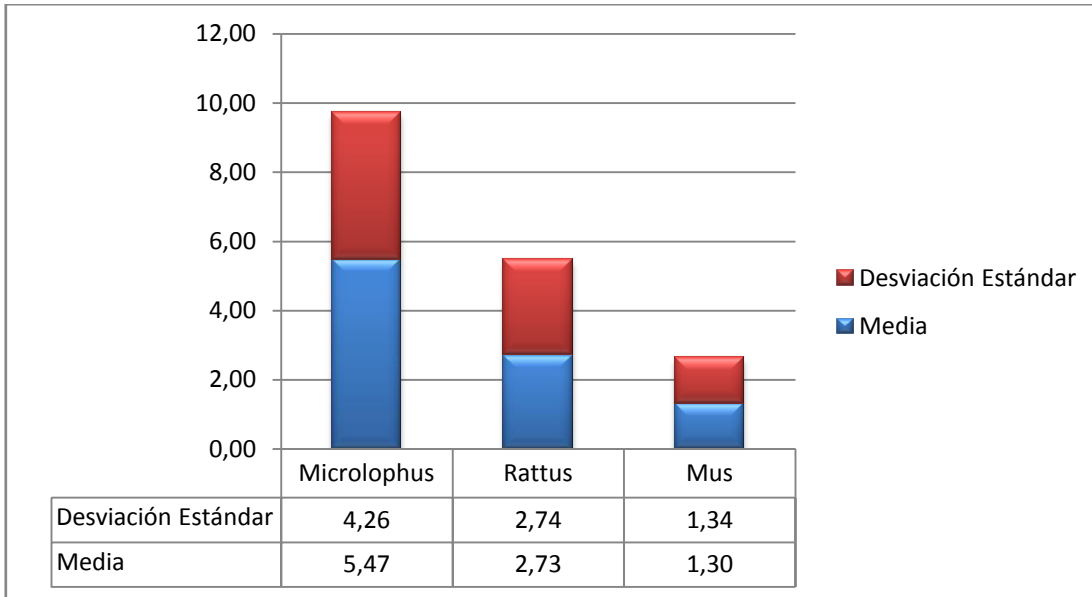


Figura 2. Comparación de frecuencias de las tres especies de vertebrados depredadas por los gatos que fueron encontradas en las muestras de heces colectadas.

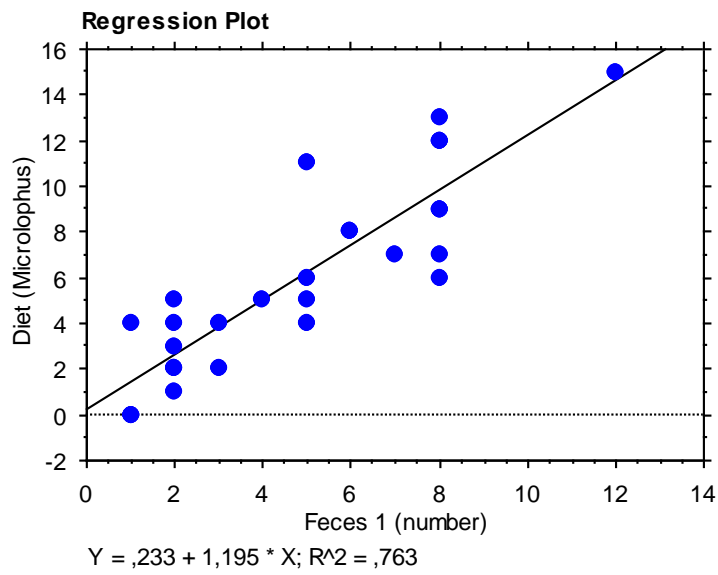


Figura 3. Correlación entre el número de heces por cuadrante y el número de lagartijas depredadas en el mismo.

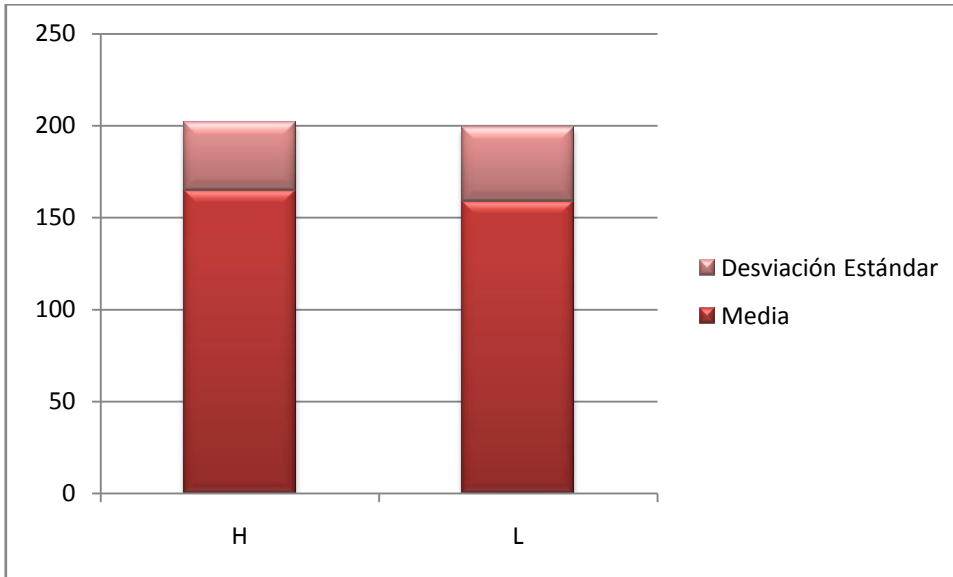


Figura 4. Tamaño Total de Lagartijas en Dos Niveles de Depredación de Gatos.

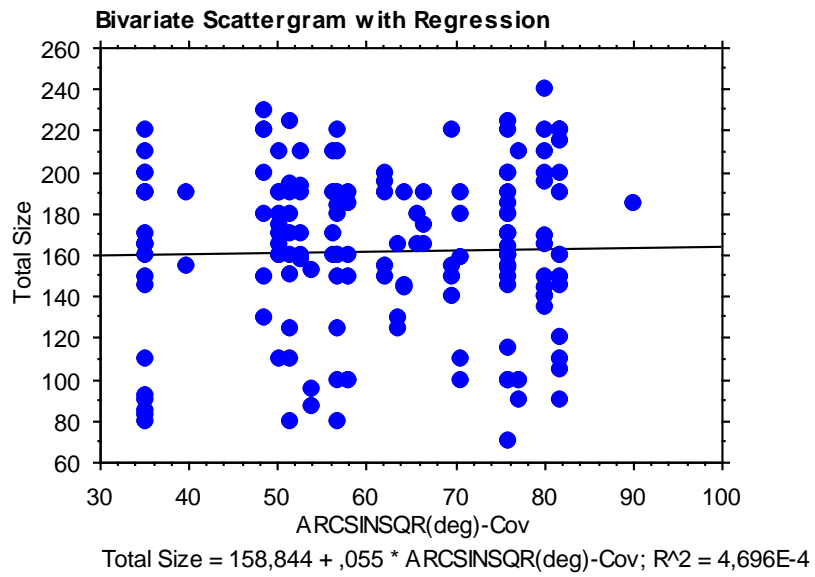


Figura 5. Correlación entre las variables Cobertura y Tamaño Total de las Lagartijas de Lava.

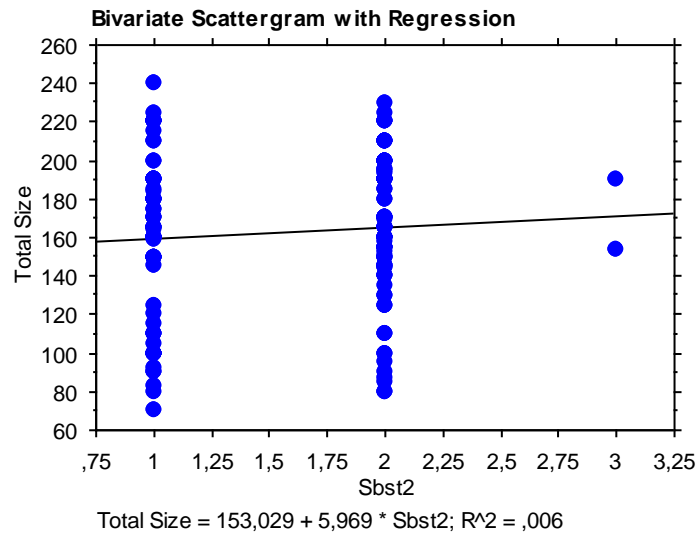


Figura 6. Correlación entre las variables Sustrato y Tamaño Total de las Lagartijas de Lava.

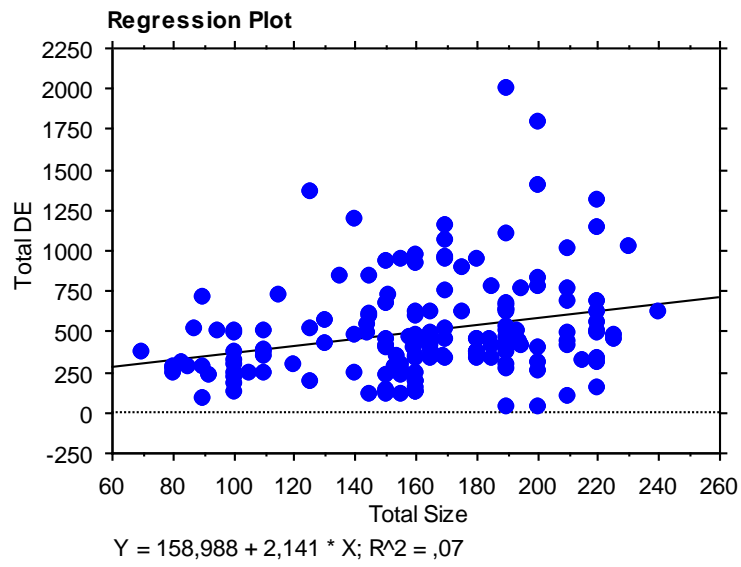


Figura 7. Correlación entre las variables Tamaño Total de las Lagartijas de Lava y la Distancia de Escape.

