

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
USFQ**

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Comparación de la ecofisiología de geos endémicos e
introducidos en la Isla San Cristóbal, Galápagos.**

Juan Sebastian Martínez Gómez

Biología

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Biólogo

Quito, 10 de mayo de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Comparación de la ecofisiología de geos endémicos e
introducidos en la Isla San Cristóbal, Galápagos.**

Juan Sebastian Martínez Gómez

Nombre del profesor, Título académico

Diego Cisneros – Heredia, Ph.D.

Quito, 10 de mayo de 2021

© DERECHOS DE AUTOR

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

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

Nombres y apellidos: Juan Sebastian Martínez Gómez

Código: 00140182

Cédula de identidad: 1750109850

Lugar y fecha: Quito, 10 de mayo de 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

Las especies endémicas de geos la isla San Cristóbal en las Galápagos, *Phyllodactylus darwini* y *Phyllodactylus leei* viven en ciertas zonas en simpatria con las especies introducidas *Hemidactylus frenatus*, *Lepidodactylus lugubris* y *Phyllodactylus reissii*. En algunas islas tropicales la introducción y competencia generada por *H. frenatus* han causado el declive de poblaciones de otras especies de geos. En este estudio se evalúan ciertos aspectos de la ecofisiología de las especies nocturnas de geos presentes en San Cristóbal. Calculamos el índice de condición corporal como aproximación al fitness filosófico y estado de salud de los individuos de las diferentes especies, además analizamos las relaciones entre la temperatura corporal, temperatura del sustrato y de la temperatura del ambiente para estas especies. Encontramos que *H. frenatus* no presenta una condición corporal significativamente distinta con ninguna otra especie de geco presente en la isla. Lo cual puede suponer competencia entre esta especie introducida y las especies endémicas. Al evaluar la relación entre la temperatura ambiental y la del sustrato encontramos una fuerte correlación en los sustratos de bloque o cemento y que en estos sustratos encontramos especímenes de las dos especies endémicas y de las especies introducidas *H. frenatus* y *L. lugubris*. Estos resultados en conjunto con la evidencia recopilada de la introducción de *H. frenatus* en otras islas del Pacífico, nos sugieren que, si bien esta especie aún no se establece en áreas naturales de San Cristóbal, es muy posible que en los próximos años las especies endémicas se encuentren compitiendo con *H. frenatus* en áreas naturales.

Palabras clave: Geos, introducción, endémica, ecofisiología, condición corporal, fitness, temperatura corporal, sustrato, competencia y Galápagos.

ABSTRACT

The endemic species of geckos on San Cristóbal Island in the Galapagos, *Phyllodactylus darwini* and *Phyllodactylus leei* live in certain areas in sympathy with the introduced species *Hemidactylus frenatus*, *Lepidodactylus lugubris* and *Phyllodactylus reissii*. In some tropical islands the introduction and competition generated by *H. frenatus* have caused the population decline of other species of geckos. In this study, certain aspects of the ecophysiology of the nocturnal species of geckos present in San Cristóbal are evaluated. We calculate the body condition index as an approximation to the philosophical fitness and health status of the individuals of the different species, we also analyze the relationships between body temperature, substrate temperature and ambient temperature for these species. We found that *H. frenatus* did not present a significantly different body condition with any other species of gecko present on the island. Which can suppose competition between this introduced species and the endemic species. When evaluating the relationship between the environmental temperature and that of the substrate, we found a strong correlation in the block or cement substrates and that in these substrates we found specimens of the two endemic species and of the introductory species *H. frenatus* and *L. lugubris*. These results, together with the evidence gathered from the introduction of *H. frenatus* in other Pacific islands, suggest that, although this species has not yet established itself in natural areas of San Cristóbal, it is very possible that in the coming years the species endemic species are found competing with *H. frenatus* in natural areas.

Key words: Geckos, introduction, ecophysiology, body condition, fitness, body temperature, substrate, competition, Galapagos, and San Cristóbal.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	10
Desarrollo del Tema	11
Metodología.....	15
<i>Área de estudio</i>	15
<i>Especies estudiadas</i>	17
Especies introducidas.	17
Especies endémicas.	18
<i>Zonas de muestreo</i>	19
<i>Metodología de muestreo en zonas urbanas</i>	20
<i>Metodología de muestreo en zonas agrícolas y naturales.</i>	21
<i>Registro de individuos, medidas morfométricas y térmicas</i>	23
<i>Obtención de la temperatura del sustrato (T°Sustrato)</i>	24
<i>Índice de condición corporal (ICC)</i>	25
<i>Análisis estadísticos</i>	26
Transformación de datos y ANOVA.....	26
Correlación de Spearman.	26
Resultados.....	27
<i>Medidas morfométricas y de temperatura</i>	27
<i>Resultados de ICC</i>	29
<i>Análisis de correlación entre temperatura del sustrato, temperatura ambiental y temperatura corporal</i>	32
Discusión	38
<i>Implicaciones de las diferencias del ICC</i>	38
Conclusiones.....	42
Sugerencias.....	43
Referencias bibliográficas	43
Anexo A: Especies reportadas en san cristóbal	52
Anexo B: reporte térmico	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Zonas de muestreo.....	19
Tabla 2. Fechas y horas de muestreo.....	22
Tabla 3. Medidas de la longitud hocico-cloaca (HC) y peso.....	27
Tabla 4. Medidas de temperatura corporal y temperatura ambiental.	28
Tabla 5. Medidas de temperatura ambiental y temperatura del sustrato.	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación San Cristóbal.....	15
Figura 2. Uso de suelo en San Cristóbal.....	17
Figura 3. Especies estudiadas.	18
Figura 4. Zonas de muestreo.	20
Figura 5. Mapa Puerto Baquerizo Moreno y El Progreso.	21
Figura 6. Mapa zonas naturales y agrícolas.....	22
Figura 7. Medidas morfométricas.....	24
Figura 8. ICC de las especies presentes en todas las zonas.....	30
Figura 9. ICC de las especies presentes en áreas urbanas.	31
Figura 10. ICC de las especies presentes en áreas naturales.	31
Figura 11. Correlación entre T°Sustrato y T°Corporal en individuos de <i>P. leei</i>	32
Figura 12. Correlación entre T°Sustrato y T°Corporal en individuos de <i>P. darwini</i>	33
Figura 13. Correlación entre T°Ambiental y T°Corporal en individuos de <i>P. leei</i>	34
Figura 14. Correlación entre T°Ambiental y T°Corporal en individuos de <i>H. frenatus</i>	34
Figura 15. Correlación entre T°Ambiental y T°Corporal en individuos de <i>P. darwini</i>	35
Figura 16. Correlación entre T°Ambiental y T°Sustrato en sustratos de bloque o cemento...	36
Figura 17. Correlación entre T°Ambiental y T°Sustrato en sustratos de roca.	37
Figura 18. Correlación entre T°Ambiental y T°Sustrato en sustratos de empaste.	37

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se evalúa la condición corporal y las relaciones térmicas como aproximación al estado ecofisiológico de las especies de geos nocturnos presentes en la isla San Cristóbal en el archipiélago de las Galápagos, Ecuador. Estos aspectos de su ecofisiología nos ayudan a comprender si entre las distintas especies existen diferencias en cuanto a su estado de salud, éxito al encontrar alimento, adaptarse a diferentes microhábitats y otras relaciones ecológicas con otros organismos y también su ambiente. Esta investigación se realizó dentro del proyecto de investigación “Serpientes y geos de las islas San Cristóbal y Española Galápagos” con el permiso de investigación N°PC-62-19, del laboratorio de zoología terrestre de la Universidad San Francisco de Quito.

En San Cristóbal se han reportado 3 especies nocturnas de geos introducidas, una de ellas es *Hemidactylus frenatus*. Esta especie fue reportada por primera vez en el archipiélago en 2011. En otras islas la especie *H. frenatus* ha causado muchos problemas a las poblaciones de geos endémicos y en algunos casos ciertas especies han llegado a extinguirse debido a la competencia con *H. frenatus*. Las especies endémicas de la isla *Phyllodactylus darwini* y *Phyllodactylus leei* muy posiblemente pueden ser afectadas por la competencia y ataques de especies introducidas.

Es por esto que, aproximarnos a conocer el fitness fisiológico (por medio de un índice de condición corporal) y la relación entre la temperatura corporal y la temperatura del ambiente de las especies endémicas e introducidas nos da una pequeña idea de la competencia entre las poblaciones e individuos de las diferentes especies de geos. Además, nos ayuda a evaluar el proceso de introducción e invasión de *H. frenatus* dentro del archipiélago.

DESARROLLO DEL TEMA

Según el marco unificado de procesos de invasiones biológicas propuesto por (Blackburn et al., 2011), para que la población de una especie introducida se considere como establecida en un nuevo ambiente debe poder sobrevivir y reproducirse en el nuevo ambiente sin ayuda del humano. Para poder sobrevivir en un nuevo ambiente los individuos deben adaptarse fisiológicamente a las condiciones bióticas y abióticas del nuevo ambiente (Weeks & Espinoza, 2013; Williams et al., 2016). El estado fisiológico y las relaciones ecológicas que presenta un individuo son un reflejo del nivel de adaptación de este al ambiente en el cual se encuentra (Ariew & Lewontin, 2004; Labocha et al., 2014; MacCracken & Stebbings, 2012).

El fitness Darwiniano hace referencia a que los organismos que mejor se “ajusten” al medio ambiente sobrevivirán y se reproducirán de una mejor manera (Ariew & Lewontin, 2004). Conocer el fitness de un individuo nos ayuda a aproximarnos a su estado fisiológico, ecológico y de salud (Labocha et al., 2014; Williams et al., 2016). Una forma de acercarnos al fitness y estado de salud de un individuo es conocer su condición corporal (Labocha et al., 2014; Wilder et al., 2016). Muchos ecólogos toman a la condición corporal como una medida de las reservas de lípidos en el cuerpo de un individuo (Peig & Green, 2010). Estas reservas de grasa se generan a partir de la energía y nutrientes excedentes provenientes de la alimentación y metabolismo del animal (Barnett et al., 2015). Los individuos que mejor puedan adaptarse y explotar de mejor manera los recursos de su ambiente son lo que pueden generar estos excedentes de nutrientes y energía (Rowe & Houle, 1996). De esta manera las reservas energéticas reflejan un buen estado de salud o fitness (Speakman, 2001; Stevenson & Woods, 2006).

Para calcular la condición corporal de un individuo se utilizan índices de condición corporal (Labocha et al., 2014). Muchos estudios utilizan estos índices como indicadores de: éxito de

forrajeo, habilidad para pelear, adaptación a condiciones adversas, entre otras (Jakob et al., 1996). Estas características de la vida de cada individuo influyen sobre sus relaciones ecológicas y sobre su éxito reproductivo. En una visión más general los índices de condición corporal nos permiten dar un pequeño vistazo al estado ecofisiológico de un individuo (MacCracken & Stebbings, 2012).

En el caso de ectotermos el fitness está ligado a su temperatura corporal (Blouin-Demers et al., 2003). La temperatura corporal en reptiles influye sobre diferentes aspectos fisiológicos como: forma de alimentación, crecimiento, reproducción, metabolismo y desempeño locomotor (Martínez-Gómez et al., 2014; Rock et al., 2000). De igual manera la masa corporal y temperatura tienen un gran efecto sobre muchos procesos bioquímicos, fisiológicos y ecológicos (Sibly et al., 2012). Esta relación entre fisiología y temperatura se debe a la influencia de la temperatura en la tasa metabólica de los individuos y esta a su vez es determinante en la asimilación de nutrientes y obtención de energía (Huey, 1982).

Los reptiles regulan su temperatura corporal (termoregulan) de manera comportamental, moviéndose de una zona a otra buscando el microclima que mejor se adapte a su temperatura corporal óptima (Blouin-Demers et al., 2003). La mayoría de las especies de geckos realizan sus actividades de forrajeo, reproducción y movilización en la noche. Es por esto que, sus estrategias de termorregulación se basan en obtener calor mediante conducción de los sustratos con los cuales están en contacto (Angilletta et al., 1999). Con lo cual sus actividades de forrajeo son en su mayoría “sentarse y esperar” a sus presas en zonas con microclimas óptimos. (Gil et al., 1994).

Los individuos no siempre pueden encontrar zonas con sustratos que les ofrezcan una temperatura adecuada o suficientes presas. Por lo cual realizan búsquedas activas de lugares con una temperatura óptima, esto se define como termorregulación conductual (Kleckova et

al., 2014). La actividad de locomoción que realizan para moverse de una zona a otra en búsqueda de un microclima adecuado representa un gasto energético (John-Alder & Bennett, 1981). Los beneficios fisiológicos netos que se obtengan deben ser mayores al gasto energético en la búsqueda activa de microclimas adecuados y con suficientes presas (Huey & Slatkin, 1976). El aumento en las reservas energéticas como lípidos es muestra de un buen estado fisiológico o fitness (Barnett et al., 2015).

La introducción de ciertas especies de gecos en islas tropicales se remonta a hace unos 4000 años atrás. La colonización de nuevas islas en el océano Pacífico por parte de poblaciones polinesias y melanesias ayudo a que ciertas especies de gecos se dispersen a nuevas islas (Dye & Steadman, 1990). El comercio y transporte entre islas y otros lugares del mundo permitió que la dispersión de estos reptiles llegue a tal punto que hoy podemos encontrar al menos una especie de geco introducida en todos los archipiélagos tropicales del mundo (Weterings & Vetter, 2018).

Una de las especies invasoras más prolíficas de las que se tiene registro es *Hemidactylus frenatus*, que fue reportada por primera vez en el archipiélago de las Galápagos en 2011 (Hoskin, 2011; Torres, 2011). La introducción de esta especie en islas tropicales ha generado el declive de las poblaciones de otras especies de gecos. Uno de los casos más conocidos de afectación a especies de gecos endémicas por parte de *H. frenatus* ocurrió en las islas Mauricio en el océano indico. Tres especies pertenecientes al género *Nactus* fueron excluidos totalmente de ciertas áreas y nichos, que ocupaban antes de la introducción de *H. frenatus*. Además, *Phelsuma ornata* ha tenido que cambiar su dieta dentro de las zonas naturales de las islas debido a la competencia por presas con *H. frenatus* (Cole et al., 2005). En Guam esta especie invasora empezó colonizando áreas urbanas y se desplazó hacia áreas naturales causando un declive en las poblaciones de *Gehyra mutilata* (McCoid, 1999).

En este estudio se analiza las diferencias en cuanto a la fisiología térmica de especies endémicas nocturnas de la isla San Cristóbal en las islas Galápagos, *Phyllodactylus darwini* y *Phyllodactylus leei* y las especies introducidas nocturnas *Hemidactylus frenatus* y *Lepidodactylus lugubris*. Se toma al índice de condición corporal (ICC) como una medida del fitness o estado fisiológico de cada individuo (Labocha & Hayes, 2012). De igual manera se analiza la correlación entre la temperatura corporal, temperatura ambiental y la temperatura del sustrato en la cual se encontraban geos de las diferentes especies. Esto como una medida de aproximación a la termorregulación de cada individuo.

Hipotetizamos que las especies introducidas de geos presentan una menor correlación entre la temperatura corporal y la de sustrato. De igual manera pensamos que la condición corporal de las especies introducidas presenta un mayor rango de variación en comparación a las especies endémicas. Al evaluar estas hipótesis y nuestros resultados las comparamos con otras investigaciones de procesos de introducción de geos en islas tropicales para comprender en qué etapa del proceso de invasión se encuentran las poblaciones de *H. frenatus* y *L. lugubris* en la Isla de San Cristóbal.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Realizamos el estudio en la isla San Cristóbal, que cuenta con una extensión de 558 km², se encuentra ubicada en el sur este del archipiélago de las Galápagos (Figura 1.) que tiene un origen volcánico y se encuentra aproximadamente a 1000 km² al oeste de las costas ecuatorianas (Geist et al., 1986; Izurieta, 2014; Nordlie, 1973). La isla presenta una estacionalidad climática conformada por una estación cálida y una fría, que se ven influenciadas en gran medida por las siguientes corrientes oceánicas: corriente de Panamá, corriente sur ecuatorial, corriente oceánica peruana y corriente de Cromwell (Sonnenholzner et al., 2012). La estación cálida inicia en el mes de enero y se extiende hasta el mes de mayo, mientras que la estación fría comienza a lo largo del mes de junio y llega hasta el mes de diciembre (Trueman & d'Ozouville, 2010).

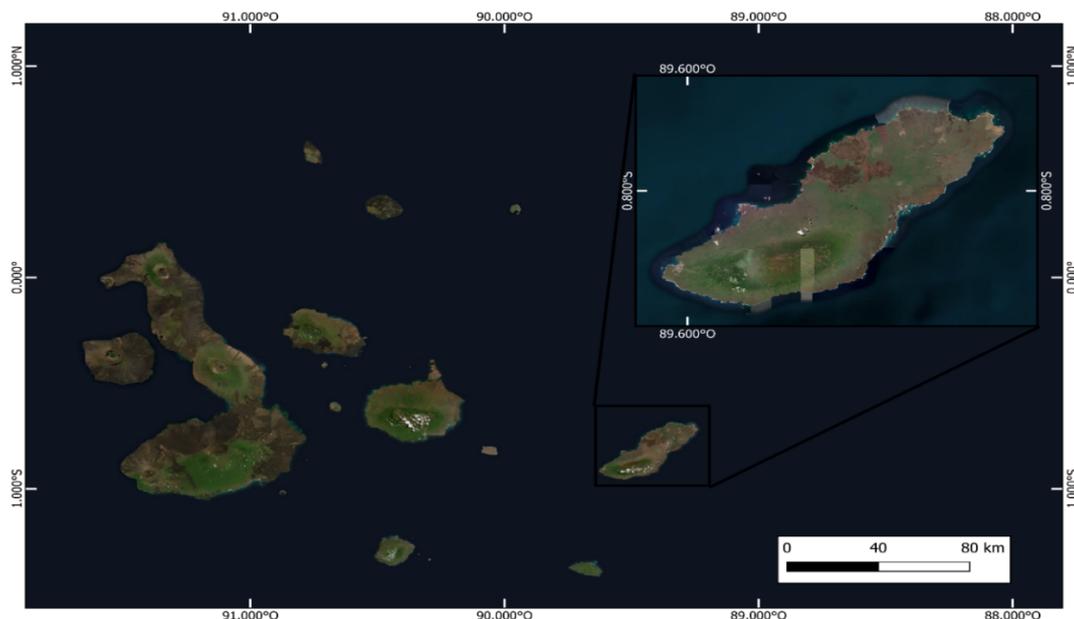


Figura 1. Ubicación San Cristóbal. Mapa de la ubicación de la isla de San Cristóbal en el archipiélago de las Galápagos, Ecuador.

En San Cristóbal se presenta un gradiente climático y de tipos de vegetación entre las zonas áridas de las playas y las zonas siempre húmedas presentes a altitudes mayores a los 500 ms.s.n.m. De esta forma encontramos que: en las zonas áridas del litoral se presentan ecosistemas de manglar, en las zonas de transición tenemos ecosistemas de bosque seco y matorrales, en las denominadas zonas de *Scalesia* encontramos zonas de bosque húmedo, en las zonas de *Miconia* matorrales y por último tenemos la zona de Helechos (Colinvaux & Schofield, 1976; Rivas-Torres et al., 2018).

El impacto antropogénico directo en la isla se evidencia en los 7.3 km² de áreas urbanas y 83.4 km² de áreas rurales. Encontramos dos áreas principales de impacto urbano en la isla. El primero y mas grande es el pueblo de Puerto Baquerizo Moreno ubicado cerca de la zona litoral de e la isla y que para 2018 tenía 6672 habitantes. La mayoría de los turistas arriban a esta zona y buscan un hospedaje cercano ya que el pueblo está rodeado por áreas naturales turísticas (López Andrade & Quiroga Ferri, 2019).

El pueblo de El Progreso es la segunda área de impacto urbano con alrededor de 658 habitantes, ubicado a unos 5 km de distancia de Puerto Baquerizo Moreno con una altitud mayor a los 300 ms.s.n.m. A pesar de que en su mayoría el pueblo está habitado por familias que poseen terrenos agrícolas en las cercanías, existe afluencia de turistas, pero en mucha menor cantidad que en Puerto Baquero Moreno. Las zonas agrícolas en la isla se encuentran alrededor del pueblo de El Progreso y principalmente se utilizan para el cultivo de subsistencia. Tanto el Pueblo de Puerto Baquerizo Moreno como la zona agrícola aldeana a El Progreso limitan con las áreas protegidas del Parque Nacional Galápagos (PNG) (López Andrade & Quiroga Ferri, 2019) (Figura 2.)

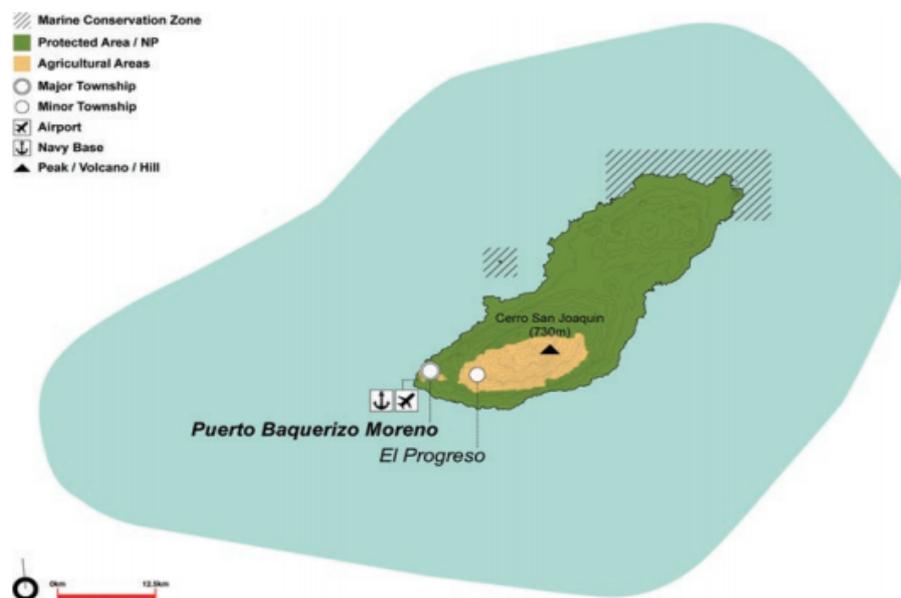


Figura 2. Uso de suelo en San Cristóbal. Mapa de los diferentes usos de suelo en la isla de San Cristóbal (López Andrade & Quiroga Ferri, 2019).

Especies estudiadas

Especies introducidas.

Hemidactylus frenatus: una de las especies invasoras más exitosas de la que se conoce. Distribución originaria islas del archipiélago de indonesia. Introducida en casi todas las islas del Pacífico, primer registro en las Galápagos 2011 (Torres,2011). Longitud hocico-cloaca reportada 47.71 ± 9.98 mm. Se puede reconocer esta especie por escamas agrandadas en forma de cono en hileras a lo largo de la cola, además sus almohadillas digitales se encuentran divididas y no presenta garras retractiles (Figura 3. A.)

Lepidodactylus lugubris: Especie partenogenética, introducida en todas las islas del Pacífico, se ve desplazada por *H. frenatus* en las islas ya que ocupan el mismo nicho ecológico. En galápagos registrada en 1980 (Hoogmood 1989. Olmedo cayot 1994). Longitud hocico-cloaca reportada 38.72 ± 4.82 mm. Se puede reconocer esta especie

por patrón de líneas negras y marrones con dos curvas a lo largo dorso y cola, además no presenta garras en los primeros dígitos. (Figura 3. B.)

Especies endémicas.

Phyllodactylus leei: Especie endémica de San Cristóbal encontrada principalmente en zonas naturales del litoral (Torres, 2011; Torres-Carvajal et al., 2014). Longitud hocico-cloaca reportada 38.67 ± 4.24 mm. Se puede reconocer esta especie por tubérculos agrandados y lisos en dorso y ausencia de tubérculos en extremidades. (Figura 3. D.). *Phyllodactylus darwini*: Especie endémica de San Cristóbal encontrada principalmente en zonas urbanas en simpatria con *H. frenatus* (Torres, 2011; Torres-Carvajal et al., 2014). Longitud hocico-cloaca reportada 56.4 ± 7.95 mm. Se puede reconocer esta especie por tubérculos piramidales en hileras a lo largo del dorso y tubérculos en las extremidades (Figura 3. C.).

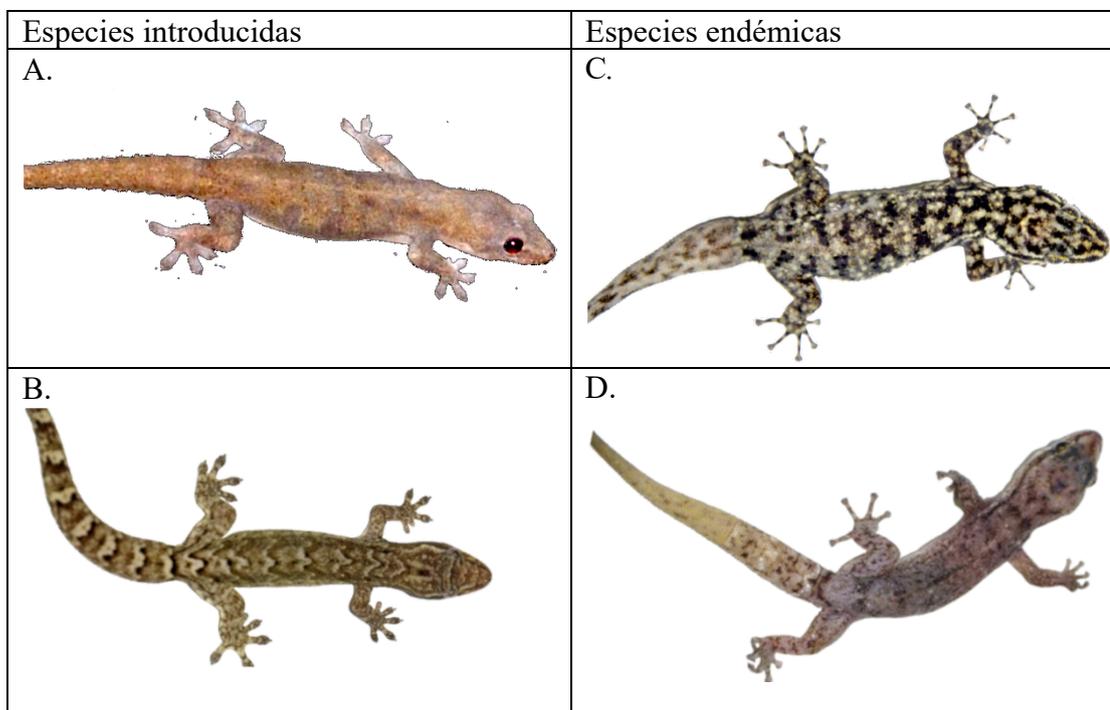


Figura 3. Especies estudiadas. Especies estudiadas de geocos introducidos y endémicos. A. Individuo de *Hemidactylus frenatus*; B. Individuo de *Lepidodactylus lugubris*; C. Individuo de *Phyllodactylus darwini*; D. Individuo de *Phyllodactylus leei*.

Zonas de muestreo

Realizamos el estudio desde el 5 de junio hasta el 13 de julio de 2018 y en 2019 desde el 18 de mayo hasta el 10 de julio en la isla San Cristóbal. Clasificamos las zonas en las que se realizó el estudio entre: urbanas, agrícolas y naturales. (Tabla 1.) (Figura 4.)

Las zonas urbanas se delimitaron dentro de Puerto Baquerizo Moreno y la parte central de la parroquia de El Progreso. Las zonas agrícolas se establecieron en las cercanías de la hacienda La Tranquila. Por último las zonas naturales se establecieron en playas aledañas a Puerto Baquerizo Moreno (Lobería, Tijeretas y Carola) y la playa de las Opuntias.

Las zonas naturales en conjunto con la zona urbana de Puerto Baquerizo Moreno se denominaron áreas de baja altitud (parte baja), ya que en estas zonas la altitud va desde los 0 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.) hasta un máximo de 70 m s. n. m. La zona urbana del progreso y la zona agrícola son áreas con una altitud mayor a los 300 m s. n. m. con un máximo de 450 m s. n. m., con lo cual se las denominó como; áreas de altitud (parte alta).

Tabla 1. Zonas de muestreo. Clasificadas según su tipo de uso de suelo y su altitud medida en metros sobre el nivel del mar (ms.s.n.m.).

Zona	Clasificación (Uso de suelo)	Clasificación (Altitud)	Mínimo ms.s.n.m	Máximo ms.s.n.m
Puerto Baquerizo Moreno	Urbano	Bajo	0	40
El progreso	Urbano	Alto	300	320
Carola	Natural	Bajo	7	17
Tijeretas	Natural	Bajo	16	32
Lobería	Natural	Bajo	9	11
Opuntias	Natural	Bajo	8	70
La Tranquila	Agrícola	Alto	340	416

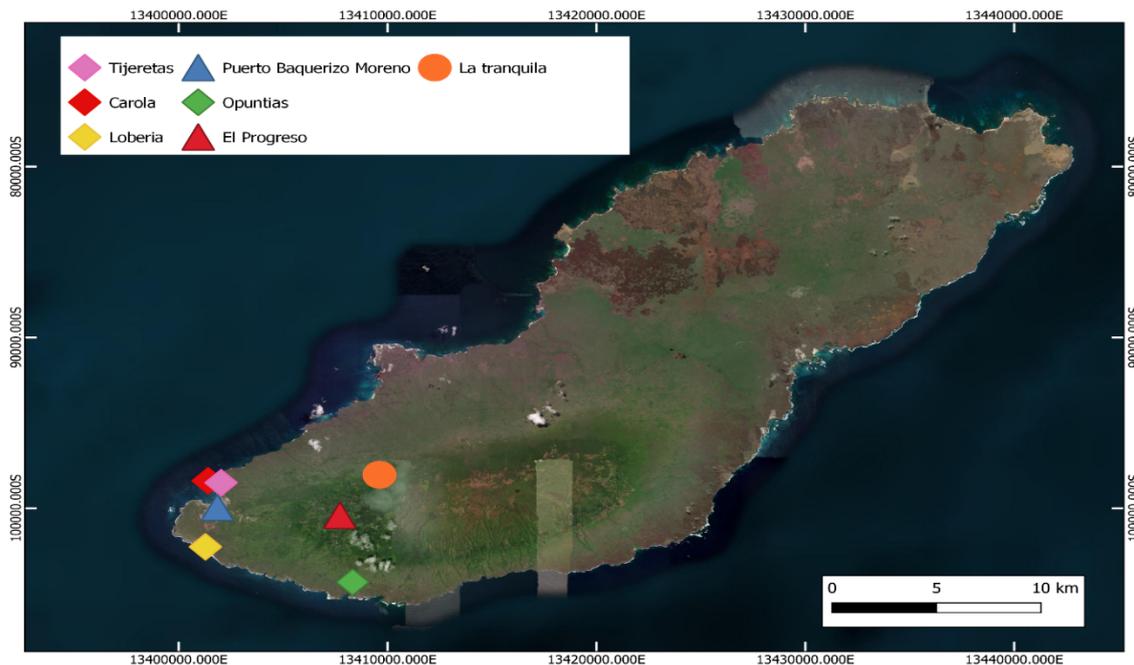


Figura 4. Zonas de muestreo. Mapa de las zonas de muestreo en la isla San Cristóbal (Zonas naturales: Tijeretas, Carola, Lobería y Opuntias; Zonas urbanas: Puerto Baquerizo Moreno y El Progreso; Zona agrícola: La tranquila).

Metodología de muestreo en zonas urbanas

El muestreo en zonas urbanas se basó en la metodología de Olmedo, J., & Cayot, L. J. (1994) en la cual se divide a las zonas urbanas en parcelas. Los mapas bases de Olmedo, J., & Cayot, L. J. (1994) se modificaron para ajustarse al crecimiento urbano en la isla. La división en parcelas permitió mantener un esfuerzo de muestreo similar en toda el área de las zonas urbanas. Esto debido a la similitud en área y horarios de muestreo en cada parcela.

De esta manera, en Puerto Baquerizo Moreno delimitamos 14 parcelas y en la parroquia del progreso 3 parcelas (Figura 5.). Los muestreos consistieron en caminar por las calles de cada parcela en zigzag prestando atención de sobremanera a casas con paredes lisas y luminaria y rocas en terrenos baldíos. En cada parcela muestreamos dos veces al día durante un día, el primer muestreo lo realizábamos desde las 15:00 hasta las 17:00 mientras que el segundo lo

realizamos desde las 19:00 hasta las 21:00. Se puede observar las fechas en las cuales se muestreo en esta zona y las horas de muestreo en la Tabla 2.

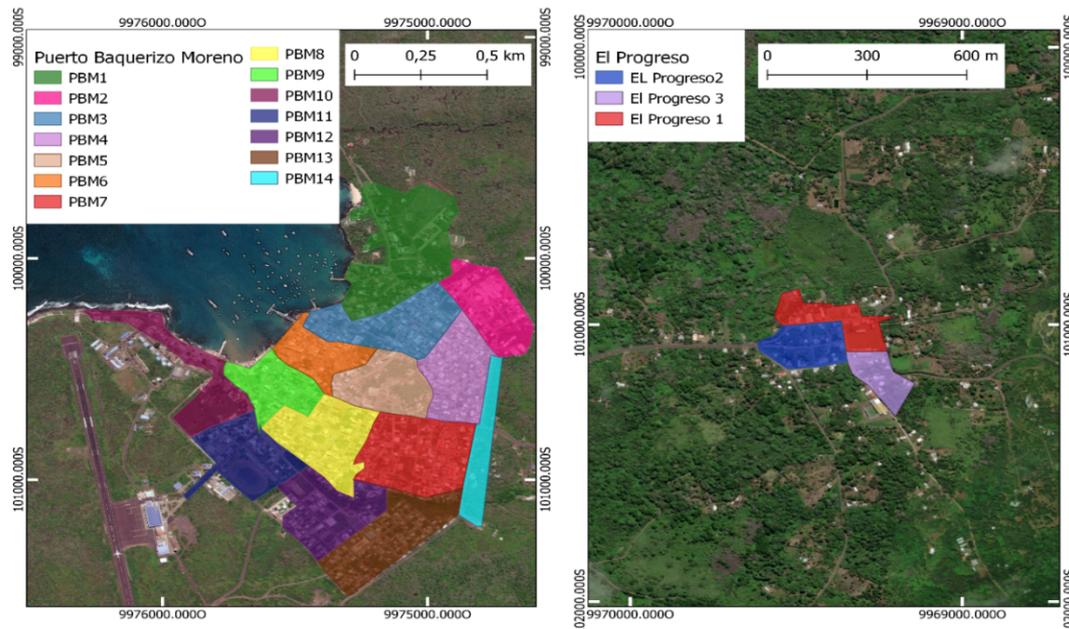


Figura 5. Mapa Puerto Baquerizo Moreno y El Progreso. Mapa de las parcelas de las zonas urbanas, Puerto Baquerizo Moreno (parte baja) y El Progreso (parte alta).

Metodología de muestreo en zonas agrícolas y naturales.

En zonas naturales y agrícolas realizamos 3 transectos diferentes con una longitud de 500 metros dentro de cada zona. Delimitamos cada transecto al momento de estar en cada zona mediante un GPS GARMIN 64X. Los transectos creados dentro de las zonas naturales seguían los senderos preestablecidos para turistas, esto para evitar daños dentro del parque nacional galápagos. En las zonas agrícolas los transectos se crearon siguiendo los senderos dentro de la hacienda La Tranquila, con el fin de evitar daños en la misma (Figura 6.).

El muestro dentro de los transectos consistió en observar superficies de rocas, maderas, hojarasca y arena en busca de geos además de buscar activamente debajo de rocas y leños caídos. En cada transecto muestreamos 3 veces al día durante 1 día, el primer muestreo desde

9h00 a 11h00, segundo muestreo desde 15:00 hasta las 17:00 y el tercer muestreo desde las 19:00 hasta las 21:00. Se puede observar las fechas en las cuales se muestreo en esta zona y las horas de muestreo en la Tabla 2.

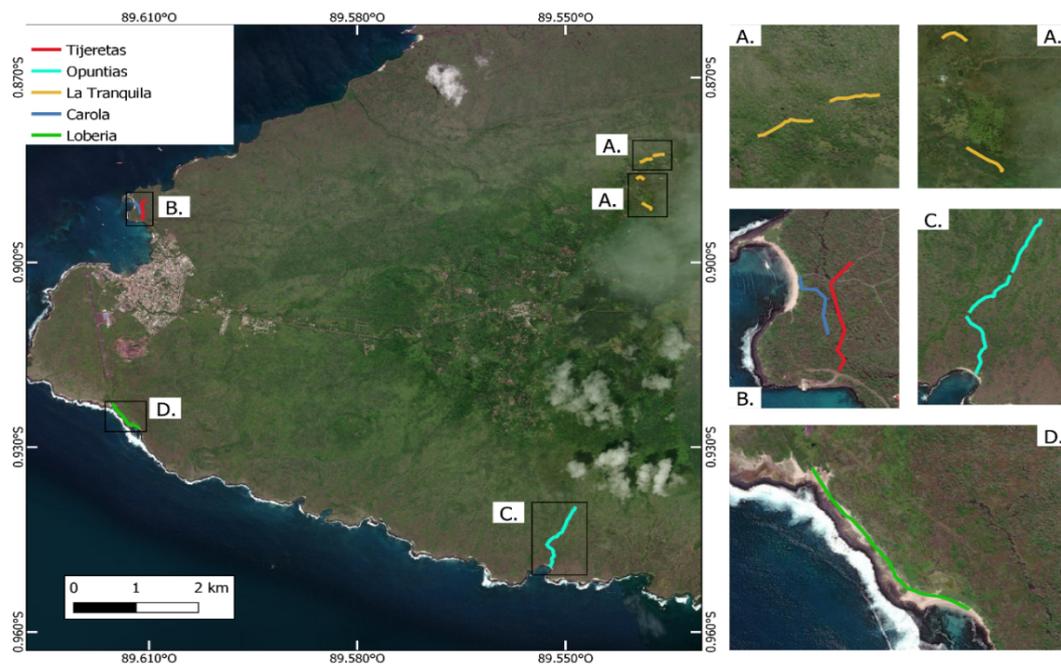


Figura 6. Mapa zonas naturales y agrícolas. Mapa de los transectos de las zonas agrícolas (A. La Tranquila) y zonas urbanas (B. Tijeretas y Carola; C. Opuntias; D. Lobería).

Tabla 2. Fechas y horas de muestreo. Se especifican las fechas y las horas muestreadas en cada una de las diferentes zonas.

Zona	Fecha inicio	Fecha final	Horas de muestreo
2018			
Puerto Baquerizo Moreno	5/6/2018	19/6/2018	112
El Progreso	21/6/2018	23/6/2018	28
Natural	24/6/2018	27/6/2018	32
agrícola	4/7/2018	13/7/2018	36
2019			
Puerto Baquerizo Moreno	18/5/2019	26/6/2019	112
El Progreso	28/6/2019	30/6/2019	28
Natural	2/7/2019	10/7/2019	84
agrícola	31/5/2019	11/6/2019	36

Registro de individuos, medidas morfométricas y térmicas

La metodología de muestreo en campo se organizó en 3 fases principales, siguiendo este orden; conteo de individuos, captura y registro de datos morfométricos y térmicos y toma de datos ambientales.

El conteo de individuos consistió en identificar y anotar a la especie que pertenecía cada individuo observado. Además, cuando los individuos se encontraban a un máximo de 1.5 metros y no escapaban realizamos registros fotográficos con una cámara réflex (Nikon D90) y tomamos 3 fotografías con una cámara térmica (FLIR E9 WIFI, precisión $\pm 2^{\circ}\text{C}$).

En la fase de captura y registro de datos morfométricos y térmicos se capturaron manualmente individuos adultos cuando se encontraban a un máximo de 1.5 m y no escapaban en la fase de conteo. Se registro: el sexo de cada individuo mediante irrigación cloacal, su peso en gramos mediante una balanza electrónica y registramos las siguientes medidas morfométricas en milímetros con un calibrador electrónico: HC (longitud hocico cloaca), DI (distancia inguinal), LO (largo de la cola), ALC (alto de la cabeza), LC (largo de la cabeza), M (longitud de mandíbula), AC (ancho de la cabeza), PA (largo de pata anterior), PO (largo de la pata posterior), LPA (largo de la extremidad anterior), LPO (largo de la extremidad posterior) (Figura 7.).

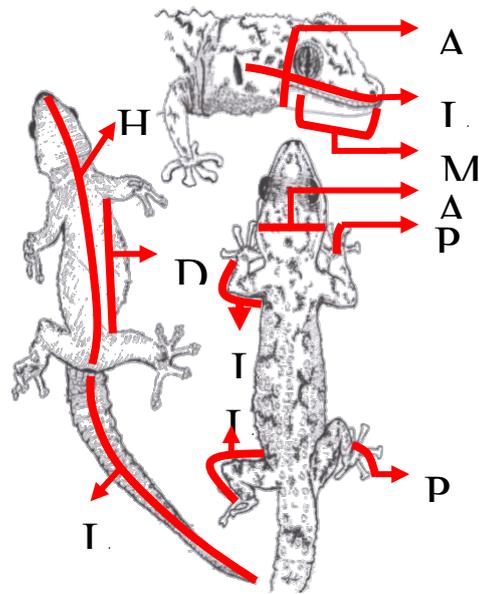


Figura 7. Medidas morfométricas. Medidas morfométricas tomadas: HC, DI, LO, ALC, LC, M, AC, PA, PO, LPA y LPO (Esquema realizado por Sebastián Ramos 2019).

Además, se registró temperatura corporal con un termómetro infrarrojo (SGS modelo GM1650 de rango de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, precisión $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$) apuntado a la cloaca del animal. Al terminar la toma de datos morfométricos algunos individuos escogidos al azar se colectaron (especies introducidas) o fueron transportados al laboratorio (especies introducidas y endémicas) de zoología terrestre del Galápagos Science Center para realizar experimentos de locomoción y su posterior liberación.

La fase de toma de datos ambientales consistió en determinar; temperatura ambiental, con el medidor de temperatura ambiental de marca Kestrel modelo 4500. Además, se registraba la hora en la cual el geco fue observado, la sensación térmica y si se trataba de un adulto, subadulto o neonato.

Obtención de la temperatura del sustrato ($T^{\circ}\text{Sustrato}$)

En las 3 fotos térmicas de cada individuo se crearon 3 puntos en el sustrato paralelos al individuo (FLIR Tools versión 5.13.18031.2002) (aproximadamente 3 mm de distancia): un

punto paralelo a la cabeza, un punto paralelo al abdomen y un punto paralelo a la cloaca. (Anexo 2.) Se registro la temperatura marcada de cada punto, se obtuvo la media de estos y esta media se utilizó como la temperatura del sustrato en este estudio.

Índice de condición corporal (ICC)

El índice de condición corporal (ICC) se puede explicar al definir los dos conceptos que lo conforman, condición corporal (CC) e índice corporal (IC).

Los índices corporales son utilizados para cuantificar el fitness individual de un organismo (Stevenson & Woods Jr, 2006). El termino Condición corporal se puede utilizar con diferentes enfoques. En general se trata a la condición corporal como una característica de un individuo que está ligada a su salud y es determinante en su fitness (Peig & Green, 2009, 2010). Esta característica es clave para entender la ecología, comportamiento y evolución de una población (Labocha et al., 2014). En este estudio se tomará al índice de condición corporal (ICC) como una medida del fitness y de las reservas de energía (lípidos) de un individuo (Labocha & Hayes, 2012).

Se utilizo el método de índice de masa escalada, propuesto por Peig y Green (2009, 2010), este método estandariza la masa corporal a un valor fijado de medida lineal del cuerpo basado en la relación del escalamiento entre masa y largo del cuerpo de un individuo. Con la siguiente fórmula matemática como referencia:

$$\widehat{M}_i = M_i \left[\frac{L_0}{L_i} \right]^{b_{SMA}}$$

Donde M_i es la masa corporal, L_i es la medida corporal lineal del individuo, L_0 es la media de la medida corporal lineal, b_{SMA} es el exponente escalar estimado por una regresión estandarizada del eje mayor (SMA) y \widehat{M}_i es el índice de condición corporal estimado ICC.

Para obtener el b_{SMA} de cada especie se utilizó el paquete `smatr` en Rstudio en su versión 1.2.5033 de desktop. Con estos valores y los datos morfométricos se empleó la fórmula 1 en Rstudio con el fin calcular el ICC de cada individuo y se almacenó los resultados en un matriz. Con los datos de ICC de los individuos se realizaron Boxplots de cada especie en las diferentes zonas.

Análisis estadísticos

Transformación de datos y ANOVA

El peso de cada individuo se tomó como la masa corporal. La medida corporal lineal utilizada en el estudio es la longitud hocico-cloaca (HC). Estos datos fueron transformados logarítmicamente con el fin de que cumplan los estimados de normalidad y homocedasticidad. Su normalidad y homocedasticidad fue evaluada gráficamente y por la prueba de Shapiro-wilks ($p > 0.05$).

Los estimados de ICC se sometieron a análisis de significancia de la varianza ANOVA de una vía. Se utilizó la prueba de rango de Tukey (TukeyHSP) para análisis posteriores de significancia de la varianza entre relaciones. Tanto análisis ANOVA como TukeyHSP se realizaron en Rstudio en su versión 1.2.5033 de desktop.

Correlación de Spearman.

Para evaluar el grado de influencia entre las variables de temperatura corporal (T° Corporal), temperatura del sustrato (T° Sustrato) y temperatura ambiental (T° Ambiental) analizamos su grado de correlación por medio del método de Spearman. Utilizamos el método de Spearman ya que las variables térmicas antes mencionadas no cumplían con los estimados de normalidad, pero sí con los estimados de homocedasticidad. Estos análisis y sus gráficas se realizaron utilizando el paquete `ggpubr`.

RESULTADOS

Medidas morfométricas y de temperatura

Cabe recalcar que las medidas mostradas a continuación no son iguales al número total de medidas recopiladas ni pertenecen al número total de individuos muestreados. Esto debido a que no se pudo registrar todas las variables térmicas y morfométricas para todos los individuos. Se tomaron medidas morfométricas de 9 individuos de *Hemidactylus frenatus* (6 hembras, 3 machos), 7 individuos de *Phyllodactylus darwini* (6 hembras, 1 macho), 4 individuos de *Lepidodactylus lugubris* (4 hembras) y 11 individuos de *Phyllodactylus leei* (5 hembras, 4 machos). Las medidas de HC y peso se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Medidas de la longitud hocico-cloaca (HC) y peso. En esta tabla se presenta la media +/- una desviación estándar (Media+/-D.S.) y valores máximos y mínimos de las medidas de HC en milímetros y peso en gramos de las especies *H. frenatus*, *L. lugubris*, *P. darwini* y *P. leei*.

Especie	Media+/-D.S.	Max	Min
Longitud hocico-cloaca (mm)			
<i>H. frenatus</i>	47.71+/-9.98	59.34	25.51
<i>L. lugubris</i>	38.72+/-4.82	44.07	32.47
<i>P. darwini</i>	56.4+/-7.95	69.35	45.14
<i>P. leei</i>	38.67+/-4.28	41.86	28.33
Peso (g)			
<i>H. frenatus</i>	3.38+/-1.53	6.4	1.2
<i>L. lugubris</i>	1.62+/-0.6	2.4	1.1
<i>P. darwini</i>	5.38+/-2.13	9.1	2.7
<i>P. leei</i>	1.67+/-0.39	2.5	1.2

Se registro la temperatura corporal y temperatura ambiental de 51 individuos de *H. frenatus* (29 machos, 22 hembras), 14 individuos de *P. darwini* (9 machos, 5 hembras) y 20 individuos de *P. leei*. (11 machos, 9 hembras) Las medidas de temperatura corporal y ambiental se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Medidas de temperatura corporal y temperatura ambiental. En esta tabla se presenta la media +/- una desviación estándar (Media+/-D.S.) y valores máximos y mínimos de temperatura corporal (T°C Corporal) y temperatura ambiental (T°C Ambiental) en °C de las especies *H. frenatus*, *P. darwini* y *P. leei*.

Especie	Media+/-D.S.	Max	Min
Temperatura corporal (°C)			
<i>H. frenatus</i>	28.14+/-2.54	32.5	24.3
<i>P. darwini</i>	26.5+/-2.13	30.5	23.6
<i>P. leei</i>	24.16+/-2.18	29.8	20.6
Temperatura ambiental (°C)			
<i>H. frenatus</i>	26.06+/-1.44	29.5	23.1
<i>P. darwini</i>	25+/-0.83	26.4	22.7
<i>P. leei</i>	24.01+/-2.86	35.4	22.4

Se registró la temperatura ambiental y temperatura del sustrato de 31 individuos (*P. leei*, n=11 machos, 8 hembras; *P. darwini*, n=9 machos, 2 hembras; *H. frenatus*, n=1 macho) que estaban sobre sustratos de roca, 12 individuos (*H. frenatus*, n=4 machos, 7 hembras; *P. darwini*, n=1 macho) sobre sustratos de empaste y 8 individuos (*P. darwini*, n=3 machos; *P. leei*, n=1 macho, 7 hembra; *H. frenatus*, n=2 machos; *L. lugubris*, n=1 hembra) sobre sustratos de bloque o cemento. Las medidas de temperatura ambiental y de sustrato se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Medidas de temperatura ambiental y temperatura del sustrato. En esta tabla se presenta la media +/- una desviación estándar (Media+/-D.S.) y valores máximos y mínimos de Temperatura Ambiental (T°Ambiental) y Temperatura sustrato (T°Sustrato) en °C de sustratos de empaste, cemento y bloque/cemento.

Tipo de sustrato	Media+/-D.S.	Max	Min
Temperatura ambiental (°C)			
Roca	24.94+/-3.11	35.4	22.3
Empaste	26.72+/-1.44	28.4	24.6
Bloque/Cemento	23.39+/-2.04	26.5	20
Temperatura sustrato(°C)			
Roca	27.68+/-3.14	33.11	20.68
Empaste	27.39+/-2.04	30.73	23.8
Bloque/Cemento	27.09+/-3.43	31.03	21.97

Resultados de ICC

Realice análisis de ANOVA de un factor entre las especies, tomando como factor a las especies y como variable dependiente los valores calculados del índice de condición corporal (ICC). Encontré diferencias significativas ($F=14.23$; $df=3,25$; $p<0,01$) entre los valores calculados de ICC de las especies de geos encontradas en todas las zonas. Pero se observa un solapamiento de los valores de ICC de *Hemidactylus frenatus* con todas las demás especies. Entre las especies *Phyllodactylus leei* y *Lepidodactylus lugubris* no identifique diferencias significativas, además estas son la especie con valores más bajos de ICC. A pesar de que *Phyllodactylus darwini* presenta los valores de ICC más altos estos solo son significativamente diferentes a los valores reportados para las especies *Phyllodactylus leei* y *Lepidodactylus lugubris* (Figura 8.). Estas relaciones se ven respaldadas por análisis posteriores que mostraron que solo las siguientes “relaciones” presentaron diferencias significativas ($p<0,01$) *P. darwini* con *L. lugubris* y *P. leei* con *P. darwini*. Todas las demás relaciones no presentan diferencias significativas.

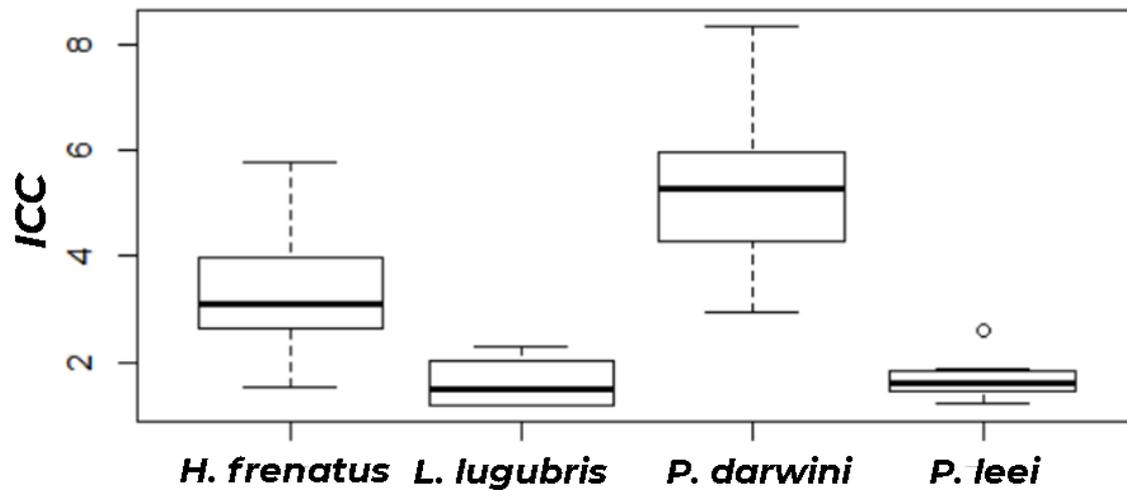


Figura 8. ICC de las especies presentes en todas las zonas. Índice de condición corporal (ICC) de las especies presentes en todas las zonas (*H. frenatus*, *L. lugubris*, *P. darwini* y *P. leei*).

En el caso de las especies presentes en zonas urbanas encontré diferencias significativas ($F=8.97$; $df=2,14$; $p<0,01$), pero de igual manera se observa que *H. frenatus* se sobrelapa con *P. darwini* y *P. leei*. Esto se respaldó con análisis posteriores que no mostraron diferencias significativas ($p>0.01$) en ninguna relación entre *H. frenatus* y otra especie. Las especies *P. leei* y *P. darwini* si presentaron diferencias significativas ($p<0.01$). (Figura 9.)

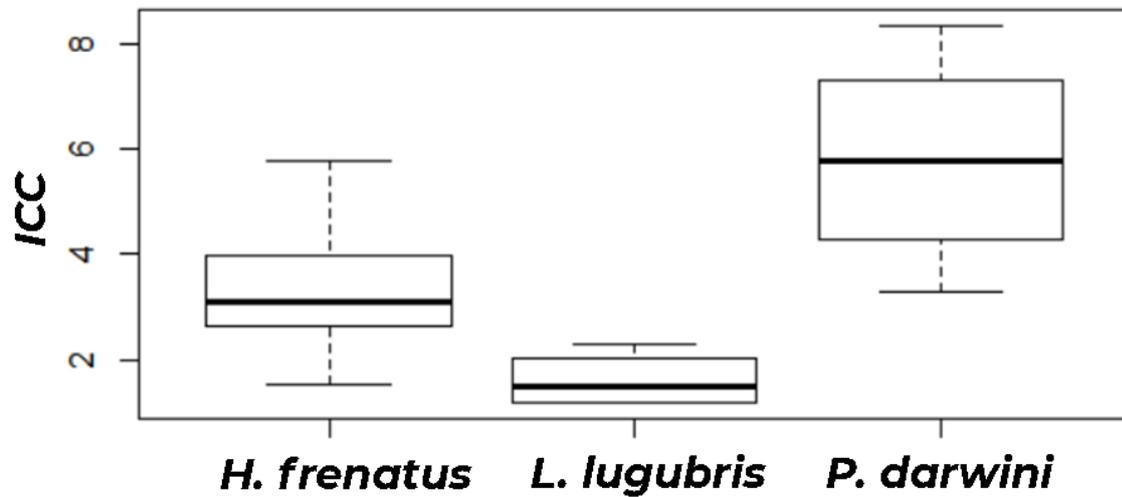


Figura 9. ICC de las especies presentes en áreas urbanas. Índice de condición corporal (ICC) de las especies presentes en áreas urbanas (*H. frenatus*, *P. darwini* y *P. leei*).

Las especies *P. darwini* y *P. leei* se encontraron en las zonas naturales y la primera especie mostro valores de ICC mayores a la segunda con diferencias significativas ($F=39.28$; $df=1,9$; $p<0,01$, Figura 10.).

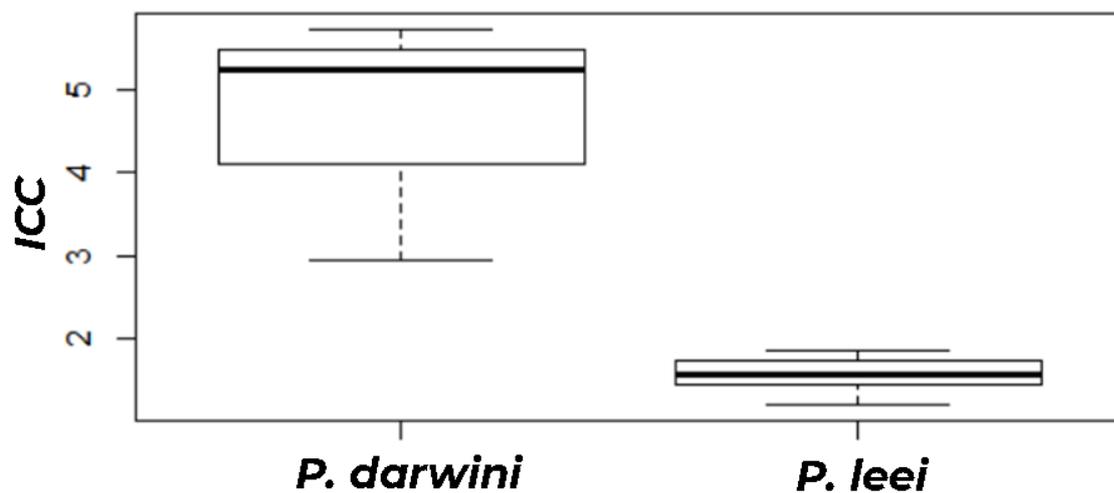


Figura 10. ICC de las especies presentes en áreas naturales. Índice de condición corporal (ICC) de las especies presentes en áreas naturales (*P. darwini* y *P. leei*).

Análisis de correlación entre temperatura del sustrato, temperatura ambiental y temperatura corporal

Solo se realizaron análisis de correlación entre temperatura corporal ($T^{\circ}\text{Corporal}$) y la temperatura del sustrato ($T^{\circ}\text{Sustrato}$) en las especies *P. leei* (n=17) y *P. darwini* (n=8) ya que no existieron suficientes datos para analizar esta relación en las demás especies (*H. frenatus*. n=4 y *L. lugubris* n=2). Encontré que hay correlación una positiva significativa entre $T^{\circ}\text{Corporal}$ y $T^{\circ}\text{Sustrato}$ en los individuos de *P. leei* ($T^{\circ}\text{Corporal}$ vs $T^{\circ}\text{Sustrato}$: $r=0.66$, $s=291.07$, $P<0.01$, Figura 11.). En el caso de la correlación entre las mismas variables en individuos de *P. darwini*, esta es positiva pero no significativa ($T^{\circ}\text{Corporal}$ vs $T^{\circ}\text{Sustrato}$: $r=0.34$, $s=54.82$, $P>0.01$, Figura 12.).

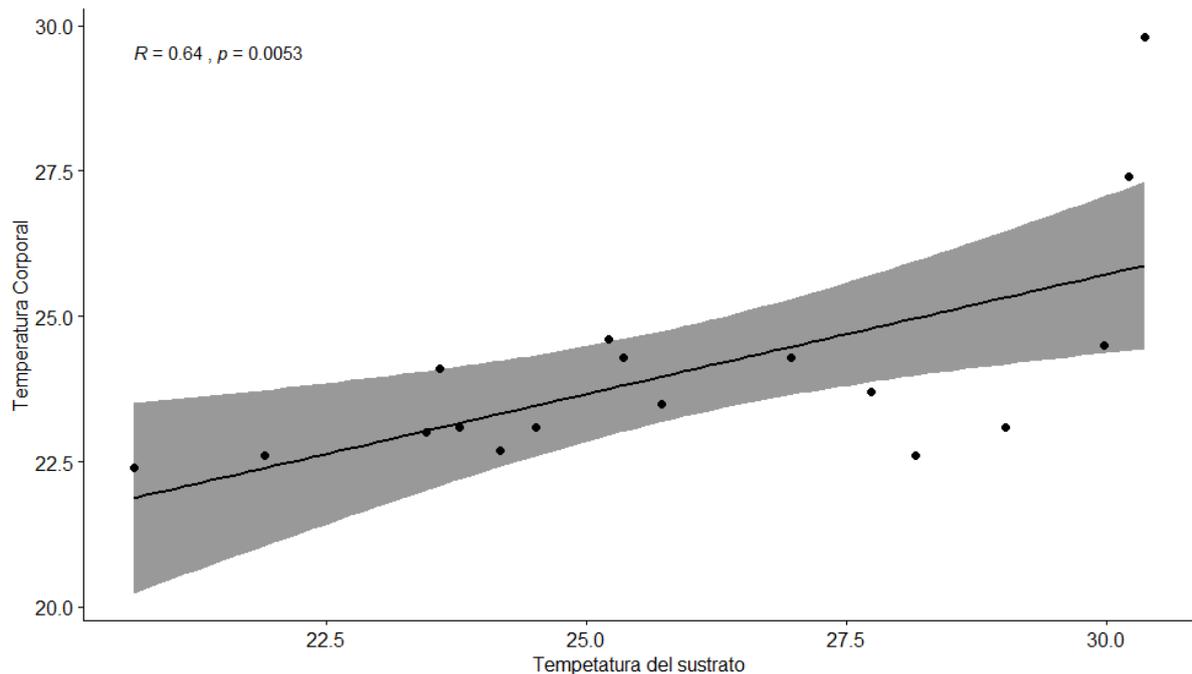


Figura 11. Correlación entre $T^{\circ}\text{Sustrato}$ y $T^{\circ}\text{Corporal}$ en individuos de *P. leei*. Correlación y línea de tendencia encontrada entre temperatura ambiental ($T^{\circ}\text{Sustrato}$) y temperatura corporal ($T^{\circ}\text{Corporal}$) en individuos de *P. leei*.

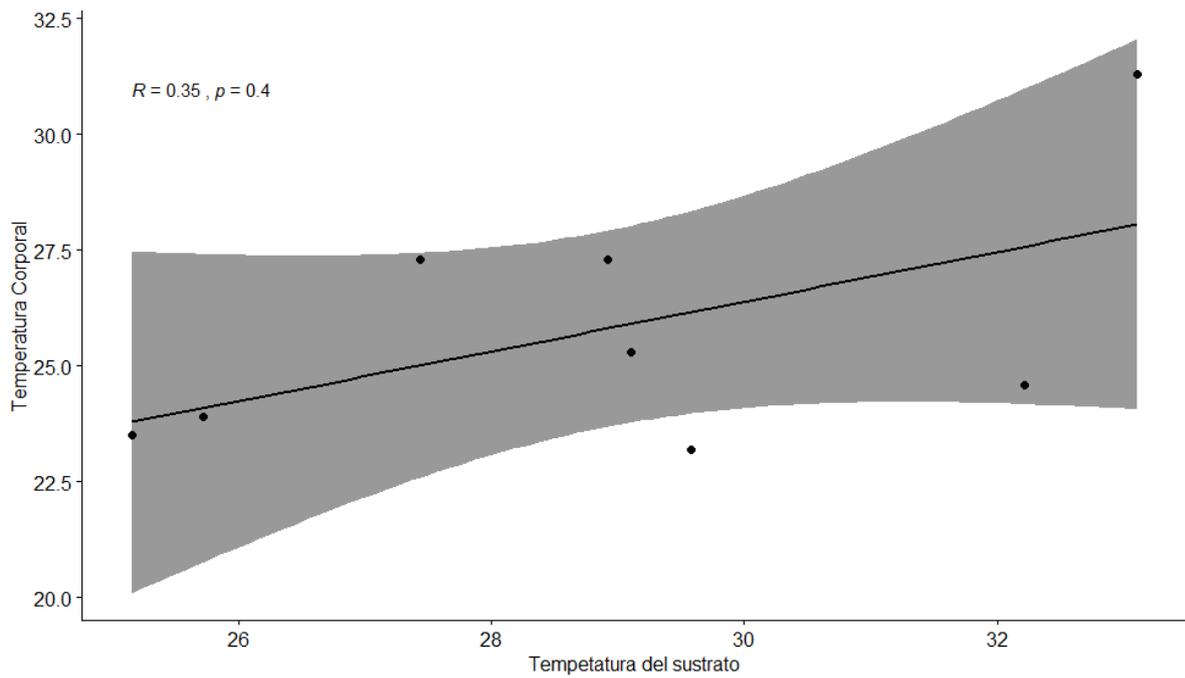


Figura 12. Correlación entre T°Sustrato y T°Corporal en individuos de *P. darwini*. Correlación y línea de tendencia encontrada entre temperatura ambiental (T°Sustrato) y temperatura corporal (T°Corporal) en individuos de *P. darwini*.

La correlación entre la temperatura corporal (T°Corporal) y temperatura ambiental (T°Ambiental) en los individuos de *P. leei* (T°Ambiental vs T°Corporal: $r=0.32$, $s=902.77$, $P>0.01$, Figura 13.) y *H. frenatus* es positiva pero no significativa (T°Ambiental vs T°Corporal: $r=0.21$, $s=17521$, $P>0.01$, Figura 14.). En el caso de individuos de *P. darwini* la correlación es negativa y no significativa (TA vs TC: $r=-0.009$, $s=459.53$, $P>0.01$, Figura 15).

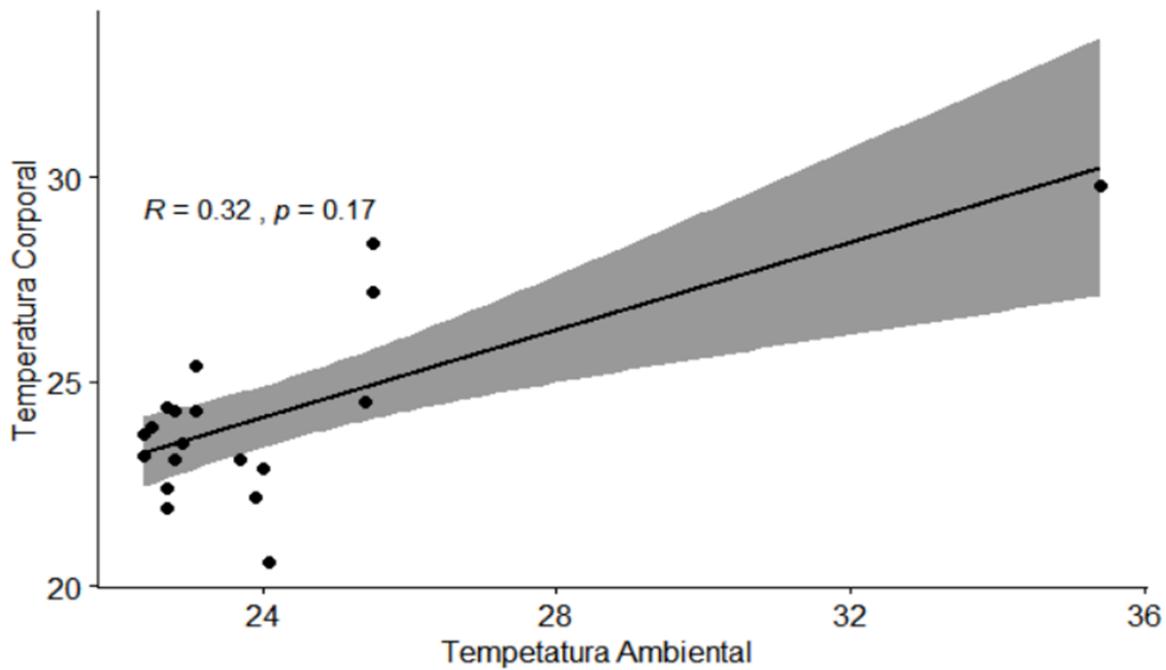


Figura 13. Correlación entre T°Ambiental y T°Corporal en individuos de *P. leei*. Correlación y línea de tendencia encontrada entre temperatura ambiental (T°Ambiental) y temperatura corporal (T°Corporal) en individuos de *P. leei*.

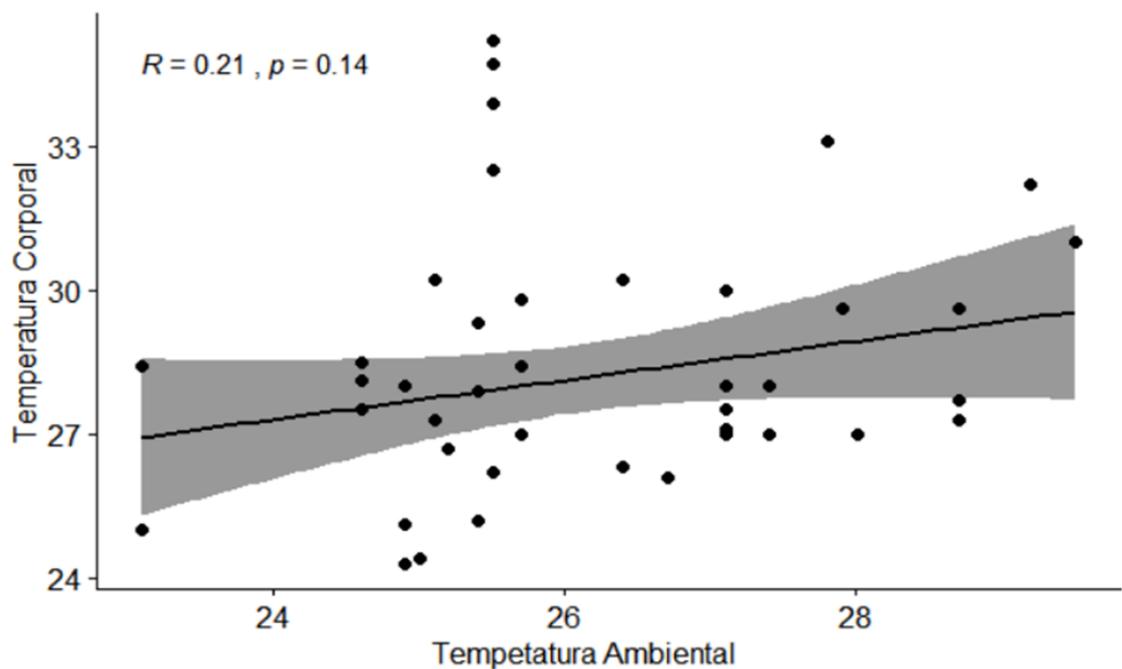


Figura 14. Correlación entre T°Ambiental y T°Corporal en individuos de *H. frenatus*. Correlación y línea de tendencia encontrada entre temperatura ambiental (T°Ambiental) y temperatura corporal (T°Corporal) en individuos de *H. frenatus*.

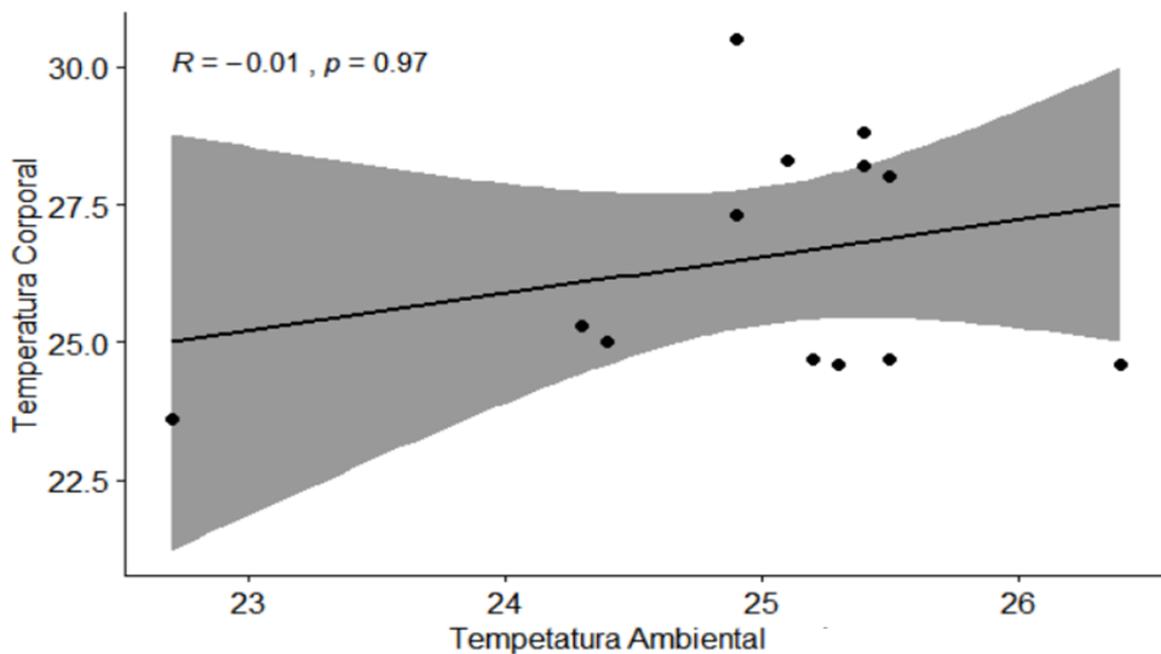


Figura 15. Correlación entre T°Ambiental y T°Corporal en individuos de *P. darwini*. Correlación y línea de tendencia encontrada entre temperatura ambiental (T°Ambiental) y temperatura corporal (T°Corporal) en individuos de *P. darwini*.

En el caso de la correlación entre la temperatura ambiental (T°Ambiental) y temperatura del sustrato (T°Sustrato) encontré que la correlación en los sustratos de bloque o cemento es positiva y significativa, (T°Ambiental vs T°Sustrato: $r=0.91$, $s=7.0788$, $P<0.01$) además que en estos sustratos encontramos individuos de las especies *H. frenatus*, *L. lugubris*, *P. darwini* y *P. leei* como se observa en la Figura 16.

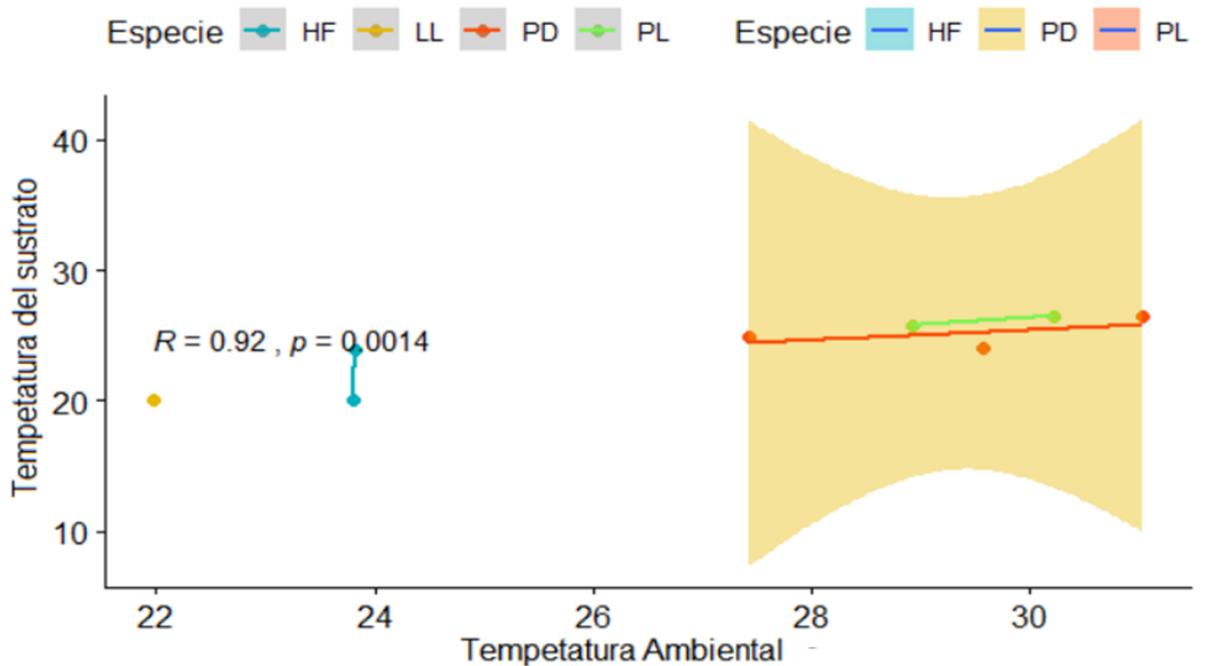


Figura 16. Correlación entre T°Ambiental y T°Sustrato en sustratos de bloque o cemento. Correlación y línea de tendencia encontrada entre temperatura ambiental (T°Ambiental) y temperatura del sustrato (T°Sustrato) en sustratos de bloque o cemento.

En los sustratos de roca la correlación también fue positiva y significativa (T°Ambiental vs T°Sustrato: $r=0.76$, $s=1164.9$, $P<0.01$) y se encontró es su mayoría individuos de las especies *P. darwini* y *P. leei* como se observa en la Figura 17. En los sustratos de empaste la correlación es negativa y no significativa (T°Ambiental vs T°Sustrato: $r=-0.33$, $s=381.5$, $P>0.01$), además los individuos de la especie *H. frenatus* son los que más se reportan como se observa en la Figura 18.

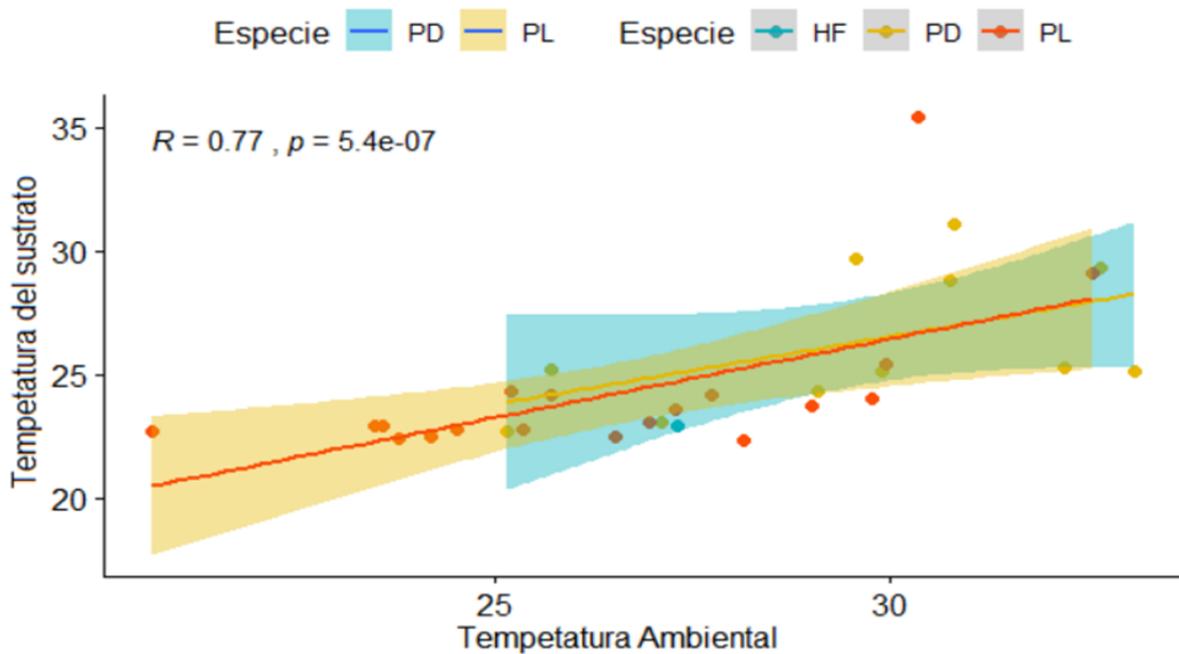


Figura 17. Correlación entre T°Ambiental y T°Sustrato en sustratos de roca. Correlación y línea de tendencia encontrada entre temperatura ambiental (T°Ambiental) y temperatura del sustrato (T°Sustrato) en sustratos de roca.

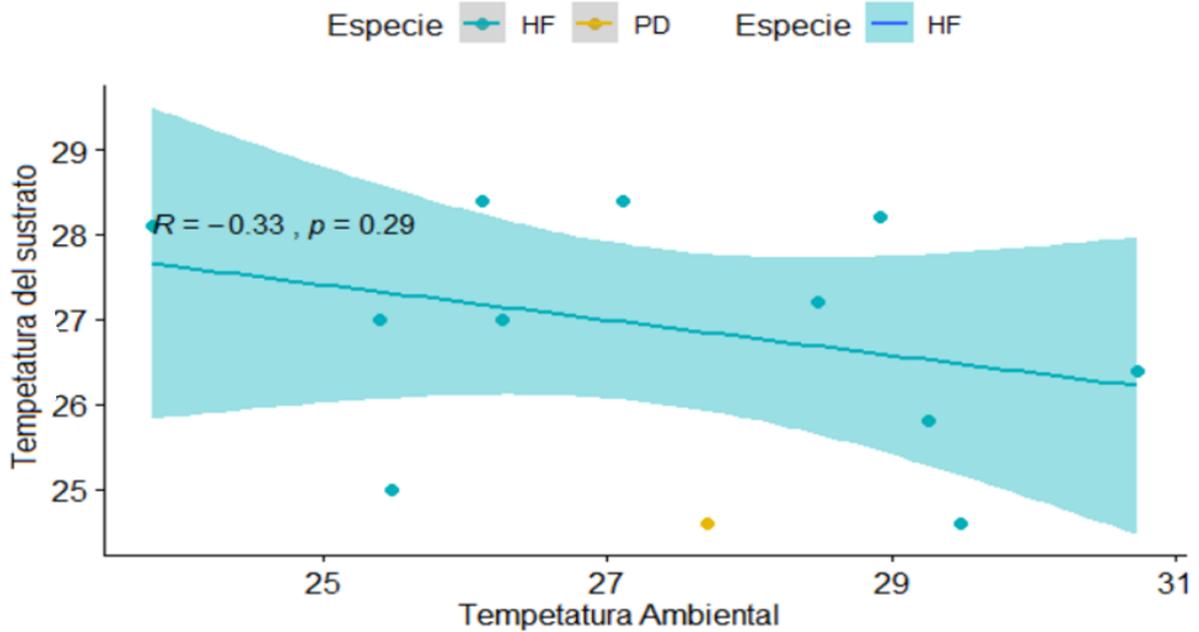


Figura 18. Correlación entre T°Ambiental y T°Sustrato en sustratos de empaste. Correlación y línea de tendencia encontrada entre temperatura ambiental (T°Ambiental) y temperatura del sustrato (T°Sustrato) en sustratos de empaste.

DISCUSIÓN

Implicaciones de las diferencias del ICC

Los valores de ICC altos y con gran varianza en los individuos de *P. darwini* nos indican que en general la condición corporal, su estado de salud y fitness es más alto que el de los individuos de las demás especies (Labocha et al., 2014; Peig & Green, 2010). La salud y el fitness fisiológico de los especímenes de *P. darwini* está ligado a los niveles de sus reservas energéticas. Las reservas energéticas en forma de lípidos muestran que los individuos de esta especie tienen éxito al alimentarse y asimilar nutrientes (Jakob et al., 1996). El éxito en el forrajeo implica que estos individuos se adaptan de buena manera a los diferentes ecosistemas en los que estos habitan (Barnett et al., 2015).

Especímenes de *H. frenatus* también muestran valores altos de ICC, pero en general individuos de esta especie presentan una gran varianza en sus valores de condición corporal que se sobrelapan con individuos de las demás especies. De esta manera existen individuos que tienen un gran estado de salud y fitness y también otros que presentan un estado fisiológico inferior. Este hecho está ligado a la plasticidad fenotípica propia de las poblaciones de esta especie (Lapwong et al., 2021; Ota, 1994). Con lo cual en las poblaciones de *H. frenatus* existen individuos que se adaptan de mejor manera a los ecosistemas (sobretudo urbanos) de San Cristóbal e individuos que se adaptan de forma inferior.

De igual manera individuos de las especies *L. lugubris* y *P. leei* tienen bajos valores de ICC, que nos indican que su estado de salud, fitness y reservas energéticas son bajos. La poca disponibilidad de reservas energéticas hace que los individuos sean más susceptibles a cambios en el ambiente (MacCracken & Stebbings, 2012). Por ejemplo, si el número de sus presas disminuye esto afecta en gran medida a organismos con un fitness bajo ya que no tienen reservas energéticas con las cuales sobrevivir a épocas de carencia alimenticia (Huey, 1982;

Labocha & Hayes, 2012). Los cambios en la temperatura del ambiente también influyen sobre el fitness de los geos (Jakob et al., 1996; Kleckova et al., 2014).

La fuerte correlación encontrada entre la T° Corporal y la T° Sustrato en la especie *P. leei* nos indica que la termorregulación en los individuos de esta especie se ve influenciada por la temperatura del sustrato. En el caso de *P. darwini* la correlación fue débil (a pesar de que no fue significativa), lo que sugiere que individuos de esta especie no se ven influenciados en gran medida por la temperatura del sustrato al termorregular. Las diferencias entre estas dos especies endémicas en cuanto a la relación entre la temperatura corporal y la del sustrato, puede ser explicada debido a la diferencia en tamaños en los individuos de las dos especies (Pincheira-Donoso & Meiri, 2013). Ya que se reporta que el tamaño del cuerpo en geos influye sobre los niveles de pérdida de calor en el cuerpo (Penniket & Cree, 2015).

La transferencia de calor desde un sustrato hacia el cuerpo de un geco se ve influenciada por el tipo de sustrato en el cual se encuentre el geco. Ya que dependiendo del tipo de sustrato las variables como emisividad y almacenamiento de calor variaran (Hawes et al., 1993). En los sustratos de roca encontramos una fuerte correlación entre la T° Sustrato y T° Ambiental, lo cual indica que la temperatura ambiental influye sobre la temperatura en sustratos de roca. Todo lo contrario, se reportó en los sustratos de empaste en donde la correlación es inversa y no significativa.

Las diferencias entre estos dos tipos de sustratos pueden explicarse debido a los sustratos de roca se conocen por su alta capacidad de almacenamiento de calor y sensibilidad a los cambios en temperatura ambiental. Por otro lado, los sustratos de empaste o yeso no presentan una alta capacidad de almacenamiento de calor y se ve influenciado por fuentes artificiales de calor y luz (focos incandescentes) (Hawes et al., 1993).

La correlación mas fuerte entre la T° Sustrato y T° Ambiental se encontró en los sustratos de bloque o cemento. Además, en esto sustratos encontramos individuos de las especies

introducidas *H. frenatus* y *L. lugubris* y de las especies endémicas *P. leei* y *P. darwini*. La presencia de las 4 especies en estos sustratos puede explicarse a que los sustratos de bloque o cemento se encuentran en su mayoría en la periferia de las zonas urbanas. La presencia de especies endémicas e introducidas en zonas de la periferia nos puede indicar que individuos de estas especies se encuentran compitiendo en estas zonas (Nicholson et al., 2015; Petren & Case, 1996).

Estudios anteriores en islas tropicales muestran que las especies introducidas de geos compiten por alimento y refugio con las especies endémicas (Cole et al., 2005; Hoskin, 2011; Lisicic et al., 2012; Nicholson et al., 2015; Petren & Case, 1996; Romero-Báez et al., 2020; Weterings & Vetter, 2018; Williams et al., 2016). La plasticidad y gran capacidad de adaptación a nuevos ambientes permiten que estas especies introducidas puedan competir y tener éxito con especies que han evolucionado para poder aprovechar al máximo los recursos del ambiente en el que viven (Lapwong et al., 2021; Ota, 1994). Es por esto que es muy posible que los individuos de la especie *H. frenatus* que presentan un mejor estado fisiológico se encuentren compitiendo con individuos de la especie *P. darwini* en zonas urbanas. Estudios en 2014 mostraban que la especie *Phyllodactylus palmeus* vivía en simpatria con *H. frenatus* en zonas urbanas de la isla Cayo Menor, Honduras (Nicholson et al., 2015). Pero reportes de 2019 en la isla Útila (ubicada aproximadamente a 44 km de distancia de la isla Cayo Menor), muestran que *P. palmeus* fue excluido de las áreas urbanas y ahora habita en su mayoría zonas naturales de la isla (Brown & Arrivillaga, 2019). Esto podría suceder con *P. darwini* en San Cristóbal ya que de igual manera que *P. palmeus* en Honduras, esta especie es mas grande que *H. frenatus* y convive en simpatria en las áreas urbanas con esta especie.

En muchos otros casos la introducción y competencia de *H. frenatus* con otras especies de geos ya sean endémicas o introducidas ha generado el declive de las poblaciones de estas especies (Bolger & Case, 1992; S. Brown et al., 2002; T. W. Brown & Arrivillaga, 2019;

Coates et al., 2017; Garner et al., 2020; Niewiarowski et al., 2012; Nordberg, 2019; Zozaya et al., 2015). Primero se registra que las poblaciones de *H. frenatus* se establecen en áreas urbanas, en donde son muy exitosos desplazando a las especies presentes en estas áreas y luego se dispersan a las áreas naturales (Bolger & Case, 1992; S. Brown et al., 2002; T. W. Brown & Arrivillaga, 2019; Garner et al., 2020; Niewiarowski et al., 2012; Zozaya et al., 2015). Llegando a causar extinciones locales como en el caso de las islas Mauricio, en donde 4 especies del género *Nactus* desaparecieron de ciertas áreas naturales debido a la competencia con *H. frenatus* (Cole et al., 2005).

CONCLUSIONES

En la isla de San Cristóbal las poblaciones de *H. frenatus* se encuentran restringidas a las zonas urbanas, pero en 2019 se encontró un juvenil de esta especie con un morfotipo muy particular en la playa de Lobería (patrón de colores en la piel muy parecido a *P. leei*). Este hecho en conjunto con la evidencia mostrada en este estudio nos permite pensar que esta especie en un futuro cercano puede propagarse a las zonas naturales. Causando problemas por competencia en alimentos y espacio a las especies endémicas de la isla.

Si bien el primer registro de *H. frenatus* en el archipiélago fue en 2011 en la isla Isabela, hoy en día se puede encontrar a esta especie en las islas de Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela. Lo cual indica la propagación de esta especie entre las islas que tienen zonas urbanas considerables. Con lo cual el salto de esta especie a las zonas naturales no solo afectaría a las especies endémicas de San Cristóbal, sino que afectaría a las 11 especies de geos endémicas reportadas en las Galápagos.

De las 11 especies de geos endémicas presentes en las Galápagos, 8 de estas están casi amenazadas, 2 son vulnerables y 1 se encuentra en peligro según criterios de la UICN. En algunos casos las poblaciones de las diferentes especies están restringidas a ciertas áreas naturales. En caso de que algunas especies introducidas como *H. frenatus* lleguen a estas zonas naturales y generen problemas de competencia con las especies endémicas, la afectación a estas sería muy grande.

SUGERENCIAS

Es por esto que a futuro si bien se deben seguir con los monitoreos de las poblaciones de geocos presentes en la isla. Se deben realizar más estudios que nos ayuden a conocer la ecofisiología de las diferentes especies y entender si existe un solapamiento en dieta, rango óptimo de temperatura corporal y uso de refugios diurnos, entre otros. Esto ayuda a comprender como las especies introducidas desplazan a las endémicas.

También es muy deseable que los controles biológicos para evitar introducciones incidentales en las islas Galápagos tengan protocolos de búsqueda de geocos en los enseres que entran desde el continente en el archipiélago. No solo para evitar que más individuos de las especies introducidas presentes ya en el archipiélago ingresen, sino también para evitar una posible introducción de otras especies como *H. garnotii* y *H. mabouia*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angilletta, M. J., Montgomery, L. G., & Werner, Y. L. (1999). Temperature Preference in Geckos: Diel Variation in Juveniles and Adults. *Herpetologica*, 55(2), 212–222.
- Ariew, A., & Lewontin, R. C. (2004). The Confusions of Fitness. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 55(2), 347–363.
- Barnett, C. A., Suzuki, T. N., Sakaluk, S. K., & Thompson, C. F. (2015). Mass-based condition measures and their relationship with fitness: In what condition is condition? *Journal of Zoology*, 296(1), 1–5. <https://doi.org/10.1111/jzo.12213>

- Barnett, L. K., Phillips, B. L., & Hoskin, C. J. (2017). Going feral: Time and propagule pressure determine range expansion of Asian house geckos into natural environments. *Austral Ecology*, 42(2), 165–175. <https://doi.org/10.1111/aec.12416>
- Blackburn, T. M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J. T., Duncan, R. P., Jarošík, V., Wilson, J. R. U., & Richardson, D. M. (2011). A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(7), 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.023>
- Blouin-Demers, G., Weatherhead, P. J., & McCracken, H. A. (2003). A test of the thermal coadaptation hypothesis with black rat snakes (*Elaphe obsoleta*) and northern water snakes (*Nerodia sipedon*). *Journal of Thermal Biology*, 28(4), 331–340.
- Bolger, D. T., & Case, T. J. (1992). Intra- and interspecific interference behaviour among sexual and asexual geckos. *Animal Behaviour*, 44(1), 21–30.
- Bolger, D. T., & Case, T. J. (1994). Divergent ecology of sympatric clones of the asexual gecko, *Lepidodactylus lugubris*. *Oecologia*, 100(4), 397–405.
- Brown, S., Ishii-Thoene, D., Lebrun, R., & Yamasaki, J. (2002). Indirect competition between a resident unisexual and an invading bisexual gecko. *Behaviour*, 139(9), 1161–1173.
- Brown, T. W., & Arrivillaga, C. (2019). Notes on *Phyllodactylus palmeus* (Squamata; Gekkonidae), and a case of diurnal refuge co-inhabitancy with *Centruroides gracilis* (Scorpiones: Buthidae) on Utila Island, Honduras. *Captive and Field Herpetology*, 3, 29–33.
- Bustard, H. R. (1967). Activity cycle and thermoregulation in the Australian gecko *Gehyra variegata*. *Copeia*, 753–758.
- Bustard, H. R. (1968). Temperature dependent activity in the Australian gecko *Diplodactylus vittatus*. *Copeia*, 606–612.
- Carvajal-Campos, A., & Torres-Carvajal, O. (2012). *Gonatodes caudiscutatus* (Günther, 1859) (Squamata: Sphaerodactylidae): distribution extension in Ecuador. *Check List*, 8, 525.

- Coates, A., Barnett, L. K., Hoskin, C., & Phillips, B. L. (2017). Living on the edge: Parasite prevalence changes dramatically across a range edge in an invasive gecko. *The American Naturalist*, *189*(2), 178–183.
- Cole, N. C., Jones, C. G., & Harris, S. (2005). The need for enemy-free space: The impact of an invasive gecko on island endemics. *Biological Conservation*, *125*(4), 467–474.
- Colinvaux, P. A., & Schofield, E. K. (1976). Historical Ecology in the Galapagos Islands: I. A Holocene Pollen Record from El Junco Lake, Isla San Cristobal. *Journal of Ecology*, *64*(3), 989–1012. <https://doi.org/10.2307/2258820>
- de Galápagos, F. del T. H., Mendieta, M., para Galápagos, M. S., & Peñafiel, A. (2015). *CONSEJO DE GOBIERNO DEL RÉGIMEN ESPECIAL DE GALÁPAGOS*.
- Dye, T., & Steadman, D. W. (1990). Polynesian Ancestors and Their Animal World. *American Scientist*, *78*(3), 207–215.
- Fricker, H. W. (1991). High-temperature heat storage using natural rock. *Solar Energy Materials*, *24*(1), 249–254. [https://doi.org/10.1016/0165-1633\(91\)90065-S](https://doi.org/10.1016/0165-1633(91)90065-S)
- Garner, A. M., Pamfilie, A. M., Hamad, E. J., Kindig, R., Taylor, J. T., Unsworth, C. K., & Niewiarowski, P. H. (2020). Home-field advantage: Native gecko exhibits improved exertion capacity and locomotor ability in structurally complex environments relative to its invasive counterpart. *Frontiers in Zoology*, *17*(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s12983-020-00368-8>
- Geist, D. J., McBIRNEY, A. R., & Duncan, R. A. (1986). Geology and petrogenesis of lavas from San Cristobal Island, Galapagos archipelago. *Geological Society of America Bulletin*, *97*(5), 555–566.
- Gil, M. J., GUERRERO, F., & PEREZ-MELLADO, V. (1994). Diel variation in preferred body temperatures of the Moorish gecko *Tarentola mauritanica* during summer. *Herpetological journal*, *4*(2), 56–59.

- Hawes, D. W., Feldman, D., & Banu, D. (1993). Latent heat storage in building materials. *Energy and Buildings*, 20(1), 77–86. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(93\)90040-2](https://doi.org/10.1016/0378-7788(93)90040-2)
- Hoogmoed, M. S. (1989). Introduced geckos in Puerto Ayora, Santa Cruz, with remarks on other areas. *Noticias de Galápagos*, 47, 12–16.
- Hoskin, C. J. (2011). The invasion and potential impact of the Asian House Gecko (*Hemidactylus frenatus*) in Australia. *Austral Ecology*, 36(3), 240–251.
- Hottel, H. C. (1989). Fifty years of solar energy research supported by the Cabot Fund. *Solar energy*, 43(2), 107–128.
- Huey, R. B. (1982). Temperature, physiology, and the ecology of reptiles. *Biology of the Reptilia*.
- Huey, R. B., & Slatkin, M. (1976). Cost and benefits of lizard thermoregulation. *The Quarterly review of biology*, 51(3), 363–384.
- Izurieta, A. (2014). *Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir*.
- Jakob, E. M., Marshall, S. D., & Uetz, G. W. (1996). Estimating Fitness: A Comparison of Body Condition Indices. *Oikos*, 77(1), 61–67. <https://doi.org/10.2307/3545585>
- John-Alder, H. B., & Bennett, A. F. (1981). Thermal dependence of endurance and locomotory energetics in a lizard. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 241(5), R342–R349.
- Kleckova, I., Konvicka, M., & Klecka, J. (2014). Thermoregulation and microhabitat use in mountain butterflies of the genus *Erebia*: Importance of fine-scale habitat heterogeneity. *Journal of Thermal Biology*, 41, 50–58.
- Labocha, M. K., & Hayes, J. P. (2012). Morphometric indices of body condition in birds: A review. *Journal of Ornithology*, 153(1), 1–22.
- Labocha, M. K., Schutz, H., & Hayes, J. P. (2014). Which body condition index is best? *Oikos*, 123(1), 111–119.

- Lapwong, Y., Dejtardol, A., & Webb, J. K. (2021). Shifts in thermal tolerance of the invasive Asian house gecko (*Hemidactylus frenatus*) across native and introduced ranges. *Biological Invasions*, 23(4), 989–996. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02441-z>
- Light, P., Dawson, W. R., Shoemaker, V. H., & Main, A. R. (1966). Observations on the thermal relations of western Australian lizards. *Copeia*, 97–110.
- Lisicic, D., Drakulić, S., Herrel, A., Đikić, D., Benkovic, V., & Tadic, Z. (2012). Effect of competition on habitat utilization in two temperate climate gecko species. *Ecological Research*, 27. <https://doi.org/10.1007/s11284-011-0921-5>
- López Andrade, J. E., & Quiroga Ferri, D. (2019). The Galapagos Urban Context. En T. Kvan & J. Karakiewicz (Eds.), *Urban Galapagos: Transition to Sustainability in Complex Adaptive Systems* (pp. 9–22). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99534-2_2
- MacCracken, J. G., & Stebbings, J. L. (2012). Test of a body condition index with amphibians. *Journal of Herpetology*, 46(3), 346–350.
- Marcellini, D. L. (1976). Some aspects of the thermal ecology of the gecko *Hemidactylus frenatus*. *Herpetologica*, 341–345.
- Martínez-Gómez, M., Lucio, R. A., & Rodríguez, J. (2014). *Biología del Comportamiento: Aportaciones desde la Fisiología*. Tlaxcala: Grupo Académico.
- McCoid, M. J. (1999). Established exotic reptiles and amphibians of the Mariana Islands. *Problem snake management: The habu and the brown treesnake*. Cornell University Press, Ithaca, New York, 453–459.
- Mitchell, J. W. (1976). Heat transfer from spheres and other animal forms. *Biophysical Journal*, 16(6), 561–569.

- Muller, B. J., Andrews, R. M., Schwarzkopf, L., & Pike, D. A. (2020). Social context alters retreat- and nest-site selection in a globally invasive gecko, *Hemidactylus frenatus*. *Biological Journal of the Linnean Society*, *129*(2), 388–397.
- Nicholson, D. J., Hassall, C., & Frazier, J. A. (2015). Comparison of a native and a non-native insular reptile species. *Journal of Tropical Ecology*, *31*(6), 563–566.
- Niewiarowski, P. H., Stark, A., McClung, B., Chambers, B., & Sullivan, T. (2012). Faster but Not Stickier: Invasive House Geckos Can Out-Sprint Resident Mournful Geckos in Moorea, French Polynesia. *Journal of Herpetology*, *46*(2), 194–197.
- Nordberg, E. J. (2019). Potential impacts of intraguild predation by invasive Asian house geckos. *Austral Ecology*, *44*(8), 1487–1489.
- Nordlie, B. E. (1973). Morphology and structure of the western Galapagos volcanoes and a model for their origin. *Geological Society of America Bulletin*, *84*(9), 2931–2956.
- Olmedo, J., & Cayot, L. J. (1994). Gecos introducidos en los pueblos de Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela. *Noticias de Galápagos*, *51*, 15–20.
- Ota, H. (1994). Female reproductive cycles in the northernmost populations of the two gekkonid lizards, *Hemidactylus frenatus* and *Lepidodactylus lugubris*. *Ecological Research*, *9*(2), 121–130.
- Peig, J., & Green, A. J. (2009). New perspectives for estimating body condition from mass/length data: The scaled mass index as an alternative method. *Oikos*, *118*(12), 1883–1891.
- Peig, J., & Green, A. J. (2010). The paradigm of body condition: A critical reappraisal of current methods based on mass and length. *Functional Ecology*, *24*(6), 1323–1332.
- Penniket, S., & Cree, A. (2015). Adherence to Bergmann's rule by lizards may depend on thermoregulatory mode: Support from a nocturnal gecko. *Oecologia*, *178*(2), 427–440.
<https://doi.org/10.1007/s00442-015-3239-0>

- Petren, K., & Case, T. J. (1996). An experimental demonstration of exploitation competition in an ongoing invasion. *Ecology*, 77(1), 118–132.
- Pincheira-Donoso, D., & Meiri, S. (2013). An Intercontinental Analysis of Climate-Driven Body Size Clines in Reptiles: No Support for Patterns, No Signals of Processes. *Evolutionary Biology*, 40(4), 562–578. <https://doi.org/10.1007/s11692-013-9232-9>
- Ramos, S. (2019). *Morfología comparada y ecología de las comunidades de geos en la isla San Cristóbal, Galápagos y el continente ecuatoriano*. Universidad San Francisco de Quito.
- Rivas-Torres, G. F., Benítez, F. L., Rueda, D., Sevilla, C., & Mena, C. F. (2018). A methodology for mapping native and invasive vegetation coverage in archipelagos: An example from the Galápagos Islands. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 42(1), 83–111. <https://doi.org/10.1177/0309133317752278>
- Rock, J., Andrews, R. M., & Cree, A. (2000). Effects of reproductive condition, season, and site on selected temperatures of a viviparous gecko. *Physiological and biochemical zoology*, 73(3), 344–355.
- Romero-Báez, Ó., Santos-Bibiano, R., Domínguez-Godoy, M. A., Miles, D. B., & Muñoz-Nolasco, F. J. (2020). Thermal ecophysiology of a native and an invasive gecko species in a tropical dry forest of Mexico. *Journal of Thermal Biology*, 90, 102607.
- Rowe, L., & Houle, D. (1996). The Lek Paradox and the Capture of Genetic Variance by Condition Dependent Traits. *Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 263, 1415–1421.
- Sievert, L. M., & Hutchison, V. H. (1988). Light versus heat: Thermoregulatory behavior in a nocturnal lizard (Gekko gecko). *Herpetologica*, 266–273.
- Sonnenholzner, J., Brandt, M., Francisco, V., Hearn, A., Luzuriaga, M., Guarderas, P., & Navarro, J. (2012). *Echinoderm Research and Diversity in Latin America* (pp. 183–234). https://doi.org/10.1007/978-3-642-20051-9_6

- Speakman, J. R. (2001). *Body composition analysis of animals: A handbook of non-destructive methods*. Cambridge University Press.
- Stevenson, R. D., & Woods, W. A., Jr. (2006). Condition indices for conservation: New uses for evolving tools. *Integrative and Comparative Biology*, 46(6), 1169–1190. <https://doi.org/10.1093/icb/icl052>
- Torres, O. (2011). Los colonos ocultos de las Islas Encantadas. *Letras Verdes*, 8, 21–24.
- Torres-Carvajal, O., Barnes, C. W., Pozo-Andrade, M. J., Tapia, W., & Nicholls, G. (2014). Older than the islands: Origin and diversification of Galápagos leaf-toed geckos (Phyllodactylidae: Phyllodactylus) by multiple colonizations. *Journal of Biogeography*, 41(10), 1883–1894.
- Torres-Carvajal, O., & Carvajal-Campos, A. (2011). First record of the common house gecko *Hemidactylus frenatus* Schlegel, 1836 and distribution extension of *Phyllodactylus reissii* Peters, 1862 in the Galápagos. *Check List*, 7, 470.
- Trueman, M., & d'Ozouville, N. (2010). Characterizing the Galapagos terrestrial climate in the face of global climate change. *Galapagos Research*, 67, 26–37.
- Weeks, D. M., & Espinoza, R. E. (2013). Lizards on ice: Comparative thermal tolerances of the world's southernmost gecko. *Journal of Thermal Biology*, 38(5), 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2013.02.005>
- Weterings, R., & Vetter, K. C. (2018). Invasive house geckos (*Hemidactylus* spp.): Their current, potential and future distribution. *Current zoology*, 64(5), 559–573.
- Wilder, S. M., Raubenheimer, D., & Simpson, S. J. (2016). Moving beyond body condition indices as an estimate of fitness in ecological and evolutionary studies. *Functional Ecology*, 30(1), 108–115.
- Williams, R., Pernetta, A. P., & Horrocks, J. A. (2016). Outcompeted by an invader? Interference and exploitative competition between tropical house gecko (*Hemidactylus mabouia*) and

Barbados leaf-toed gecko (*Phyllodactylus pulcher*) for diurnal refuges in anthropogenic coastal habitats. *Integrative zoology*, *11*(3), 229–238.

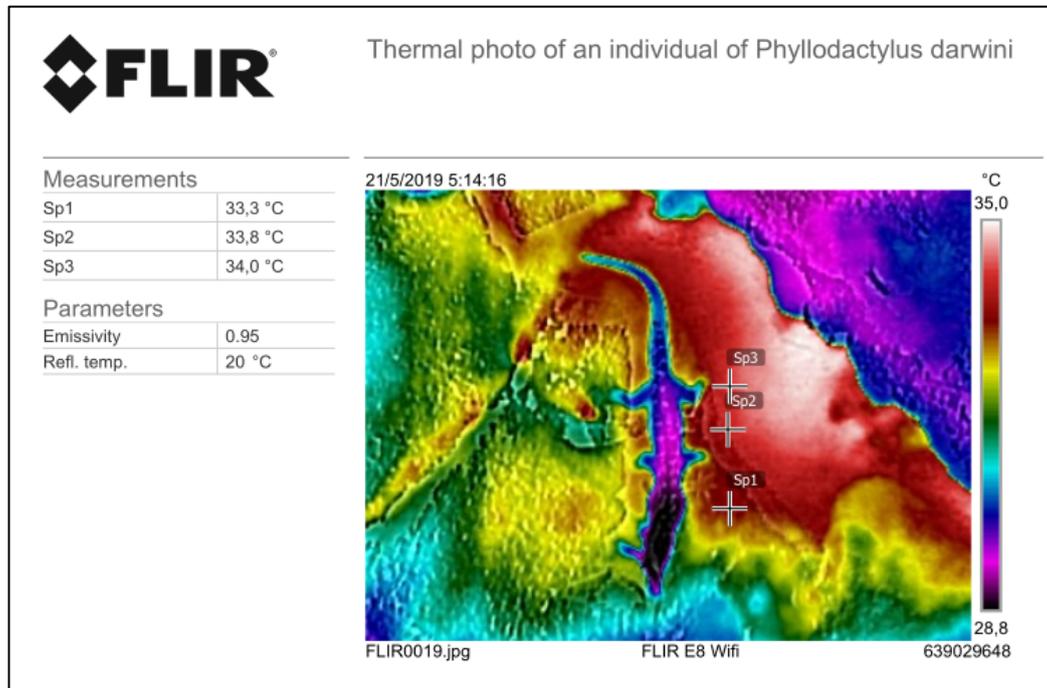
Zozaya, S. M., Alford, R. A., & Schwarzkopf, L. (2015). Invasive house geckos are more willing to use artificial lights than are native geckos. *Austral ecology*, *40*(8), 982–987.

ANEXO A: ESPECIES REPORTADAS EN SAN CRISTÓBAL

Zona	Especies introducidas	Especies endémicas
Puerto Baquerizo Moreno	<i>Hemidactylus frenatus</i> <i>Lepidodactylus lugubris</i> <i>Gonatodes caudiscutatus</i> <i>Phyllodactylu reissii</i>	<i>Phyllodactylus darwini</i>
El progreso	<i>Hemidactylus frenatus</i> <i>Lepidodactylus lugubris</i> <i>Gonatodes caudiscutatus</i>	N.A.
Carola	N.A.	<i>Phyllodactylus darwini</i> <i>Phyllodactylus leei</i>
Tijeretas	N.A.	<i>Phyllodactylus darwini</i> <i>Phyllodactylus leei</i>
Lobería	N.A.	<i>Phyllodactylus darwini</i> <i>Phyllodactylus leei</i>
Opuntias	<i>Gonatodes caudiscutatus</i>	<i>Phyllodactylus darwini</i> <i>Phyllodactylus leei</i>
La Tranquila	<i>Gonatodes caudiscutatus</i>	N.A.

En la tabla se muestran las especies de geos endémicas e introducidas reportadas en la literatura y años anteriores en las diferentes zonas de muestreo.

ANEXO B: REPORTE TÉRMICO



En la imagen se observa un reporte de imagen térmica de un individuo de *Phyllodactylus darwini* del programa FLIR Tools versión 5.13.18031.2002.