

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Morfología comparada y ecología de las comunidades de
gecos en la isla San Cristóbal, Galápagos y el continente
ecuatoriano.**

Sebastián Alejandro Ramos Rojas

Licenciatura en Biología

Trabajo de integración curricular presentado como requisito
para la obtención del título de
Licenciado en Biología

Quito, 17 de diciembre de 2019

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AMBIENTALES

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Morfología comparada y ecología de las comunidades de geos en la isla
San Cristóbal, Galápagos y el continente ecuatoriano.

Sebastián Alejandro Ramos Rojas

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Diego Cisneros – Heredia , Ph.D.

Firma del profesor:

Nombre del profesor, Título académico

Carolina Reyes – Puig , MSc.

Firma del profesor:

Quito, 17 de diciembre de 2019

Derechos de Autor

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

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

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Sebastián Alejandro Ramos Rojas

Código: 00131273

Cédula de identidad: 1722443247

Lugar y fecha: Quito, 17 de diciembre de 2019

RESUMEN

Las islas Galápagos es una de las regiones geográficas más estudiadas del mundo. A pesar de esto, existen animales con escasa información, como es el caso de los geos. Este estudio pretende entender la dinámica poblacional de los geos endémicos e introducidos desde una perspectiva morfológica y ecológica. El área de estudio se restringe a San Cristóbal, Galápagos y los puertos principales de la costa ecuatoriana. Los muestreos fueron realizados entre junio y agosto del 2018 y 2019. En base a una metodología estandarizada, el área de estudio fue dividida en parcelas para zonas urbanas y transectos para zonas naturales y agrícolas. Donde fueron tomados datos de ecología, morfológica y peso.

Registramos en San Cristóbal seis especies de geos, dos de ellos endémicos (*Phyllodactylus darwini*, *Phyllodactylus leei*). De los geos introducidos registrados, dos son especies nativas de la región costa del continente (i.e. *Phyllodactylus reissii*, *Gonatodes caudiscutatus*) y dos introducidas originarias de Asia, estas especies han sido exitosas en su introducción a nichos urbanos, considerándose un problema de conservación (i.e. *Hemidactylus frenatus*, *Lepidodactylus lugubris*).

Especies introducidas como *Hemidactylus frenatus* y *Gonatodes caudiscutatus* son las más abundantes y están asociadas a zonas con impacto antropogénico, como áreas urbanas y agrícolas. Si este tipo de actividades aumentarían, las especies introducidas podrían aumentar también. Mientras que las especies endémicas tienen una menor abundancia y están limitadas a zonas naturales, aunque también pueden estar en áreas urbanas en menor proporción. La especie endémica *Phyllodactylus darwini* es la de mayor tamaño corporal y peso en comparación a las otras especies. Usando análisis multivariado determinamos que las especies endémicas se agrupan por su morfológica y peso. En la región continental, documentamos ausencia de la especie nativa y una gran abundancia de la especie introducida *H. frenatus*. Al comparar las poblaciones de *H. frenatus* de San Cristóbal con las del continente, no encontramos diferencias morfológicas. Por lo que la especie podría presentar una alta plasticidad y posibles introducciones constantes.

Palabras clave: Geos, endemismo, morfológica y ecología comparada, plasticidad, impacto antropogénico, introducción constante.

ABSTRACT

Despite Galapagos Archipelago is one of the most studied geographical regions in the world, still there are animals with scarce information, this is the case for geckos. This study aims to understand the population dynamics of endemic and introduced geckos from a morphological and ecological perspective. The study area was restricted to San Cristóbal Island, Galapagos and the main ports of the Ecuadorian coast. Sampling was carried out between June and August of 2018 and 2019. Based on a standardized methodology, the study area was divided into plots for urban areas and transects for natural and agricultural areas; ecological, morphological and weight data were measured.

We recorded six species of geckos in San Cristóbal, among them *Phyllodactylus darwini* and *Phyllodactylus leei* are endemic to the islands. The remaining four other gecko species are registered as introduced: i.e. *Phyllodactylus reissii* and *Gonatodes caudiscutatus* are native species of Ecuadorian mainland coast, while i.e. *Hemidactylus frenatus* and *Lepidodactylus lugubris* came from Asia, which have been successful in their introduction to urban niches, leading to be considered as a conservation problem.

Introduced species such as *Hemidactylus frenatus* and *Gonatodes caudiscutatus* were the most abundant taxa and were also associated to areas with anthropogenic impact, such as urban and agricultural zones. As a consequence, if these types of activities would increase, the population of introduced species could also rise. Endemic species had lower abundance and were restricted to natural areas, although they may also be in urban zones in small proportions. The endemic species, *Phyllodactylus darwini* had the largest body size and weight compared to the other species. Using multivariate analysis we determine that endemic species were grouped by morphology and weight. In the continental region, we registered the absence of the native species and a great abundance of the introduced species *H. frenatus*. When comparing the populations of *H. frenatus* of San Cristóbal with those of the continent, we found no morphological differences, which could show high plasticity of the species and possible constant introductions.

Keywords: Geckos, endemism, morphology and comparative ecology, plasticity, anthropogenic impact, constant introduction.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	7
Metodología.....	10
Resultados.....	21
Discusión.....	26
Agradecimientos.....	30
Referencias bibliográficas.....	31
Anexos.....	34
Anexo A. Climograma de San Cristóbal.....	34
Anexo B. Mapa del área de estudio.....	35
Anexo C. Mapa de ecosistemas de San Cristóbal y distribución de zonas de estudio...	38
Anexo D. Metodología base.....	39
Anexo E. Mapa de áreas urbanas.....	40
Anexo F. Toma de datos en medidas morfológicas.....	41
Anexo G. Medias de longitud hocico cloaca de las especies.....	42
Anexo H. Peso en gramos de las especies.....	43
Anexo I. PCA de morfología, peso y temperatura corporal.....	44
Anexo J. PCA de especies.....	45
Anexo K. Frecuencias y abundancias en continente.....	46
Anexo L. Clave taxonómica para geckos de San Cristóbal.....	47
Anexo M. Etograma.....	48
Anexo N. Coordenadas de los transectos.....	49
Anexo O. Índice de esfuerzo de muestreo en hora persona.....	50
Anexo P. Descripción de sustratos.....	51
Anexo Q. Regresiones lineales, incremento de peso por longitud hocico cloaca.....	52
Anexo R. Frecuencias y abundancias de las especies.....	53
Anexo S. Correlaciones de hábitats secos.....	54
Anexo T. Correlaciones de microhábitats secos.....	55
Anexo U. Correlaciones de habitas húmedos.....	56
Anexo V. Correlaciones de microhábitat de ecosistema húmedo.....	57
Anexo X. Temperatura corporal de especies.....	58

INTRODUCCIÓN

Las invasiones biológicas afectan dramáticamente a la distribución, abundancia y reproducción de muchas especies nativas, produciendo cambios estructurales en la ecología y dinámica poblacional tanto de las especies nativas como introducidas. Una especie exótica puede volverse invasiva cuando se naturaliza, es decir, se vuelve numérica y ecológicamente prominente, y a menudo son capaces de dominar las poblaciones y comunidades nativas. Existen muchos factores que influyen en la naturalización de especies exóticas, uno de los más importantes son las adaptaciones morfológicas y ecológicas que sufren las especies, dichas adaptaciones pueden cambiar su fisiología haciendo que las especies sean más competitivas (Strauss, Lau & Carroll, 2006). Otro de los factores que ayuda a que se establezca una población introducida son las facilitaciones por parte de especies nativas o introducidas previamente (Rodríguez, 2006). También los nichos vacantes, si un ecosistema tiene muchos nichos desocupados podría ser susceptible a especies invasivas, las cuales podrían causar un efecto (Herbold & Moyle, 1986).

Las especies invasoras son parte de las redes ecológicas como depredadores, patógenos, parásitos, competidores de espacio y recursos y como asociaciones simbióticas. Debido a estos efectos ecológicos, pueden influir en cambios morfológico y ecológicos en las poblaciones nativas, sobre todo si se relaciona al aprovechamiento de recursos. Muchas veces estos cambios no son visibles rápidamente, ya que se necesita tiempo para que las poblaciones introducidas se establezcan y tengan un efecto en las poblaciones nativas (Strauss, Lau & Carroll, 2006).

Las islas son particularmente susceptibles a las especies introducidas, sobre todo porque al estar aisladas tienen muchas especies endémicas. Además, están regidas bajo las tasas de migración y extinción, si no hay nichos libres las especies introducidas entran en

competencia directa con las poblaciones nativas de las islas y esto puede generar disminuciones poblacionales o extinciones (MacArthur & Wilson, 2001).

Galápagos es una de las islas más preservadas del mundo, donde muchas de las especies que viven ahí son endémicas, como el caso de los geos. Estudios de filogenia indican que la primera colonización de geos en Galápagos se da hace 13 millones de años (ma), dando origen al género *Phyllodactylus*. En San Cristóbal existen dos especies endémicas de geos, *Phyllodactylus darwini* y *Phyllodactylus leei* (Torres-Carvajal, Rodríguez-Guerra y Chavez, 2016).

Hemidactylus frenatus es un geco asiático que ha sido introducido a San Cristóbal (Torres-Carvajal & Carvajal-Campos, 2011). Sabemos que tiene una capacidad de dispersión e invasión enorme la cual esta facilitada por su relación con áreas urbanas. Como en el caso de Australia donde en pocos años colonizó todas las áreas de urbanas y naturales (Hoskin, 2011). Se cree que para los 90's la especie ya había llegado a Galápagos y en el 2011 se reporta su presencia en Isabela y otras islas (Torres-Carvajal & Carvajal-Campos, 2011). *Lepidodactylus lugubris* también fue introducido a las islas, es una especie partenogenética y compite en los nichos urbanos con *H. frenatus* (Brown et al., 2002). Estudios genéticos revelan que la mayoría de las poblaciones de Sudamérica probablemente se originaron de una hembra ancestral (Cuellar, 1984).

La especie introducida *Phyllodactylus reissii* fue reportado por primera vez en Galápagos en 1976 y es nativo de la costa ecuatoriana (Hoogmoed, 1989). *Gonatodes caudiscutatus*, también nativo de la costa del Ecuador, se cree está restringido ecológicamente a zonas con mayor humedad (Olmedo & Cayot, 1994). Debido a sus características diurnas y su restricción ecológica se espera que no sea una amenaza para los geos endémicos, sin embargo, por falta de información esto aún necesita ser confirmado (Cisneros-Heredia, 2018).

Galápagos tiene ecosistemas idóneos para el establecimiento de reptiles, siendo un problema ya que los geos que han sido introducidas son especies cripticas, que les resulta fácil pasar desapercibidos en los controles de bioseguridad y cuarentena (Cisneros-Heredia, 2018). En el caso de los geos introducidos se sabe que algunas especies tienen ciertos requerimientos ecosistémicos. *Phyllodactylus reissii* siendo nativo de la costa del Ecuador y Perú, necesita ecosistemas secos como desiertos costeros, bosques secos o bosques tropicales, por esta razón se ha podido establecer una población en Galápagos (Aurich, Koch & Böhme, 2011). El caso de *Hemidactylus frenatus* sabemos que tienen una alta plasticidad al adaptarse a entornos naturales, siendo autosuficientes en esos sitios. Si el nicho urbano se satura, la especie se expande a las áreas naturales. El grado de expansión depende de la presión del propágulo (la abundancia de *H. frenatus* en el límite urbano) y el tiempo de invasión (Barnett, Phillips & Hoskin 2017). En el caso de *Lepidodactylus lugubris* sabemos que necesita estar en ambientes alterados por los humanos para poder establecerse (Brown et al., 2002).

Las especies introducidas son la principal amenaza para el endemismo en las islas. En el caso de los geos existe un vacío de conocimiento en su dinámica poblacional, por eso es necesario hacer estudios de morfología y ecología. Además, debido a que las introducciones son recientes, no se ha determinado si podrían causar efecto o si ya existe alguno en las poblaciones endémicas. Si entendiéramos las interacciones entre especies invasoras / endémicas podríamos reconocer los impactos de las invasiones biológicas en las comunidades naturales. No sabemos mucho sobre las comunidades de geos en San Cristóbal, pero, sabemos demasiado de la capacidad de invasión de las especies que habitan ahí. Para tener un contexto más claro y amplio es necesario comparar las comunidades de geos con su fuente principal de introducciones, en el continente ecuatoriano. Es por eso que como objetivo del estudio, se incrementó el conocimiento de

la morfología, abundancia y ecología de las comunidades de geos de la Isla San Cristóbal.

METODOLOGÍA

El estudio se realizó en dos zonas diferentes del Ecuador, en la isla de San Cristóbal, Galápagos y en dos localidades en la costa ecuatoriana.

Área de estudio, Galápagos

El archipiélago es de origen volcánico, por lo que la formación de las islas está relacionada entre espacio y tiempo, por lo que, islas orientales son más antiguas (Nordlie, 1973). Galápagos está ubicado en la región este del océano pacífico en la placa de Nazca, a 100 km de distancia de la costa ecuatoriana y tiene una superficie de 7985 kilómetros cuadrados (km²). Se encuentra dividida en 13 islas grandes, 5 islas pequeñas, 216 islotes y rocas (Anexo B) (Rivas-Torres et al., 2018). Las islas tienen un clima estacional único, el cual está condicionado por las corrientes oceánicas y los vientos. Además, se ve afectado por el fenómeno periódico del Niño. Estas características generan que exista una estación cálida de enero a mayo con temperaturas altas en el mar, en el aire y alta variabilidad de precipitación. También hay una estación fría de junio a diciembre con temperaturas bajas en el mar y el aire, pero con una capa persistente de nubes que produce precipitación constante en zonas altas húmedas y poca precipitación en zonas bajas secas (Trueman & d'Ozouville, 2010).

Varias islas del archipiélago sufren impacto antropogénico, pero solo cinco tienen poblaciones humanas permanentes: Santa Cruz, San Cristóbal, Floreana, Isabela y Baltra. Con una población aproximada de 25,124 habitantes. Santa Cruz tiene el 61% del total de la población de Galápagos, convirtiéndose en la isla más poblada (López Andrade & Quiroga Ferri, 2018).

San Cristóbal es una isla de origen volcánico formado hace 2.3 millones de años antes del presente (Geist, McBIRNEY & Duncan, 1986). Está ubicada en el extremo este del archipiélago; posee un área de 558 km² de superficie y tiene una altitud máxima de 735 metros sobre el nivel del mar (msnm) (López Andrade & Quiroga Ferri, 2018). Debido a las características geológicas y geográficas, el clima de la parte norte de la isla es la región más seca (Gordillo & Work Kendrick, 1989). El Clima de San Cristóbal está dividido en la estación cálida de enero a mayo y la estación fría de junio a diciembre. Debido a esto, noviembre es el mes más seco del año, con una precipitación pluvial (mm) de 9. Mientras que febrero es el mes más cálido y posee la mayor parte de la precipitación anual, con un promedio de 111 mm (Anexo A). Las tierras bajas son semidesérticas y zonas con altitudes mayores a 500 msnm se mantienen húmedas por un estrato de nubes permanente. Esto genera un fuerte gradiente climático que da como resultado seis zonas: zona litoral, zona árida, zona de transición (bosque seco), zona de *Scalesia* (bosque húmedo), zona de *Miconia* (matorral) y zona de helechos (Colinvaux & Schofield, 1976). Por eso en la zona litoral, árida y de transición se formaron ecosistemas de manglar, bosque deciduo y matorrales deciduos. Mientras que en las zonas de *Scalesia* en adelante, se formó ecosistemas de bosque siempre verde estacional y matorrales, bosque siempre verde y matorrales, monte alto, diferentes tipos de lava y un cuerpo de agua. También existen áreas de impacto antropogénico que han formado sus ecosistemas como área urbana baja, área urbana alta y área agrícola. En general los ecosistemas dominantes son bosques deciduos, monte alto deciduo, lava nueva, lava vieja, bosque siempre verde estacional y matorrales, áreas urbanas en la zona baja y una gran zona agrícola en la zona alta (Rivas-Torres et al., 2018).

San Cristóbal tiene impacto antropogénico y es una de las islas más pobladas del archipiélago. El área habitable es de 90,7 km², lo que incluye un área urbana de 7.3 km² y un área rural de 83.4 km² (López Andrade & Quiroga Ferri, 2018).

Debido a las diferencias ecosistémicas y altitudinales, San Cristóbal está dividido en dos ecosistemas grandes, la parte baja seca y la parte alta húmeda. Donde la parte baja tiene áreas urbanas, área periurbana, área natural costera, bosque deciduo y matorrales deciduos. La parte alta tiene área urbana (menor proporción), área agrícola y área natural de bosque siempre verde estacional y matorrales (Anexo C).

Área de estudio, Ecuador continental

Debido a que las primeras introducciones de geocos a Galápagos se da por vía marítima (Hoogmoed, 1989), se realizó el estudio en los principales puertos del país que son el puerto marítimo de Manta y el puerto marítimo de Guayaquil. Ambos están ubicados en la costa continental del Ecuador a 100 kilómetros de distancia del archipiélago. La costa se ve influenciada por la corriente de Panamá y el fenómeno del Niño, lo que hace que sus temperaturas varíen anualmente. Esto provocó que ambas localidades sean ecológicamente secas entre mayo y noviembre, mientras que los otros meses su clima sea variante (Hernandez, 2005). El tipo de clima generó áreas litorales y áridas, por lo que hay ecosistemas de manglar y ecosistemas de bosque seco para Manta y Guayaquil (De la Torre et al., 2008).

El puerto de Guayaquil (-2.277583, -79.907900) inaugurado en 1963, es la fuente principal de tráfico marítimo para el país. El puerto está ubicado en el Guasmo, en el extremo sur de la ciudad y se encuentra rodeado por áreas urbanas y rurales enormes. Debido a que está ubicado en la intersección del Estero del Muerto y una entrada al Río Guayas se cree que antes de la construcción del puerto predominaba un ecosistema de manglar y de bosque seco (De la Torre et al., 2008). El puerto recibe y envía buques

nacionales como internacionales a sitios como: Panamá, Perú, Chile, Estados Unidos, Colombia y México. Además, que es el principal proveedor de insumos hacia las islas Galápagos (Autoridad Portuaria de Guayaquil, 2019).

El Puerto Marítimo de Manta (-0.941390, -80.728785) está en la parte occidental sur de la ciudad, entre la bahía de Manta y la playa del Murciélago. El puerto es una extensión de la zona litoral de la playa del Murciélago. El puerto es principalmente importador, el 92% de su carga viene de países como Canadá, Estados Unidos, China, Brasil, México, etc. Pero también se dedica a la exportación, llegando a enviar de 150 a 200 contenedores de cereales, aceites y pescado en una semana. El atún es el recurso más exportado ya que la economía de Manta se basa en eso. Su ubicación es geoestratégica por su acceso directo del mar, permitiendo que los buques entren desde el norte, sur y oeste. Al ser una extensión de playa tiene 13 metros de profundidad natural (Autoridad Portuaria de Manta, 2019).

Metodología de campo.

El estudio se realizó a lo largo de dos años. Esto es clave porque cada año tuvo características climáticas únicas. El primero fue en el periodo de junio hasta agosto del 2018. Mientras que el segundo fue de mayo hasta julio del 2019.

Parcelas urbanas

El muestreo se basó en la metodología de Olmedo, J., & Cayot, L. J. (1994) (Anexo D). Se uso su mapa, pero se lo adaptó a la urbanización actual del puerto Baquerizo Moreno (Anexo E). Además, se crearon tres parcelas para el área urbana de la parte alta del pueblo El Progreso (Anexo E). Se uso las parcelas de la metodología de Olmedo, J., & Cayot, L. J., pero se las actualizó a la urbe del pueblo. Para esto se crearon nuevas parcelas que no existían en el mapa antiguo. Las nuevas parcelas fueron creadas sobre todo en zonas perimetrales y periurbanas. Se dividió al pueblo en una malla de parcelas, la división se

realizó tratando de crear áreas comparables entre ellas, aún así, debido a la estructura urbana de la ciudad, las parcelas no tienen áreas iguales sino áreas similares. Para facilitar el muestreo el límite de división de las parcelas coincidió con las divisiones de los perímetros de las calles.

Una vez dividido al pueblo en parcelas la ciudad se fraccionó en zonas. Cada zona equivale a una parcela y fue recorrida por los perímetros de las calles en forma de zigzag hasta completar la parcela (Anexo E).

La parte baja donde se encuentra Puerto Baquerizo Moreno, se dividió en 14 parcelas. Mientras que El progreso se dividió en tres parcelas y esto se debe a que el área urbana de la parte alta es más pequeña que el área urbana de la parte baja.

El muestreo de las parcelas consistió en hacerlo dos veces por día, un solo día. Para la primera vez, se lo hacía a las 15h00 hasta las 17h00 (jornada de tarde). Mientras que para la segunda vez se empezaba a las 19h00 hasta 21h00 (jorna de noche). La determinación de las horas se da por historia natural de los geocos. Se caminó por el perímetro de las calles a un ritmo constante y se prestaba particular atención a las estructuras de las casas, estructuras de la ciudad y terrenos baldíos bajo las rocas. Se usó la misma metodología y las mismas parcelas para los muestreos de ambos años en 2018 y 2019.

Transectos naturales y agrícolas

Para las zonas naturales y agrícolas se realizaron transectos de 500 m. Los transectos se realizaron en línea recta, excepto los que debido al hábitat no era posible hacerlo. En la parte alta se hicieron transectos en área natural y agrícola. Mientras que en la parte baja se hicieron transectos solo en áreas naturales costeras, ya que no existen zonas agrícolas. Se determinaron los transectos de la parte baja por logística. Los transectos de la parte baja, fueron las regiones aledañas al área urbana en el Parque Nacional Galápagos (PNG).

Por lo que tuvimos tres transectos: la zona de la Lobería siendo las más alejada del área urbana, la zona de Carola y la zona de Tijeretas, las cuales están cerca del pueblo. Los transectos de la parte alta fueron determinados porque estaban en un área donde existía la región natural y la región agrícola, permitiendo un fácil acceso a ambos sitios (Anexo C).

Para el primer año (2018). Se realizaron tres transectos en la parte baja, en la jornada de la tarde y de la noche, en un solo día. En este caso, se buscó en las piedras, árboles y hojarasca del transecto. Para la parte alta se hicieron dos transectos en la zona agrícola, se lo hizo tres veces al día durante tres días. Para esto se dividió el día en tres jornadas, la de la mañana (9h00 a 11h00), la de la tarde y de la noche. Para la zona natural de la parte alta se hizo un transecto, tres veces al día durante tres días, en la jornada de la mañana, tarde y nocturna.

Para el segundo año (2019). Se realizan tres transectos en la parte baja, se los realizó dos veces al día, durante tres días, en las jornadas de la tarde y nocturna. Para la parte alta en la zona agrícola se hicieron dos transectos, tres veces al día, durante tres días seguidos, en la jornada de la mañana, tarde y noche. Mientras que en la zona natural alta se hicieron cuatro transectos, tres veces al día, durante tres días seguidos en las tres jornadas de muestro. Los puntos georreferenciados de inicio y final de todos los transectos se los describe en el Anexo N.

Especies de estudio

Los geocos llegaron a las islas Galápagos en tres procesos de colonización distintos. Según estudios de filogenia, la primera colonización se da hace 13 millones de años, dando origen al género *Phyllodactylus* en las islas. En San Cristóbal existen dos especies endémicas de geocos, *Phyllodactylus darwini* (PD) y *Phyllodactylus leei* (PL) (Torres-Carvajal, Rodríguez-Guerra y Chavez, 2016).

Phyllodactylus reissii (PR) fue reportado por primera vez en Santa Cruz en el año de 1976. Aunque se cree que su introducción pudo pasar años antes. La especie se distribuía por toda la costa ecuatoriana (Hoogmoed, 1989).

Hemidactylus frenatus (HF) es un gecko asiático que ha invadido diversas regiones tropicales convirtiéndose en uno de los reptiles con mayor distribución a nivel mundial. Sabemos que tiene una capacidad de dispersión e invasión enorme y esto se debe a su relación con áreas urbanas. Como en el caso de Australia donde en pocos años colonizó todas las áreas urbanas y naturales (Hoskin, 2011). Se dispersó a través del océano pacífico desde Hawái hasta México y hacia toda América del Sur (Torres-Carvajal, 2015). El primer registro de esta especie para el Ecuador se da en el 2008 en las provincias de Manabí y Esmeraldas (Jadin et al., 2009). Se cree que para los 90's la especie ya había llegado a las Galápagos y en el 2011 se reporta su presencia en Isabela y otras islas (Torres-Carvajal & Carvajal-Campos, 2011).

Lepidodactylus lugubris (LL) también fue introducido a las islas. Es una especie partenogenética que se ha expandido por todo el mundo y compite en los nichos urbanos con *H. frenatus* (Brown et al., 2002). Está asociado a impacto antropogénico a lo largo de las costas del Pacífico sur y centro (Olmedo & Cayot, 1994). Estudios genéticos revelan que las poblaciones hawaianas y polinesias son muy similares entre sí, sugiriendo que todos los individuos se originaron de una hembra ancestral (Cuellar, 1984). Algunas de las poblaciones de Colombia parecen tener un origen clonal al clon principal de América central y del sur. Además, tienen el patrón dorsal del clon de la isla de Pascua en Chile (Daza, Travers & Bauer et al., 2012). Es probable que haya llegado a América cuando se abrió el canal de Panamá. El primer registro de esta especie para América es en 1916, dos años después de que el canal haya sido abierto (Cisneros-Heredia, 2018).

Gonatodes caudiscutatus (GC) se distribuye en toda la costa del Ecuador hasta una parte de la costa de Perú. Se lo ha registrado en Guayaquil y es probable que esa sea su fuente de introducción a las islas. Este geco está restringido ecológicamente a zonas con mayor humedad (Olmedo & Cayot, 1994). Por eso, se lo encuentra en mayor abundancia en las zonas agrícolas de San Cristóbal, aunque también se lo ha visto en zonas secas en el puerto. Debido a sus características diurnas y su restricción ecológica se espera que no sea amenaza para los geos endémicos (Cisneros-Heredia, 2018).

Toma de datos en campo.

El método usado para encontrar especímenes en área urbana fue buscarlos en las estructuras de casas, infraestructura urbana, postes de luz y cualquier superficie visible. Mientras que para las zonas naturales y agrícolas fue buscarlos bajo las piedras, en las cortezas de árboles, en grietas, en la hojarasca y sobre los árboles.

El método de muestreo fue no invasivo, se buscó a los animales en silencio para evitar que huyan, sobre todo en zonas con poca presencia humana (zonas naturales en la noche). Cuando se encontraba un individuo se determinó si era posible agarrarlo o no, esto dependió de la estructura en la que se lo encontraba. Cuando era posible capturar al individuo, se lo tomó con la mano; se trató de hacer una burbuja en la palma para evitar aplastar al individuo y evitar la autotomía de cola.

En las noches la búsqueda fue diferente, los geos al ser crípticos no se los divisó fácilmente, por lo que se usaba una linterna de cabeza con luz led blanca. La linterna permitió ver al individuo cuando estaba cerca, pero cuando estaba lejos solo se observó una sombra fugaz, ahí se buscó la sombra hasta encontrar al geco y se lo agarró de la misma forma descrita anteriormente.

En el primer año. Cuando se encontró un geco que no era posible capturarlo se tomó foto para identificación, se tomó dato de la hora, el sustrato en el que se lo observó (Anexo P), si estuvieron agrupados, el estadio (neonato, juvenil, sub adulto, adulto), la especie, la zona y el clima (templado, frio, cálido). Para la captura de individuos solo se tomó en cuenta a los adultos y se tomó datos de temperatura corporal, que fue registrado con una pistola laser marca SGS modelo GM1650 de rango de -50 °C a 700 °C apuntada a la cloaca del animal. Se realizó el sexado solo en especímenes adultos, se observaba la cloaca del animal, se lo consideró macho si tenía aglomeración cloacal y se lo presionó hasta exponer los hemipenes. Se lo consideró hembra si tenía huevos en el abdomen o si tenía aglomeración cloacal y después de irrigarse la cloaca no se exponían los hemipenes. Después se los guardaba en bolsas de tela, las cuales eran transportadas en la mochila hasta terminar el muestreo. Se los almacenó toda la noche en un lugar cerrado en interiores, lejos de frio, protegidos de la lluvia y en un mismo lugar todos los especímenes cada uno en su bolsa de tela. Se los guardó por 10 horas aproximadamente hasta el día siguiente que se tomó datos en el laboratorio.

Para el segundo año se usó la misma metodología para tomar datos. Las únicas diferencias eran que se agregaron más variables como la foto térmica, la distancia focal, los lúmenes, etograma y temperatura ambiental. Cuando el geco estaba cerca y no ha sido tocado, se tomaba una foto con la cámara térmica de marca FLIR, modelo E3. También se agregó datos de distancia focal entre el geco y la fuente más cercana de luz, esto se midió en metros y era la distancia recta entre la fuente y el geco, esto se calculó en pasos aproximadamente a lo horizontal y se calculó en aproximaciones en lo vertical. También se midió la cantidad de lúmenes (solo en la noche), esto se calculó por medio de la aplicación Lux Light Meter, donde por medio de la cámara del teléfono se apuntaba a la fuente de luz y la aplicación media los lúmenes. Se agregó el etograma de

comportamiento descrito en el Anexo M, solo tomó nota de lo que estaba haciendo el geco al ser observado por primera vez. Se agregó datos de temperatura ambiental como: temperatura ambiental, humedad relativa, índice de estrés por calor, dew point temperature y presión barométrica con el medidor de temperatura ambiental de marca Kestrel modelo 4500.

Toma de datos en laboratorio.

Los datos de laboratorio se tomaron en los geos adultos capturados el día anterior, por lo que los individuos pasaban aproximadamente 10 horas guardados en las bolsas de tela hasta que se hizo su evaluación en laboratorio. Se confirmó la especie usando la clave del anexo L y se reconfirmó el sexo. Se tomó fotos en diferentes perspectivas (dorsal, ventral, dorsal de cabeza y un lado del torso). Con un calibrador electrónico de marca genérica y un rango de error de 0,01 mm se tomó datos de longitud hocico cloaca, largo de la cabeza, ancho de la cabeza, alto de la cabeza, longitud de extremidad anterior y posterior, largo de la cola, distancia inguinal, largo de la pata anterior y posterior y largo de la mandíbula detallados en el Anexo F. Con una balanza digital, se tomó el peso en gramos. Se colectó los que se necesitaban y se liberaron en el mismo lugar a los que no se colectó.

Toma de datos en Ecuador continental

El muestro se realizó en agosto del 2019. Para el Ecuador continental se hizo transectos de 500 m en los alrededores de los puertos marítimos de Manta y Guayaquil. Se uso la misma metodología de Galápagos, tanto para el campo como para el laboratorio. Con la única excepción de que no se usó la cámara térmica. El muestreo fue por los perímetros del puerto en la jornada de la tarde y noche.

Análisis de resultados.

Todos los análisis estadísticos de esta investigación fueron analizados con Rstudio versión 3.6.1. Primero se dividió a los resultados en tres partes: Morfología, Ecología y

Descripción del continente. Para analizar la morfología se usaron los datos tomados en el laboratorio, se los filtró hasta que quedaron solo datos de adultos con colas completas. Para cumplir con normalidad, se transformó los datos con logaritmo natural.

Se hizo una comparación de T de student para la variable de longitud hocico cloaca para todas las especies. Se realizó un diagrama de cajas para ejemplificar las medias y se hizo el mismo análisis para determinar las diferencias en el peso de las especies. Se realizó un análisis multivariado PCA con el paquete estadístico readxl y ggplot2. Se hizo regresiones lineales para comparar las medidas morfológicas entre especies, de dichas regresiones se obtuvo los residuales de longitud hocico cloaca con las otras 10 variables morfológicas y la variable del peso. Esto permitió hacer un PCA comparable entre las medidas morfológicas y el peso en proporción al tamaño de las especies. También se hizo una regresión lineal para poder predecir el incremento del peso cuando incrementa la longitud hocico cloaca. Primero se hizo la regresión lineal entre peso y hc, luego se hizo un ANOVA de la regresión (prueba la hipótesis de la regresión, pendiente $\neq 0$). Y con el paquete visreg se graficó la regresión.

Para los resultados ecológicos se realizó el índice de esfuerzo de muestreo de los dos años. Por lo que se obtuvo las abundancias en base a individuos encontrados por hora persona en el muestreo. Para el resto de los análisis se usó los datos de los dos años separados por lugares de muestreo. Por medio de chi cuadrado y con el paquete gplots opción balloonplot, se obtuvo gráficos de abundancias / frecuencias entre especies y sitios. Mientras que para los otros análisis se tomó en cuenta todos los datos categóricos colectados durante los dos años de muestreo, se los separó por ecosistema, por hábitat y microhábitat. Por medio de chi-cuadrado se determinó si había segregaciones o asociaciones significativas entre ecosistema, hábitat y microhábitat para las especies. Después se obtuvo la relación de observados - esperados, lo cual nos permitió obtener

correlaciones entre especies y ecosistemas. Luego se determinó las correlaciones más significativas para la relación. Esto se repitió para ecosistema, hábitat y microhábitat.

En la descripción continente. Se hace grafico de abundancias y frecuencias de especies y microhábitats. Sabiendo los componentes principales del PCA se hace un ANOVA de esas variables sobre las poblaciones *H. frenatus* de la isla y del continente.

RESULTADOS

Análisis morfológico

Para estos análisis solo se tomaron en cuenta individuos adultos con colas completas y sin rastro de cambio de cola. Se compara con t de student la longitud hocico cloaca de las especies. Todas las medias son significativamente diferentes entre ellas, excepto entre *Phyllodactylus leei* y *Gonatodes caudiscutatus*. Las especies con medias más diferentes son *Phyllodactylus darwini* con media de 4.02 (sd= 0.45, n= 13) y *H. frenatus* con media de 3.83 (sd= 0.85, n= 26) (Anexo G). Esto quiere decir que PD es la especie más grande, seguida por HF, mientras que PL y GC son las más pequeñas, siendo muy similares en su longitud.

Se hizo el mismo T de student para el peso y las únicas especies que sus medias no son significativamente diferentes son *Gonatodes caudiscutatus* con *Lepidodactylus lugubris* y *Phyllodactylus leei* con *Lepidodactylus lugubris*. Por lo que GC y LL, PL y LL tienen un peso similar, pero tienen pesos diferentes entre GC y PL. Todas las demás especies tienen medias significativamente diferentes para el peso. La especie más diferente respecto a peso es *Phyllodactylus darwini* con una media de 1.66 (nx= 1.37, n= 12), siendo la especie más pesada y también la más grande. (Anexo H).

Con residuales de regresiones lineales se un análisis de componentes principales (PCA, n= 54). Para este análisis nos basamos en el peso, longitud de hocico cloaca y la cantidad

de datos disponibles. Por lo que se escogió las especies más significativas y diferentes entre ellas, que son las dos especies endémicas y la especie introducida *Hemidactylus frenatus*. El PCA determina agrupaciones entre la morfología y el peso de las especies. El componente principal uno (PC1) explica el 57,86% de la varianza total, donde las características más importantes son: la longitud de la extremidad anterior y el peso (Anexo I). El grafico demuestra que la especie *Phyllodactylus darwini* se diferencia mucho de *Phyllodactylus leei* y *Hemidactylus frenatus*, mientras que esas dos especies están un poco solapadas (Anexo J).

Se hace regresión lineal entre longitud hocico cloaca (HC) y peso para cada especie. En el caso de *Hemidactylus frenatus* el peso= $-5.0393 + 1.5506 \cdot hc$. Lo que quiere decir, que en promedio por cada milímetro (mm) de incremento de HC se incrementa 1.55 gramos (g) en el peso para esa especie. Se hace lo mismo para el resto de las especies, *Phyllodactylus leei* con peso= $-3.0833 + 0.9741 \cdot hc$ (aumenta 0,97 g por incremento de mm de HC) y *Gonatodes caudiscutatus* con peso= $-6.8053 + 1.9839 \cdot hc$ (aumenta 1.98 g por mm de HC). (Anexo Q). Mientras que para el caso de *Lepidodactylus lugubris* con peso= $-5.719 + 1.669 \cdot hc$ y *Phyllodactylus darwini* peso= $-22.549 + 6.268 \cdot hc$, la predicción resulto no significativa por falta de datos.

Ecología: Distribuciones y asociaciones.

Respondiendo el objetivo de entender la ecología de las comunidades de geckos, se hace un índice de esfuerzo de muestreo en individuos encontrados por hora persona. El índice nos permitió comparar las abundancias netas por años, por ecosistemas y por especies (Anexo O). Vemos que en el primer año hubo más abundancia de individuos (casi el doble) que el segundo año. Además, en ambos años el ecosistema seco fue el más abundante, en especial el hábitat urbano seco. Ese hábitat es el punto de muestreo con mayor cantidad de especies y de abundancia en el mismo lugar. La diferencia entre los

dos años es que, para el segundo año, hubo una disminución en la abundancia de las especies, sobre todo de la especie *Gonatodes caudiscutatus* en el ecosistema húmedo. Esto generó una reducción de ocho individuos por hora persona a cuatro individuos por hora persona para esa especie.

Con todos los datos de observaciones, se hace un gráfico de abundancias y frecuencias por ecosistema (parte baja seca y parte alta húmeda). Donde las abundancias entre especies y ecosistemas se ven en los números de los globos. Mientras que las abundancias solo de ecosistemas y solo de especies se representó en las barras, en el caso de la frecuencia se representó por el diámetro de los globos. El resultado es que el ecosistema seco y la especie *Hemidactylus frenatus* abarcan la mayor cantidad de abundancia con respecto al otro ecosistema y especies, por lo que no es raro que exista una mayor abundancia de *H. frenatus* en el ecosistema seco. Para las otras variables, resultó que la especie *Gonatodes caudiscutatus* es la más abundante en el ecosistema húmedo, mientras que las especies endémicas tienen mayor abundancia en el ecosistema seco. En el caso de las frecuencias se hizo un chi-cuadrado con n de 1345 ($X^2 = 1038.5$; $p = 2.744e-222$) que demuestra asociación entre ecosistemas y especies. Resultó que la especie *G. caudiscutatus* es más frecuente en el ecosistema húmedo, mientras que las demás especies son más frecuentes en el ecosistema seco.

Se hizo el mismo análisis para abundancias / frecuencias de especies y hábitat de los dos ecosistemas. Donde las abundancias de especies son iguales, pero ahora el hábitat más abundante es el urbano seco, mientras que los demás hábitats tienen menores abundancias. En el hábitat agrícola y natural húmedo solo se encontró la especie *Gonatodes caudiscutatus* por lo que es la especie más abundante del ecosistema húmedo. En el caso de las frecuencias con un n de 1345 ($X^2 = 1766.5$; $p = 0$) hay asociaciones entre especies y hábitats, donde hay mayor frecuencia de *Hemidactylus*

frenatus en hábitat urbano seco y mayor frecuencia de *Gonatodes cadiscutatus* en hábitat agrícola, natural húmedo y urbano húmedo. Las especies endémicas tienen su abundancia en hábitat urbano seco y natural seco, pero son más frecuentes en el área natural seca (Anexo R).

Para análisis post hoc de abundancias, separamos los ecosistemas secos / húmedos y se hizo los análisis por separado. Para el ecosistema de la parte baja seca, se encuentra una asociación significativa entre las especies y su hábitat (urbano y natural) con un n de 1012 (X-squared 5 = 566.51; p= 2.2e-16). Luego se hace análisis de correlaciones entre la relación hábitat - especies, donde se representan correlaciones en una escala de azul (positiva) a rojo (negativa), mientras que el diámetro del globo es la contribución del estadístico a la relación. El gráfico representa que en el hábitat natural seco hay mayor abundancia de especies endémicas y menos de la especie *Hemydactylus frenatus*. Mientras que en el hábitat urbano habrá mayor abundancia de *H. frenatus* y menos de las especies endémicas (Anexo S). Se hizo el mismo análisis para el microhábitat del ecosistema seco (X-squared 40 = 501.41; p= 2.2e-16), resultando que la especie *H. frenatus* tiene correlación positiva con microhábitat de empaste de pared y correlación negativa con microhábitat rocosos. Mientras que las especies endémicas están correlacionadas positivamente con arena / roca y tienen correlación negativa con empaste. La diferencia entre las especies endémicas es que *Phyllodactylus leei* está mucho más relacionado a sustratos arenosos que *Phyllodactylus darwini*. Esto quiere decir que, una de las especies endémicas está más asociada a sustratos naturales que la otra especie, pero, que ambas están segregadas de sustratos urbanos (Anexo T).

Se usó el mismo análisis para el ecosistema húmedo, n de 333 (X-squared 8 = 69.624; p= 5.84e-16). En donde el hábitat agrícola y natural húmedo está correlacionado de forma positiva con *Gonatodes caudiscutatus*, pero de forma negativa con el resto de las especies.

Mientras que las demás especies se correlacionan positivamente con el hábitat urbano húmedo, siendo este hábitat el que más influye en las correlaciones (Anexo U). En el caso de los microhábitats ($\chi^2 = 301.28$; $p = 2.2e-16$) *G. caudiscutatus* se correlaciona un poco con sustratos de madera y roca. Mientras que el resto de las especies se correlacionan positivamente con sustrato de cemento, empaste y bloque. De todas las correlaciones de ecosistema húmedo, resultó que la especie *Lepidodactylus lugubris* es la que más asociación tiene a hábitats húmedos urbanos y microhábitat de empaste. En este ecosistema no existe abundancia de las especies endémicas, por lo que sus correlaciones no son significativas (Anexo V).

Como la fisiología es una respuesta a la ecología, se hace un diagrama de cajas de las temperaturas corporales de las especies en ambos ecosistemas y por separado. Resultando que no existen diferencias en las temperaturas corporales, esto puede deberse a que casi todos los datos pertenecen al ecosistema seco. En el ecosistema húmedo solo pudimos obtener datos de GC (porque era la especie más abundante), esto produjo que solo tengamos esa variable, razón por la cual no se hizo el análisis en el ecosistema húmedo. Por eso no existen diferencias entre temperaturas de ambos ecosistemas y por separado. Se anexa el diagrama de cajas de ambos ecosistemas (Anexo X). Vemos que las especies endémicas tienden a tener menor temperatura corporal que las introducidas, donde *Phyllodactylus leei* es la de menor temperatura.

Descripción del continente.

El muestro del continente se lo hizo solo en el 2019, en un hábitat urbano seco, a manera de exploración. Las especies que se encontraron son *Hemidactylus frenatus* con 3.25 individuos por hora persona, *Hemidactylus mabouia* con 0.08 individuos hora persona (dos observaciones) y *Phyllodactylus reissii* con 0.04 hora persona (una observación). Esto quiere decir que la especie nativa *P. reissii* ya no está presente y no es abundante,

aunque se encuentre dentro de su nicho y área de distribución. Se hace un gráfico de abundancias y frecuencias, n de 81 ($X^2=10 = 9.3635$; $p= 0.489$). El cual representa que la especie *H. frenatus* es la más abundante y la más frecuente en el microhábitat de sustrato empaste (Anexo K). Por lo que el uso del microhábitat empaste en esta especie es constante para las poblaciones del continente y la isla.

Sabiendo que la variable que más influyen el PCA es la longitud de la pata anterior, se buscó diferencias en esa variable para los *H. frenatus* del continente y la isla. Resultando que no existen diferencias significativas para la pata anterior ($F_{1,23}=3.3341$; $p= 0.0809$) y tampoco existen diferencias en la temperatura corporal de ambas poblaciones ($F_{1,23}=0.0046$; $p= 0.9463$).

DISCUSIÓN

Morfología.

Con excepción de las especies más pequeñas, todas las especies tienen medidas diferentes de la longitud hocico cloaca, pero esto no se aplica en el peso. A pesar de que la especie endémica *Phyllodactylus leei* sea muy similar en longitud a *Gonatodes caudiscutatus* tienen pesos significativamente diferentes. Esto se confirma en las regresiones lineales predictivas, donde la especie endémica aumenta 0,97 g por milímetro, mientras que *G. caudiscutatus* aumenta 1.98 g por milímetro, siendo la especie que mayor peso aumenta por milímetro. Esto podría deberse a sus diferencias ecosistémicas y uso de microhábitat. Ya que en lagartos el hábitat y morfología son promotores de cambios (Kaliontzopoulou, Carretero & Llorente, 2010). Esto es clave porque que de todo nuestro estudio la especie *G. caudiscutatus* es la que más diferente respecto a su ecología.

El PCA demuestra que existen agrupaciones por especies en la morfología y el peso, aunque *Phyllodactylus leei* se solapa un poco con *Hemidactylus frenatus*. A diferencia de

Phyllodactylus darwini que es la especie que más se diferencia y agrupa por separado. La especie *H. frenatus* se agrupa y distribuye entre las dos especies endémicas, lo que sugiere que su morfología es plástica comparándolas con las demás especies. Para entender mejor los patrones morfológicos, se debería incluir un análisis de morfometría geométrica. Ya que las formas de estas especies son muy distintas. Por ejemplo, *P. leei* no posee escamas tuberculosas en el cuerpo, más bien sus escamas son compactas y con gránulos lisos. Mientras que *P. darwini* tiene siete hileras de escamas tuberculosas en el dorso (Carvajal-Campos, 2019). Por lo que al no tomar en cuenta esto, se pierde información sobre el espacio morfológico de las especies.

Ecología: distribuciones y abundancias

Dentro de la isla cada especie está distribuida por ecosistemas y por hábitats. Donde la mayor abundancia y diversidad de especies se encuentra en el hábitat urbano seco. Esta acumulación de abundancia y diversidad se debe a que en general las zonas urbanas son el sitio de convergencia de casi todos los microhábitats. Lo que genera espacio para que todas las poblaciones de geocos de la isla puedan estar presentes, aunque ese no su hábitat idóneo. Esto significa que las especies endémicas están en contacto y coexistiendo con las especies introducidas.

Para el caso de las especies endémicas *Phyllodactylus leei* y *Phyllodactylus darwini* están en todos los hábitats secos. La diferencia es que *P. leei* se lo encuentra en mayor abundancia y frecuencia en los habitas naturales, mientras que *P. darwini* está en los dos hábitats secos en casi las mismas proporciones. A pesar de eso las especies endémicas se correlacionan con hábitats naturales y no en urbanos. No hay gran abundancia de especies endémica en el ecosistema húmedo, es más solo esta presente *P. darwini* la cual se correlaciona a habitas urbanos húmedos. Esto podría significar que las especies endémicas están limitadas a zonas secas, por lo que su distribución y abundancia podría

restringirse solo a regiones natural. Esto limitación se sugiere que es más estricta para *P. leei* que para *P. darwini*.

La especie más abundante es *Hemidactylus frenatus* y tiene una población muy bien establecida, a pesar de ser una introducción reciente (primer registro en 2011) (Torres-Carvajal & Carvajal-Campos, 2011). Su distribución se limita a zonas urbanas secas a pesar de que tiene una capacidad de invasión enorme para ecosistemas naturales, como se ha demostrado en otras islas y Australia (Barnett, Phillips & Hoskin, 2017). No se encuentra a esta especie en áreas naturales, en realidad, solo hubo una observación de un juvenil en lobería en el 2019. Puede ser que el nicho urbano tenga suficientes recursos para que no exista desplazamiento intraespecífico hacia otras áreas. Por lo que la especie se ha mantenido dentro de las áreas urbanas. Esta correlacionada a hábitats y micro habitas con impacto antropogénico, por lo que es muy frecuente en de ver en zonas urbanas secas.

La especie *Lepidodactylus lugubris* no es muy abundante, siendo una de las especies con menos observaciones registradas. A pesar de eso se ve que su abundancia esta relacionada a los hábitats urbanos. A pesar de que no es muy abundante en el hábitat urbano húmedo es la especie que más se correlaciona de forma positiva con este tipo de hábitat, por lo que debería ser muy abundante en ese hábitat. Una de las principales razones de su ausencia podría deberse a la competencia interespecífica con *Hemidactylus frenatus* (Brown et al., 2002). Lo que podría significar que por lo menos en el ecosistema seco *L. lugubris* está siendo desplazado por *H. frenatus*. Debido a que las dos especies están asociadas a habitas antropogénicos, esto representa un riesgo a la biodiversidad de las islas. Si el impacto antropogénico y la urbanización aumentan, los geos también van a incrementar sus poblaciones y expandirse. Produciendo que tengan alcance a sitios donde antes no lo tenían. Lo que significa que los humanos están actuando como facilitadores

ecosistémicos para estas especies en la isla, mientras mayor cambio ecosistémico mayores serán las probabilidades de introducciones nuevas (Rodríguez, 2006).

La especie *Gonatodes caudiscutatus* difiere a todas las demás, siendo muy abundante en hábitats húmedos, en especial zonas naturales y agrícolas. Esto refuerza el antecedente de que esta especie está restringida ecológicamente a zonas húmedas (Hoogmoed, 1989). A pesar de que esta muy relacionada a ecosistemas húmedos, no está tan correlacionada a sitios urbanos húmedos. La razón principal puede ser que la especie no está relacionada con los microhábitats verticales (estructuras urbanas) que usan las otras especies. Al ser un gecko terrestre (sin lamelas) y diurno su morfología y espacio resulta ser totalmente diferente al de las otras poblaciones de la isla. Debido a que la locomoción refleja la interacción entre lo morfológico y ecológico (Kaliontzopoulou, Carretero & Llorente, 2010), es muy probable que esta especie se mueva diferente o distribuya su energía de formas distintas a las que lo hacen los geckos que usan sustratos verticales. Como el caso de *Hemidactylus frenatus*, en el cual se ha demostrado que modifican su biomecánica entre machos y hembras (Cameron, Wynn & Wilson, 2013). Por lo que las diferencias encontradas pueden ser la base de estudios ecológicos más profundos.

Descripción del continente

Lo más importante de recalcar en el continente es que la especie nativa *Phyllodactylus reissii* no está presente, tiene apenas 0.04 individuos por hora persona. Mientras que la especie introducida *H. frenatus* tiene 3.25 individuos por hora persona, abarcando casi toda la frecuencia y abundancia para el hábitat urbano de la costa continental. Esto es crítico porque significa que la especie introducida podría haber desplazado a *P. reissii*, por lo que esta especie no solo causa problemas de conservación en Galápagos sino en el continente, pero sus efectos no han sido estudiados.

Existe la posibilidad de que haya sucedido lo mismo en San Cristóbal. Como antecedente tenemos que existía una población abundante de *Phyllodactylus reissii* en el hábitat urbano seco de la isla (Olmedo & Cayot, 1994). Pero actualmente esta especie no fue abundante en ningún ecosistema de la isla. Esto es una alerta ya que la contra parte ecológica de *P. reissii* en la isla podría ser la especie endémica *Phyllodactylus darwini*.

Al comparar las poblaciones de *Hemidactylus frenatus* del continente y de la isla. Se determina que no existen diferencias significativas entre las variables morfológicas ni de temperatura corporal entre ambas poblaciones. Por lo tanto, se refuerza que *H. frenatus* tiene una alta plasticidad morfológica y no necesita cambiar para colonizar nuevos hábitats. Esto puede deberse a que hay la posibilidad de introducciones constantes y un flujo de las especies del continente a la isla.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio no pudo ser posible sin la ayuda de la Universidad San Francisco de Quito, el Galápagos Science Center y el Laboratorio de Zoología Terrestre los cuales me ayudaron con los contactos, los fondos y todo lo que necesite para poder realizar mi investigación. Además, agradezco a mis tutores Diego F. Cisneros Heredia y Carolina Reyes Puig quienes me enseñaron desde el inicio y me guiaron en todas las fases de mi desarrollo académico. También quiero agradecer a mi mamá Paulina Rojas, a mi abuelita Amelia Montúfar, a mis hermanas Selene y Suri y a Abigail, que lo han dado todo por mí y han estado a mi lado incondicionalmente.

REFERENCAS BIBLIOGRÁFICAS

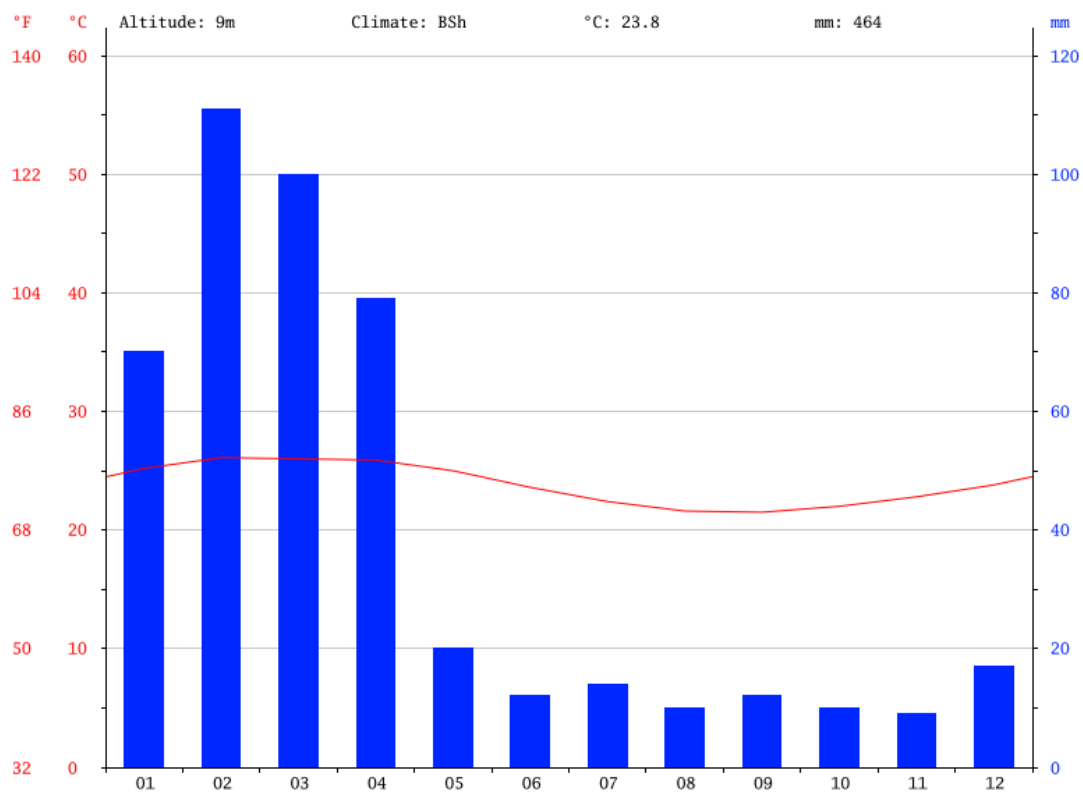
- Aurich, J., Koch, C., & Böhme, W. (2011). Ecology of a gecko assemblage (Phyllodactylidae: Squamata) from northern Peru. *North-Western Journal of Zoology*, 7(2).
- Autoridad Portuaria de Guayaquil. Tráfico de naves internacionales, puerto marítimo de Guayaquil, 2019. <http://www.puertodeguayaquil.gob.ec/trafico-de-naves-internacionales/> 16 de octubre de 2019.
- Autoridad Portuaria de Manta. Programas y servicios, Estadísticas portuarias del 2019, Manta capital del atún, 2019. <http://www.puertodemanta.gob.ec/estadisticas-portuarias/> 16 de octubre de 2019.
- 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.
- 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.
- Cameron, S. F., Wynn, M. L., & Wilson, R. S. (2013). Sex-specific trade-offs and compensatory mechanisms: bite force and sprint speed pose conflicting demands on the design of geckos (*Hemidactylus frenatus*). *Journal of Experimental Biology*, 216(20), 3781-3789.
- Carvajal-Campos, A. (2019). *Phyllodactylus darwini* En: Torres-Carvajal, O., Pazmiño-Otamendi, G. y Salazar-Valenzuela, D. 2019. *Reptiles del Ecuador*. Version 2019.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://bioweb.bio/faunaweb/reptiliaweb/FichaEspecie/Phyllodactylus%20darwini>, acceso Jueves, 19 de Diciembre de 2019.
- Cisneros-Heredia, D. F. (2018). The hitchhiker wave: non-native small terrestrial vertebrates in the Galapagos. In *Understanding Invasive Species in the Galapagos Islands* (pp. 95-139). Springer, Cham.
- CLIMATE-DATA.ORG (s.f). CLIMA PUERTO BAQUERIZO MORENO. AM Online Projects - Alexander Merkel. Recuperado de: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/galapagos-province/puerto-baquerizo-moreno-25463/>
- Colinvaux, P. A., & Schofield, E. K. (1976). Historical ecology in the Galápagos Islands: II. A Holocene spore record from El Junco Lake, Isla San Cristóbal. *The Journal of Ecology*, 1013-1028.
- Cuellar, O. (1984). Histocompatibility in Hawaiian and Polynesian populations of the parthenogenetic gecko *Lepidodactylus lugubris*. *Evolution*, 176-185.
- Daza, J. D., Travers, S. A., & Bauer, A. M. (2012). New records of the mourning gecko *Lepidodactylus lugubris* (Duméril and Bibron, 1836)(Squamata: Gekkonidae) from Colombia. *Check List*, 8(1), 164-167.

- De la Torre, L., Navarrete, H., Muriel, P., Macía, M. J., & Balslev, H. (2008). La diversidad de ecosistemas en el Ecuador. Enciclopedia de las plantas útiles del Ecuador, 28-38.
- 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.
- Gordillo, G., & Work Kendrick, A. (1989). Isla San Cristóbal [Spanish]. *Noticias de Galapagos*, 48, 18-20.
- Herbold, B., & Moyle, P. B. (1986). Introduced species and vacant niches. *The American Naturalist*, 128(5), 751-760.
- Hernandez, F. (2005). Análisis de la variabilidad climática de la costa ecuatoriana. *Acta Oceanogr. Pac*, 2006, 13.
- 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.
- Jadin, R., Smith, E., Altamirano, M., & Yáñez-Muñoz, M. (2009). First record of the common house gecko (*Hemidactylus frenatus*) in Ecuador. *Applied Herpetology*, 6(2), 193-195.
- Kalioztopoulou, A., Carretero, M. A., & Llorente, G. A. (2010). Intraspecific ecomorphological variation: linear and geometric morphometrics reveal habitat-related patterns within *Podarcis bocagei* wall lizards. *Journal of Evolutionary Biology*, 23(6), 1234-1244.
- López Andrade, J. E., & Quiroga Ferri, D. (2018). The Galapagos Urban Context. *Urban Galapagos*, 9–22. doi:10.1007/978-3--99534-2_2
- MacArthur, R. H., & Wilson, E. O. (2001). *The theory of island biogeography* (Vol. 1). Princeton university press.
- 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.
- 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.
- Rodriguez, L. F. (2006). Can invasive species facilitate native species? Evidence of how, when, and why these impacts occur. *Biological Invasions*, 8(4), 927-939.
- Strauss, S. Y., Lau, J. A., & Carroll, S. P. (2006). Evolutionary responses of natives to introduced species: what do introductions tell us about natural communities?. *Ecology letters*, 9(3), 357-374.

- Torres-Carvajal, O. (2015). On the origin of South American populations of the common house gecko (Gekkonidae: Hemidactylus frenatus). *NeoBiota*, 27, 69.
- 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.
- Torres-Carvajal, O., A. Rodríguez-Guerra and J. A. Chaves. 2016. Present diversity of Galápagos leaf-toed geckos (Phyllodactylidae: *Phyllodactylus*) stems from three independent colonization events. *Molecular phylogenetics and evolution*, 103: 1-5.
- Trueman, M., & d'Ozouville, N. (2010). Characterizing the Galapagos terrestrial climate in the face of global climate change. *Galapagos Research*, 67, 26-37.
- Werner, Y. L. (1990). Habitat-dependent thermal regimes of two hawaiian geckos (Reptilia: gekkonidae). *Journal of Thermal Biology*, 15(3-4), 281-290.

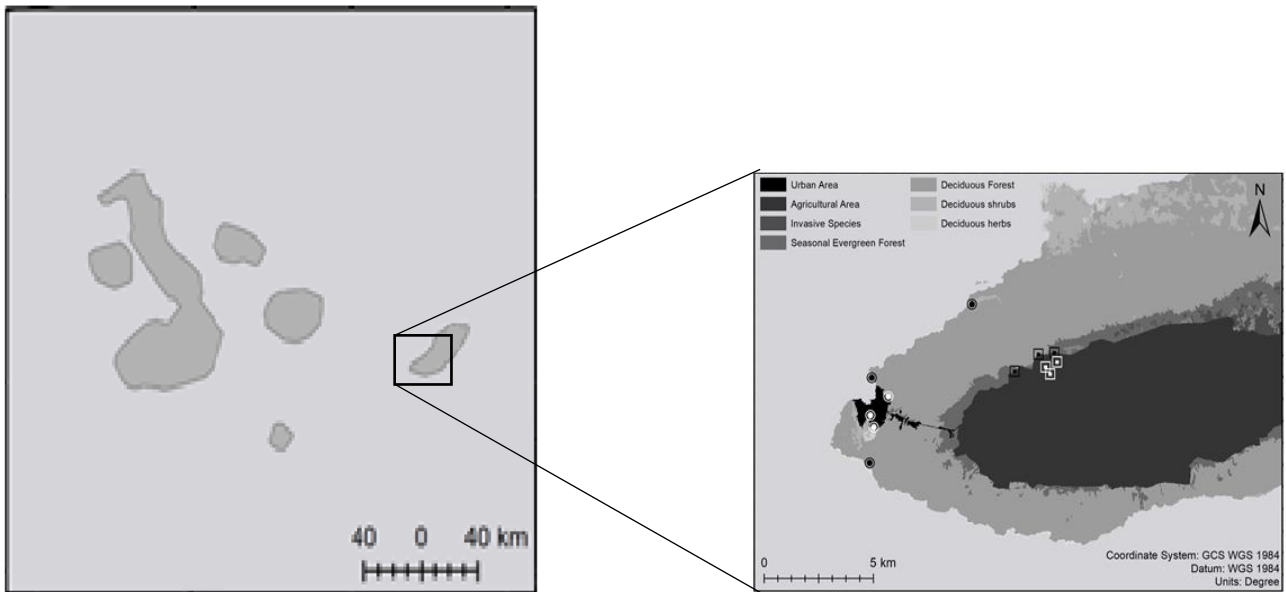
ANEXOS

Anexo A. Climograma de San Cristóbal



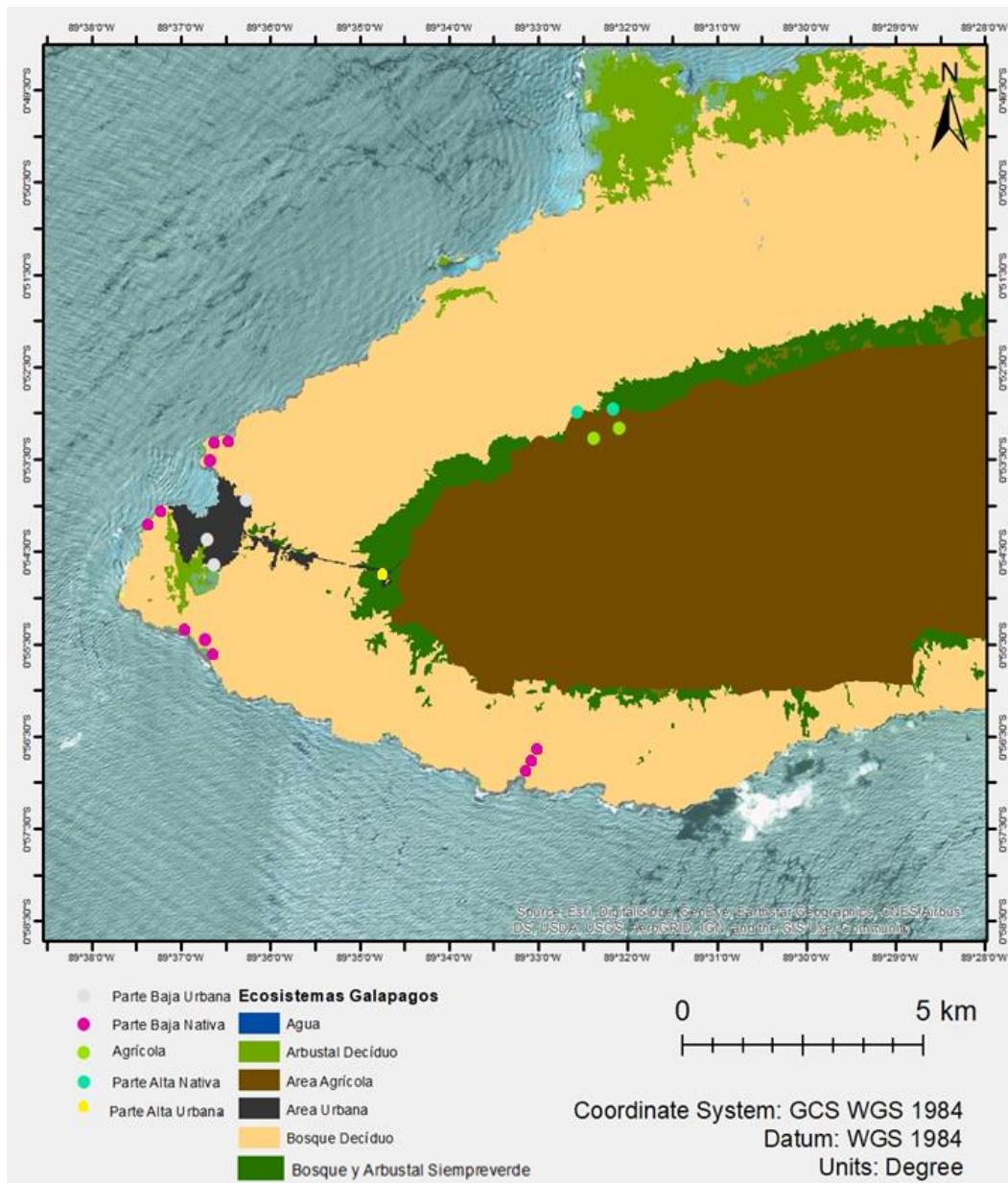
El eje izquierdo es la temperatura, el eje inferior son los meses del año y el eje derecho es la precipitación pluvial. Las barras son para la precipitación pluvial y la línea para la temperatura. Se muestra que el mes más seco es noviembre con 9 mm y el más lluvioso es febrero con 111 mm. Mientras que febrero es el mes más caluroso con 26.1 °C y septiembre el más frío con 21.5 °C (CLIMATE-DATA.ORG, s.f).

Anexo B. Mapa del área de estudio



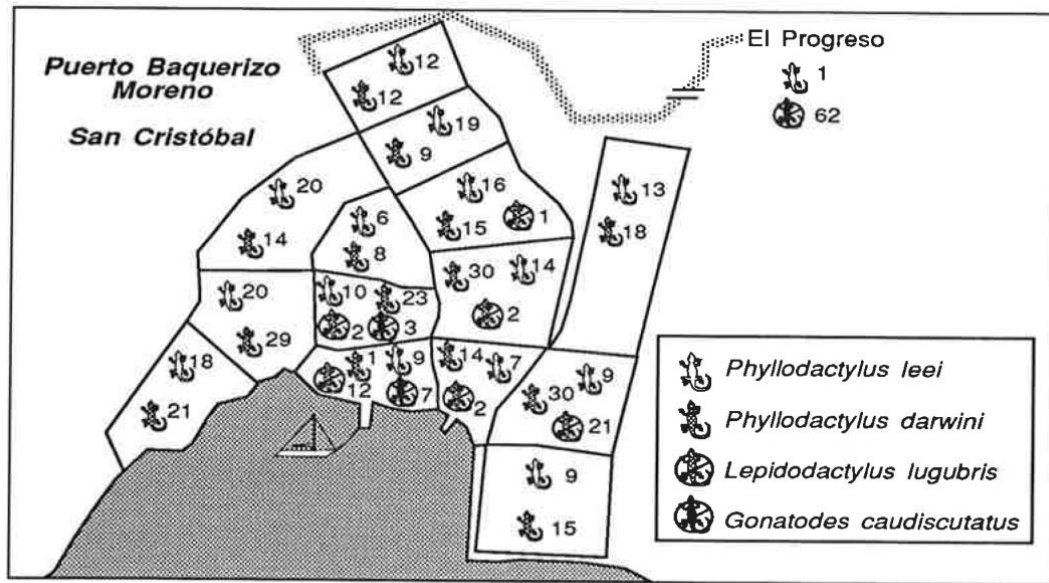
Mapa de galápagos y área de estudio, es una parte de la isla San Cristóbal (Rivas-Torres et al., 2018).

Anexo C. Mapa de ecosistemas de San Cristóbal y distribución de zonas de estudio



Mapa de San Cristóbal detallado los ecosistemas y las zonas de muestro (Rivas-Torres et al., 2018). Los puntos representan el lugar del punto de muestro y los habitas se representan en los colores de los puntos.

Anexo D. Metodología base



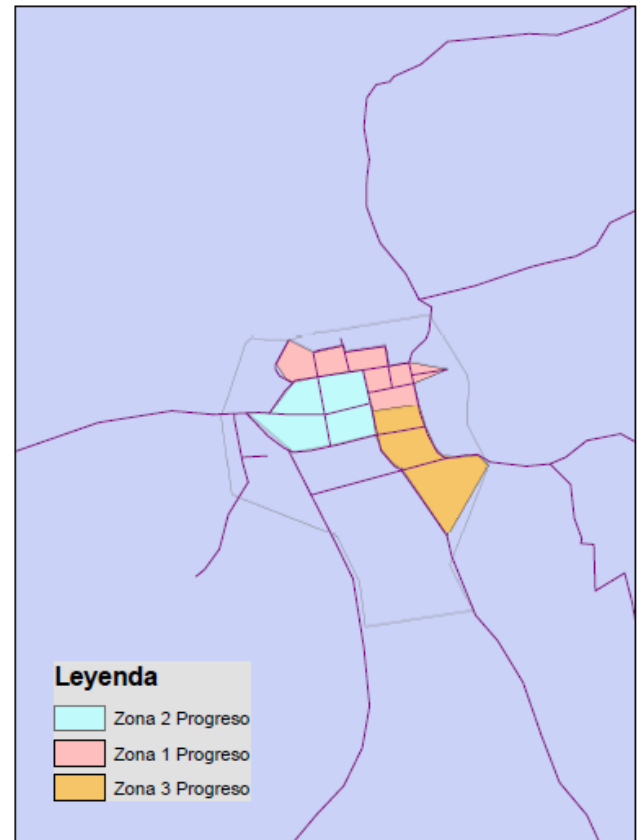
Mapa base para la realización del mapa actual, basado de: Olmedo, J., & Cayot, L. J., (1994).

Anexo E. Mapa de áreas urbanas

Zonas Puerto Baquerizo

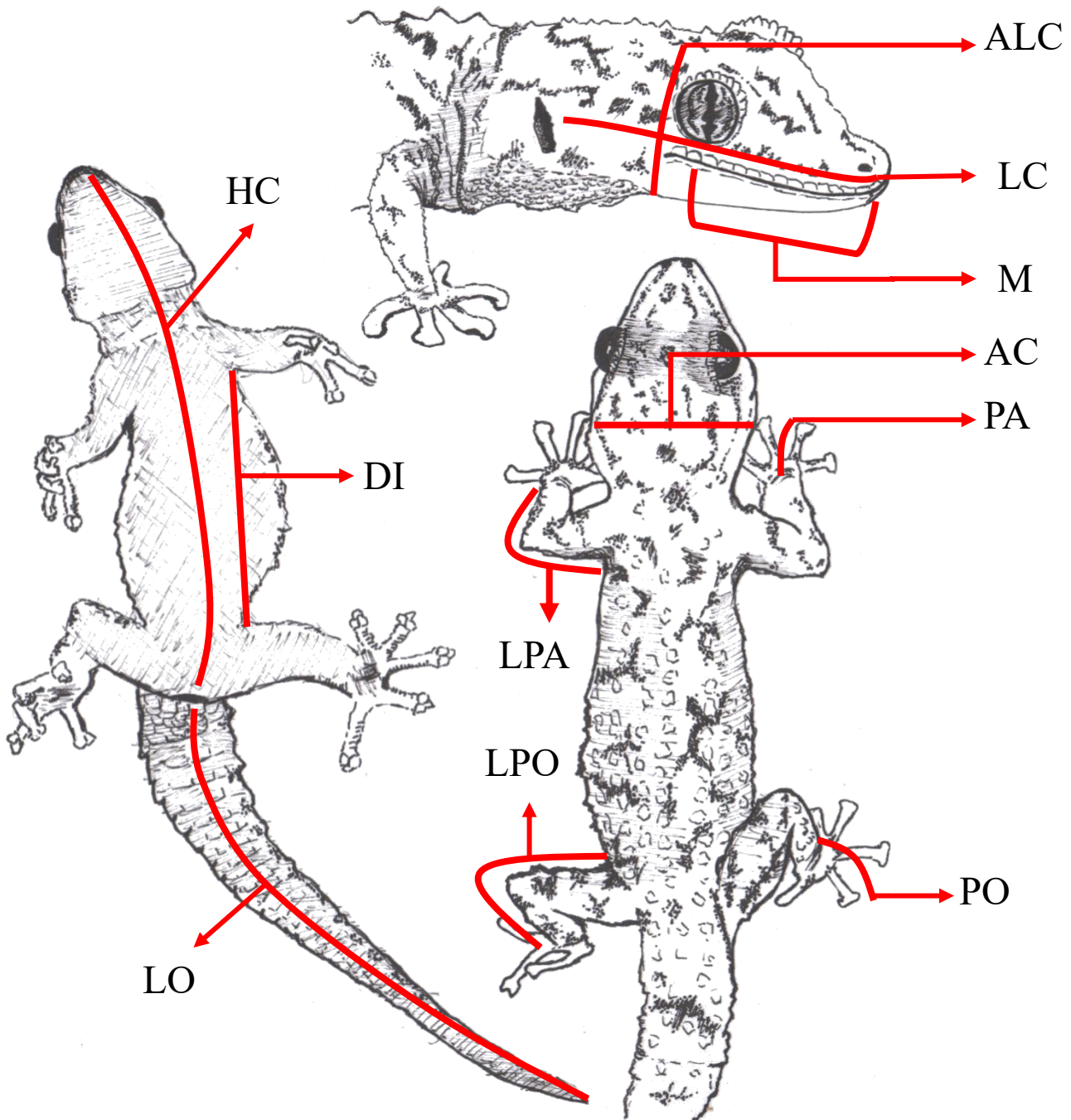


Zonas El Progreso

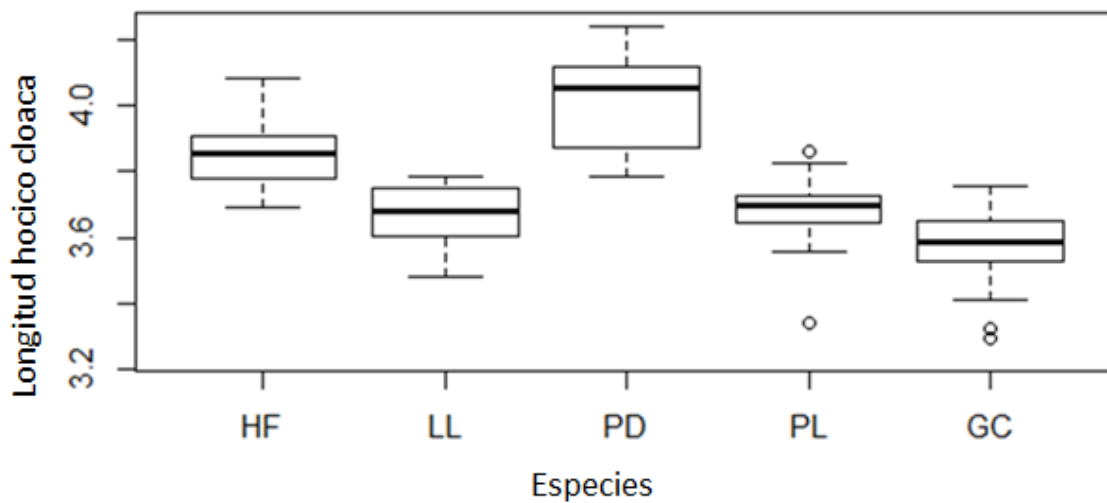


Mapas de parcelas, áreas urbanas. En la parte baja “Puerto Baquerizo” está dividido en 14 parcelas. En la parte alta “El Progreso” está dividido en tres parcelas.

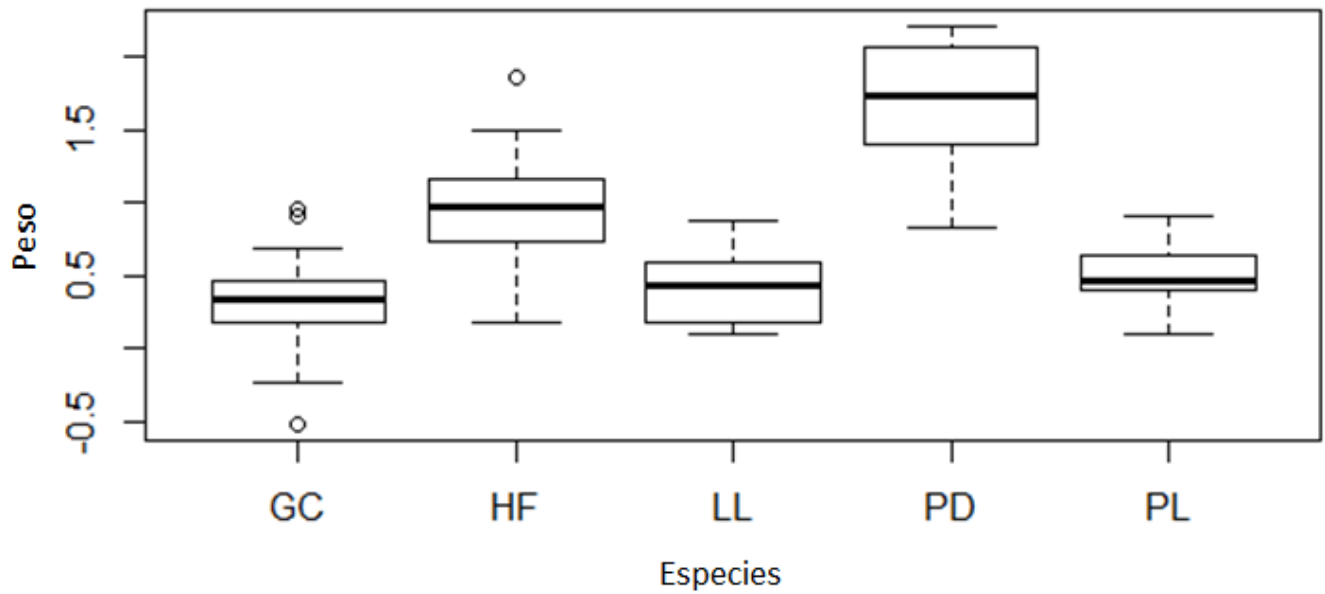
Anexo F. Toma de datos en medidas morfológicas



Medidas morfológicas: 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).

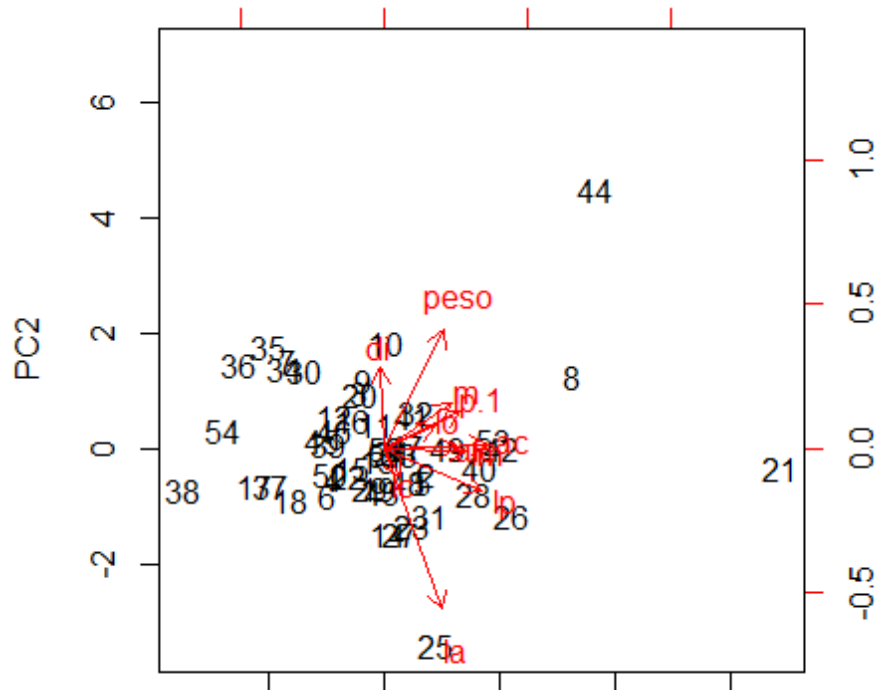
Anexo G. Medias de longitud hocico cloaca de las especies

Especies representadas por *Hemidactylus frenatus* (HF), *Lepidodactylus lugubris* (LL), *Phyllodactylus darwini* (PD), *Phyllodactylus leei* (PL) y *Gonatodes caudiscutatus* (GC). Las especies que más grandes en sus medias son la especie endémica PD y la introducida HF, mientras que PL y GC son las mas pequeñas.

Anexo H. Peso en gramos de las especies

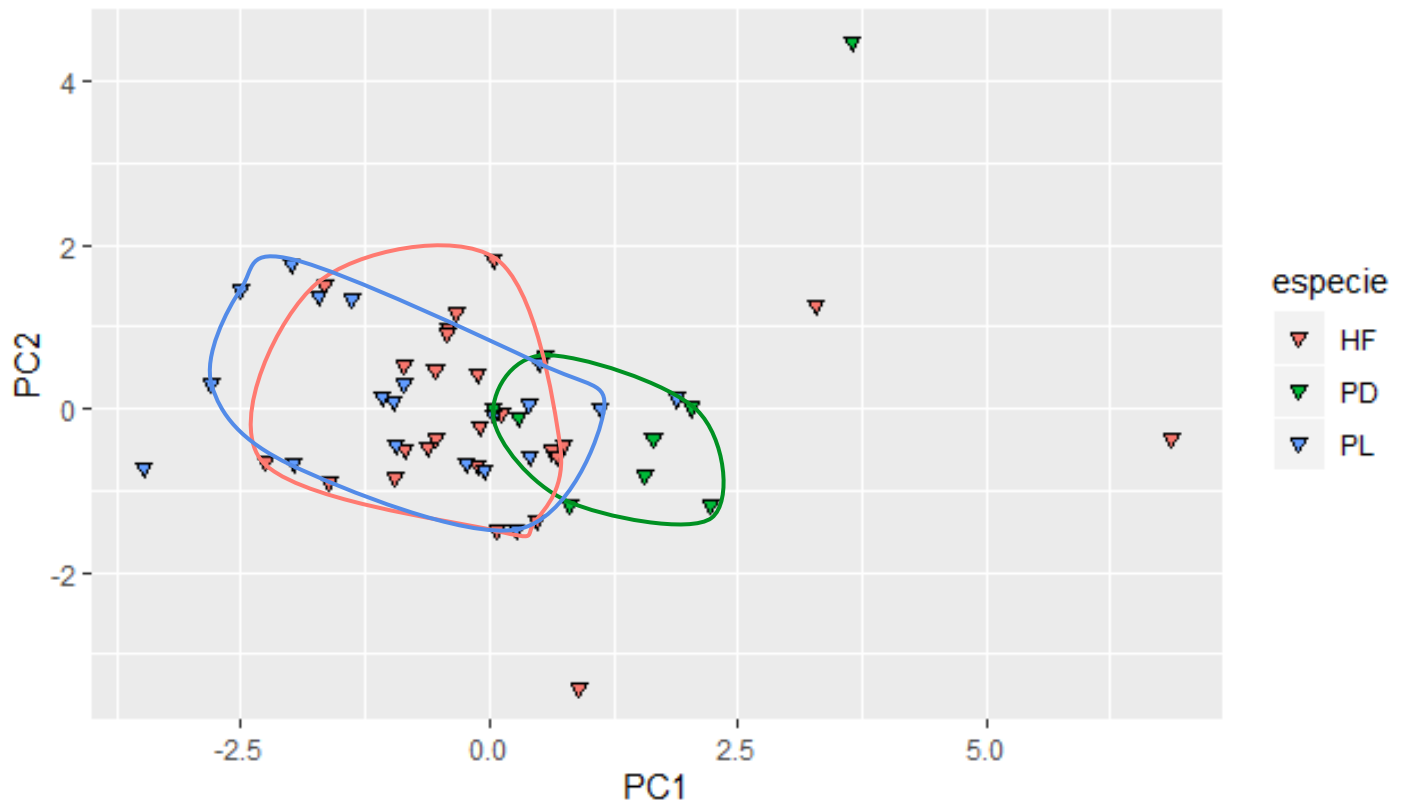
Especies representadas por *Hemidactylus frenatus* (HF), *Lepidodactylus lugubris* (LL), *Phyllodactylus darwini* (PD), *Phyllodactylus leei* (PL) y *Gonatodes caudiscutatus* (GC). La especie con mayor peso es la endémica PD y la menos pesada es PL.

Anexo I. PCA de morfología, peso y temperatura corporal



Analisis hecho con las medidas de Especies representadas por *Hemidactylus frenatus*, *Phyllodactylus darwini* y *Phyllodactylus leei*. Con un PC1 de 57,86% de varianza. Las variables más importantes son la longitud de la extremidad anterior (LPA) y el peso.

Anexo J. PCA de especies



Representación de las agrupaciones morfológicas y de peso de *Hemidactylus frenatus*, *Phyllodactylus darwini* y *Phyllodactylus leei*. La especie que más se diferencia es *P. darwini*, mientras que *P. leei* y *H. frenatus* están solapados entre ellos.

Anexo K. Frecuencias y abundancias en continente

Especies en el microhábitat

	cemento	empaste	madera	metal	roca	vidrio	
HF	2	58	3	1	11	3	78
HM		1	1				2
PR		1					1
	2	60	4	1	11	3	81

Los números son las abundancias entre microhábitat y especies, mientras que las barras grises son las abundancias por separado de especies y de microhábitat. El diámetro de los globos es la frecuencia de la especie en ese microhábitat. Por lo que la especie *H. frenatus* es la más abundante y es mas frecuente en sustratos de empaste.

Anexo L. Clave taxonómica para geos de San Cristóbal

1. Lamelas dilatadas que terminan en garra	4
2. Lamelas no dilatadas y divididas en dos.....	5
3. Dedos Terminados en garras (sin lamelas)	6
4a. Tubérculos en la cola.....	7
4b. Cuerpo liso, si tubérculos, glándulas del cuello inflamadas.....	8
5a. Tubérculos cónicos dorsales y femorales.....	9
5b. Tubérculos cónicos dorsales.....	10
5c. Sin tubérculos, cuerpo liso y compacto.....	11
6. <i>Gonatodes caudiscutatus</i> (Introducido)	
7. <i>Hemidactylus frenatus</i> (Introducido)	
8. <i>Lepidodactylus lugubris</i> (Introducido)	
9. <i>Phylodactylus darwini</i> (Endémico)	
10. <i>Phylodactylus reissii</i> (Introducido)	
11. <i>Phylodactylus leei</i> (Endémico)	

Clave taxonómica que se creó y uso para la identificación y diferenciación de las distintas especies que habitan la isla.

Anexo M. Etograma

Comportamiento	Definición	Código
Movimiento de cola	Movimiento de distracción de la cola al ser atrapados o al ser amenazados	MAC
Soltar la cola	Soltar la cola cuando se sienten amenazados	SC
Rotura de piel	Movimientos bruscos que generan rotura de piel	RP
Defecación	Defecación al momento de sentirse amenazados	Df
Mordidas	Muerden al sentirse amenazados o en peligro	Md
Chasquidos	Generan sonidos vocales cuando están en peligro.	Ch
Dormidos	Dormidos en escondites	Dr
Locomoción	Están moviéndose sobre una superficie	Mv
Estacionarios	Se encuentran reposando sobre una superficie	Et
Sumisos	No presenta agresividad alguna	Su
Gregarios	Esta en un grupo con otros individuos	Gr
Solitarios	Esta alejado de otros individuos	S
Expuestos	Situados en un área abierta	Ex
Escondidos	Situados en lugares de difícil acceso	Ec

Se describe las acciones o situaciones en las que se encontraba al gecko al momento de ser capturados.

Anexo N. Coordenadas de los transectos

Sitio	Sitio	Punto de inicio	Altitud	Punto final	Altitud
Tijeretas	Natural	-89,61123 -0,892843	16,05	-89,610500 - 0,889906	31,54
Lobería	Natural	-89,615345 - 0,922983	9,08	-89,611427 - 0,926640	10,34
Carola	Natural	-89,611260 - 0,891697	16,03	-89,611901 - 0,890341	7,37
Opuntias 1	Natural	-89,552216 - 0,949201	8,81	-89,552312 - 0,945628	29,39
Opuntias 2	Natural	-89,552626 - 0,945645	24,8	-89,550203 - 0,943501	47,71
Opuntias 3	Natural	-89,550177 - 0,942987	42,86	-89,548565 - 0,939771	69,53
Parcela USFQ	Agrícola	-89,524655 - 0,900064	514,08	-89,523189 - 0,896004	539,13
Hacienda la tranquila 4	Natural	-89,539103 - 0,883659	361,78	-89,542030 - 0,883323	345,17
Hacienda la tranquila 1	Agrícola	-89,538811 - 0,890496	389,8	-89,537804 - 0,891611	414,59
Hacienda la tranquila 2	Agrícola	-89,538875 - 0,886403	401,72	-89,539616 - 0,886358	415,19
Hacienda la tranquila 3	Natural	-89,539097 - 0,883640	353,31	-89,535910 - 0,882696	387,46

Las coordenadas corresponden a los transectos realizados en los dos años. Esta en grados decimales. Los sitios naturales corresponden a el Parque Nacional Galápagos.

Anexo O. Índice de esfuerzo de muestreo en hora persona

Especie	Urbano seco	Natural seco	Urbano húmedo	Natural húmedo	Agrícola	Total por especies	Continente
2018							
HF	6.62	0	0.41	0	0	7.03	---
LL	0.39	0	0.91	0	0	1.30	---
GC	0.01	0	4.41	1.77	2.22	8.41	---
PD	1.58	0.91	0.16	0	0	2.65	---
PL	1.13	1.66	0	0	0	2.79	---
PR	0.14	0	0.16	0	0	0.30	---
Total	9.87	2.57	6.05	1.77	2.22	22.48	---
2019							
HF	5.17	0.01	0.16	0	0	5.34	3.25
LL	0.33	0	0.25	0	0	0.58	0
GC	0.19	0.32	1.41	1.20	0.52	3.64	0
PD	0.50	0.64	0.08	0	0	1.22	0
PL	0.12	0.82	0	0	0	0.94	0
PR	0.03	0.02	0	0	0	0.05	0.04
HM	---	---	---	---	---	---	0.08
Total	6.34	1.81	1.90	1.20	0.52	11.77	3.37

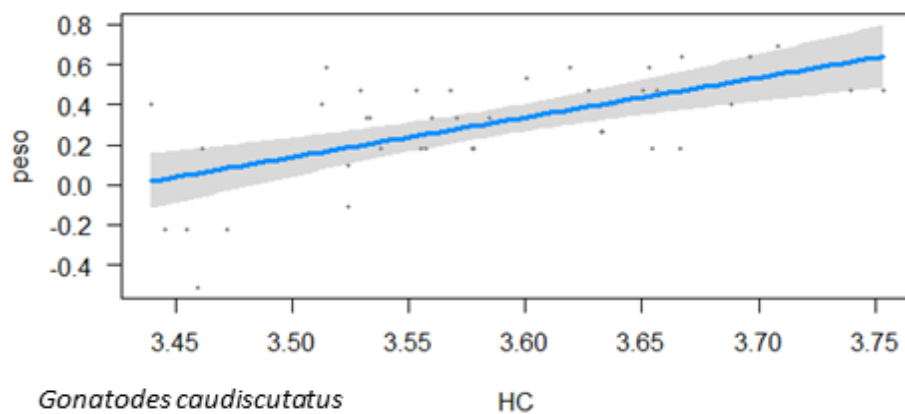
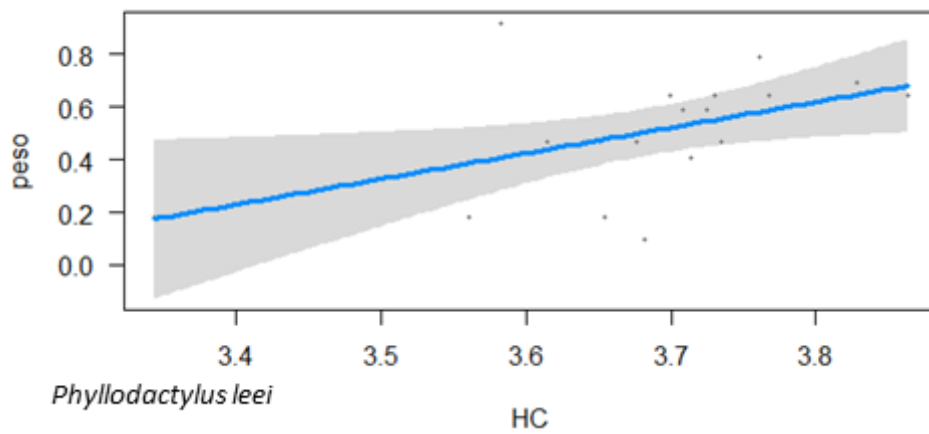
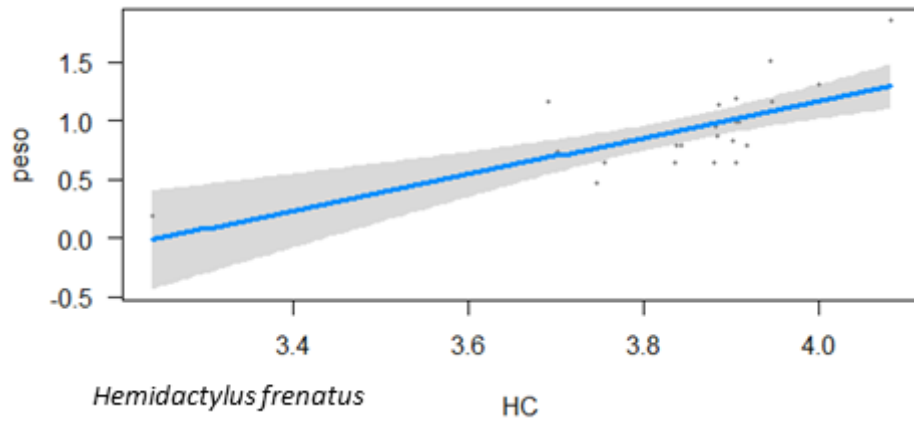
Con un total de 134 horas de muestreo activo en el año 2018 y 242 horas de muestreo en el 2019. El muestro en el continente solo se lo realizó en el segundo año. Especie *Hemidactylus mabouia* (HM) solo se la encontró en el continente. Hay mayor abundancia de individuos en el primer año.

Anexo P. Descripción de sustratos

Sustrato	Descripción	Código
Arena	Sustrato de arena fina o gruesa que este en las zonas costeras.	A
Bloque	Bloque de construcción de casas.	B
Cemento	Cemento de pared y de piso. Se incluye cualquier estructura recubierta con cemento.	C
Empaste de pared	Se considera la cubierta de las paredes y estructuras que tengan la contextura y característica de empaste.	E
Hojarasca	Es la capa de hojas del sotobosque.	H
Madera	Se considera madera a las cortezas de los árboles, a los árboles y madera que no este lacada.	M
Metal	Estructuras de metal	ME
Roca	En general roca volcánica o roca de construcción.	R
Vidrio	Vidrio sin	V

Descripción de que se consideró como sustrato y como se lo determinó.

Anexo Q. Regresiones lineales, incremento de peso por longitud hocico cloaca



Regresión lineal de longitud hocico cloaca y el peso. En azul esta la línea de mejor ajuste entre las dos variables. La especie *Gonatodes caudiscutatus* es la que tiene mayor incremento de peso.

Anexo R. Frecuencias y abundancias de las especies

Especies en el ecosistema

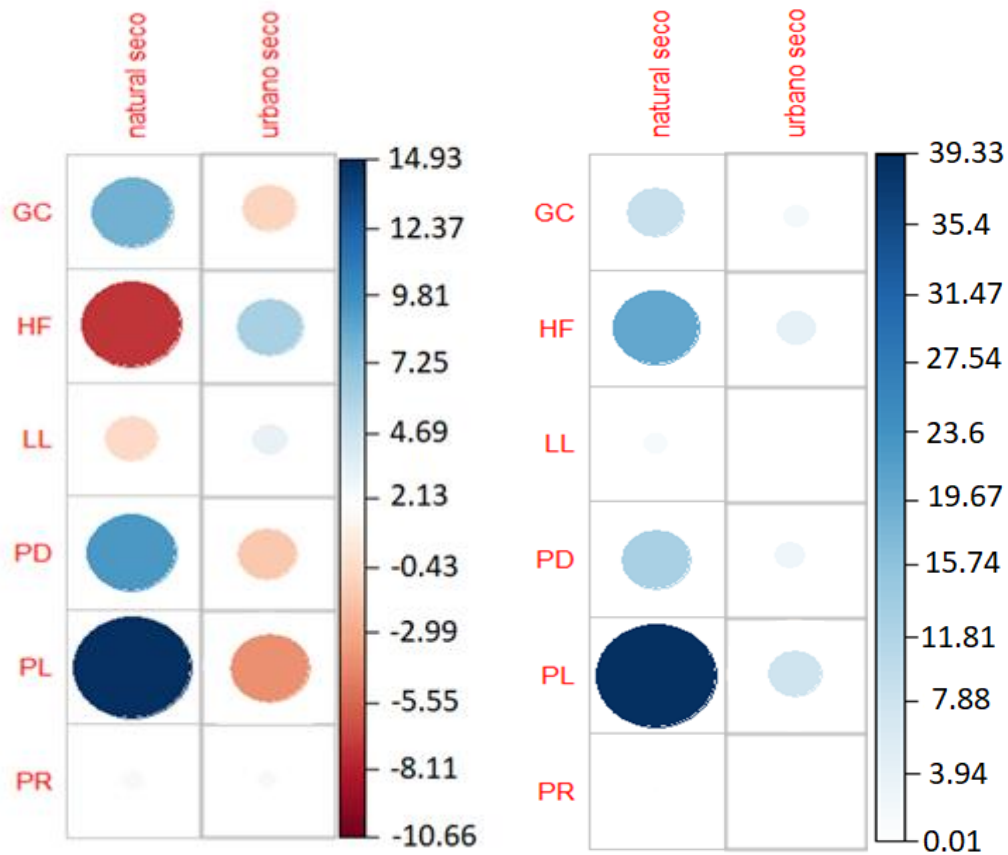
Abundancia		Ecosistema	
		alta húmedo	baja seco
GC		307	39
HF		7	677
LL		14	52
PD		3	125
PL			111
PR		2	8

Especies en el hábitat

Abundancia		Hábitat				
		agrícola	natural húmedo	natural seco	urbano húmedo	urbano seco
GC		118	119	25	70	14
HF				1	7	676
LL					14	52
PD				61	3	64
PL				84		27
PR				2	2	6

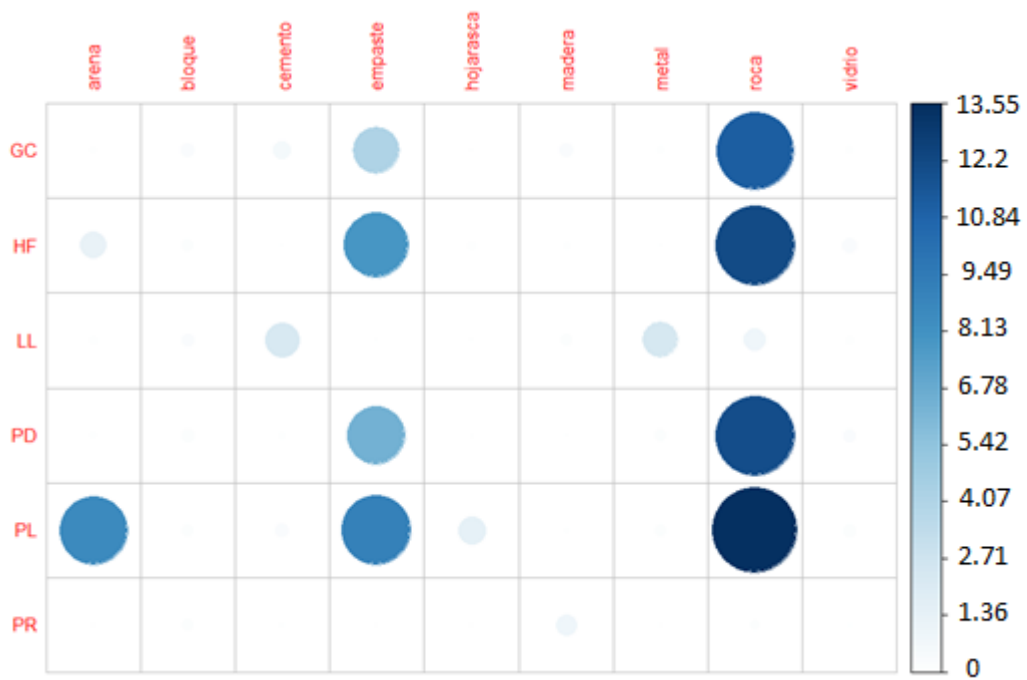
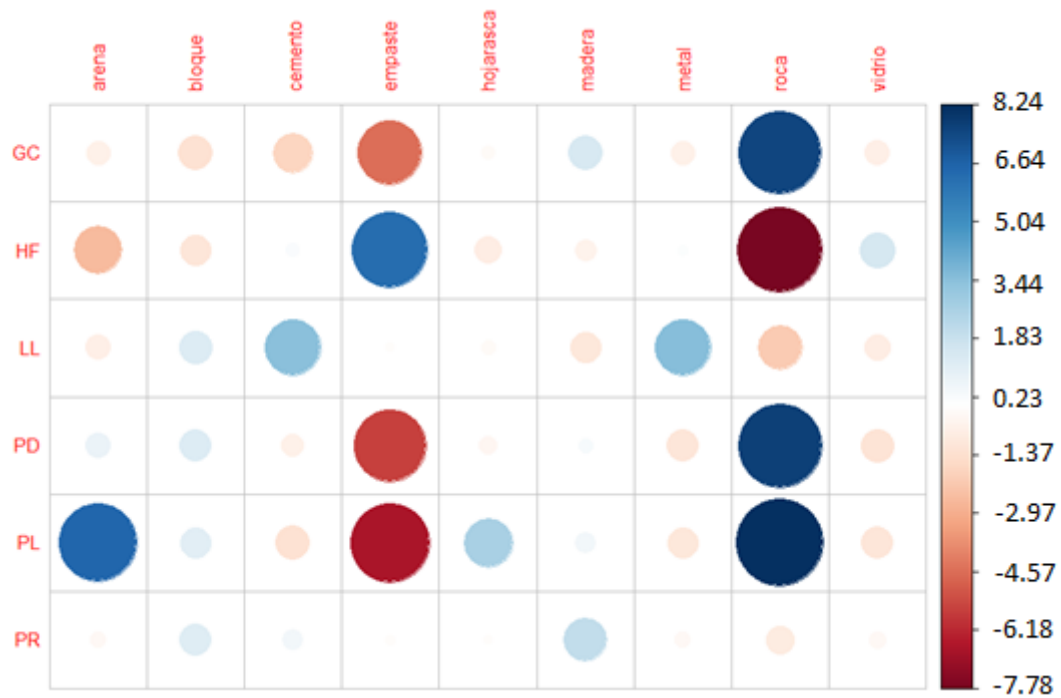
Los números representan las abundancias entre el lugar (ecosistema/hábitat) y las especies, las barras representan la abundancia por especie y lugar por separado. Mientras que el diámetro de las circunferencias representa la frecuencia de la especie con el lugar. *Hemydactylus frenatus* es muy abundante y frecuente en ecosistemas secos en hábitats urbanos. Las especies endémicas son mas abundantes en habitas secos pero mas frecuentes solo en el hábitat natural seco.

Anexo S. Correlaciones de hábitats secos



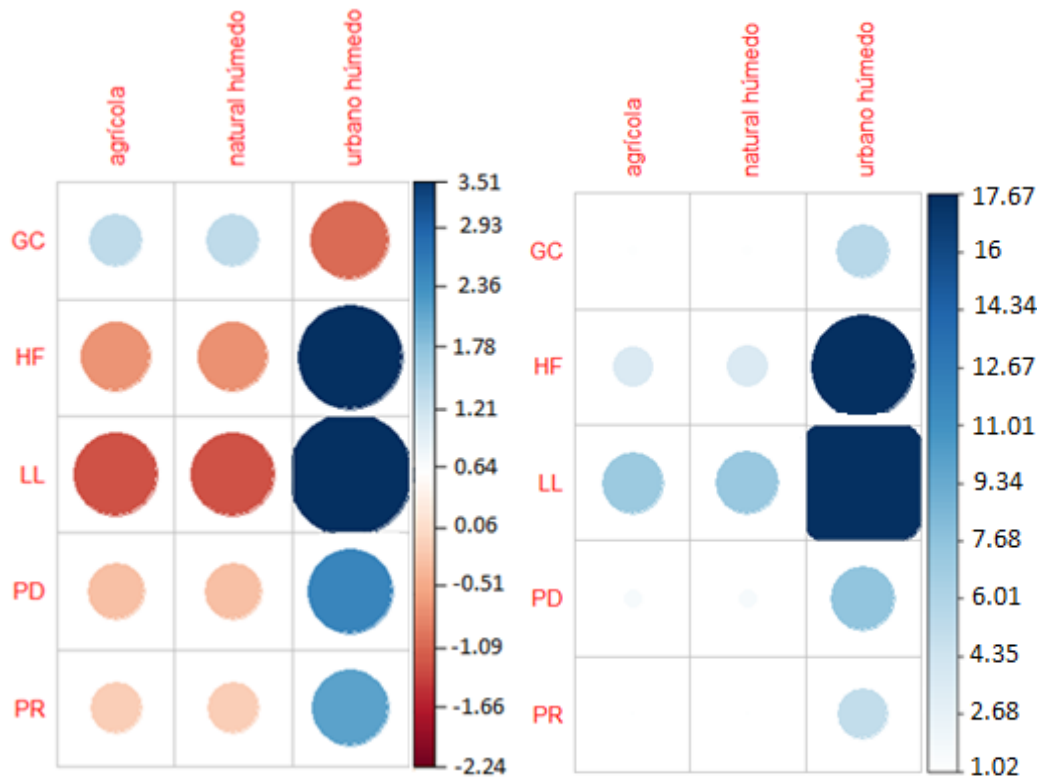
Especies representadas por *Hemidactylus frenatus* (HF), *Lepidodactylus lugubris* (LL), *Phyllodactylus darwini* (PD), *Phyllodactylus leei* (PL), *Phyllodactylus reissii* (PR) y *Gonatodes caudiscutatus* (GC). Globos más azules correlaciones positivas, globos más rojos correlaciones negativas. Diámetro de la circunferencia es el aporte de la correlación a la relación especie hábitat, diámetro más grande mayor aporte a la relación. El segundo gráfico en el lado derecho es el gráfico de significancia, muestra en una escala de azules, la significancia de las correlaciones positivas y negativas. Especies endémicas muy relacionadas a hábitats naturales secos.

Anexo T. Correlaciones de microhábitats secos



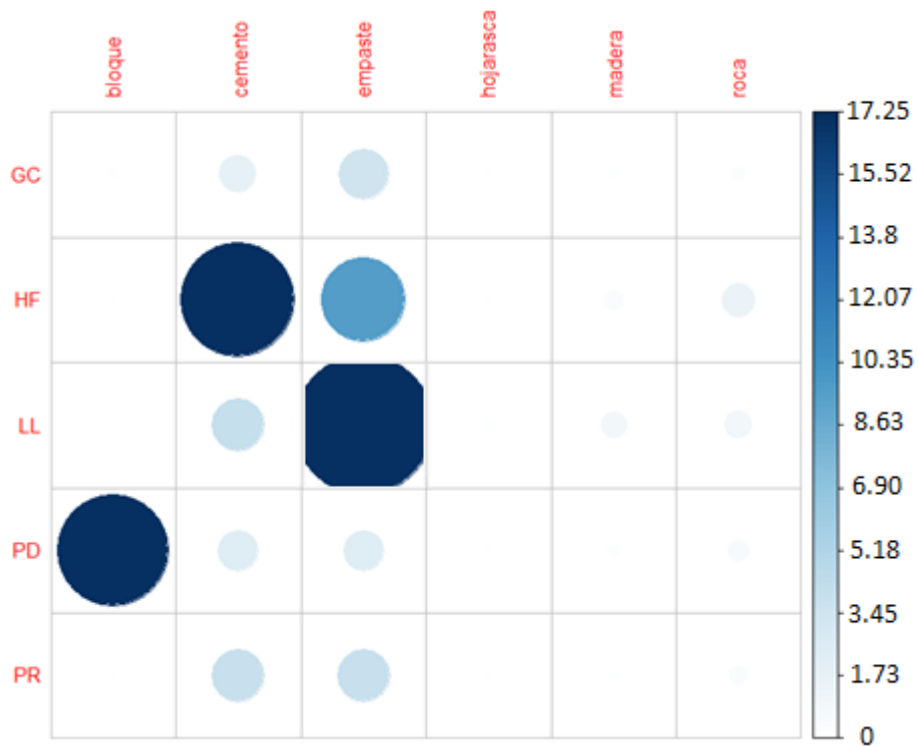
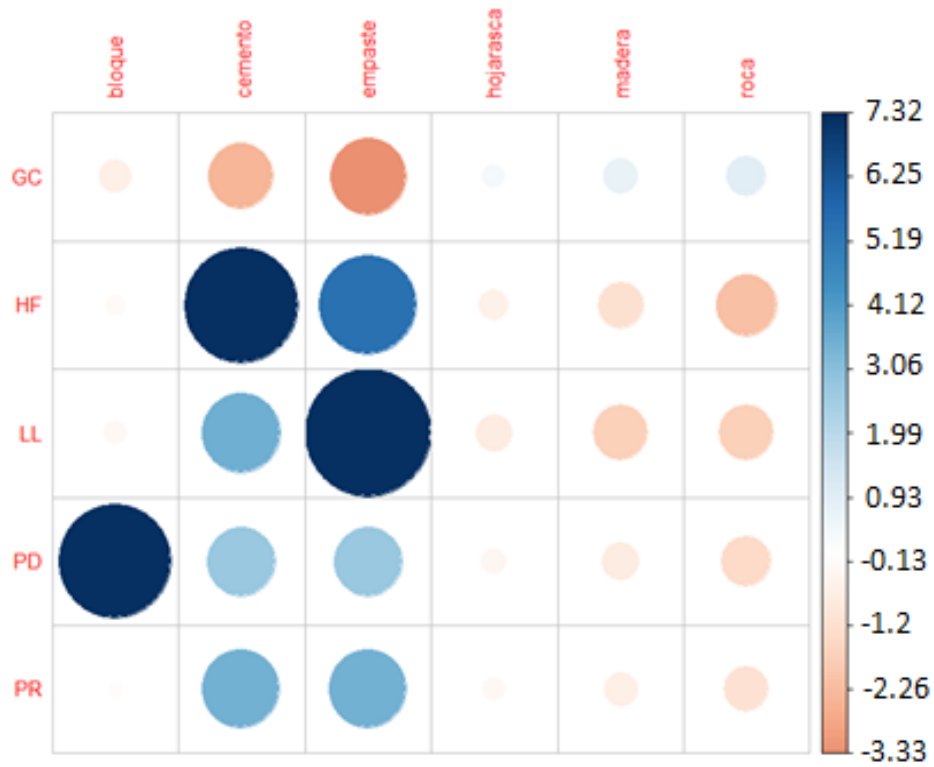
El gráfico de significancia muestra que el microhábitat roca y empaste son que más influyen en la relación, tanto para correlación positiva como negativa de las especies endémicas y de las introducidas.

Anexo U. Correlaciones de habitas húmedos

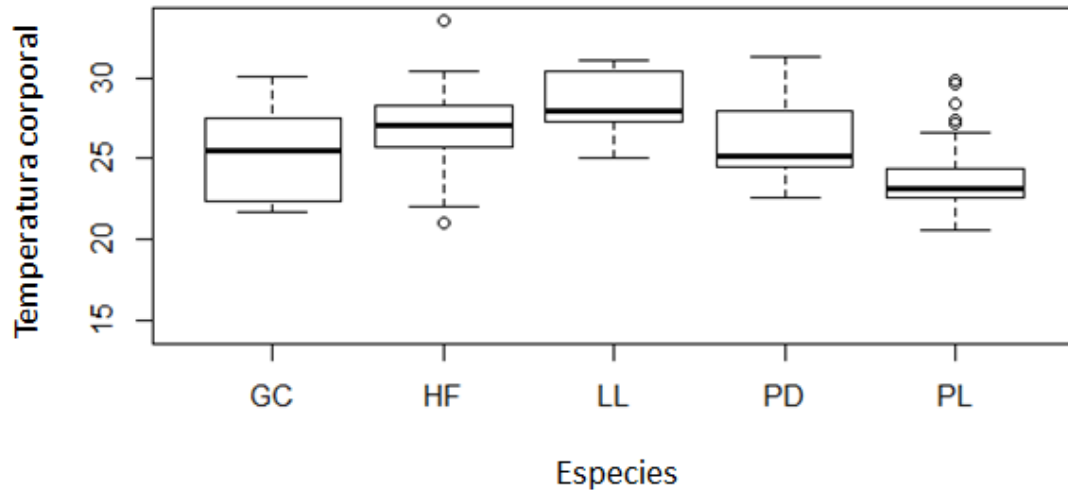


La mayoría de las especies están correlacionadas (positivo y negativo) a urbano húmedo. Mientras que GC esta correlacionada solo con hábitats agrícola y natural. La especie LL es la que más asociada está a hábitats urbano húmedo.

Anexo V. Correlaciones de microhábitat de ecosistema húmedo



LL es la más relacionada a sustratos urbanos, la especie endémicas PD se relaciona a empaste de bloque muy similar a empaste rocoso del ecosistema seco.

Anexo X. Temperatura corporal de especies

La especie que tiene menor temperatura corporal es *Phyllodactylus leei* mientras que la especie con mayor temperatura es *Lepidodactylus lugubris* y *Hemidactylus frenatus*.