

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Descripción inicial de la dieta de la tortuga gigante de la Isla Santiago  
(*Chelonoidis darwini*), Galápagos, Ecuador**

**Disertación previa a la obtención del título de Licenciada en Ciencias  
Biológicas**

**PAMELA SALOMÉ PILLAJO MONTESDEOCA**

**Quito, 2020**

Certifico que la Disertación de Licenciatura en Ciencias Biológicas de la Srta. Pamela Salomé Pillajo Montesdeoca ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas. Por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Rafael E. Cárdenas, PhD

Director de la Disertación

Quito, 18 de noviembre de 2020

**DEDICATORIA**

A mi familia, el motor de mi vida que me ha impulsado a seguir adelante cada día

**A Francisco, Nancy,  
Fernanda, Martina y Danna.**

A mi amigo, que su temprana partida,  
me hizo valorar más la vida.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y a mis hermanas por su amor incondicional y apoyo absoluto, que ha sido fundamental para cumplir mis metas.

Agradezco a la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG), a la Fundación Charles Darwin (FCD) y principalmente a Galápagos Conservancy (GC), ya que su apoyo al facilitarme los permisos, el uso de las instalaciones y los equipos, así como el apoyo de voluntarios y del personal científico, fue primordial para la realización de mi tesis.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por ser el ente de enseñanza en mi vida profesional y personal.

A Rafael Cárdenas, mi director de tesis, que me brindó la apertura y el apoyo para desarrollar este trabajo, además por su conocimiento y consejos que me inspiran a visionar más allá.

A Washington Tapia, mi tutor científico y mentor, por su dedicada labor a la protección de las tortugas gigantes de Galápagos, lo cual ha sido una inspiración para mí; en especial por su sabiduría, apoyo y confianza brindada para la realización de este trabajo.

A Patricia Jaramillo tutora científica de la Fundación Charles Darwin (FCD) por su guía, apoyo y confianza brindada para la realización de este trabajo.

Al equipo de Galápagos Conservancy y Galápagos Verde 2050 de la FCD por hacerme sentir miembro del equipo, tanto en sus actividades, como en eventos de capacitación y aprendizajes, agradezco su amistad y el apoyo brindado.

A la familia, primos, tíos y abuelos, a pesar de no estar presentes o de la distancia, me han hecho sentir el cariño y apoyo constante para conmigo; principalmente a mi familia galapagueña que han sido mi soporte durante el desarrollo del trabajo.

A mis amigos incondicionales del colegio, de la universidad y de la vida, con los que he compartido experiencias que me han fortalecido.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE TABLAS .....	VIII
LISTA DE ANEXOS .....	IX
1. RESUMEN .....	1
2. ABSTRACT .....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
4. OBJETIVOS .....	8
4.1. OBJETIVO GENERAL .....	8
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
5.1. ÁREA DE ESTUDIO .....	9
5.1.1. ISLA SANTIAGO.....	9
5.1.2. ZONAS ECOLÓGICAS .....	9
5.2. LA TORTUGA GIGANTE DE SANTIAGO .....	11
5.3. RECOLECTA Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	11
5.4. PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS.....	12
5.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	13
6. RESULTADOS .....	15
6.1. DIETA DE <i>Chelonoidis darwini</i> .....	15
6.2. PREFERENCIA ALIMENTICIA DE <i>C. darwini</i> .....	20
6.3. INTERACCIÓN HERBÍVORO-PLANTA .....	22
7. DISCUSIÓN .....	27
7.1. DIETA DE <i>Chelonoidis darwini</i> .....	27
7.2. PREFERENCIA ALIMENTICIA DE <i>C. darwini</i> .....	30
7.3. INTERACCIÓN HERBÍVORO-PLANTA .....	32
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	36
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

10. ANEXOS .....	44
------------------	----

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Riqueza de especies vegetales por familia.....	16
Figura 2. Número de especies vegetales por muestra de heces de <i>C. darwini</i> de la zona árida y húmeda.....	17
Figura 3. La riqueza de especies y abundancia de semillas en la dieta de <i>C. darwini</i> . .....	18
Figura 4. Cantidad de semillas por cada especie de planta registradas en las muestras de heces de <i>C. darwini</i> en la zona árida y húmeda de la Isla Santiago.	20
Figura 5. Frecuencia de especies presentes en la dieta de <i>C. darwini</i> según el hábito de las especies de plantas (herbáceas o leñosas). .....	21
Figura 6. Frecuencia de especies de plantas según su origen. ....	22
Figura 7. Frecuencia de ocurrencia de las especies de plantas más comunes presentes en la dieta de <i>C. darwini</i> en las dos zonas ecológicas estudiadas .....	23
Figura 8. Frecuencia de ocurrencia de las especies vegetales compartidas presentes en las muestras de heces de <i>C. darwini</i> tanto en la zona árida y húmeda.....	24
Figura 9. NMDS de zonas de muestreo. ....	24
Figura 10. NMDS de especies vegetales registradas en la dieta de <i>C. darwini</i> , en la zona árida y húmeda.....	25

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Familias de plantas registradas en la dieta de <i>C. darwini</i> con la cantidad de semillas encontradas por zona ecológica (Z = zona).....	15
--	----

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Variación de la temperatura y corrientes marinas de Galápagos y sus corrientes marinas.....	44
ANEXO 2. Tres tipos de caparazón de tortuga en las Islas Galápagos: .....	45
ANEXO 4. Mapa de ubicación y vegetación de la Isla Santiago .....	46
ANEXO 5. Sitios de colecta en la Isla Santiago. En amarillo la zona árida y en verde la zona húmeda.....	47
ANEXO 6. Datos de las muestras analizadas y sus coordenadas de colecta.....	48
ANEXO 7. Fotografías del procedimiento del estudio.....	49
ANEXO 8. Fotos de las semillas identificadas.....	50
ANEXO 9. Especies de planta registradas en la dieta de las tortugas <i>Chelonoidis darwini</i> de la zona árida, Isla Santiago.....	55
ANEXO 10. Especies de planta registradas en la dieta de las tortugas <i>Chelonoidis darwini</i> de la zona húmeda, Isla Santiago. ....	58
ANEXO 11. Valor de estrés para confiabilidad de NMDS.....	60
ANEXO 12. Fotos de algunos elementos encontrados en las muestras de heces. .....	60
ANEXO 13. Semillas encontradas en proceso de germinación. ....	61

## 1. RESUMEN

Dentro de la Iniciativa de Restauración de Tortugas Gigantes, se realizó la primera descripción de la dieta en estado silvestre de *Chelonoidis darwini*, especie de tortuga gigantes endémica de la Isla Santiago. Este programa es ejecutado por la Organización Galápagos Conservancy, conjuntamente con la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG). En este estudio se utilizó el método de post-ingestión, para determinar cuáles son las características de la dieta de esta especie, en términos de las especies vegetales de las que está compuesta y la relación existente entre las plantas introducidas y las tortugas gigantes de la isla. Las muestras fueron recolectadas en dos zonas ecológicas de la isla, en la árida y la húmeda, siguiendo los protocolos de bioseguridad establecidos por la DPNG. En el laboratorio se separó el material vegetal contenido en cada muestra, categorizándolo como: cactáceas, herbáceas, flores y semillas, las cuales sirvieron para la identificación de las diferentes especies. Se encontró que la dieta de *C. darwini* incluye más de 100 especies diferentes, destacando la presencia de especies más frecuentes como *Blainvillea dichotoma*, *Oxalis corniculata*, *Digitaria horizontalis* y *Paspalum conjugatum*. Además, se registró una gran diferencia en la diversidad de especies incluidas en la dieta de las tortugas según la zona ecológica en la que habitan, siendo aquellas que viven en la zona árida las que consumen una variedad más amplia de especies (74,26 %), en contraste con las que habitan la zona húmeda, las cuales incluyeron una menor variedad de especies en su alimentación (33.66%).

**Palabras clave:** *Chelonoidis darwini*, dieta, especies vegetales, isla Santiago-Galápagos, semillas.

## 2. ABSTRACT

Within the Giant Tortoise Restoration Initiative, the first description of the diet of *Chelonoidis darwini* in the wild was made, it is a species of giant tortoise endemic to Santiago Island. This program is executed by the Galapagos Conservancy, in addition to the Galapagos National Park Directorate (GNPD). This study used the post-ingestion method to determine the characteristics of the diet in this species, in terms of the composition of the plant species and the relationship between the introduced plants and the giant tortoises of the island. The samples were collected in two ecological areas of the island, in the arid and humid, following the biosecurity protocols established by the DGNP. In the laboratory the vegetal material contained in each sample was separated, and categorized as: cactus, herbaceous, flowers and seeds, which served for the identification of the different species. It was found that the diet of *C. darwini* includes more than 100 different species, highlighting the presence of more frequent species *Blainvillea dichotoma*, *Oxalis corniculata*, *Digitaria horizontalis*, *Paspalum conjugatum*. In addition, a great difference was observed in the diversity of species included in the diet of the tortoises according to the ecological zone in which they live, with those living in the arid zone consuming a wider variety of species (74,26 %), in contrast with tortoise that inhabit the humid zone, which included a smaller variety of species in their diet (33.66%).

Keywords: *Chelonoidis darwini*, food diet, plant species, Santiago island-Galapagos, seeds.

### 3. INTRODUCCIÓN

El archipiélago de Galápagos provincia de Ecuador, está situado en el Océano Pacífico (Instituto Oceanográfico de la Armada, 2011) al oeste de la costa ecuatoriana, a una distancia alrededor de 1000 km, a la altura de la línea ecuatorial, con las coordenadas más externas entre los rangos longitudinales 89° 14" O y 92° 00" O, y entre rangos latitudinales 01°40' N, 01°24' S, teniendo como punto más alto al volcán Wolf, que mide 1707 metros sobre el nivel del mar ubicado en la Isla Isabela (Dirección del Parque Nacional Galápagos, 2014).

Todo el archipiélago es de origen volcánico, cubre una superficie terrestre total de 8046 km<sup>2</sup> de los cuales el 97% es catalogado como área protegida, se encuentra formado por 234 unidades emergidas, incluyendo 13 islas mayores, cinco islas menores, además de islotes y rocas (INGALA, PRONAREG, ORSTOM, 1989; Dirección del Parque Nacional Galápagos, 2019).

Las islas Galápagos se formaron aproximadamente hace 3 a 5 millones de años, producto de exposiciones de lava en un punto caliente situado debajo la placa de Nazca, la cual forma la cima de la cordillera marina Carnegie (Clausen, 2016). Esta placa al oeste limita con la placa Pacífica y al norte con la placa de Cocos (Piu, 2003). Están situadas en la zona Tropical y exhiben un clima estacional atípico: la estación seca, localmente conocida como de garúa ocurre durante los meses de junio a diciembre, con la influenciada de la corriente fría de Humboldt, la cual trae vientos alisios, disminuye los niveles de evaporación, manteniendo temperaturas marinas y ambientales inferiores a 22°C; con muy poca precipitación en las zonas húmedas y casi nulas en las áridas (Trueman y d'Ozouville, 2010). Por otro lado, la estación cálida, afectada por la corriente cálida de El Niño se presenta de enero a mayo, caracterizada por temperaturas tanto marinas y ambientales que superan los 25°C, la ausencia de vientos y la presencia de fuertes precipitaciones (Black, 1973; INAMHI, 2019; Anexo 1 A, B).

Los ecosistemas terrestres del archipiélago se dividen en función de la presencia de comunidades vegetales y de la cantidad de precipitación que

aumenta proporcionalmente con la elevación de la isla, identificando cuatro zonas ecológicas: litoral, árida, de transición y húmeda, pero la biodiversidad varía de isla a isla (Wiggins y Porter, 1971; Trueman y d'Ozouville, 2010). A escala global, la diversidad de fauna y flora de Galápagos no es alta, pero contiene un alto porcentaje de endemismo (32%), siendo los grupos más distintivos: opuntias, caracoles terrestres del género *Bulimulus*, plantas de scalesias, pinzones de Darwin y tortugas gigantes (DPNG, 2014; Villarruel y de la Torre, 2014).

Las tortugas gigantes *Chelonoidis* spp. son los herbívoros más grandes del archipiélago de Galápagos (Blake et al., 2013), y sus poblaciones fueron predominantes dentro de las especies animales con una amplia distribución, previo al descubrimiento del Archipiélago hace alrededor de 500 años y su posterior colonización humana (Gibson y Hamilton, 1983). Existieron 15 especies de tortugas gigantes, de las cuales tres están extintas. Todas divergieron de un ancestro en común, posiblemente originario del sur de América, que colonizó desde islas geológicamente antiguas hasta islas más jóvenes, hace unos 2 a 3 millones de años (Caccone, Gibbs, Ketmaier, Suatoni, y Powell, 1999) y siendo la tortuga de Argentina, *Chelonoidis chilensis*, el pariente más cercano. Las diferencias morfológicas en forma y tamaño de caparazón, longitud del cuello y extremidades entre las poblaciones de tortugas, parecen estar influenciadas por factores bióticos y abióticos propios de cada isla (Enríquez, 1984; Caccone et al., 2002).

Esto se puede evidenciar en las tortugas con el caparazón tipo montura, que tienen cuello y patas largas como *Chelonoidis hoodensis* de la isla Española, adaptadas a islas áridas con escasa vegetación de bajo crecimiento (como plantas pequeñas, pasto), menos comida y agua disponible, por tal las tortugas requieren explorar áreas más amplias verticalmente, y sus extremidades alargadas les benefician para alcanzar cactus y arbustos, así obtienen alimentos y agua, pero mantiene el tamaño del cuerpo pequeño para minimizar las necesidades totales de energía (Arnold, 1979; Nieuwolt, 1989). Caso contrario es, el de las tortugas de caparazón tipo cúpula como *Chelonoidis donfaustoi* de la isla Santa Cruz, las cuales habitan en islas de mayor humedad (islas donde a mayor elevación, hay mayor humedad y diversidad de vegetación), donde existen varios tipos de

vegetación en abundante cantidad, disponible para su consumo, predominantemente plantas pequeñas y de fácil alcance como arbustos bajos y pastos. Así mismo, se encuentran tortugas con caparazón tipo intermedio como *Chelonoidis becki* del volcán Wolf, que comparte características como caparazón parecido a domo, y extremidades alargadas como las de tipo montura, dependiendo de los requerimientos de la Isla en la que habitan (Cayot, 2018; Anexo 2 A, B, C).

Las tortugas gigantes son herbívoras e incluyen en su dieta especies de cactus del género *Opuntia*, pastos, hojas, frutos y una amplia variedad de semillas, y ocasionalmente se produce ingestión involuntaria de materia animal, insectos o huesos que se encuentran al momento del forrajeo (Gibson y Hamilton, 1983; MacDonald y Mushinsky, 1988).

Además las tortugas en la naturaleza intervienen en aspectos como el pastoreo y pisoteo, que ayuda a la aireación y compactación del suelo, además el forrajeo selectivo, que controla el crecimiento excesivo de la vegetación y modifica su hábitat (Pemberton y Gilchrist, 2009), y su eficiente contribución a la dispersión de semillas (Sadeghayobi et al., 2011), son servicios indispensables para el proceso de restauración ecológica (Gibbs, Márquez y Sterling, 2008; Hunter, Gibbs, Cayot y Tapia, 2013). Un clásico ejemplo de restauración ecológica es el de las tortugas terrestres Gopher (Testudinidae: *Gopherus polyphemus*) de Norteamérica, una especie catalogada como ingeniera del ecosistema (Jones, Lawton y Shachak, 1994) debido a que ayuda a mantener la apertura y composición de la vegetación a través de la dispersión las semillas y de esta manera contribuyen a la conservación de los extensos bosques de pino del sureste de los Estados Unidos (MacDonald y Mushinsky, 1988). O el caso de Testudinidae: *Aldabrachelys gigantea* en el Archipiélago de las Seychelles que está ubicado en el Océano Índico, donde su reintroducción en una Isla como reemplazo funcional de las especies nativas, llegó a transformar la vegetación de matorrales y maleza introducida a pastos y hierbas taxonómicamente diversos (Gibson y Hamilton, 1983; Pemberton y Gilchrist, 2009).

Durante los últimos 200 años, las islas Galápagos han estado amenazadas debido a la introducción de animales y plantas, que han impactado fuertemente sobre los ecosistemas, especialmente sobre la vegetación nativa y endémica (Sadeghayobi et al., 2011). Pero también sobre los hábitos alimenticios de las tortugas gigantes, influyendo en la interacción planta-animal, ya que al ser estrategias facultativos (Cayot, 1987), pueden adaptar su dieta según la disponibilidad de alimentos (Mahmoud y Klicka 1979).

Un ejemplo de esta situación se puede observar en Santa Cruz, en esta isla el aumento de la cobertura vegetal de especies introducidas, como: calcha (Commelinaceae: *Tradescantia fluminensis*), guayaba (Myrtaceae: *Psidium guajava*) o maracuyá (Passifloraceae: *Passiflora edulis*), ha producido su incorporación en la dieta de las tortugas, y como tal su contribución a la dispersión de estas plantas (Blake, Guézou, Deem, Yackulic, y Cabrera, 2015), y con ello produciendo una severa alteración en la estructura y en la composición de los ecosistemas naturales (Heleno et al., 2011).

Aproximadamente desde 1900 la isla Santiago también sufrió la introducción de animales (chivos, burros y cerdos) y plantas que degradaron el ecosistema, llegando a amenazar la existencia de varias especies tanto animales como vegetales, particularmente: el lechoso (Asteraceae: *Scalesia atractyloides*), el mollugo (Molluginaceae: *Mollugo crockeri*), o la tortuga gigante de Santiago (Testudinidae: *Chelonoidis darwini*), por lo cual, a la conservación de la fauna y la flora de Santiago se le dio la máxima prioridad desde 1970 (Hamann, 1993). Sus impactos han sido controlados y limitados gracias a programas de erradicación y/o control de especies introducidas, ejecutados por la Dirección del Parque Nacional Galápagos (Cayot, Gibbs, Tapia y Caccone, 2016) logrando declarar a la isla Santiago libre de mamíferos introducidos en 2007. Así mismo se eliminó algunas plantas introducidas, sin embargo, las poblaciones de mora (Rosaceae: *Rubus niveus*) y poleo (Lamiaceae: *Hyptis pectinata*) han aumentado (Cruz, Carrión, Campbell, Lavoie y Donlan, 2009). *C. darwini* es endémica de la isla, y al igual que la mayoría de especies de tortugas de Galápagos, su existencia se encuentra amenazada por las razones antes descritas (Rodríguez, 2019; Anexo 3). Se conoce que esta especie se distribuye desde los 200 msnm hasta la cumbre (895

msnm) y su alimentación incluye principalmente hierbas, pastos y cactus (Enríquez, 1984).

Aunque algunos autores la catalogan como una especie cuyo caparazón tiene una morfología intermedia entre tipo cúpula y tipo montura (Chiari y Claude, 2011), en realidad es una tortuga con caparazón tipo cúpula W. Tapia (comunicación personal, mayo de 2020). Este tipo de caparazón no le permite una mayor extensión del cuello, lo cual indica que es una especie de pastoreo en la vegetación de bajo crecimiento (Cayot et al., 2016; Chiari, Meijden, Caccone, Claude y Gilles, 2017; ANEXO 3).

Los estudios de la dieta permiten definir el nicho trófico realizado que cada especie animal ocupa en el ecosistema, además permite analizar la influencia de su entorno en el crecimiento, comportamiento y reproducción, mediante el análisis de los elementos consumidos, adaptaciones a los recursos disponibles, impacto producido en el propio ecosistema, entre otros aspectos (Andreu, 1987; Páez, 2008; Cano, 2018). De las 12 especies de tortugas gigantes de Galápagos que aún existen, solo se ha realizado estudios parciales de la dieta en estado silvestre de: *Chelonoidis porteri* situada al oeste de la isla Santa Cruz, *Chelonoidis becki* ubicada en el volcán Wolf en la isla Isabela, *C. hoodensis* de la isla Española, también de Santa Fe y *C. donfaustoi* del este de Santa Cruz (Blake, Wikelski, Cabrera, Guezou, Silva, Sadeghayobi y Jaramillo, 2012; Blake, et. al., 2015; Cano, 2018; Vásquez, 2018; Selles, 2019; Tapia, 2019).

En el caso de *C. darwini* en cautiverio, su alimentación se basa en solo dos especies de plantas: el otoy (Araceae: *Xanthosoma sagittifolium*) y el porotillo (Fabaceae: *Erythrina* sp.) (Pazmiño, 2017), las cuales están categorizadas como especies introducidas cultivadas. Se han realizado estudios y recomendaciones de dieta para tortugas gigantes en cautiverio, los cuales están en proceso de implementación para un adecuado manejo de las tortugas. Sin embargo, hasta el momento no se ha realizado ningún estudio sobre su dieta en estado silvestre y la cantidad de las especies introducidas incluidas en la misma. Por lo tanto, el presente estudio, usando un método de post-ingestión (análisis de heces), buscó determinar: (1) ¿cuáles son las características de la dieta de *C. darwini* en

términos de la composición de las especies vegetales en estado natural? y (2) ¿cuáles son las implicaciones en términos de conservación de las interacciones entre las especies de plantas introducidas y las tortugas gigantes de Santiago?

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. OBJETIVO GENERAL

Describir la diversidad de especies vegetales que forman parte de la dieta alimenticia de *C. darwini*, en dos zonas de la Isla Santiago, Galápagos, Ecuador.

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Analizar la preferencia alimenticia de *C. darwini* en cuanto a especies vegetales durante la época seca, en base a la composición vegetal de la Isla Santiago.
- II. Determinar la proporción de plantas endémicas, nativas e introducidas incluidas en la alimentación de *C. darwini*.
- III. Evaluar la interacción herbívoro-planta (tortuga-semilla) en diferentes zonas de la Isla.
- IV. Generar recomendaciones a la DPNG para el manejo de la especie.

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. ÁREA DE ESTUDIO**

#### **5.1.1. ISLA SANTIAGO**

Santiago es la cuarta isla más grande del archipiélago, con un área de 577,28 km<sup>2</sup> (INOCAR, 2011; Anexo 4A). Se encuentra situada al extremo noroccidental del grupo central del archipiélago y es una de las islas más altas, llegando a una altitud máxima de 905 msnm (Global Multi-Resolution Topography, 2020). La isla es de origen volcánico, tiene un relieve variado, que la hace una de las más complejas del archipiélago (INGALA et al., 1989). Presenta conos volcánicos de todo tamaño repartidos por toda la isla, siendo los conos más grandes, el Cerro Pan de Azúcar al Oeste con una altura de 370 msnm y el Cerro Inn al Este (INOCAR, 2011). Además de laderas y extensas áreas de lava al sureste, existen numerosos rellenos y zonas coluviales (acumulación de materiales desprendidos de las laderas) ubicadas en posición radial y en los flancos inferiores. (INGALA et al., 1989; DPNG, 2014).

La isla exhibe una abundante variedad de formaciones vegetales (Anexo 4B), modificadas como consecuencia de la presencia de animales introducidos, como chivos, burros y chanchos (INOCAR, 2011), que transformaron bosque cerrados en abiertos, los cuales se han regenerado luego de la erradicación de las especies introducidas (Haman, 1993; Fritts, Marquez y Enriquez, 2001; Tye, 2006). Santiago no tiene asentamientos humanos, y está incluida en la zona de Conservación y restauración de Ecosistemas y su Biodiversidad (DPNG, 2014: DPNG, 2019).

#### **5.1.2. ZONAS ECOLÓGICAS**

Al igual que el resto del Archipiélago, los ecosistemas de Santiago se agrupan en base de las comunidades vegetales presentes y la intensidad de precipitación, que aumenta conforme asciende altitudinalmente acrecentando la

humedad, sin descuidar por supuesto su morfología y relieves, por lo que presenta las siguientes zonas ecológicas (Wiggins y Porter, 1971; INGALA et al., 1989; Haman, 1993; Lanteri, 2001):

Zona árida: ocupa la superficie baja de la isla, cubre alrededor de los 300 m de altitud. Dominada por vegetación xerofita (decidua) de matorrales, árboles y hierbas secas, de hojas pequeñas o espinos como cactáceas *Opuntia*, además previo a la introducción de animales, predominaba la vegetación del amargo (Simaroubaceae: *Castela galapageia*) y el romerillo (Asteraceae: *Macraea laricifolia*), árboles de muyuyo (Boraginaceae: *Cordia lutea*), palo santo (Burseraceae: *Bursera graveolens*), etc. (Wiggins y Porter, 1971; INGALA et al., 1989; Haman, 1993; Lanteri, 2001; Itow, 2003; Tye, 2006; Fundación Charles Darwin, 2020).

Zona de transición: cubre por encima de los 400 m de altura, es más húmeda que la anterior tiene más diversidad de especies, vegetación xerofita entremezclada con mesofita, siempreverde, arbustos y árboles de mayor altura con hojas grandes. Estaba dominada por bosques de pega-pega (Nyctaginaceae: *Pisonia floribunda*) y guayabillo (Myrtaceae: *Psidium galapageium*), arbustos como la chala (Euphorbiaceae: *Croton scouleri*) entre otras. (Wiggins y Porter, 1971; INGALA et al., 1989; Haman, 1993; Lanteri, 2001; Itow, 2003; Tye, 2006; FCD, 2020).

Zona húmeda: se extiende hasta aproximadamente los 550 m de altitud está dominada por vegetación mesofítica. Anteriormente en esta zona se encontraban bosques cerrados de *Scalesia* (Asteraceae: *Scalesia pedunculata*), cafetillo (Rubiaceae: *Psychotria rufipes*), uña de gato (Rutaceae: *Zanthoxylum fagara*), además de varias briofitas, epífitas vasculares como *Peperomia*, *Pilea* y vegetación herbácea, gramíneas, commelináceas y helechos. Seguido de la zona alta superando los 600 m de altitud donde existían bosques de uña de gato, cogojo (Solanaceae: *Lochroma ellipticum*) y arbustos de palito negro (Boraginaceae: *Tournefortia rufo-sericea*), y formaciones herbáceas de gramíneas especialmente de hierba de burro (Poaceae: *Paspalum conjugatum*). Los animales introducidos perturbaron la vegetación, lo cual se evidencia hasta la actualidad,

además transformaron bosques cerrados en abiertos, y disminuyó drásticamente la población de *Scalesia* así como de poblaciones de plantas introducidas, excepto de la planta de mora (Rosaceae: *Rubus niveus*) la cual sigue expandiéndose por la Isla (Wiggins y Porter, 1971; INGALA et al., 1989; Haman, 1993; Lanteri, 2001; Itow, 2003; Tye, 2006; FCD, 2020).

Zona de pampa: cubre la cima de la isla, donde predominan los helechos, pastos, juncos y hierbas del género *Cyperus*, *Eleocharis*, *Plantago*, *Oxalis*, *Ageratum*, entre otros (Wiggins y Porter, 1971; INGALA et al., 1989; Haman, 1993; Lanteri, 2001; Itow, 2003; FCD, 2020).

Este estudio se realizó en las zonas árida y húmeda (Anexo 5), en la época seca, en sitios donde se había registrado la presencia de tortugas en expediciones anteriores. Es importante señalar que estas zonas fueron altamente impactadas por los animales introducidos, afectando principalmente el crecimiento de la vegetación natural, pero posterior a la erradicación de especies introducidas, el hábitat se ha recuperado.

## 5.2. LA TORTUGA GIGANTE DE SANTIAGO

*Chelonoidis darwini* pertenece a la familia Testudinidae, siendo la única especie de tortuga gigante que vive naturalmente en la isla Santiago, es una especie de hábitos diurnos, que vive en bosques montanos de hoja perenne, bosques caducifolios y praderas húmedas (Arteaga y Guayasamin, 2019). Se alimenta de cactus, hierbas y pastos, aprovechando el agua de su dieta y de charcos temporales, y en casos de sequía puede sobrevivir hasta por varios meses sin consumir alimento, ni agua (Cayot et al., 2016). En sus estadios juveniles, habita en tierras bajas cálidas, mientras que en la etapa adulta se desplaza hasta las tierras más altas de la isla; se estima que ocupa un área de 196 km<sup>2</sup> (Enríquez, 1984; Anexo 3 A, B).

## 5.3. RECOLECTA Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

Se trabajó con muestras de heces recolectadas por personal de la “Giant Tortoise Restoration Initiative” en dos zonas de la Isla Santiago: uno en la zona árida (zonas de anidación) donde se logró recolectar 11 excretas y otro en la zona húmeda en la cual se recolectó 7 excretas (Anexo 5). Los muestreos fueron realizados durante la época seca a lo largo de transectos longitudinales en junio de 2018 en zona árida y septiembre de 2019 en la zona húmeda, aprovechando los viajes de monitoreo anuales que se realizan en las Islas.

Una vez localizada cada una de las 18 excretas, se procedió a recolectar cada muestra completa, colocarla en una funda ziploc (Johnson, Tailandia), etiquetarla en la zona árida con las letras H de heces, T de tortuga y acompañadas por un número secuencial, por ejemplo: HT1, HT2, etc. Mientras que en la zona húmeda se usó las letras H de heces y S de Santiago, igualmente acompañadas por un número secuencial, por ejemplo: HS1, HS2, etc. (Anexo 6). Adicionalmente, usando un receptor portátil de GPS (Garmin 78, 2012, Taiwán) se tomó la posición geográfica, grabando un “Waypoint” (punto) con el mismo código usado para etiquetar la muestra.

Cada muestra fue preservada de acuerdo a las normas de bioseguridad establecidas por la Dirección del Parque Nacional Galápagos. Una vez que arribaron a la isla Santa Cruz y completaron el respectivo proceso cuarentenario, fueron desinfectadas, colocadas en bolsas de papel y posteriormente trasladadas a las instalaciones de “Galapagos Conservancy”, donde fueron secadas. Una vez, secas se procedió a pesarlas usando una balanza analítica al 0,01 g de precisión.

#### **5.4. PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS**

Siguiendo los protocolos de “Galápagos Conservancy” y dentro de sus instalaciones cada muestra fue lavada y disgregada, usando agua y un tamiz de cinco niveles con apertura de malla de 5, 4, 3, 1.5 y 0.5 mm (Cano, 2018; Vásquez, 2018; Sellés, 2019; Tapia, 2019). Luego todas las muestras se colocaron en una secadora y una vez completamente secas, se las almacenaron a -20°C en el herbario de la Estación Científica Charles Darwin (Isla Santa Cruz),

como parte del protocolo de cuarentena (Jaramillo, 2002; Jaramillo y Bungartz, 2007).

El material colectado en cada nivel fue pesado y utilizando el criterio de color, textura y forma de los restos de tallos, hojas, raíces, semillas y flores encontradas en las heces fue categorizado en los siguientes grupos: herbáceas, cactus, material leñoso y material no identificado.

Posteriormente se procedió a sacar y contar las semillas retenidas en los diferentes niveles del tamiz y se las separó de acuerdo a sus características de color, forma y tamaño. Luego, usando un estereoscopio Leica (modelo EZ4W, 2016, Singapur), que amplifica la imagen hasta 32 veces, se tomó fotografías con el mayor detalle posible del morfotipo de la semilla para su posterior identificación (Jaramillo, 2002; Jaramillo y Bungartz, 2007).

Finalmente, se comparó cada elemento vegetal encontrado en las heces con guía fotográfica de semillas de las plantas de Galápagos (Jaramillo y Heleno 2012; Jaramillo, Sheperd y Heleno, 2020), con el libro de claves taxonómicas de la flora de Galápagos (Wiggins y Porter, 1971), y con las colecciones de semillas y plantas de las Islas Galápagos del Herbario CDS de la Fundación Charles Darwin (FCD). (Anexos 7 y 8).

## 5.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para resolver nuestras preguntas del estudio, sometimos los datos obtenidos a un análisis estadístico utilizando lenguaje de programación R con el programa RStudio versión 1.2.533, con el paquete vegan (R Studio Team, 2019).

Primero para determinar la composición de especies vegetales de la dieta de *C. darwini*, en base a las semillas registradas de las muestras, se analizó cuantitativamente los datos sobre el número de semillas agrupadas por familia y por especie, además se cuantificó las especies de plantas registradas como parte de la dieta, que fueron agrupadas por familia y muestra de cada zona. Se analizó la riqueza de especies, asimismo la abundancia de semillas de cada zona,

tomando como unidad experimental cada zona ecológica, mientras que cada muestra de heces es una submuestra.

Mientras que para analizar la preferencia alimenticia de *C. darwini* se analizó cualitativamente las variables según: (1) origen de la planta (endémica: especie que viven exclusivamente en una sola región; nativa: especie propia de una región que crecen naturalmente; e introducida: especies exóticas, no nativas de una región) y (2) hábito (leñosa: planta perenne con tallo leñoso que contiene madera; o herbácea: tallo no leñoso) de las especies de plantas incluidas en la dieta, estimando el porcentaje de especies de cada categoría del total de especies consumidas en cada zona.

Para evaluar la interacción herbívoro-planta se calculó la frecuencia de ocurrencia de las especies (presencia o ausencia de las especies de plantas en las muestras de heces, sin contar la cantidad de semillas), calculando el número de muestras de heces en las que se encontró cierta especie para cada zona, valoradas de 0 a 1, siendo 1 las especies presentes en todas las muestras, denominadas especies más comunes en la dieta de *C. darwini* por zona ecológica (Cano, 2018; Sellés, 2019). Además, se analizó las especies encontradas en la dieta en ambas zonas, denominadas especies compartidas.

Finalmente, se realizó un análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico (NMDS) para determinar la similaridad en las dietas entre las zonas ecológicas árida y húmeda. Este análisis permite representar la posición original de las comunidades en un espacio multidimensional con la mayor precisión posible, utilizando un número reducido de dimensiones que se pueden trazar y visualizar fácilmente sin utilizar las abundancias absolutas (Zuur, Ieno y Smith, 2007), tomando en cuenta el ajuste de los datos al diagrama de Shepard, con un valor de estrés  $< 0.2$ .

## 6. RESULTADOS

### 6.1. DIETA DE *Chelonoidis darwini*.

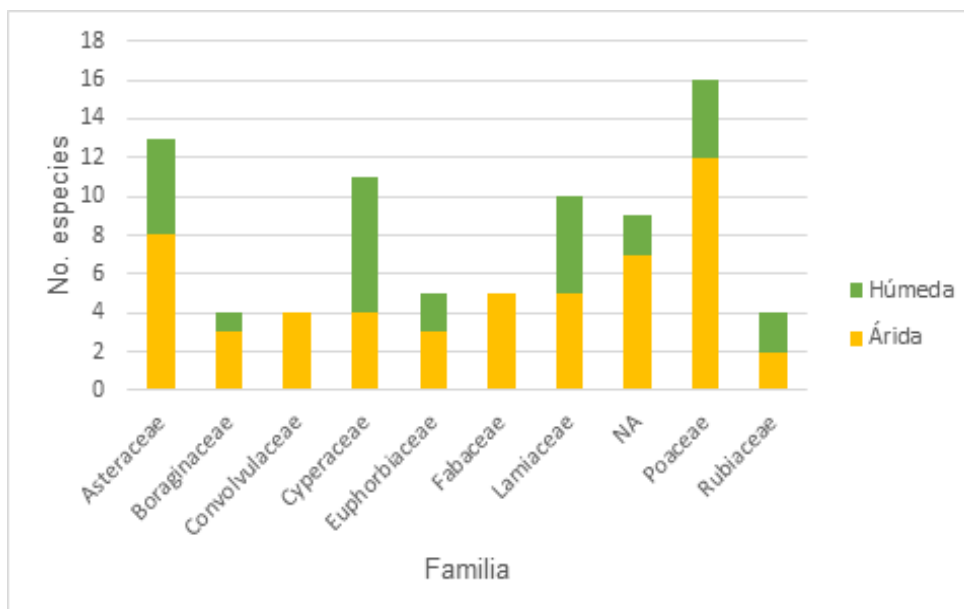
De las 18 muestras de heces *C. darwini* analizadas, se extrajo 22462 semillas, las cuales se las clasificó en 101 morfoespecies de plantas diferentes, logrando identificar 78 a nivel de especie, 14 familia o género y las nueve restantes no se logró su identificación (Anexos 7 y 8).

Las especies registradas como parte de la dieta de la tortuga de Santiago pertenecen a 29 familias (Tabla 1) y 66 géneros. Siendo las familias más diversas: Poaceae con 16 especies, Asteraceae con 13, Cyperaceae con 11 y Lamiaceae con 10 especies (Figura 1). Cabe destacar que en las demás familias se encontró menos de seis especies de cada una.

**Tabla 1. Familias de plantas registradas en la dieta de *C. darwini* con la cantidad de semillas encontradas por zona ecológica (Z = zona).**

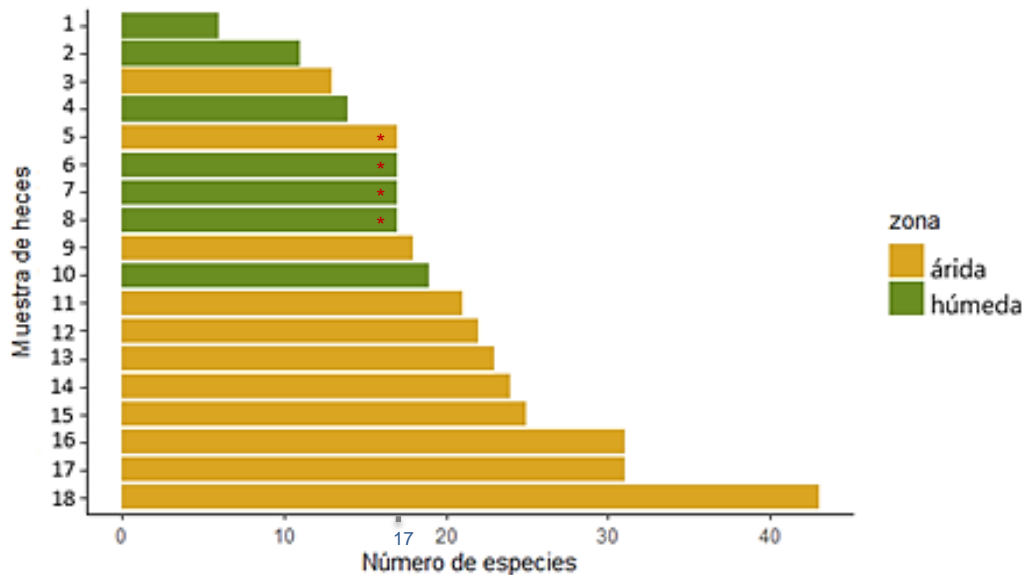
Familia	Semillas Z. Árida	Semillas Z. Húmeda	Total semillas
Acanthaceae	167	0	167
Aizoaceae	27	36	63
Amaranthaceae	133	0	133
Asteraceae	270	237	507
Boraginaceae	129	3	132
Cactaceae	2165	0	2165
Capparaceae	5	0	5
Convolvulaceae	1081	0	1081
Cyperaceae	146	542	688
Euphorbiaceae	3697	81	3778
Fabaceae	308	0	308
Hypoxidaceae	0	3	3
Lamiaceae	1152	655	1807
Loasaceae	172	0	172
Malvaceae	3925	0	3925
Molluginaceae	388	0	388
Nyctaginaceae	164	0	164
Oxalidaceae	14	83	97
Plantaginaceae	0	49	49
Poaceae	2180	3241	5421
Polygonaceae	0	1	1
Portulacaceae	444	0	444
Rubiaceae	58	33	91

Rutaceae	1	0	1
Solanaceae	462	15	477
Sterculiaceae	1	0	1
Urticaceae	9	0	9
Verbenaceae	9	0	9
Viscaceae	310	0	310
Indeterminadas	49	17	66
<b>Total general</b>	<b>17466</b>	<b>4996</b>	<b>22462</b>



**Figura 1. Riqueza de especies vegetales por familia.**  
Familias de las especies de plantas registradas en la dieta de *C. darwini* representadas con más de 4 especies por zona ecológica.

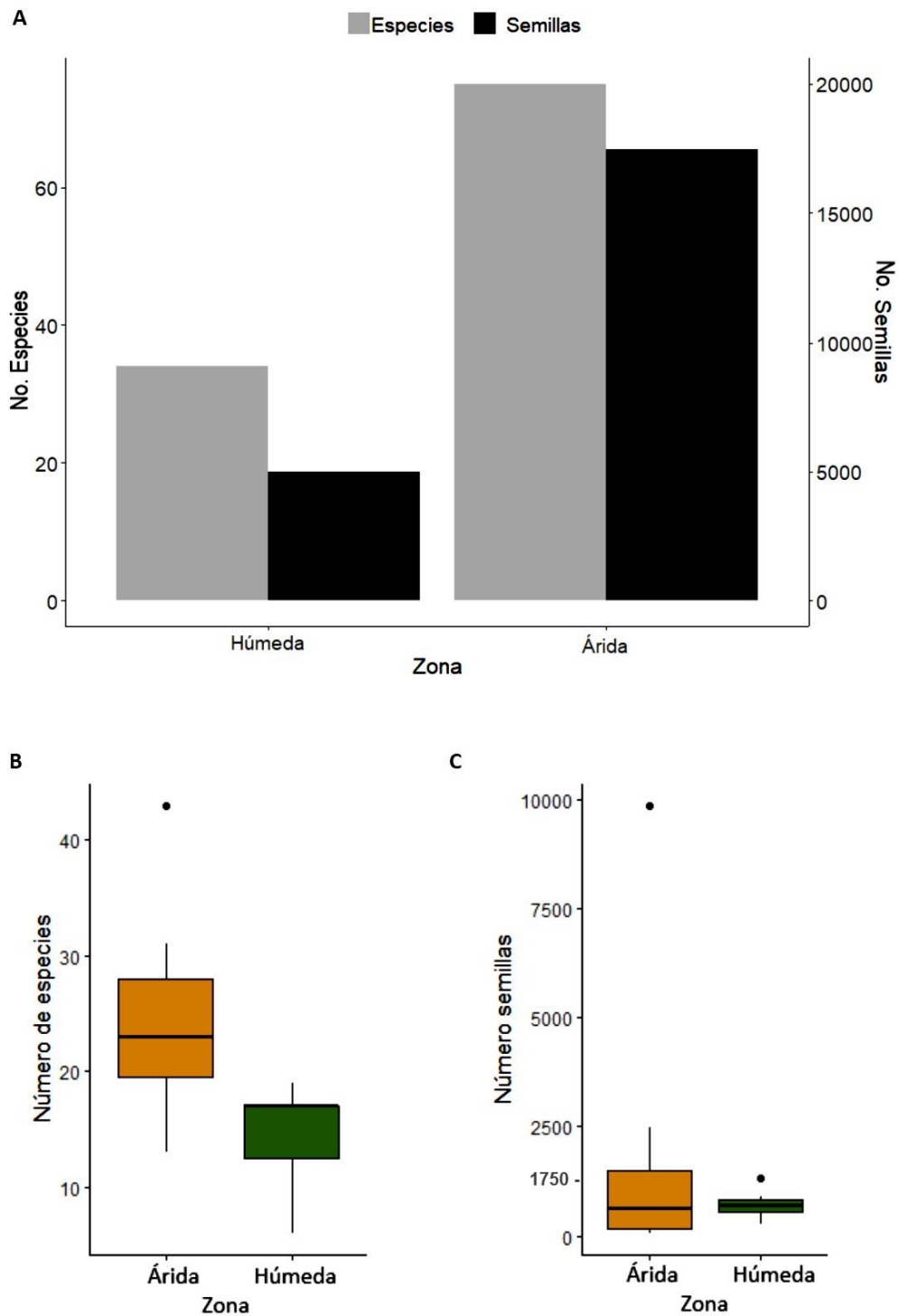
En general las muestras de heces presentaron una riqueza de especies variada, se registró entre 6 y 43 especies de plantas en cada muestra de heces, en promedio 20 especies y una moda de 17 especies.



**Figura 2. Número de especies vegetales por muestra de heces de *C. darwini* de la zona árida y húmeda.**

Ordenado por cantidad de especies presentes en cada muestra de la zona árida, en color amarillo y de la zona húmeda, en verde. \*: Moda.

Separando las muestras según la zona de colecta, se registró que aquellas de la zona húmeda contenían 4996 semillas, las cuales corresponden a 34 especies, mientras que aquellas de la zona árida se extrajeron 17466 semillas correspondientes a 75 especies diferentes (Tabla 1, Figura 3 A). Los análisis por muestra de heces exhibieron una significativa diferencia tanto en riqueza de especies de plantas, como en la abundancia de semillas. En la mayoría de las muestras de la zona húmeda registraron entre 10 a 20 especies, en promedio 14, mientras que, en la zona árida de 20 a 31 especies, en promedio 24, exponiendo atípicamente una muestra con 43 especies, (Figuras 2, 3B). De la misma forma, para la zona húmeda se registraron entre 400 a 800 semillas por muestras y en la zona árida de 200 a 2000 semillas por muestras, atípicamente 1500 semillas en la zona húmeda y 9000 semillas en la zona árida (Figura 3C).



**Figura 3. La riqueza de especies y abundancia de semillas en la dieta de *C. darwini*.**

(A) Riqueza de especies vegetales y abundancia de semillas totales registradas en la dieta de *C. darwini* por zona ecológica (húmeda y árida). (B) Análisis del número de especies de plantas registradas en las muestras de heces de *C.*

*darwini* por zona ecológica mediante un box-plot, usando como unidad experimental cada zona, y se tomó cada muestra de heces como submuestra. (C) Análisis del número de semillas registradas en las muestras de heces de *C. darwini* por zona ecológica mediante un box-plot, usando como unidad experimental cada zona, y como submuestra se tomó cada muestra de heces.

En lo que respecta a la cantidad de semillas por especie de planta su número registrado varió significativamente, por ejemplo, *Waltheria ovata* y *Polygonum opelousanum* con una semilla por especie, mientras que *Sida spinosa* (3919 semillas), *Chamaesyce* sp. (3500 semillas) y *Opuntia galapageia* (2164 semillas) de la zona árida, *Paspalum conjugatum* (1809 semillas) y *Panicum arundinarieae* (1006 semillas) de la zona húmeda fueron las especies con más representación en número de semillas (Figura 4).

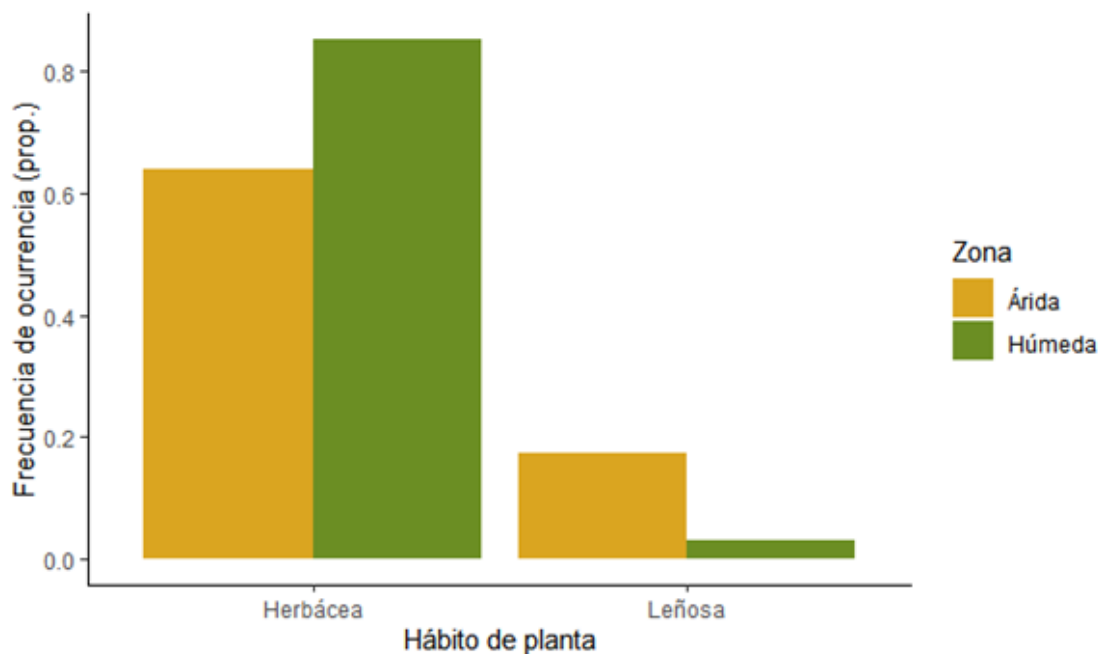


**Figura 4. Cantidad de semillas por cada especie de planta registradas en las muestras de heces de *C. darwini* en la zona árida y húmeda de la Isla Santiago.**

La cantidad de semillas se representa en escala logarítmica para una mejor visualización, la barra es visible a partir de 10<sup>1</sup> semillas.

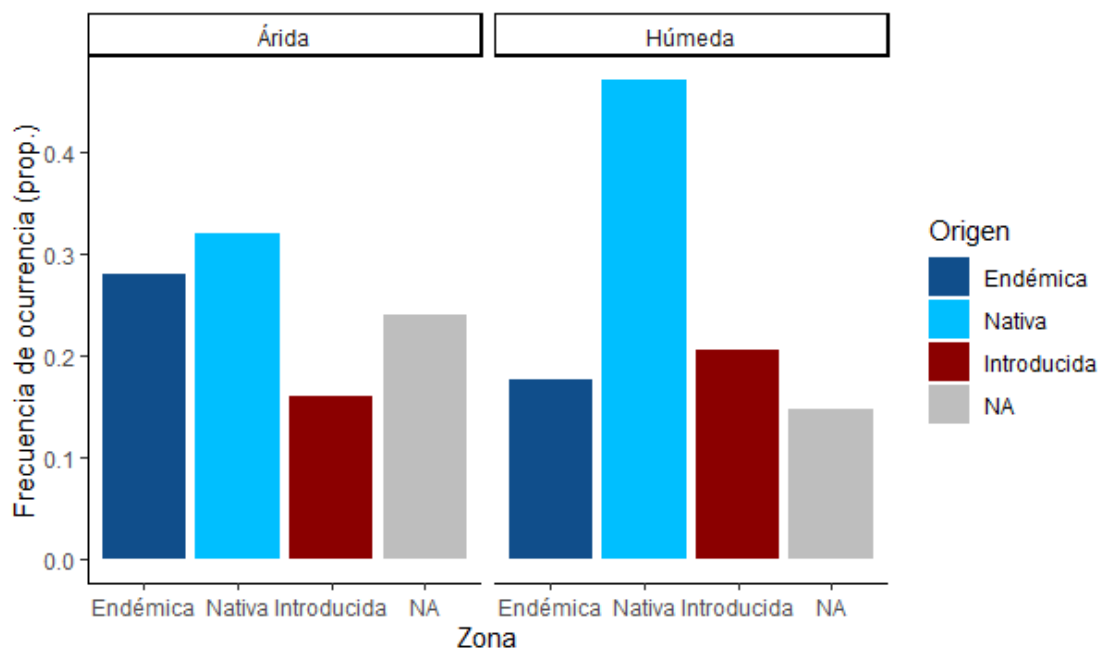
## 6.2. PREFERENCIA ALIMENTICIA DE *C. darwini*.

En lo que se refiere al hábito, sin contar con las especies cuya identificación no fue posible, las plantas herbáceas fueron las predominantes en la dieta de las tortugas de ambas zonas ecológicas (0,85 y 0,64 respectivamente) (Figura 5).



**Figura 5. Frecuencia de especies presentes en la dieta de *C. darwini* según el hábito de las especies de plantas (herbáceas o leñosas).**

En lo que respecta al análisis de la proporción de especies de plantas consumidas según su origen, predominaron las especies nativas en ambas zonas, seguido de las especies endémicas en la zona árida, mientras que en la zona húmeda hay mayor frecuencia de plantas introducidas que endémicas. Se debe notar que en ambas zonas existe una proporción de 0,25 especies desconocidas (NA), las cuales pueden influenciar en los resultados finales (Figura 6).

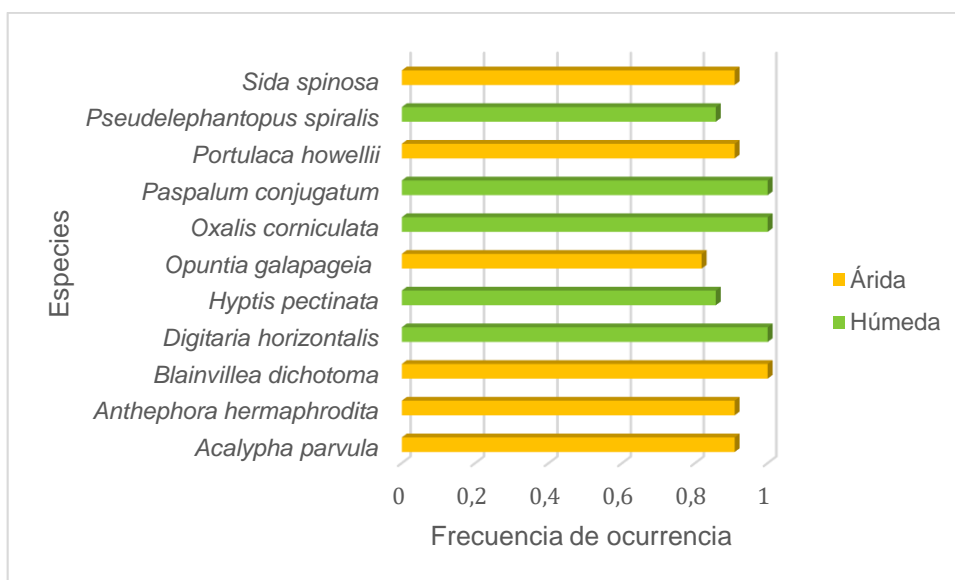


**Figura 6. Frecuencia de especies de plantas según su origen.**

NA engloba a las plantas no identificadas a nivel de especie. Proporción de especies endémicas en azul, nativas en celeste e introducidas en rojo, en la dieta de las tortugas por zonas.

### 6.3. INTERACCIÓN HERBÍVORO-PLANTA

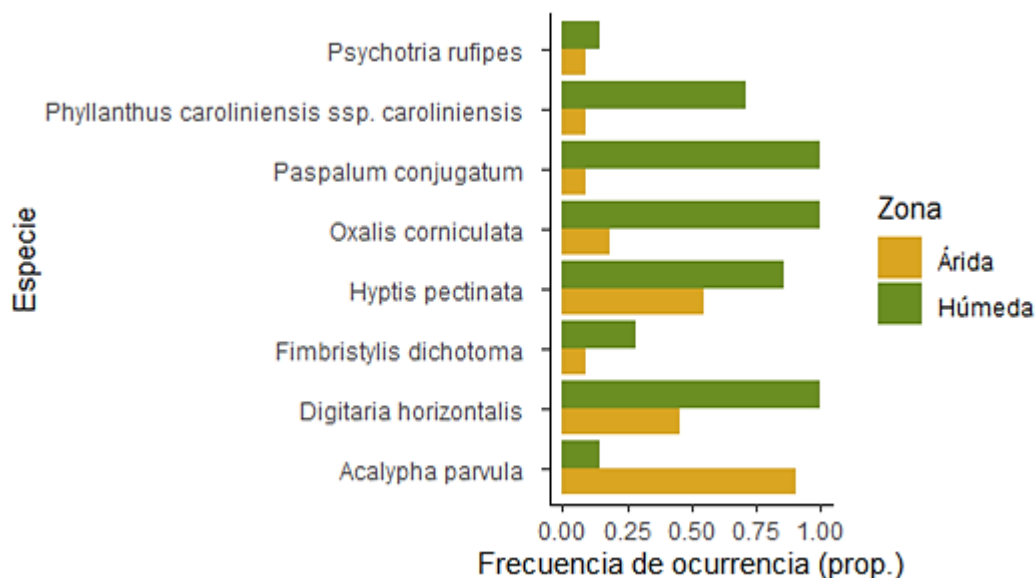
La dieta de *C. darwini* incluyó 101 especies de plantas diferentes, mostrando una interacción con estas, sin embargo, únicamente 11 especies superaron una frecuencia de ocurrencia del 80%, al estar presentes en la mayoría de especies de cada zona respectivamente e independientemente de la cantidad. Especialmente de la familia Asteraceae: *Blainvillea dichotoma* (11 muestras) de la zona árida, Poaceae: *Digitaria horizontalis* (7 muestras), *Paspalum conjugatum* (7 muestras) y Oxalidaceae: *Oxalis corniculata* (7 muestras) de la zona húmeda ocurrieron en todas muestras de su zona ecológica mostrando una frecuencia de 1 (Figura 7).



**Figura 7. Frecuencia de ocurrencia de las especies de plantas más comunes presentes en la dieta de *C. darwini* en las dos zonas ecológicas estudiadas**

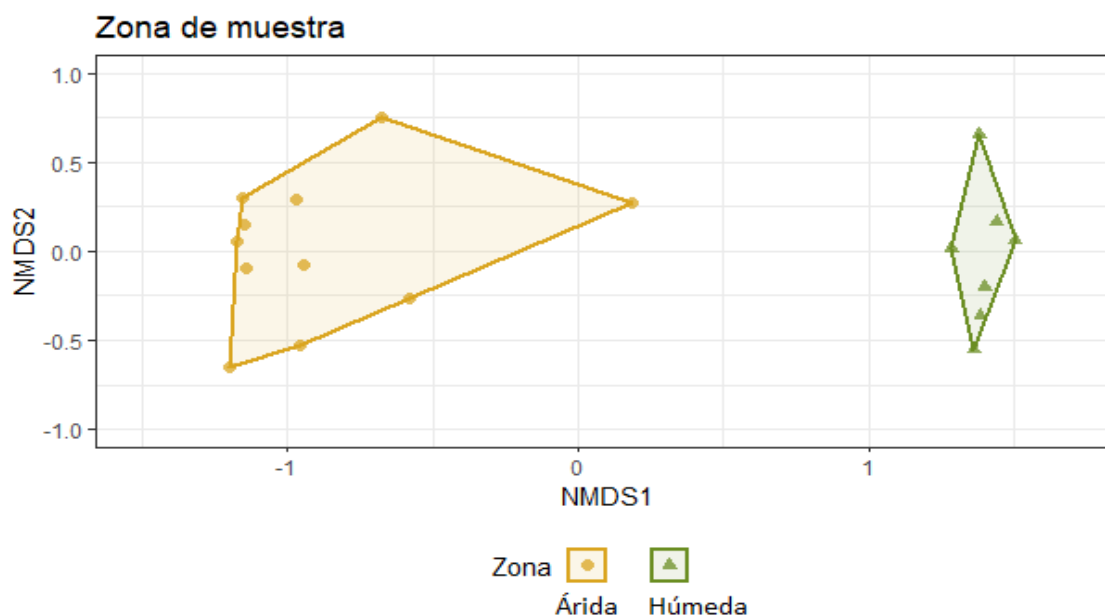
Se representan especies con una frecuencia superior a 0,8.

Así mismo, los resultados mostraron que ocho especies de plantas fueron registradas tanto en las muestras de la zona árida como en la húmeda, la mayoría de estas excepto Euphorbiaceae: *Acalypha parvula*, fueron más frecuentes en la zona húmeda que en la árida (figura 8). Esto expone una evidente migración de tortugas entre las zonas, tomando en referencia las zonas ecológicas donde se ubican estas especies según los registros del Herbario CDS de la Fundación Charles Darwin (FCD) (Anexo 9, 10).



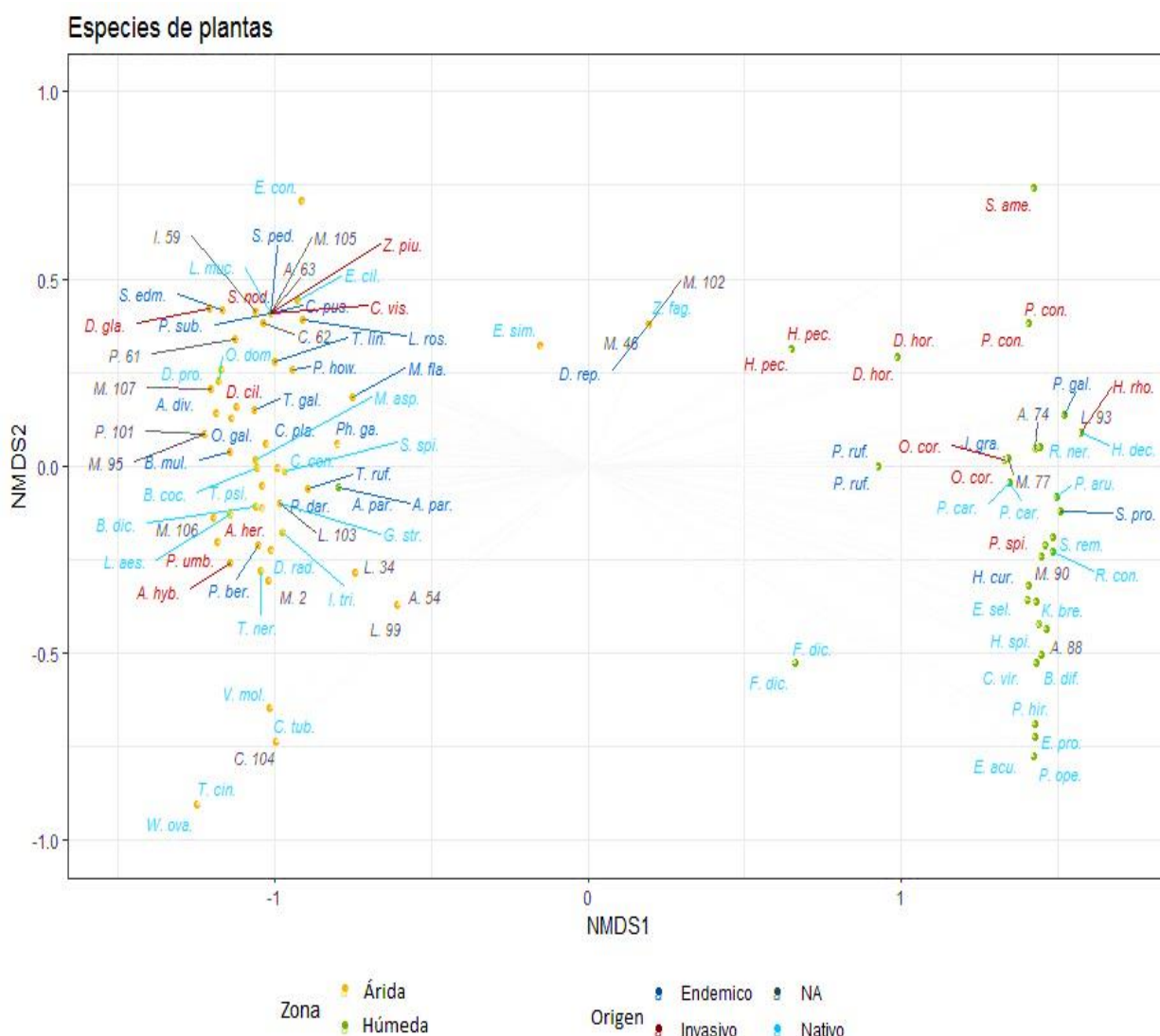
**Figura 8. Frecuencia de ocurrencia de las especies vegetales compartidas presentes en las muestras de heces de *C. darwini* tanto en la zona árida y húmeda.**

Los análisis NMDS representaron la similitud de los puntos de muestreo espacialmente en polígonos, mostrando una fuerte relación entre los puntos de cada zona ecológica y una marcada diferencia entre las zonas (Figura 9). Seguido, el análisis NMDS de las especies de plantas donde se posiciona espacialmente a las especies registradas en la dieta de *C. darwini* según las muestras de heces, los valores de similitud de NMDS exponen una asociación entre las especies por zona ecológica, mientras que marcan una significativa diferencia entre las zonas (Figura 10). Algunas de las especies más centrales son Poaceae: *Brachiaria multiculma*, Cactaceae: *Opuntia galapageia* de la zona árida y para la zona húmeda Euphorbiaceae: *Phyllanthus caroliniensis* ssp. *caroliniensis* y Lamiaceae: *Salvia prostrata*. Los NMDS son de alta confiabilidad, con valores de ANOSIM R de 0,825, una significancia de  $p = 0,001$  y número de permutaciones de 999, además el valor de estrés (la bondad de ajuste de la regresión) ajustado al diagrama de Shepard es menor de 0,1 en 2 dimensiones (Anexo 11).



**Figura 9. NMDS de zonas de muestreo.**

Representación espacial de los sitios de muestreo en un polígono.



**Figura 10. NMDS de especies vegetales registradas en la dieta de *C. darwini*, en la zona árida y húmeda.**

Representación espacial de las especies de plantas de la dieta de *C. darwini* en las muestras de la zona árida y húmeda representados con puntos amarillos y verdes, y el origen de las especies representado en el color de los nombres, azul (endémico), celeste (nativo) y rojo (introducido). Las líneas unen los puntos con los nombres de las especies para una mejor visualización. Identificación de cada especie ver en anexo 9 y 10. Especies que se registraron en la zona árida cómo en la húmeda se representan dos veces en el gráfico.

Un dato adicional que se adjuntó al listado de especies de plantas fue el estado de conservación de cada una de ellas según la Lista Roja de IUCN (Anexos 9, 10), sin embargo, en más del 50% de ellas se desconoce este dato. Y, por otra parte, hay que notar que en las muestras analizadas se encontró macro y microplástico y restos animales como partes de invertebrados y dentaduras de vertebrados posiblemente de rumiante (Anexo 12). Además, se observaron algunas semillas en proceso de germinación (Anexo 13).

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1. DIETA DE *Chelonoidis darwini*.

Estudios recientes sobre la dieta de las tortugas gigantes han utilizado el método de observación directa y el de post-ingestión (Gallina Tessaro, 2011), siendo este último, el empleado en este estudio por la dificultad de encontrar a las tortugas en una isla relativamente grande y de estructura tan compleja como Santiago. Con este método se logró identificar 101 especies de plantas que forman parte de la alimentación de *C. darwini* (Anexos 9, 10), esto sugiere que en efecto son especies herbívoras generalista (Cayot, 1987, Blake et al., 2012), además muestra una diversidad relativamente alta en comparación con estudios similares realizados en la isla Santa Cruz, acerca de la dieta de tortugas. Blake et al. (2015) reportan que, utilizando el método de observación focal en el animal durante 55 horas, se identificó el consumo de 42 especies de plantas de 20 familias. Además, dentro de la última especie descrita, *C. donfaustoi*, al analizar 10 muestras de excretas de tortugas se registraron 44 especies de plantas incluidas en su dieta, las mismas que están distribuidas en 19 familias (Tapia, 2019). Mientras que, al estudiar la dieta de tortuga gigante *C. hoodensis* en la isla Santa Fe, Cano (2018) al analizar 118 excretas registró 29 especies de plantas, similar a Sellés (2019) que en 35 excretas registró 30 especies de plantas. Esta variación entre la cantidad de especies de plantas encontradas en la dieta de las especies de tortugas puede corresponder a los siguientes factores: (i) la diferencia del tamaño y las condiciones ambientales de la isla, ya que en islas más grandes se encontrará mayor cantidad y variedad de vegetación (Lomolino, Riddle, Whittaker, y Brown, 2010); (ii) la competencia de recursos, donde originalmente las tortugas tenían una dieta más amplia para complementar su alimentación, la cual se vio afectada por especies introducidas (Bastille, Gibbs, Campbell, Yackulic y Blake, 2017); (iii) la variación de las áreas de desplazamiento de las tortugas, como es el caso de islas pobladas, que teniendo zonas urbanas y agrícolas como Santa Cruz, reducen el espacio de desplazamiento, con relación a islas no pobladas como Santiago en la cual las áreas de desplazamiento son extensas

(Blake et al., 2015; INOCAR, 2011; Tapia, 2019) tema que será discutido en las siguientes sub-secciones.

De las 101 especies de plantas que pertenecen a 29 familias, se observó mayor cantidad de especies de las familias: Poaceae, que proporciona una rica fuente de carbohidratos, antioxidantes, fibra, macronutrientes y proteínas, similar a Cyperaceae la cual es principalmente rica en micronutrientes y carbohidratos, mientras que Asteraceae y Lamiaeceae a más de tener propiedades medicinales, son ricas en nutrientes, moléculas bioactivas y antioxidantes (Figura 1; Al-Rowaily, Abd-ElGawad, Alghanem, Al-Taisan, y El-Amier, 2019; Sahu, et al., 2019; Sokovic, Skaltsa y Ferreira, 2019). En general, estas plantas son cortas y consumidas por herbívoros de forrajeo, proveen de agua, fibra, nutrientes y energía requerida para la alimentación de los animales en distintas proporciones (Camurga, Neiva, Pimentel, Vasconcelos, y Lôbo, 2002; González y Cáceres, 2002; Judd, Campbell, Kellogg, Stevens, y Donoghue, 2016), sin embargo, los valores exactos del aporte nutricional se desconocen, y podrían ser analizados en un próximo estudio.

La mayor cantidad de semillas pertenecieron a la familia Poaceae, coincidiendo con lo reportado en Galápagos donde predominan los registros de depredación frugívora y de semillas de plantas de esta familia (Heleno et al., 2011). Sin embargo, el número de semillas presentes no es un dato que indique preferencia en la dieta de *C. darwini*, pues la fenología de cada planta es diferente, es decir los cambios fenológicos como época de floración, fructificación, entre otros aspectos, suceden de forma independiente en todas las especies vegetales (Aldezabal, García, Gómez y Fillat, 2002), por lo tanto, no es posible saber el número exacto de frutos y semillas que han producido las plantas y no hay certeza de cuantas plantas por especie han sido consumidas por las tortugas. Un claro ejemplo lo vemos en las especies con más semillas encontradas (Figura 4), Malvaceae: *Sida spinosa* que produce frutos esquizocarpos que miden de cuatro a cinco milímetros de diámetro, con entre 5 a 14 semillas por fruto, mientras que el fruto de Cactaceae: *Opuntia galapageia* es carnoso, mide de tres a cuatro centímetros y tiene infinito número de semillas, y Poaceae: *Paspalum conjugatum* produce abundante frutos carióspside de un milímetro, con una semilla por fruto

(Judd et al. 2016). Estos datos son generalidades del género o de la familia, pues se desconoce este dato específico de cada especie.

Tomando en cuenta que en tortugas se estima el tiempo de digestión y retención de semillas en promedio es 12 días, durante los cuales pueden desplazarse aproximadamente 500 m y dispersar las semillas a esa distancia de la planta madre (Blake et al., 2012), comparamos los resultados entre las zonas ecológicas muestreadas para tener una referencia de la dieta de *C. darwini* en los alrededores de estas zonas. Se evidenció una clara diferencia entre ellas, las muestras de zona árida exhiben mayor cantidad de semillas y una alta diversidad de especies superando con el doble de semillas y especies a las de la zona húmeda. Esto también se evidencia en el número de especies encontrada en cada muestra por zona ecológica, donde las muestras de la zona árida registraron en promedio 24 especies mientras que en la zona húmeda en promedio 14 especies. Sin embargo es posible encontrar sesgo en los resultados por la cantidad de muestras analizadas, pues la zona árida correspondía a un sitio de anidación (área preferida por las tortugas para colocar sus huevos, con las características idóneas de temperatura, humedad y alimento necesario para el desarrollo de sus crías); allí se logró encontrar más muestras de heces (11) que en la zona húmeda (7), seguramente porque es un sitio con más recursos eficientes (como adecuada temperatura ambiental, condiciones ecosistémicas idóneas, alimento) disponibles para las tortugas, o por ser zonas ya conocidas por el personal guardaparque, lo cual pudo facilitar la búsqueda de las muestras (Enríquez, 1984). Como caso atípico se encontró una muestra de la zona árida que registró 43 especies de plantas, por el tamaño grande de la muestra de heces y la composición de especies sugiere que se trató de una tortuga grande, posiblemente un adulto (comunicación personal guardaparques, 2019), que forrajeó por un área muy extensa debido a que incluye más de la mitad de especies registradas en las muestras de la zona árida.

Sin embargo, la diferencia en la diversidad de especies de plantas incluidas en la dieta de *C. darwini* entre zonas ecológicas, puede deberse a que han tenido un nivel de conservación diferente, porque se aplicó un programa de erradicación de especies invasivas desarrollado en los años 90, el cual tuvo un enfoque de

protección especial sobre las áreas de anidación de las tortugas gigantes, que están ubicadas en la zona árida (Hamann, 1993). Además, desde la costa hasta la cumbre de la isla se aislaron cuadrantes de los diferentes tipos de vegetación de especies endémicas y nativas, como *Opuntia galapageia*, *Zanthoxylum fagara*, *Scalesia pedunculata* y *Psidium galapageium*, para preservarlos (Calvopiña y de Vries 1975; Hamann, 1993), a pesar de ello, principalmente los chivos causaron la destrucción casi total de la vegetación la zona alta. Aunque se realizó campañas de erradicación, no se obtuvo el mismo nivel de conservación, y se produjo una gran afectación por el daño causado por animales y plantas introducidas (INGALA et al., 1989; Hamann, 1993; Tye, 2006; Cruz et al., 2009). De este modo, a pesar de haber realizado programas de erradicación de especies invasivas y la rápida restauración de la vegetación nativa, los rezagos de estas invasiones aún pueden evidenciarse en esta zona, especialmente con el crecimiento de la mora (Rosaceae: *Rubus niveus*) (Tye, 2006; Cruz et al., 2009; Rentería, Gardener, Panetta, y Crawley, 2012; Rivas-Torres, Benítez, Rueda, Sevilla, y Mena, 2018; Anexo 4B).

En este estudio no se registró semillas de Rosaceae: *Rubus niveus* en las muestras de heces, sugiriendo que no existe consumo de mora por parte de *C. darwini*. Por un lado, esto es beneficioso al descartarse la dispersión de semillas por parte de las tortugas. Por otra parte, al no tener un herbívoro que la consuma y controle su crecimiento, seguirá desplazando a las especies nativa-endémicas e invadirá progresivamente la isla, por tanto, se debe continuar con las investigaciones sobre esta especie de planta para encontrar la mejor opción para su control.

## **7.2. PREFERENCIA ALIMENTICIA DE *C. darwini*.**

Analizamos la preferencia alimenticia de *C. darwini* en base al hábito y al origen de las especies de plantas encontradas. En cuanto al hábito de plantas encontramos una notable preferencia por plantas herbáceas con una proporción de 0,64:0,17 y 0,85:0,03 sobre plantas leñosas respectivamente de la zona árida y húmeda. Esto concuerda con lo reportado por Enríquez (1984), quien describe que estas tortugas comen hierbas al ras del suelo y Cayot et al., (2016) que realizan

pastoreo de vegetación de mediana y baja altura, sugiriendo que la presencia o ausencia de herbívoros introducidos (chivos) no influenciaron es su elección en este aspecto. Sin embargo, la preferencia puede deberse a la predominancia de plantas herbáceas en la isla, que sin duda aumentó con la introducción de especies, las cuales son aprovechadas por las tortugas y lo evidenciamos con nuestros resultados, donde las 15 las especies de plantas introducidas registradas en la dieta, son de hábito herbáceo (INGALA et al., 1989; Hamann, 1993; Tye, 2006; Cruz et al., 2009). Asimismo, por la fisiología de las plantas herbáceas que son de cuerpo blando y tallo flexible, volviéndose más digeribles para las tortugas que las plantas leñosas, que son lignificadas y por lo tanto tienen una consistencia muy rígida (Audesirk, Audesirk, y Byers, 2008).

Respecto al origen de las especies de plantas consumidas por *C. darwini*, imperó la preferencia de especies nativas-endémicas (63), sobre las introducidas (15), tanto en la zona árida (en una proporción de 0,60:0,16), como en la zona húmeda (en una proporción de 0,64:0,20) (Figura 6). Sin embargo, en base al número de especies registradas en la dieta, inferimos que la dieta en la zona árida está basada en especies nativas-endémicas, mientras que en la zona húmeda hay un importante consumo de especies introducidas, concordando con la base de datos de las plantas de la Isla Santiago, que registra en total 948 especies de plantas, dentro de estas están incluidas 83 especies que son introducidas, en su mayoría distribuidas en la zona húmeda (FCD, 2020). Esto sugiere que las tortugas intervienen en la dispersión de semillas en aproximadamente 10% de especies nativas-endémicas de la isla y 18% de introducidas por toda la isla, pero es necesario comprobar algunos factores como la viabilidad de estas semillas dispersadas para definir el rol ecológico que están cumpliendo las tortugas como agentes de invasión o restauración en la Isla (Blake et al., 2012).

Como se sabe, las tortugas seleccionan una dieta para maximizar la tasa de ingesta de energía digestible y de nutrientes según lo requieran (Hailey, Chidavaenzi, y Loveridge, 1998), por lo cual se esperaría que la preferencia de especies nativas-endémicas sea por este motivo, además de ser plantas originarias de la isla, por tal, siempre han estado en constante interacción con *C. darwini*. Sin embargo, en las tortugas de Santa cruz, una isla poblada con

constantes introducciones de especies, se evidenció un considerable consumo de plantas introducidas (Blake et al., 2015; Tapia, 2019). Así mismo, al comparar la alimentación de tortugas del desierto de Mojave en Estados Unidos, basada sólo en especies nativas, versus dietas sólo de especies introducidas, encontraron que la digestibilidad y disponibilidad de energía y fibra fue muy similar (Hazard, Shemanski, y Nagy, 2010), lo cual no explicaría la preferencia en cuanto al origen de las especies vegetales encontradas en este estudio. No obstante, Hazard et al., (2010) evidenciaron que tortugas entre neonatas y juveniles alimentadas sólo con plantas nativas se mantuvieron saludables, mientras que algunas tortugas alimentadas con especies de plantas introducidas, enfermaron y murieron. Probablemente las tortugas al consumir plantas nativas absorben los nutrientes necesarios como fósforo, calcio y nitrógeno, aporte necesario para el desarrollo de tortugas juveniles, mientras que, las especies introducidas aportan con mayor energía permitiendo que aumenten de tamaño, sin aumentar su masa ósea, esto se evidencia en el aumento del peso sin crecimiento del caparazón (Hazard et al., 2010; Nandu y Arora, 2017). Con base a la distribución de las tortugas reportada por Fritts et al. (2001), que sitúan a machos adultos en areas altas de la isla, mientras que las hembras y machos juveniles se sitúan en zonas intermedias. A pesar de no existir datos exactos del valor nutricional de todas las especies de plantas, esto explicaría nuestros resultados, sugiriendo la siguiente hipótesis: las tortugas tanto juveniles como hembras en etapas de reproducción, basándose en sus requerimientos nutricionales, optan por especies nativas para su dieta y conforme lleguen a la adultez, su selectividad alimentaria disminuirá pudiendo incluir además especies introducidas. Infiriendo que no existe competencia por alimento de hembras y machos juveniles con los machos adultos.

### 7.3. INTERACCIÓN HERBÍVORO-PLANTA

En este estudio desarrollado en la época seca, *C. darwini* tuvo interacción con 101 especies de plantas registradas en su dieta, pero tomando en cuenta que Santiago es una isla grande con una vegetación de más de 900 especies (FCD, 2020), probablemente las tortugas tienen interacción con una mayor cantidad de especies que lo reportado, además su alimentación debe variar en la época húmeda aumentando la riqueza de especies consumidas o disminuyendo la

riqueza y aumentando la cantidad de consumo de cada especie. Por tal se debe continuar con estos estudios que complementen los conocimientos sobre esta especie de tortuga. Sin embargo, encontramos una interacción fuerte con 11 especies de plantas al tener una alta ocurrencia en las muestras de heces. Esto sugiere cierta preferencia alimenticia de las tortugas, tomando en cuenta que su selección puede depender de la composición química de las especies de plantas, probablemente preferidas por su sabor y por ofrecer mayor cantidad de agua, nutrientes y un alto valor energético, tal es el caso de *Sida* y *Opuntia* (Nandu y Arora, 2017). De igual forma, la selección puede ser influenciada por la fenología de las plantas, pues prefieren hierbas verdes frescas que hierbas secas. Otro factor es la edad de las tortugas, pues como se evidenció anteriormente los juveniles en crecimiento requieren más nutrientes que los adultos (Oftedal, Hillard y Morafka, 2002; Hazard et al., 2010).

En el estudio, destacamos las especies compartidas (Figura 8), denominadas así, a las especies de plantas incluidas en la dieta de *C. darwini* registradas en ambas zonas ecológicas, pues se evidencia la dispersión de semillas entre zonas y se confirma el desplazamiento de las tortugas entre estas zonas, lo que sugiere que *C. darwini* interviene en la dispersión de semillas a grandes distancias (Blake et al., 2012), tomando en cuenta la presencia de especies que crecen únicamente en la zona húmeda tales como *Paspalum conjugatum* y *Oxalis corniculata* que se registraron tanto en las muestras de heces de la zona húmeda como también en las muestras de la zona árida, aunque en menor frecuencia. Por otro lado, su efectividad como dispersoras de semillas, se confirma en ciertas especies, al haber hallado en las heces algunas semillas en proceso de germinación (Anexo 12). Esta actividad de dispersión de semillas, puede ser un tanto negativa debido a la propagación de especies invasoras en la isla, como positiva al dispersar especies nativas y endémicas ayudando a la restauración de las áreas degradadas (Blake et al., 2012). Futuros estudios podrían evaluar la eficiencia de las tortugas como dispersoras de semillas, al analizar, por ejemplo, la viabilidad de las semillas encontradas en las heces de las tortugas en función de las rutas de desplazamiento que tienen las tortugas.

Finalmente, en base a las muestras, la cantidad de semillas y especies de plantas encontradas en la dieta de *C. darwini*, se evidencian las diferencias en las comunidades vegetales entre cada zona ecológica estudiada, mediante el análisis de escalamiento multidimensional no paramétrico (NMDS) se muestra evidentemente que la zona árida tiene mayor número de muestras que la zona húmeda. Pero expone que estas guardan gran similitud entre la comunidad de vegetación encontrada en las muestras de heces de cada zona, sin embargo, se observa que un punto de la zona árida tiende hacia la zona húmeda posiblemente porque las especies vegetales registradas en la muestra tenían similitud con la comunidad vegetal tanto de las muestras de la zona árida y también de la húmeda. A la vez, a pesar que las plantas madre de las especies registradas en la dieta están ubicadas en diferentes zonas ecológicas, algunas exclusivamente situadas en la zona costera, árida, transición o húmeda y otras distribuidas en varias zonas de la isla, en la Figura 10 se evidencia una composición de plantas bien diferenciada para las muestras de cada zona ecológica y una mayor interacción planta-tortuga con las especies situadas cerca del cero en el eje Y.

La presencia de micro plástico en las muestras de heces de *C. darwini* llama la atención, pues, aunque su consumo va aumentando en todo el planeta por la acumulación de los micro plásticos en el medio ambiente, tanto en el aire como en el mar, producto del impacto antropogénico por el desmesurado uso de plásticos (Sarría y Gallo, 2016), no se esperaría tener la presencia de estos residuos en Santiago, al ser una isla sin asentamientos humanos. Por tal se infieren dos hipótesis: (I) Que estos residuos plásticos pueden ser producto de las visitas de piratas, balleneros, o expediciones que han llegado a la isla desde su descubrimiento (Haman, 1994). Actualmente guardaparques y científicos en cada excursión dentro del Archipiélago de Galápagos siguen rigurosos protocolos de DPNG para minimizar su impacto, sin embargo, se evidencia que la presencia humana puede causar hasta el mínimo impacto. (II) Los residuos pudieron haber llegado arrastrados por el viento desde el mar, que es uno de los ecosistemas más contaminados por plásticos, o en el aire pues se ha evidenciado en lugares remotos, alejados de poblaciones humanas la presencia de micro plástico, que ha sido transportado en el aire (Elías, 2015; Rojo y Montoto, 2017; Allen et al., 2019).

Aunque no hay estudios en tortugas terrestre, al ser la primera vez que se reporta este consumo, se ha visto que en vertebrados al consumir estas microparticulas se absorbe sustancias toxicas como los PCBs, PAHs y Bisfenol-A, que afectan el desarrollo del organismo, pudiendo producir inflamaciones de los tejidos, problemas digestivos, daño hepático, distrofia en el crecimiento, entre otros (Sarria y Gallo, 2016).

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta descripción inicial la dieta de *C. darwini*, donde se registró el consumo de 101 especies de plantas, se concluye que su alimentación es muy variada y diversa, lo que la cataloga como herbívoro generalista, además interviene en la dispersión de semillas a grandes distancias. Para futuros estudios se recomienda realizarlos en las diferentes épocas del año, registrar datos como: selección de alimentos (oportunistas o selectivos), distribución de recursos, y la viabilidad de las semillas dispersadas pues son fundamentales para conocer la ecología de la especie y poder categorizarla en un gremio más preciso.

Se evidenció un importante consumo principalmente de 11 especies de plantas, incluyendo a *Blainvillea dichotoma*, *Opuntia galapageia*, *Paspalum conjugatum* y *Digitaria horizontalis*, pero la mitad de las plantas son introducidas, con lo que se concluye que *C. darwini* dispersan semillas tanto de especies nativas, endémicas e introducidas, pero es necesario realizar estudios de la efectividad de la dispersión y para determinar si están actuando como agentes de invasión o restauración. Así mismo, determinar si estas especies introducidas tienen actividad invasiva, para ejecutar programas de erradicación sobre ellas.

Se encontró que en la dieta de *C. darwini* existe una preferencia de especies nativas-endémicas, por sobre las introducidas. A pesar de no haber estudios del rendimiento o aporte nutricional que ofrece cada especie de planta consumida, se infiere que las tortugas al consumir una mayor cantidad de especies nativas obtienen los nutrientes necesarios, a los que están adaptados desde hace milenios para cubrir sus requerimientos alimenticios. Y posiblemente la inclusión de especies invasivas a su dieta, sea por el aporte energético que esas plantas les ofrecen. Sin embargo, es necesario realizar estudios que lo confirmen.

Por otro lado, la predominancia de especies nativas-endémicas en la dieta de *C. darwini* evidencia que los programas de erradicación y control de especies

vegetales introducidas en esta isla pueden haber surtido efecto por la posible dispersión de estas especies aportando así al proceso de restauración ecológica.

En este estudio no se registró el consumo de mora por parte de las tortugas, con lo cual se concluye que en la época seca *C. darwini* no interviene en su dispersión, a la vez, esto sugiere que no existe un controlador biológico que limite el crecimiento y expansión de esta especie tan invasiva en la isla. Por tal se propone realizar un estudio más amplio para confirmar esta hipótesis y priorizar la ejecución de proyectos encaminados a la erradicación de mora en esta isla.

Este es un aporte al conocimiento de *C. darwini* para el mejor manejo de esta especie, pero se necesita más investigación para comprender mejor las interacciones entre la comunidad vegetal y las tortugas. Por lo cual se recomienda determinar la contribución nutricional de cada especie endémica, nativa e introducida consumidas por las tortugas, asimismo determinar la migración que éstas realizan para confirmar su papel ecológico en la dinámica de dispersión especies vegetales.

Es importante realizar estudios que aporten datos sobre la ecología y el estado de conservación de las tortugas de la Isla Santiago, como por ejemplo manteniendo los censos de recaptura de las tortugas, controlando así el estado de salud de las mismas y actuar oportunamente ante alguna anomalía detectada, como por ejemplo la disminución drástica en su peso, anemia, o infestación de parásitos.

Se recomienda implementar más especies nativas en la dieta de las tortugas en cautiverio, previo a un análisis del beneficio de estas, por la evidente preferencia que tienen las tortugas por estas especies en su hábitat natural.

Además, se recomienda analizar cómo influye la reciente reintroducción en la Isla Santiago de iguanas terrestres de la Isla Seymour Norte en la interacción que se produce con las tortugas, pues al ser igualmente herbívoros podrían entrar en una competencia por recursos.

De igual forma, es transcendental dar a conocer la presencia de macro y micro plásticos en la dieta de las tortugas por consumo no intencional, para lograr concientizar con la gente la huella ecológica que estamos produciendo, pues a pesar de ser una isla no poblada por humanos, los desechos antropogénicos están llegando a su hábitat isla adentro. En animales marinos, se ha visto que la ingestión de plástico puede llegar a afectar su salud, produciendo lesiones intestinales, ulceraciones, infecciones, o disminución de energía (Campoy y Beiras, 2019). Por lo cual se debería realizar una valoración de este tipo de consumo indirecto en la población de tortugas y analizar si puede producir una afección en su salud.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldezabal, A., García-González, R., Gómez, D., y Fillat, F. (2002). El papel de los herbívoros en la conservación de los pastos. *Revista Ecosistemas*, 11(3).
- Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. R., Le Roux, G., Jiménez, P. D., Simonneau, A., ... y Galop, D. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, 12(5), 339-344.
- Al-Rowaily, S. L., Abd-ElGawad, A. M., Alghanem, S. M., Al-Taisan, W. A. A., y El-Amier, Y. A. (2019). Nutritional Value, Mineral Composition, Secondary Metabolites, and Antioxidant Activity of Some Wild Geophyte Sedges and Grasses. *Plants*, 8(12), 569.
- Andreu, A. C. (1987). Ecología y dinámica poblacional de la tortuga mora, *Testudo graeca graeca* L., en Doñana, Huelva. (Disertación doctoral) Universidad de Sevilla.
- Arnold, E. N. (1979). Indian Ocean Giant Tortoises: Their Systematics and Island Adaptations. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 286(1011), 127–145. doi:10.1098/rstb.1979.0022.
- Arteaga, A. y Guayasamin, J. M. (2019). Tortuga Gigante de Santiago. In G. J. Arteaga A, Bustamante L, Vieira J, Tapia W (Eds.), *Reptiles de Galápagos*. Recuperado de [www.tropicalherping.com](http://www.tropicalherping.com).
- Audesirk, T., Audesirk, G. y Byers, B. (2008). *Biología “La vida en la Tierra.”* Mexico: PEARSON Educación.
- Bastille-Rousseau, G., Gibbs, J. P., Campbell, K., Yackulic, C. B. y Blake, S. (2017). Ecosystem implications of conserving endemic versus eradicating introduced large herbivores in the Galapagos Archipelago. *Biological Conservation*, 209, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.02.015>.
- Black, J. (1973). *GALÁPAGOS Archipiélago del Ecuador*. Quito-Ecuador.
- Blake, S., Wikelski, M., Cabrera, F., Guezou, A., Silva, M., Sadeghayobi, E., Jaramillo, P. (2012). Seed dispersal by Galápagos tortoises. *Journal of Biogeography*, 39(11), 1961–1972. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02672.x>.
- Blake, S., Yackulic, C. B., Cabrera, F., Tapia, W., Gibbs, J. P., Kümmeth, F. y Wikelski, M. (2013). Vegetation dynamics drive segregation by body size in Galapagos tortoises migrating across altitudinal gradients. *Journal of Animal Ecology*, 82(2), 310–321. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12020>.
- Blake, S., Guézou, A., Deem, S. L., Yackulic, C. B. y Cabrera, F. (2015). The Dominance of Introduced Plant Species in the Diets of Migratory Galapagos Tortoises Increases with Elevation on a Human-Occupied Island. *Biotropica*, 47(2), 246–258. "<https://doi.org/10.1111/btp.12195>"
- Caccone, A., Gibbs, J. P., Ketmaier, V., Suatoni, E. y Powell, J. R. (1999). Origin and evolutionary relationships of giant Galapagos tortoises. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(23), 13223–13228. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.23.13223>.
- Caccone, A., Gentile, G., Gibbs, J. P., Fritts, T. H., Snell, H. L., Betts, J., y Powell, J. R. (2002). Phylogeography and history of giant Galápagos tortoises. *Evolution*, 56(10), 2052-2066. [https://doi.org/10.1554/0014-3820\(2002\)056\[2052: PAHOGG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1554/0014-3820(2002)056[2052: PAHOGG]2.0.CO;2).
- Calvopiña, L. H., y de Vries, T. J. (1975). Estructura de la población de Cabras Salvajes (*Capra hircus* L.) y los daños causados en la vegetación de la Isla

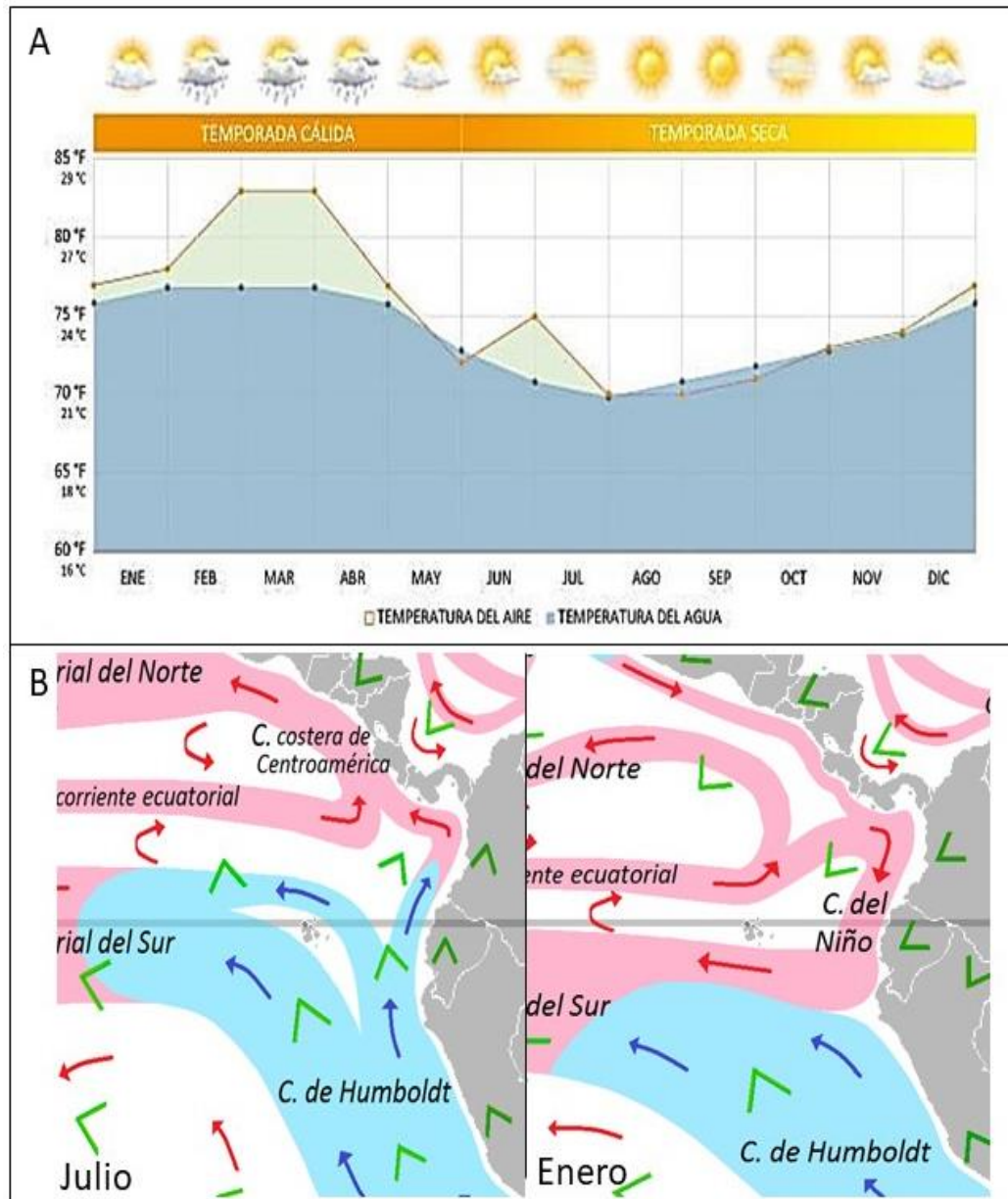
- San Salvador Galápagos. *Rev. PUCE.*, 8.
- Campoy, P. y Beiras, R. (2019). *Revisión: Efectos ecológicos de macro-, meso- y microplásticos. Proyecto.* Recuperado de [http://ecotox.uvigo.es/sites/default/files/efectosecologicosplasticos\\_repescaplas2\\_ecotox\\_05\\_2019\\_0.pdf](http://ecotox.uvigo.es/sites/default/files/efectosecologicosplasticos_repescaplas2_ecotox_05_2019_0.pdf).
- Camurga, D. A., Neiva, J. N. M., Pimentel, J. C. M., Vasconcelos, V. R. y Lôbo, R. N. B. (2002). Desempenho produtivo de ovinos alimentados com dietas à base de feno de gramíneas tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(5), 2113–2122. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982002000800027>.
- Cano, C. (2018). Dieta y uso de hábitat de la tortuga gigante (*Chelonoidis hoodensis*) y la iguana terrestre (*Conolophus pallidus*) en la Isla Santa Fe, Galápagos, Ecuador. (Tesis de maestría) Universidad National. Heredia.
- Cayot, L. J. (1987). *Ecology of giant tortoises (Geochelone elephantopus) in the Galápagos Islands.* (Disertación de postgrado) Universidad Syracuse. Estados Unidos.
- Cayot, L. J., Gibbs, J. P., Tapia, W. y Caccone, A. (2016). *Chelonoidis darwini*, Santiago Giant Tortoise. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 8235. <https://doi.org/10.3854/crm.5.000.checklist.v7.2014.Taxonomic>.
- Cayot, L. J. (2018). *El Solitario George.* Galápagos.
- Chiari, Y. y Claude, J. (2011). Study of the carapace shape and growth in two Galápagos tortoise lineages. *Journal of Morphology*, 272(3), 379-386.
- Chiari, Y., van der Meijden, A., Caccone, A., Claude, J., y Gilles, B. (2017). Self-righting potential and the evolution of shell shape in Galápagos tortoises. *Scientific reports*, 7(1), 1-8.
- Clausen, B. (2016). Geología de las Islas Galápagos. *Geoscience*.
- Cruz, F., Carrion, V., Campbell, K. J., Lavoie, C., y Donlan, C. J. (2009). Bioeconomics of large-scale eradication of feral goats from Santiago Island, Galapagos. *The Journal of Wildlife Management*, 73(2), 191-200.
- Dirección del Parque Nacional Galápagos. (2014). Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir. In *Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador*. <https://doi.org/10.1590/S0004-282X2003000500014>.
- Dirección del Parque Nacional Galápagos. (2019). Áreas Protegidas. Recuperado de <http://www.galapagos.gob.ec/areas-protegidas>.
- Elías, R. (2015). Mar del plástico: una revisión del plástico en el mar. *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 27, 83-105.
- Enriquez, R. (1984). *Aspectos importantes del ciclo de vida de la tortuga de Galápagos Geochelone elephantopus darwini de la Isla Santiago.* (Disertación de pregrado) Universidad Central del Ecuador.
- Fritts, T., Marquez, C. y Enriquez, R. (2001). Elevational zonation and imbalanced sex ratios in giant tortoises on Isla Santiago, Galapagos. Charles Darwin Research Station, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.
- Fundación Charles Darwin (2020) Lista de especies de Galápagos. Recuperado de <https://www.darwinfoundation.org/es/datazone/checklist>.
- Gallina-Tessaró, S. (2011). Técnicas para conocer la dieta. *Manual de técnicas para el estudio de la fauna. Volumen I.* (Gallina S y López-González C., eds.). Universidad Autónoma de Querétaro-Instituto de Ecología, Querétaro, México.
- Gibbs, J. P., Marquez, C., y Sterling, E. J. (2008). The role of endangered species reintroduction in ecosystem restoration: tortoise–cactus interactions on Española Island, Galápagos. *Restoration Ecology*, 16(1), 88-93.
- Gibson, C. W. D. y Hamilton, J. (1983). Feeding ecology and seasonal movements

- of giant tortoises on Aldabra atoll. *Oecologia*, 56(1), 84–92. <https://doi.org/10.1007/BF00378221>.
- Global Multi-Resolution Topography. (2020). Mapa topográfico Recuperado de [www.gmrt.org](http://www.gmrt.org).
- González, E. y Cáceres, O. (2002). Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. *Pastos y Forrajes*, 25(1), 1–6.
- Hailey, A., Chidavaenzi, R. L. y Loveridge, J. P. (1998). Diet mixing in the omnivorous tortoise *Kinixys spekii*. *Functional Ecology*, 12(3), 373–385. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1998.00203.x>.
- Hamann, O. (1993). The vegetation of Isla Santiago - Past and Present. *Noticias de Galápagos*, 52(52), 6–11.
- Hazard, L. C., Shemanski, D. R. y Nagy, K. A. (2010). Nutritional Quality of Natural Foods of Juvenile and Adult Desert Tortoises (*Gopherus agassizii*): Calcium, Phosphorus, and Magnesium Digestibility. *Journal of Herpetology*, 44(1), 135–147. <https://doi.org/10.1670/08-134.1>.
- Heleno, R., Blake, S., Jaramillo, P., Traveset, A., Vargas, P. y Nogales, M. (2011). Frugivory and seed dispersal in the Galápagos: What is the state of the art? *Integrative Zoology*, 6(2), 110–129. <https://doi.org/10.1111/j.1749-4877.2011.00236.x>.
- Hunter, E. A., Gibbs, J. P., Cayot, L. J., y Tapia, W. (2013). Equivalency of Galápagos giant tortoises used as ecological replacement species to restore ecosystem functions. *Conservation Biology*, 27(4), 701-709.
- INAMHI. (2019). *Boletín climatológico*.
- INGALA, PRONAREG, ORSTOM. (1989). *Inventario Cartografico de los Recursos Naturales, Geomorfología, Vegetación, Hidricos, Ecologicos y Biofisicos de las Islas Galapagos Ecuador*. Quito-Ecuador: Editora Nacional.
- Instituto Oceanográfico de la Armada. (2011). Islas Galápagos. En *Derrotero de la Costa Continental e Insular del Ecuador* (Sexta, pp. 158–209). Guayaquil.
- Itow, S. (2003). Patrón de zonificación, proceso de sucesión e invasión por extraterrestres en vegetación insular pobre en especies de las Islas Galápagos. *Investigación ambiental global*, 7 (1), 39-58.
- Jaramillo, P. (2002). Manejo de Herbario CDS de la Estación Científica Charles Darwin. Isla Santa Cruz, Galápagos. In A. Freire-Fierro y D. A. Neill (Eds.), *La Botánica en el Nuevo Milenio* (pp. 78-86). Quito, Ecuador: Fundación Ecuatoriana para la Investigación y el Desarrollo de la Botánica FUNBOTANICA, QCNE, Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales y Missouri Botanical Garden.
- Jaramillo, P., y Bungartz, F. (2007). Featured herbarium: CDS - The Charles Darwin Research Station Herbarium. *The Vasculum - The Society of Herbarium Curators Newsletter*, 2(2), 3-7.
- Jaramillo, P., y Heleno, R. H. (2012). Guía rápida de semillas de las islas Galápagos. *Puerto Ayora, Galápagos: Fundación Charles Darwin*.
- Jones, C. G., Lawton, J. H. y Shachak, M. (1994). Organisms as Ecosystem Engineers. *Ecosystem Management*. Springer, New York, NY, 69(3), 373. <https://doi.org/10.2307/3545850>.
- Judd, W., Campbell, C., Kellogg, E., Stevens, P. y Donoghue, M. (2016). *Plant Systematics a Phylogenetic approach*. 4ta edición. Massachusetts-Estados Unidos: Sinauer Associates INC.
- Lanteri, A. A. (2001). Biogeografía de las Islas Galápagos: Principales aportes de los estudios filogenéticos. EN *Introducción a la Biogeografía en*

- Latinoamerica*, 141.
- Lomolino, M. V., Riddle, B., Whittaker, R. y Brown, J. (2010). *Biogeography*. 4ta edición. Massachusetts-Estados Unidos: Sinauer Associates INC.
- MacDonald, L. A. y Mushinsky, H. (1988). Foraging ecology of the gopher tortoise, *Gopherus Polyphemus*, in a sandhill habitat. *Herpetologists' League*, 44(3), 345–353. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/3892350>.
- Mahmoud, I. Y. y Klicka, J. (1979). Feeding, drinking and excretion. *Turtles: perspectives and research*, 229-243.
- Nandu, V. S. y Arora, B. M. (2017). Study on the Foraging Behavior and Diet Preferences of Indian Star Tortoises (*Geochelone elegans*) in Chinnar Wildlife Sanctuary. *Zoological Sciences*, 5(1), 58–69.
- Nieuwolt, M. (1989). Saddle-back giant tortoises: interactions of morphology and social behavior. (Tesis doctoral, University of New Mexico; Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004> \h.
- Oftedal, O., Hillard, S., y Morafka, D. (2002). Selective spring foraging by juvenile desert tortoises (*Gopherus agassizii*) in the Mojave Desert. *Chelonian Conservation and Biology*, 4(2), 341–352.
- Páez- Rosas, D., 2008. Diversificación de dietas en tres colonias de lobo marino de Galápagos, *zalophus wolfebaeki*, evaluada con análisis de excretas e isótopos estables de C y N. (Tesis de maestría) Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas La Paz, B.C.S., México.
- Pazmiño, J. M. (2017). Efecto de la alimentación en el crecimiento de juveniles en las especies *Chelonoidis donfaustoi* y *Chelonoidis darwini* (Zamorano, Escuela Agrícola Panamericana). Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6181/1/IAD-2017-029.pdf>.
- Pemberton, J. W. y Gilchrist, J. S. (2009). *Foraging Behavior and Diet Preferences of a Released Population of Giant Tortoises in the Seychelles*. *Chelonian Conservation and Biology*, 8(1), 57–65. <https://doi.org/10.2744/ccb-0728.1> \h <https://doi.org/10.2744/ccb-0728.1>.
- Piu, M. (2003). La reserva Marina de Galápagos. Recuperado de [reservasmarinas.net](http://reservasmarinas.net).
- Renteria, J. L., Gardener, M. R., Panetta, F. D., y Crawley, M. J. (2012). Management of the invasive hill raspberry (*Rubus niveus*) on Santiago Island, Galapagos: eradication or indefinite control? *Invasive plant science and management*, 5(1), 37-46.
- Rivas-Torres, G. F., Benítez, F. L., Rueda, D., Sevilla, C. y Mena, C. F. (2018). *A methodology for mapping native and invasive vegetation coverage in archipelagos: An example from the Galápagos Islands*. *SAGE Journal*, 42(1), 83–111. <https://doi.org/10.1177/0309133317752278>.
- Rodríguez-Guerra, A. 2019. *Chelonoidis 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/Chelonoidis%20darwini>, acceso Viernes, 11 de enero de 2020.
- Rojo-Nieto, E. y Montoto Martínez, T. (2017). Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global.
- R Studio Team (2019). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. 2015. URL: <https://www.rstudio.com/products/rstudio>.
- Sadeghayobi, E., Blake, S., Wikelski, M., Gibbs, J., Mackie, R., y Cabrera, F. (2011). Digesta retention time in the Galápagos tortoise (*Chelonoidis*

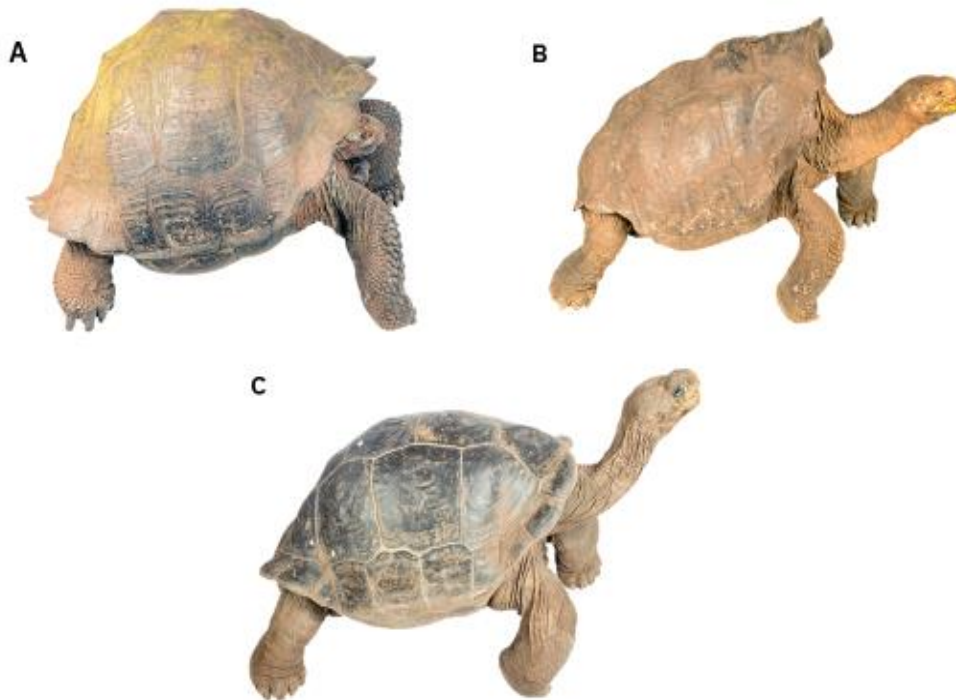
- nigra). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular y Integrative Physiology*, 160(4), 493-497.
- Sahu, P., Chakradhari, S., Patel, K. S., Martín-Gil, J., Towett, E. K., y Martín-Ramos, P. (2019). Nutritional, Spectral and Thermal Characteristic of Lamiaceae Seeds. *European Journal of Medicinal Plants*, 28(3), 1-13. <https://doi.org/10.9734/ejmp/2019/v28i330133>
- Sarria-Villa, R. A., y Gallo-Corredor, J. A. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21-27.
- Sellés, B. (2019) Evaluating the adaptation and ecological role of Galapagos giant tortoises released on Santa Fe Island. (Tesis de maestría) University of Exeter Cornwall. Reino Unido.
- Sokovic, M., Skaltsa, H., y Ferreira, I. C. (2019). Bioactive Phytochemicals in Asteraceae: Structure, Function and Biological Activity. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1464.
- Tapia, I. (2019). Dietary choice of a recently described giant tortoise species (*Chelonoidis donfaustoi*) in the Galapagos Islands, Ecuador during the dry season. (Disertación de pregrado) Universidad Newcastle. Reino Unido.
- Trueman, Mandy y d'Ozouville, Noémi (2010) *Caracterización del clima terrestre de Galápagos ante el cambio climático global*. Galapagos Research, 67, págs. 26-37. [http://aquaticcommons.org/21473/1/GR\\_67\\_p26-37.pdf](http://aquaticcommons.org/21473/1/GR_67_p26-37.pdf).
- Tye, A. (2006). Restoration of the vegetation of the Dry Zone in Galapagos. *Lyonia*, 9(2), 29-50. doi: <http://www.lyonia.org/downloadPDF.php?pdfID=2.410.1>.
- Vásconez Robalino, J. N. (2018). Evaluación del período de residualidad de semillas en el aparato digestivo de tortugas gigantes (*Chelonoidis* spp.), que permanecen en cuarentena a su ingreso a programas de repatriación o reproducción en cautiverio del Centro de Crianza “Fausto Llerena”, Isla Santa Cruz-Galápagos (Disertación de pregrado) Universidad Central del Ecuador.
- Verzani, J. (2002). simpleR—Using R for Introductory Statistics. *New York: CUNY, 0.4 edition URL* <http://www.math.csi.cuny.edu/Statistics/R/simpleR/index.html>, 106.
- Villarruel Oviedo, I., y de la Torre, S. (2014). Estudio preliminar de caracoles terrestres en la Isla San Cristóbal, Galápagos. *ACI Avances En Ciencias E Ingenierías*, 6(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v6i2.177>.
- Wiggins, I. y Porter, D. (1971). Flora of the Galapagos Islands. *Stanford University Press*, Stanford, California, Estados Unidos.
- Zuur, A., Ieno, E. N., y Smith, G. M. (2007). *Analyzing ecological data*. Springer.

## 10. ANEXOS



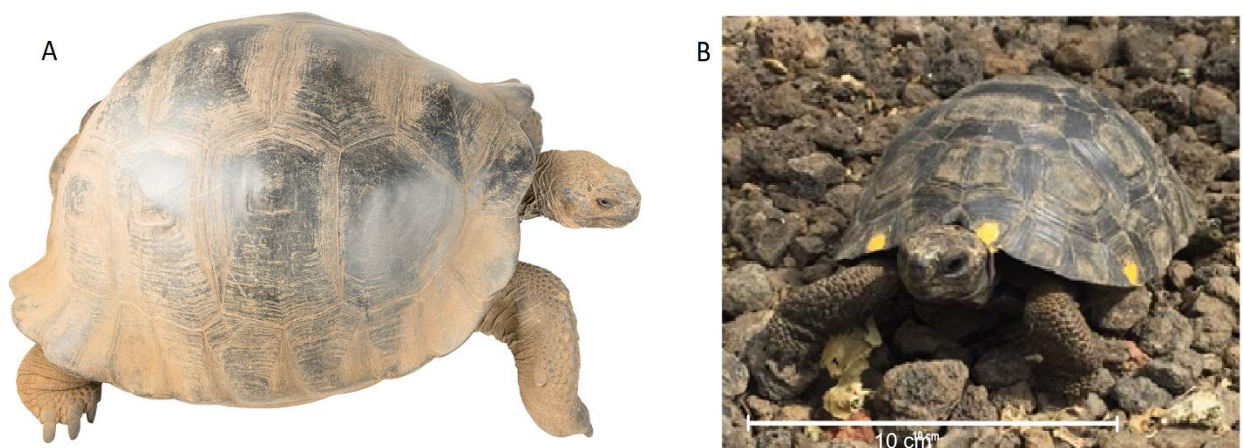
**ANEXO 1. Variación de la temperatura y corrientes marinas de Galápagos y sus corrientes marinas.**

(A) Variación de la temperatura de Galápagos a lo largo del año (Tomada de Galapagos Conservation Trust, 2020). (B) Interacción de corrientes marinas alrededor de Galápagos durante los meses de julio y enero (Maulucioni, 2015).



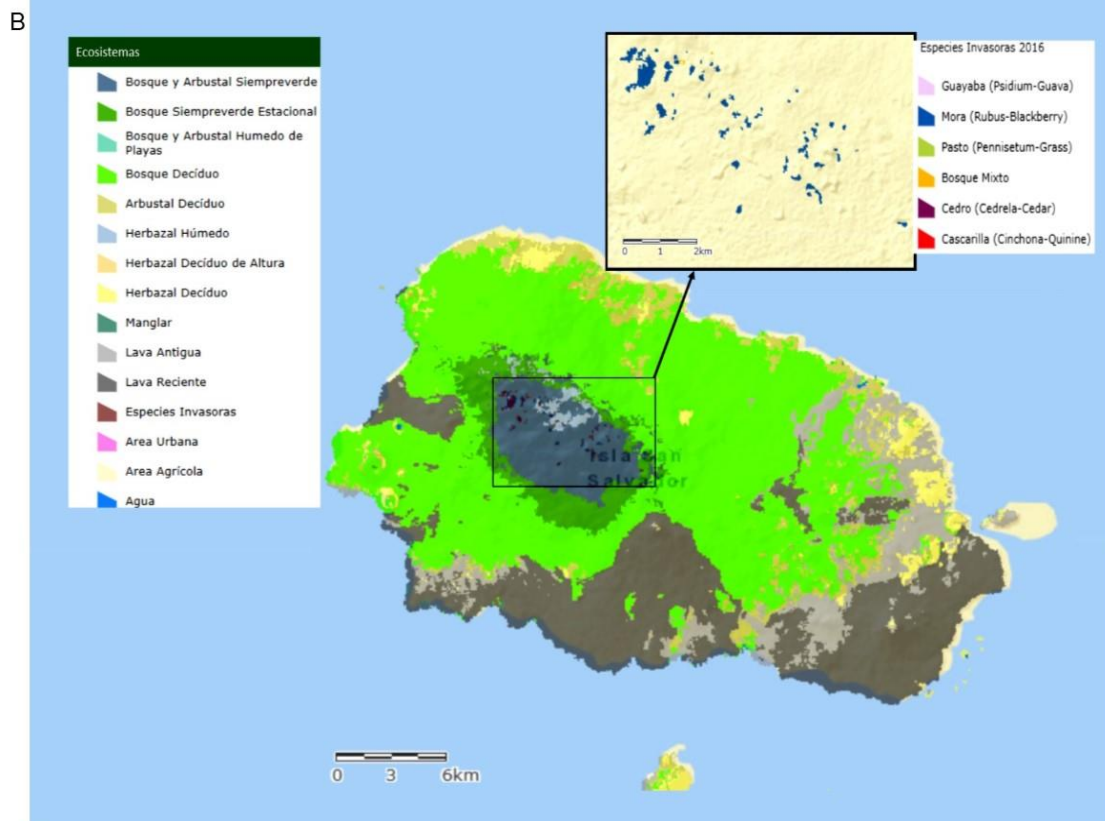
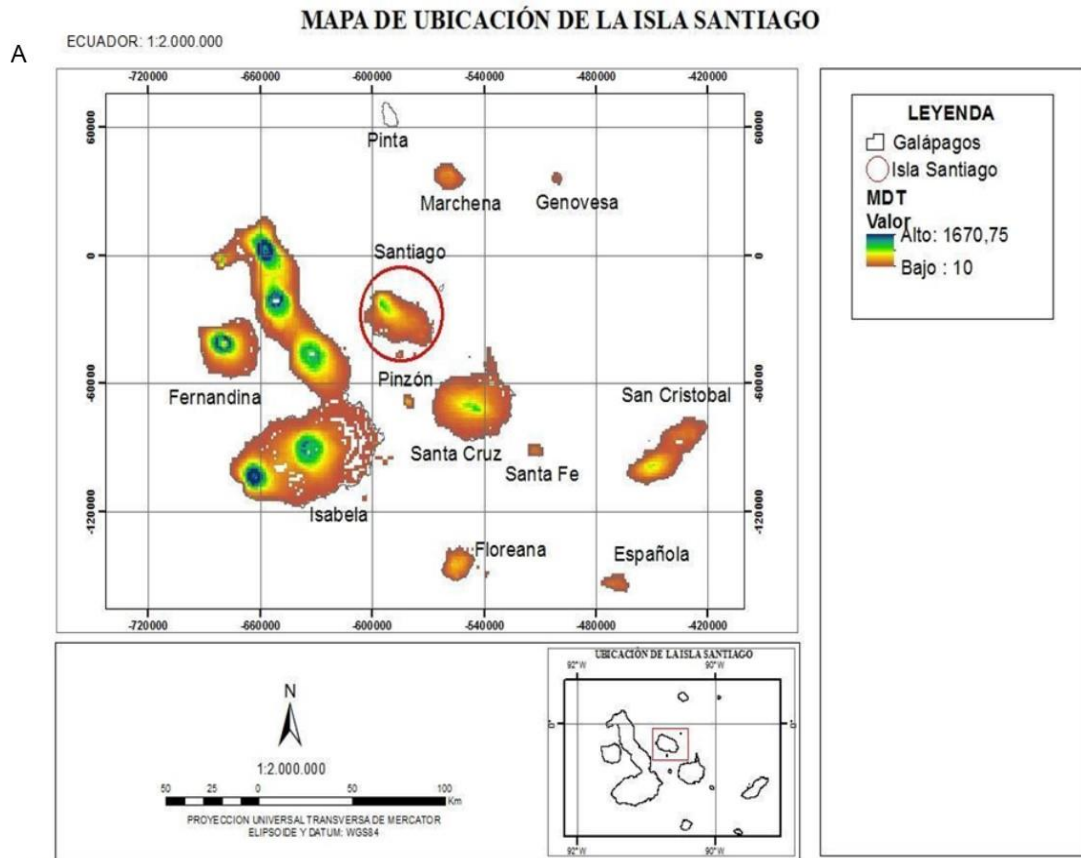
**ANEXO 2. Tres tipos de caparazón de tortuga en las Islas Galápagos:**

(A) tipo “domo”, *Chelonoidis donfaustoi*, (B) tipo “montura”, *Chelonoidis hoodensis*, (C) tipo “intermedio” *Chelonoidis becki* (Arteaga et al., 2019).



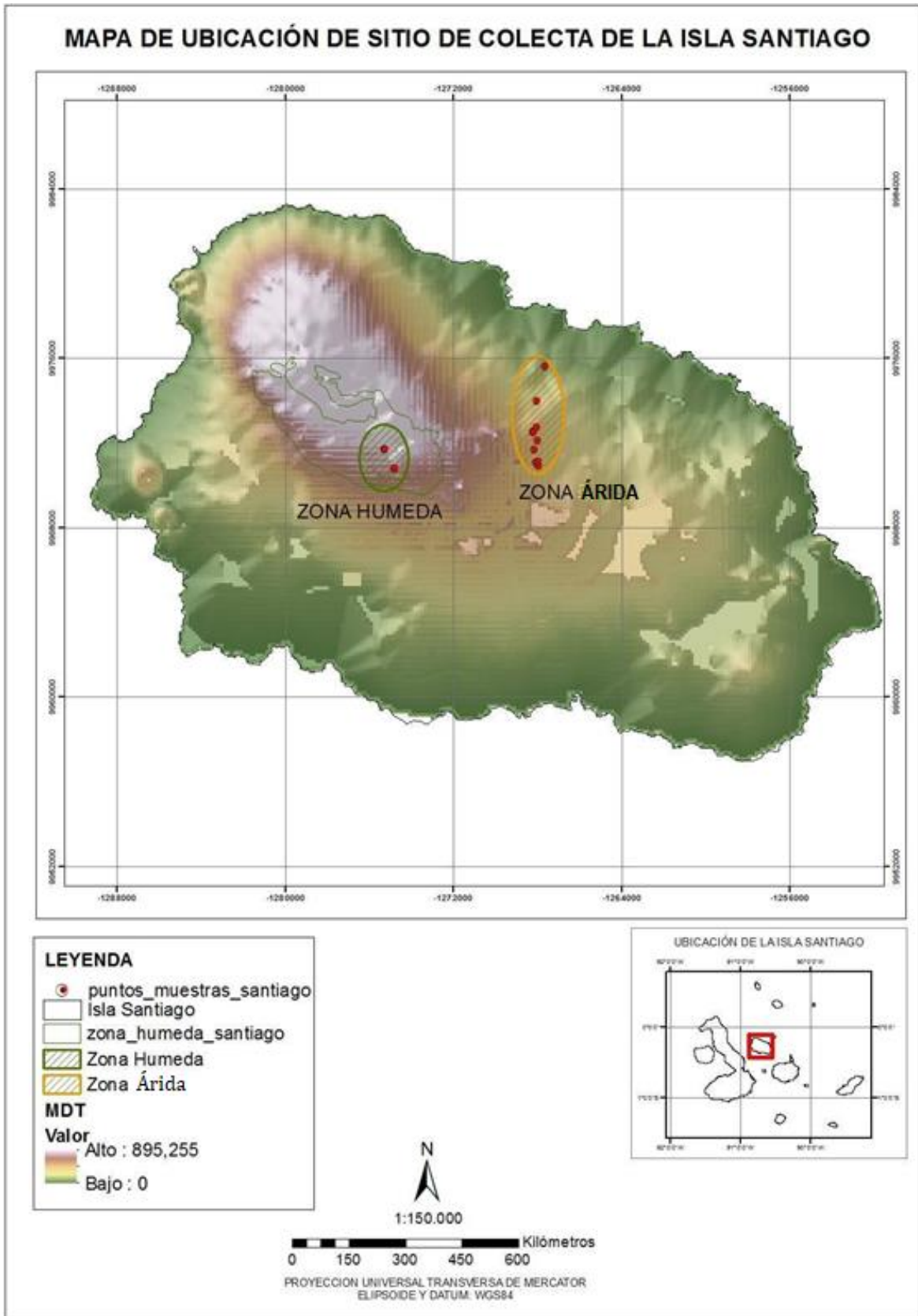
**ANEXO 3. Tortuga *Chelonoidis darwini*, especie endémica de la Isla Santiago.**

(A) Hembra adulta (Arteaga et al., 2019). (B) Neonato.



#### ANEXO 4. Mapa de ubicación y vegetación de la Isla Santiago

(A) Mapa de ubicación de la Isla Santiago (Guaña, 2019). (B) Mapa de vegetación de la Isla Santiago (Instituto de geografía USFQ, 2016).



**ANEXO 5. Sitios de colecta en la Isla Santiago. En amarillo la zona árida y en verde la zona húmeda.**

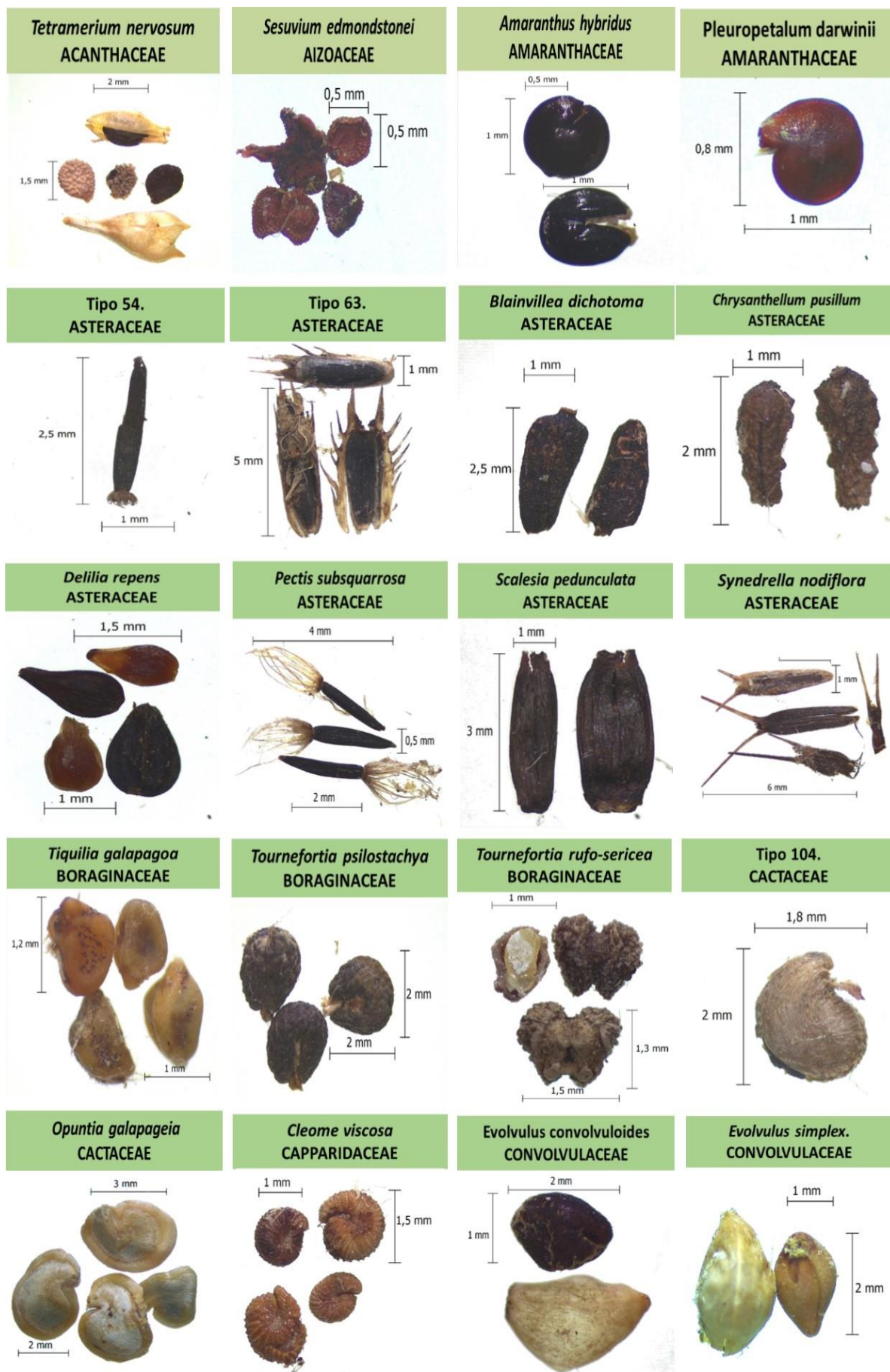
**ANEXO 6. Datos de las muestras analizadas y sus coordenadas de colecta.**

<b>N° de muestra (Waipoint)</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Elevación</b>	<b>Zona</b>	<b>Año</b>	<b>Mes</b>
HT1	-0,212269	-90,684625	84 m	Árida	2018	6
HT2	-0,238932	-90,689527	262 m	Árida	2018	6
HT3	-0,246423	-90,688971	281 m	Árida	2018	6
HTS	-0,251265	-90,68721	255 m	Árida	2018	6
HT7	-0,239311	-90,689361	262 m	Árida	2018	6
H4	-0,239363	-90,689462	262 m	Árida	2018	6
H5	-0,251654	-90,688396	257 m	Árida	2018	6
H6	-0,253193	-90,687389	258 m	Árida	2018	6
H7	-0,226430	-90,68813	162 m	Árida	2018	6
H9	-0,237234	-90,68802	254 m	Árida	2018	6
H10	-0,242685	-90,68771	250 m	Árida	2018	6
HS1	-0,2462	-90,75040	592 m	Húmeda	2019	9
HS2	-0,25392	-90,74653	540 m	Húmeda	2019	9
HS3	-0,2462	-90,75040	592 m	Húmeda	2019	9
HS4	-0,25392	-90,74653	540 m	Húmeda	2019	9
HS5	-0,2462	-90,75040	592 m	Húmeda	2019	9
HS6	-0,25392	-90,74653	540 m	Húmeda	2019	9
HS7	-0,2462	-90,75040	592 m	Húmeda	2019	9

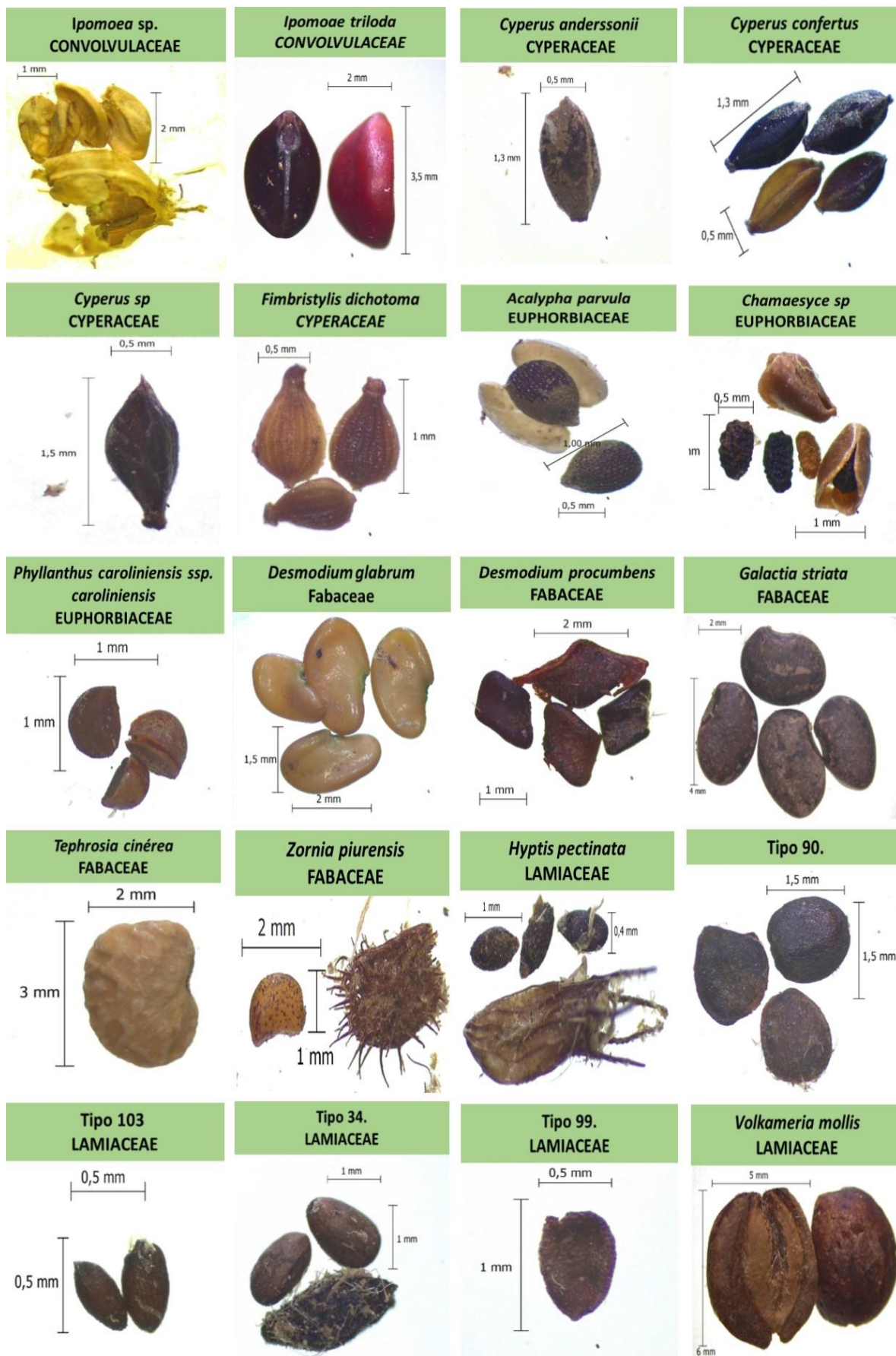


### ANEXO 7. Fotografías del procedimiento del estudio.

(A) Pesando una muestra fresca de heces. (B y C) Muestra seca, separado por tamaño de elementos. (D y E) Analizando y separando semillas de las muestras de heces. (F) Restos de las muestras. (G) semillas separadas por especie. (H) Muestra del Herbario CDS con semillas para la identificación.



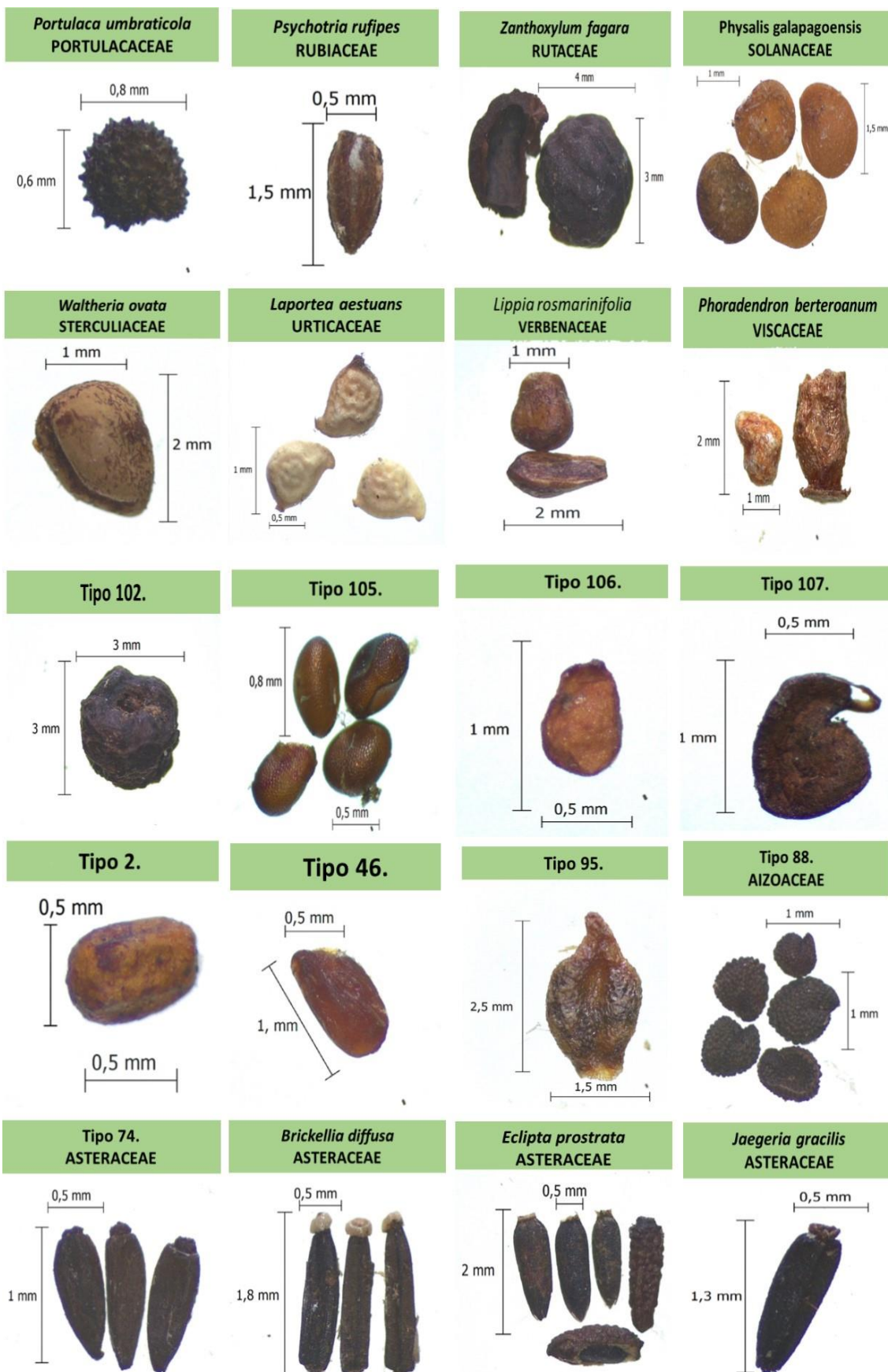
ANEXO 8. Fotos de las semillas identificadas.



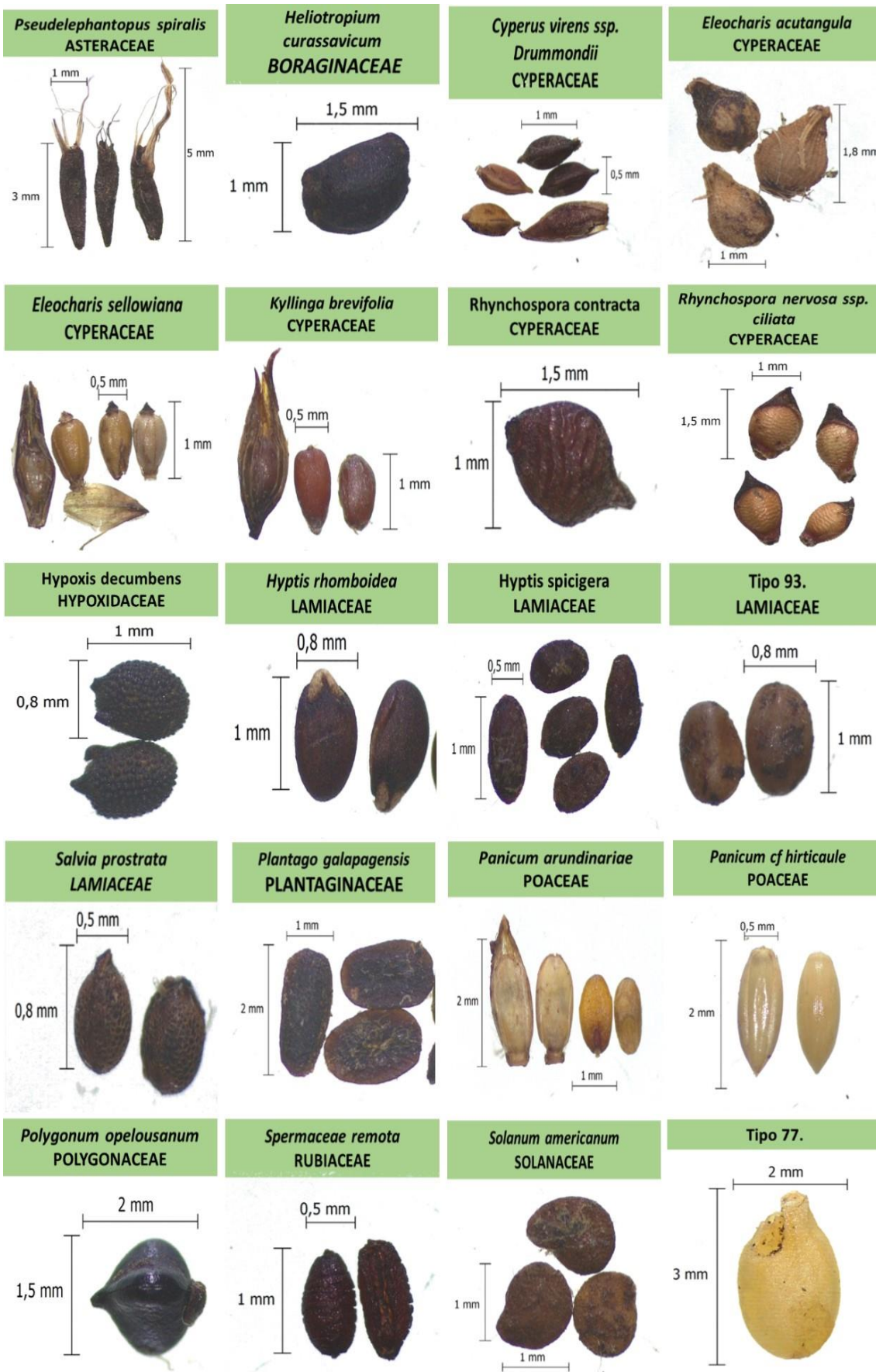
Fotos de las semillas identificadas. Continuación.



Fotos de las semillas identificadas. Continuación.



Fotos de las semillas identificadas. Continuación.



Fotos de las semillas identificadas. Continuación.

## ANEXO 9. Especies de planta registradas en la dieta de las tortugas

### *Chelonoidis darwini* de la zona árida, Isla Santiago.

Especie identificada, Id en NMDS, origen, hábito, estado de conservación según IUCN, se muestra la frecuencia de ocurrencia y el porcentaje en la dieta del reptil basado en las heces colectadas en la época seca.

	Zona	Familia	Especie	ID. NMDS	Origen	Hábito de planta	Estado de conservación IUCN	Frecuencia de ocurrencia (# de muestras /#)	Porcentaje en la dieta promedio	Zona Ecológica planta madre
1	Árida	Acanthaceae	<i>Tetramerium nervosum</i>	T. ner.	Na	Hierba	NA	0,727	0,040	C-A-T
2	Árida	Aizoaceae	<i>Sesuvium edmonstonei</i>	S. edm.	En	Hierba	LC	0,182	0,005	C-A
3	Árida	Amaranthaceae	<i>Amaranthus hybridus</i>	A. hyb.	In	Hierba	NA	0,364	0,046	H
4	Árida	Amaranthaceae	<i>Pleuropetalum darwini</i>	P. dar.	En	Arbusto	VU	0,091	0,002	H
5	Árida	Asteraceae	<i>Asteraceae Tipo 54</i>	A. 54	NA	NA	NA	0,091	0,001	NA
6	Árida	Asteraceae	<i>Asteraceae Tipo 63</i>	A. 63	NA	NA	NA	0,091	0,001	NA
7	Árida	Asteraceae	<i>Blainvillea dichotoma</i>	B. dic.	Na	Hierba	NA	1	0,042	C-A-T-H
8	Árida	Asteraceae	<i>Chrysanthellum pusillum</i>	C. pus.	En	Hierba	LC	0,091	0,0001	C-A-T-H
9	Árida	Asteraceae	<i>Delilia repens</i>	D. rep.	En	Hierba	VU	0,091	0,039	T-H
10	Árida	Asteraceae	<i>Pectis subsquarrosa</i>	P. sub.	En	Hierba	LC	0,091	0,003	C-A-H
11	Árida	Asteraceae	<i>Scalesia pedunculata</i>	S. nod.	En	Arbol	ES	0,091	0,0001	H
12	Árida	Asteraceae	<i>Synedrella nodiflora</i>	S. ped.	In	Hierba	NA	0,091	0,001	A
13	Árida	Boraginaceae	<i>Tiquilia galapagoa</i>	T. gal.	En	Arbusto	LC	0,364	0,013	C-A
14	Árida	Boraginaceae	<i>Tournefortia psilostachya</i>	T. psi.	Na	Arbusto	NA	0,273	0,010	C-A
15	Árida	Boraginaceae	<i>Tournefortia rufo-sericea</i>	T. ruf.	En	Arbusto	VU	0,545	0,007	A-H
16	Árida	Cactaceae	<i>Cactaceae Tipo 104</i>	C. 104	NA	Arbusto	NA	0,091	0,010	NA
17	Árida	Cactaceae	<i>Opuntia galapageia</i>	O. gal.	En	Arbusto	VU	0,818	0,259	C-A
18	Árida	Capparaceae	<i>Cleome viscosa</i>	C. vis.	In	Hierba	NA	0,091	0,001	C-A-H

19	Árida	Convolvulaceae	<i>Evolvulus convolvuloides</i>	E. con.	Na	Hierba	NA	0,273	0,015	C-A
20	Árida	Convolvulaceae	<i>Evolvulus simplex</i>	E. sim.	Na	Hierba	NA	0,636	0,055	C-A
21	Árida	Convolvulaceae	<i>Ipomoea sp.</i>	I. 59	NA	Hierba	NA	0,182	0,008	NA
22	Árida	Convolvulaceae	<i>Ipomoea triloba</i>	I. tri.	Na	Hierba	LC	0,545	0,015	C-A-T-H
23	Árida	Cyperaceae	<i>Cyperus anderssonii</i>	C. and.	En	Arbusto	LC	0,091	0,018	C-A-H
24	Árida	Cyperaceae	<i>Cyperus confertus</i>	C. con.	Na	Hierba	NA	0,636	0,029	C-A-T-H
25	Árida	Cyperaceae	<i>Cyperus sp.</i>	C. 42	NA	NA	NA	0,091	0,018	NA
26	Árida	Cyperaceae	<i>Fimbristylis dichotoma</i>	F. dic.	Na	Hierba	LC	0,091	0,005	H
27	Árida	Euphorbiaceae	<i>Acalypha parvula</i>	A. par.	En	Hierba	LC	0,909	0,021	C-A-T-H
28	Árida	Euphorbiaceae	<i>Chamaesyce sp.</i>	C. 62	NA	NA	NA	0,182	0,19	NA
29	Árida	Euphorbiaceae	<i>Phyllanthus caroliniensis</i> <i>ssp. Caroliniensis</i>	P. car.	Na	Hierba	NA	0,091	0,001	C-A-H
30	Árida	Fabaceae	<i>Desmodium glabrum</i>	D. gla.	In	Hierba	NA	0,091	0,006	C-A-H
31	Árida	Fabaceae	<i>Desmodium procumbens</i>	D. pro.	Na	Hierba	NA	0,364	0,014	C-A-T
32	Árida	Fabaceae	<i>Galactia striata</i>	G. str.	Na	Hierba	NA	0,091	0,006	NA
33	Árida	Fabaceae	<i>Tephrosia cinerea</i>	T. cin.	Na	Hierba	NA	0,091	0,02	C-A-H
34	Árida	Fabaceae	<i>Zornia piurensis</i>	Z. piu.	In	Hierba	NA	0,091	0,02	C-A
35	Árida	Lamiaceae	<i>Hyptis pectinata</i>	H. pec.	In	Hierba	NA	0,545	0,09	H
36	Árida	Lamiaceae	<i>Tipo 103</i>	L. 103	NA	NA	NA	0,091	0,003	NA
37	Árida	Lamiaceae	<i>Tipo 34</i>	L. 34	NA	NA	NA	0,273	0,02	NA
38	Árida	Lamiaceae	<i>Tipo 99</i>	L. 99	NA	NA	NA	0,091	0,001	NA
39	Árida	Lamiaceae	<i>Volkameria mollis</i>	V. mol.	Na	Arbusto	NA	0,364	0,010	C-A-T-H
40	Árida	Loasaceae	<i>Mentzelia aspera</i>	M. asp.	Na	Hierba	LC	0,364	0,026	A-T-H
41	Árida	Malvaceae	<i>Sida spinosa</i>	S. spi.	Na	Hierba	NA	0,909	0,103	C-A-H
42	Árida	Molluginaceae	<i>Mollugo flavescens</i>	M. fla.	En	Hierba	LC	0,455	0,015	C-A-T-H
43	Árida	Nyctaginaceae	<i>Boerhavia coccinea</i>	B. coc.	Na	Hierba	NA	0,727	0,029	C-A-T-H
44	Árida	Nyctaginaceae	<i>Commicarpus tuberosus</i>	C. tub.	Na	Hierba	NA	0,091	0,010	T-H
45	Árida	Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i>	O. cor.	In	Hierba	NA	0,182	0,002	H
46	Árida	Oxalidaceae	<i>Oxalis dombeyi</i>	O. dom.	Na	Hierba	NA	0,182	0,010	A

47	Árida	Poaceae	<i>Antheophora hermaphrodita</i>	A. her.	In	Hierba	NA	0,909	0,050	C-H
48	Árida	Poaceae	<i>Aristida divulsa</i>	A. div.	En	Hierba	NT	0,545	0,043	NA
49	Árida	Poaceae	<i>Brachiaria multiculma</i>	B. mul.	En	Hierba	LC	0,364	0,028	T-H
50	Árida	Poaceae	<i>Cenchrus platyacanthus</i>	C. pla.	En	Hierba	LC	0,455	0,011	C-A-T
51	Árida	Poaceae	<i>Digitaria ciliaris</i>	D. cil.	In	Hierba	NA	0,273	0,008	A-T-H
52	Árida	Poaceae	<i>Digitaria horizontalis</i>	D. hor.	In	Hierba	LC	0,455	0,074	H
53	Árida	Poaceae	<i>Eragrostis ciliaris</i>	E. cil.	Na	Hierba	NA	0,545	0,010	C-A-T-H
54	Árida	Poaceae	<i>Leptochloa mucronata</i>	L. muc.	Na	Hierba	NA	0,091	0,0001	NA
55	Árida	Poaceae	<i>Paspalum conjugatum</i>	P. con.	In	Hierba	LC	0,091	0,030	H
56	Árida	Poaceae	<i>Pennisetum sp.</i>	P. 61	NA	Hierba	NA	0,364	0,045	NA
57	Árida	Poaceae	<i>Tipo 101</i>	P. 101	NA	Hierba	NA	0,091	0,011	NA
58	Árida	Poaceae	<i>Trichoneura lindleyana</i>	T. lin.	En	Hierba	LC	0,727	0,03	C-A-T-H
59	Árida	Portulacaceae	<i>Portulaca howellii</i>	P. how.	En	Hierba	LC	0,909	0,066	A
60	Árida	Portulacaceae	<i>Portulaca umbraticola</i>	P. umb.	In	Hierba	NA	0,455	0,015	NA
61	Árida	Rubiaceae	<i>Diodella radula</i> ***	D. rad.	Na	Hierba	NA	0,455	0,024	NA
62	Árida	Rubiaceae	<i>Psychotria rufipes</i>	P. ruf.	En	Arbusto	VU	0,091	0,001	H
63	Árida	Rutaceae	<i>Zanthoxylum fagara</i>	Z. fag.	Na	Arbol	LC	0,091	0,001	H
64	Árida	Solanaceae	<i>Physalis galapagoensis</i>	Ph. ga.	En	Hierba	LC	0,727	0,043	A-T
65	Árida	Sterculiaceae	<i>Waltheria ovata</i>	W. ova.	Na	Arbusto	NA	0,091	0,017	A-H
66	Árida	Urticaceae	<i>Laportea aestuans</i>	L. aes.	Na	Hierba	NA	0,182	0,006	C-A-T-H
67	Árida	Verbenaceae	<i>Lippia rosmarinifolia</i>	L. ros.	En	Hierba	NT	0,727	0,004	H
68	Árida	Viscaceae	<i>Phoradendron berteroanum</i>	P. ber.	En	Hierba	LC	0,545	0,135	H
69	Árida	NA	<i>Morphoesp Tipo 102</i>	M. 102	NA	NA	NA	0,091	0,001	NA
70	Árida	NA	<i>Morphoesp Tipo 105</i>	M. 105	NA	NA	NA	0,091	0,002	NA
71	Árida	NA	<i>Morphoesp Tipo 106</i>	M. 106	NA	NA	NA	0,091	0,001	NA
72	Árida	NA	<i>Morphoesp Tipo 107</i>	M. 107	NA	NA	NA	0,182	0,001	NA
73	Árida	NA	<i>Morphoesp Tipo 2</i>	M. 2	NA	NA	NA	0,636	0,006	NA
74	Árida	NA	<i>Morphoesp Tipo 46</i>	M. 46	NA	NA	NA	0,091	0,001	NA

75	Árida	NA	Morphoesp Tipo 95	M. 95	NA	NA	NA	0,091	0,004	NA
----	-------	----	-------------------	-------	----	----	----	-------	-------	----

Zona ecológica planta madre según registros de la base de datos del herbario de la fundación: C: costera, A: árida, T: transición, H: húmeda, NA: información no disponible.

\*\*\*: especie identificada por flores.

## ANEXO 10. Especies de planta registradas en la dieta de las tortugas

### *Chelonoidis darwini* de la zona húmeda, Isla Santiago.

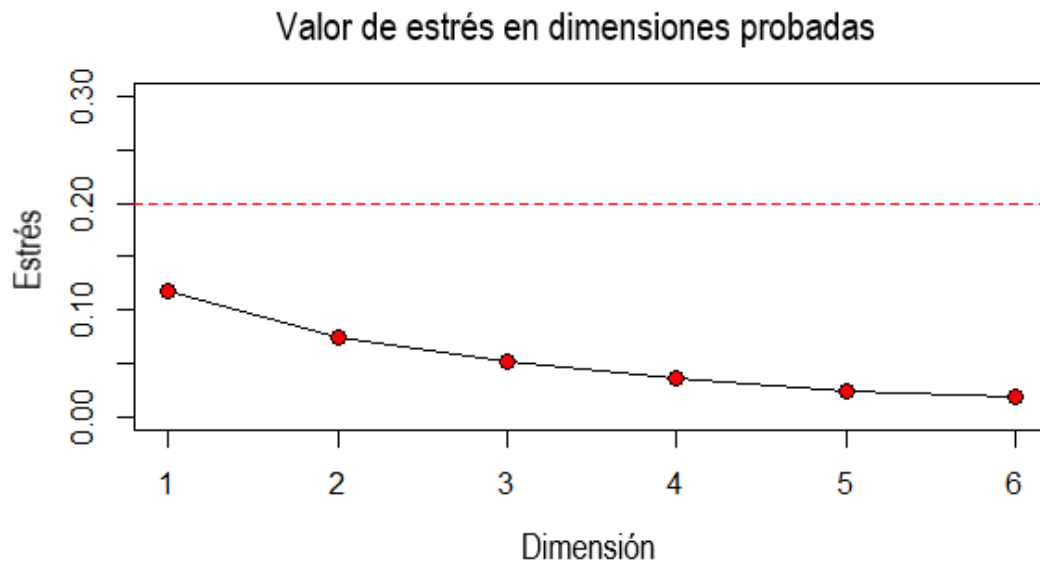
Especie identificada, Id en NMDS, origen, hábito, estado de conservación según IUCN, se muestra la frecuencia de ocurrencia y el porcentaje en la dieta del reptil basado en las heces colectadas en la época seca.

	Zona	Familia	Especie	ID. NMDS	Origen	Tipo de planta	Estado de conservación IUCN	Frecuencia de ocurrencia (# de muestras /# )	Porcentaje en la dieta promedio	Zona Ecológica planta madre
1	Húmeda	Aizoaceae	<i>Tipo 88</i>	A. 88	NA	Hierba	NA	0,429	0,014	NA
2	Húmeda	Asteraceae	<i>Tipo74</i>	A. 74	NA	NA	NA	0,286	0,002	NA
3	Húmeda	Asteraceae	<i>Brickellia diffusa</i>	B. dif.	Na	Hierba	NA	0,143	0,021	NA
4	Húmeda	Asteraceae	<i>Eclipta prostrata</i>	E. pro.	Na	Hierba	NA	0,286	0,043	H
5	Húmeda	Asteraceae	<i>Jaegeria gracilis</i>	J. gra.	En	Hierba	LC	0,143	0,001	T-H
6	Húmeda	Asteraceae	<i>Pseudelephantopus spiralis</i>	P. spi.	In	Hierba	NA	0,857	0,047	C
7	Húmeda	Boraginaceae	<i>Heliotropium curassavicum</i>	H. cur.	En	Hierba	LC	0,286	0,003	C
8	Húmeda	Cyperaceae	<i>Cyperus virens ssp. Drummondii</i>	C. vir.	Na	Hierba	NA	0,429	0,038	H
9	Húmeda	Cyperaceae	<i>Eleocharis acutangula</i>	E. acu.	Na	Hierba	NA	0,143	0,012	H
10	Húmeda	Cyperaceae	<i>Eleocharis sellowiana</i>	E. sel.	Na	Hierba	LC	0,429	0,007	H
11	Húmeda	Cyperaceae	<i>Fimbristylis dichotoma</i>	F. dic.	Na	Hierba	LC	0,286	0,004	H

12	Húmeda	Cyperaceae	<i>Kyllinga brevifolia</i>	K. bre.	Na	Hierba	LC	0,714	0,093	A-H
13	Húmeda	Cyperaceae	<i>Rhynchospora contracta</i>	R. con.	Na	Hierba	NA	0,429	0,042	H
14	Húmeda	Cyperaceae	<i>Rhynchospora nervosa ssp. ciliata</i>	R. ner.	Na	Hierba	NA	0,286	0,008	T-H
15	Húmeda	Euphorbiaceae	<i>Acalypha parvula</i>	A. par.	En	Hierba	LC	0,143	0,003	C-A-T-H
16	Húmeda	Euphorbiaceae	<i>Phyllanthus caroliniensis ssp. caroliniensis</i>	P. car.	Na	Hierba	NA	0,714	0,024	C-A-H
17	Húmeda	Hypoxidaceae	<i>Hypoxis decumbens</i>	H. dec.	Na	Hierba	NA	0,143	0,002	H
18	Húmeda	Lamiaceae	<i>Hyptis pectinata</i>	H. pec.	In	Hierba	NA	0,857	0,021	H
19	Húmeda	Lamiaceae	<i>Hyptis rhomboidea</i>	H. rho.	In	Hierba	NA	0,143	0,004	H
20	Húmeda	Lamiaceae	<i>Hyptis spicigera</i>	H. spi.	Na	Hierba	NA	0,571	0,197	C
21	Húmeda	Lamiaceae	Tipo 93	L. 93	NA	NA	NA	0,143	0,002	NA
22	Húmeda	Lamiaceae	<i>Salvia prostrata</i>	S. pro.	En	Hierba	ES	0,286	0,002	T-H
23	Húmeda	Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i>	O. cor.	In	Hierba	NA	1	0,018	H
24	Húmeda	Plantaginaceae	<i>Plantago galapagensis</i>	P. gal.	En	Hierba	VU	0,429	0,024	NA
25	Húmeda	Poaceae	<i>Digitaria horizontalis</i>	D. hor.	In	Hierba	LC	1	0,094	H
26	Húmeda	Poaceae	<i>Panicum arundinariae</i>	P. aru.	Na	Hierba	NA	0,714	0,233	NA
27	Húmeda	Poaceae	<i>Panicum hirticaule</i>	P. hir.	Na	Hierba	NA	0,286	0,027	NA
28	Húmeda	Poaceae	<i>Paspalum conjugatum</i>	P. con.	In	Hierba	LC	1	0,366	H
29	Húmeda	Polygonaceae	<i>Polygonum opelousanum</i>	P. ope.	Na	Hierba	NA	0,143	0,001	H
30	Húmeda	Rubiaceae	<i>Psychotria rufipes</i>	P. ruf.	En	Arbusto	VU	0,143	0,002	H
31	Húmeda	Rubiaceae	<i>Spermacoce remota</i>	S. rem.	Na	Hierba	NA	0,429	0,023	H
32	Húmeda	Solanaceae	<i>Solanum americanum</i>	S. ame.	In	Hierba	LC	0,286	0,011	H
33	Húmeda	NA	Morphoesp Tipo 77	M. 77	NA	NA	NA	0,143	0,001	NA
34	Húmeda	NA	Morphoesp Tipo 90	M. 90	NA	NA	NA	0,714	0,005	NA

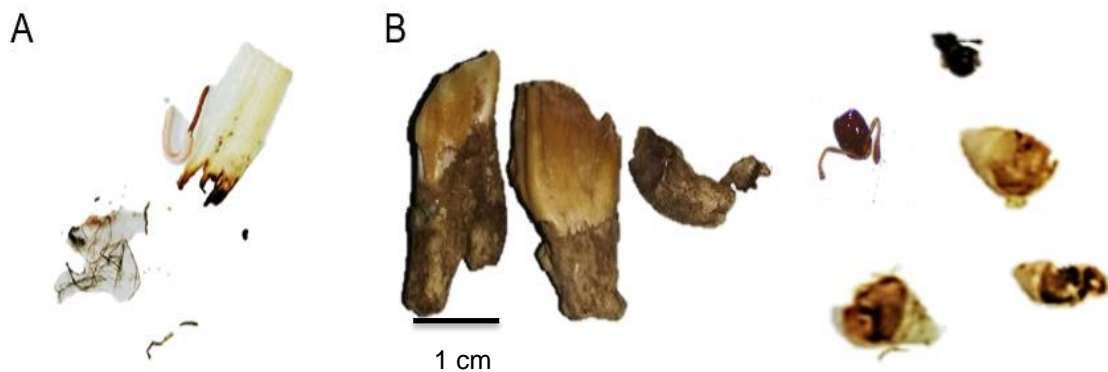
Zona ecológica planta madre según registros de la base de datos del herbario de la fundación: C: costera, A: árida, T: transición, H: húmeda. NA: información no disponible.

\*\*\*: especie identificada por flores.



**ANEXO 11. Valor de estrés para confiabilidad de NMDS.**

Valor de estrés de confiabilidad de realizar el análisis de NMDS en dos dimensiones.



**ANEXO 12. Fotos de algunos elementos encontrados en las muestras de heces.**

A: micro plásticos. B: restos de dientes de rumiantes e invertebrados.



**ANEXO 13. Semillas encontradas en proceso de germinación.**