

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**Vulnerabilidad ante el cambio climático de los ecosistemas y especies
icónicas de Galápagos**

**Monografía previa la obtención del título de Licenciado
en Ciencias Biológicas**

SALVADOR IVAN CAZAR CADENA

Quito, 2015

CERTIFICACIÓN

Certifico que la Monografía de Licenciatura en Ciencias Biológicas, del Sr. Salvador Iván Cazar Cadena ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Lcdo. Andrés Merino
Director de la monografía

Quito, 17 de abril del 2015

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN	1
<hr/>		
2	ABSTRACT	2
<hr/>		
3	INTRODUCCION	3
<hr/>		
4	DESARROLLO TEORICO	7
<hr/>		
4.1	CONFIGURACIÓN DE LA ECOLOGÍA DE GALÁPAGOS	7
4.1.1	GEOLOGÍA	7
4.1.2	CORRIENTES MARINAS Y CLIMA	8
4.1.3	AMBIENTES TERRESTRES	10
4.1.4	AMBIENTES MARINO COSTEROS	14
4.2	EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS	17
4.3	VULNERABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS Y ESPECIES ICÓNICAS DE GALÁPAGOS	20
4.3.1	VULNERABILIDAD DEL ECOSISTEMA TERRESTRE BOSQUE SECO	21
4.3.2	VULNERABILIDAD DEL ECOSISTEMA MARINO ZONA DE AFLORAMIENTO	24
4.3.3	VULNERABILIDAD DE LAS TORTUGAS GIGANTES DE GALÁPAGOS	26
4.3.4	VULNERABILIDAD DE LAS IGUANAS MARINAS DE GALÁPAGOS	29
4.3.5	VULNERABILIDAD DEL PINGÜINO DE GALÁPAGOS	32
4.3.6	VULNERABILIDAD DEL LOBO MARINO DE GALÁPAGOS	34
<hr/>		
5	CONCLUSIONES	36
<hr/>		
6	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	43
<hr/>		
7	FIGURAS	46
<hr/>		
8	TABLAS	51
<hr/>		

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de las Islas Galápagos donde se puede observar las áreas pobladas, las áreas de Parque Nacional Galápagos y Reserva Marina de Galápagos.

Figura 2. Temperatura media global sobre el planeta desde 1860 – 2010

Figura 3. Ilustración que explica la manera en que el punto caliente y la Placa tectónica interactúan para formar islas.

Figura 4. Mapa batimétrico de las islas donde se revela tanto la superficie submarina como la terrestre.

Figura 5. Configuración oceanográfica que rige en Galápagos donde se puede ver en detalle las corrientes marinas que a lo largo del año bañan las costas de las islas Galápagos.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Superficie y alturas de las Islas Galápagos

Tabla 2. Plantas típicas de las zonas de vegetación litoral, árida y húmeda.

1 RESUMEN

Las Islas Galápagos poseen especies y ecosistemas endémicos que se han adaptado a las condiciones específicas de las islas incluyendo su variabilidad climática. Por otro lado, el cambio climático es un fenómeno de efecto global que en el largo plazo se refleja en una variación en el patrón del clima causado por efectos antrópicos. Un escenario de cambio climático, en el que las islas experimentarían un cambio gradual hacia un estado más caliente, con temperaturas y nivel del mar más elevados, mayor precipitación anual, eventos de El Niño intensificados y cambios en la circulación oceánica local, amenaza la estabilidad de los ecosistemas galapagueños bosque seco y zonas de afloramiento y pone en riesgo de extinción a las tortugas gigantes de Galápagos, iguana marina de Galápagos, pingüino de Galápagos y lobo marino de Galápagos. Un escenario de cambio climático con eventos de La Niña intensificados con largos periodos de sequía en tierra, disminución de la temperatura media del mar y mayor disposición de zonas de afloramiento amenaza de manera particular la estabilidad del bosque seco galapagueño mientras que favorece la productividad de las cadenas de vida ligadas al mar. En este sentido, la variabilidad propia del clima insular hace que podamos establecer tendencias acerca de lo que podría pasar ante los distintos escenarios de cambio y considerar estos aspectos ante la futura conservación de las Islas Galápagos.

Palabras Clave: cambio climático, ecosistemas, Galápagos, vulnerabilidad.

2 ABSTRACT

The Galapagos Islands have endemic species and ecosystems that have adapted to the specific conditions of the islands including climate variability. On the other hand, climate change is a phenomenon of global effect that in the long-term is reflected in an alteration in the pattern of statistical data of the climate caused by anthropogenic effects. A scenario of climate change, in which the Islands would undergo a gradual modification to a warmer condition, with higher temperatures, higher sea level, higher annual precipitation, intensified El Niño events and local changes of the ocean circulation threaten the stability of Galapagos ecosystems such as the dry forest and the upwelling areas and, puts at risk of extinction to Galapagos giant tortoises, Galapagos marine iguanas, Galapagos sea lions and Galapagos Penguins. A scenario of climate change with La Niña events intensified with long periods of drought on land, decrease in the average temperature of the sea and greater occurrence of upwelling zones threatens in particular the stability of the Galapagos dry forest while favoring the productivity of the chains of life linked to the sea. In this sense, the own insular climate variability makes gives us the possibility to establish trends about what could happen before various scenarios of change and consider these aspects for the future conservation of the Galapagos Islands.

Key words: climate change, ecosystems, Galapagos, vulnerability.

3 INTRODUCCION

Las Islas Galápagos son parte del paisaje marino del Pacífico Este Tropical y están localizadas a 1.000 km al oeste de la costa del Ecuador continental. Están compuestas por un total de 13 islas mayores (más de 10 km²), seis islas menores y más de cuarenta islotes y rocas que tienen nombres (Jackson, 1985). En la Tabla 1 se registran los datos de superficie y altitud de las principales islas. El área total de las islas aproximadamente comprende 8.000 km² de los cuales el 97% conforman el Parque Nacional Galápagos (PNG), declarado mediante Decreto Ejecutivo No. 17, del 4 de julio de 1959. Las aguas interiores y las exteriores hasta 40 millas náuticas son parte de la Reserva Marina de Galápagos (RMG) declarada en 1998 a través de la Ley Orgánica de Régimen Especial para la Conservación y Desarrollo Sustentable de Galápagos (LOREG). En la Figura 1 se muestra un mapa de las Islas Galápagos donde se pueden observar las áreas pobladas y las áreas de PNG así como el área de mar que incluye la RMG. Por otro lado, además de los esfuerzos del estado ecuatoriano por conservar las islas, Galápagos mantienen también un interés internacional en cuanto son Patrimonio Mundial de la Humanidad declarado por UNESCO en 1978. Así mismo, las Islas Galápagos son Reserva de Biósfera y Sitio Ramsar. La situación es que, gracias a los esfuerzos ejecutados para su protección por el Estado ecuatoriano y otras organismos nacionales e internacionales, en la actualidad Galápagos aún conserva el 95% de la biodiversidad originalmente registrada (Watkins *et al.*, 2006-2007).

Gracias al tardío descubrimiento de las islas en 1535 y por ello al relativamente corto impacto de efectos antrópicos sobre las mismas, en una revisión hecha a la biodiversidad galapagueña por Snell *et al.* (2002) se estableció que en Galápagos se registran muy pocas extinciones. Entre las plantas vasculares solo se registran tres especies extintas, dos especies en la isla Floreana y una especie en la isla Santiago. Igualmente en el caso de los invertebrados son pocos los casos y se creen extintos algunas especies de caracoles terrestres y una de una especie de escarabajo. No obstante, deben haber algunas especies de plantas e invertebrados que se han extinguido sin ser registrados debido a que solo recientemente se cuenta con información documentada. Es en el grupo de los vertebrados terrestres donde se registra la mayoría de las especies extintas de Galápagos. Los vertebrados extintos de Galápagos son dos especies endémicas de ratas gigantes, cinco especies endémicas de ratas, la iguana terrestre de Santiago y la tortuga gigante de Fernandina. En este sentido, concluyen que la biodiversidad de las islas está todavía relativamente intacta y señalan que a pesar de que la mayoría de los taxones todavía existen, muchos han reducido sus números y sus poblaciones están declinando.

El cambio climático es un fenómeno de efecto global que en el largo plazo se refleja en una variación en el patrón de datos estadísticos del clima. Este cambio en las estadísticas del clima global en su mayor parte es causado por la acumulación dentro de la atmósfera del planeta Tierra de gases de invernadero de origen antrópico. La Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos de Norte América (NOAA, por sus siglas en inglés), en 2007,

está acorde con la idea de que el clima está cambiando y argumenta que la última década del siglo XX y el principio del siglo XXI hasta la fecha han sido los periodos más calientes registrados desde que se cuenta con instrumentos para cuantificar el clima, es decir, desde mediados del siglo XIX (Figura 2).

Así mismo, la NOAA (2007) hace una clara distinción entre una variabilidad natural del clima en el pasado de la Tierra y cambios en el patrón climático del planeta inducidos por la humanidad que se suman a los causados naturalmente. En cuanto a la variabilidad natural del clima pasado reconoce que el cambio climático es una parte normal de la dinámica del planeta y que esta variación está relacionada con la interacción de la atmósfera, los océanos y la tierra, y también por las variaciones que existen en la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre. El record geológico incluye evidencia significativa que demuestra que la Tierra en el pasado de manera natural ha sufrido cambios climáticos de gran escala. Por otro lado, la NOAA (2007) también advierte sobre los cambios en los datos del patrón del clima global que son causados por la acumulación en la atmosfera de nuestro planeta de gases de invernadero de origen antrópico. Estos gases de invernadero son principalmente el dióxido de carbono y el vapor de agua. En el caso del dióxido de carbono este es producido principalmente por las emisiones de gases causadas al quemar combustible fósil y por la deforestación. Estos gases de invernadero se quedan atrapados en la atmósfera reteniendo el calor que genera el planeta y causando el cambio en el patrón de los datos estadísticos del clima global. En lo local se puede pensar en un Galápagos más caliente, con años de El Fenómeno del Niño con lluvias más

intensas, por supuesto alterando las especiales condiciones climáticas de Galápagos y con ello la forma como responden sus ecosistemas y especies.

En este sentido, es importante plantear la pregunta de cuán vulnerables son los ecosistemas y especies de Galápagos ante la realidad del cambio climático. Para abordar esta pregunta esta monografía, en primer lugar, hace una breve descripción de la configuración ecológica de las Islas en cuanto a su origen geológico, situación oceanográfica, determinación del clima y caracterización de los ambientes terrestres y marinos principales de Galápagos. En segundo lugar, desarrolla el tema del cambio climático y sus efectos planteando algunas amenazas de carácter global y a nivel de las Islas Galápagos. En tercer lugar este documento analiza la potencial vulnerabilidad de dos ecosistemas icónicos de Galápagos en tierra, el bosque seco y en el mar las zonas de afloramiento y, de cuatro especies icónicas: tortugas gigantes, iguanas marinas, lobos marinos y pingüinos. Finalmente, se presentan una serie de conclusiones que contribuyen a entender las amenazas del cambio climático sobre el ambiente de Galápagos, visualizar las posibles respuestas de los ecosistemas y especies de Galápagos ante los efectos del cambio climático y, despertar el interés sobre las amenazas del cambio climático al ambiente de Galápagos a autoridades, manejadores, académicos, estudiantes y otros interesados.

4 DESARROLLO TEORICO

4.1 CONFIGURACIÓN DE LA ECOLOGÍA DE GALÁPAGOS

Las islas Galápagos que hoy experimentamos son el resultado de importantes procesos naturales que han modelado sus ambientes, en este sentido y para entender la configuración de la ecología de Galápagos a continuación se presenta una descripción de los principales procesos geológicos que formaron las islas, de las corrientes marinas más importantes que convergen en las islas y determinan su clima, y de los ambientes terrestres y marino costeros más representativos que se han desarrollado en las Islas.

4.1.1 GEOLOGÍA

Las Islas Galápagos son las cimas de volcanes gigantes producidos por la actividad de un punto caliente. Este punto caliente o área productora de volcanes está localizado por debajo de la Placa Tectónica de Nazca en una área cercana a lo que ahora son la islas Isabela y Fernandina (Jackson, 1985). Este punto caliente permanece activo en el mismo sitio a medida que la Placa de Nazca se desliza hacia el sureste, en dirección hacia Sudamérica, provocando primero erupciones submarinas hasta que estos volcanes emergen y se convierten en islas. En la Figura 3, se puede observar una ilustración que explica la manera en que el punto caliente y la placa tectónica interactúan para formar islas. En el caso de las islas algunos de estos grandes volcanes se han fusionado y ahora forman lo que es la Plataforma de Galápagos y, es así que si uno observa el fondo

marino al interior de las islas su profundidad varia entre 200 m y 400 m, mientras que hacia el exterior de las islas la profundidad alcanza rápidamente entre 2.000 m y 3.000 m (Jackson, 1985). En la Figura 4, se puede ver un mapa batimétrico de las islas donde se revela tanto la superficie submarina como la terrestre. Las primeras islas emergieron hace 3 a 5 millones de años y corresponden a las islas ubicadas hacia el sur este del archipiélago, es decir, las islas Española, Santa Fe, Floreana y San Cristóbal. Las islas Galápagos son una de las regiones más activas del planeta en cuanto a su volcanismo y es así que las islas más jóvenes como Fernandina (300.000 años) e Isabela (700.000 años y compuesta de cinco grandes volcanes) permanecen activas (Geist, 1996). Sin embargo de lo anterior, Geist (1996) además señala que aunque se ha sugerido que la actividad del punto caliente de Galápagos se inició entre 80 y 90 millones de años atrás, no existe evidencia de la existencia de islas más allá de una isla hundida de 10 millones de edad ubicada al este de la actual isla San Cristóbal.

4.1.2 CORRIENTES MARINAS Y CLIMA

Las islas Galápagos están localizadas en un punto de convergencia de corrientes marinas, que al interactuar entre ellas y con los vientos alisios del sureste, que son los que predominan a lo largo del año, determinan varias de sus condiciones ecológicas, entre las más importantes su clima. En la Figura 5, se puede observar la configuración oceanográfica que rige en Galápagos y se puede ver en detalle las corrientes marinas que a lo largo del año bañan las costas de las islas. La influencia de estas corrientes y vientos se rige interanualmente por la migración norte-sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), una banda

caliente de convección profunda que cambia de 10° N durante el verano del hemisferio norte a 3° N durante el invierno del norte. La ZCIT se localiza al norte de Galápagos durante la mayoría del año, y los vientos alisios del sureste soplan a través de las islas, trayendo consigo aguas templadas y aire refrescado por las aguas frías y afloradas encontradas hacia el sur. Cuando la ZCIT migra hacia el sur, más cerca a Galápagos, los vientos alisios del sudeste son reducidos, aguas cálidas del norte arriban, y las condiciones del archipiélago se vuelven tropicales (Trueman y D'Ozouville, 2010).

Esta migración norte sur de la ZCIT da lugar a dos estaciones que caracterizan el clima de Galápagos: una estación seca o de garúa y una estación húmeda o caliente. La estación seca o de garúa se desarrolla entre los meses de Junio y Diciembre. En esta temporada las islas son bañadas por las aguas templadas de la Corriente de Humboldt, la temperatura superficial del mar está temperada (19 °C – 22 °C), los días permanecen livianamente nublados y en las tierras bajas de las islas prácticamente no cae precipitación, mientras que las partes altas de las islas están continuamente húmedas. Por otro lado, la temporada húmeda o caliente sucede de enero a mayo. Durante esta estación las islas son bañadas por las agua tropicales del Flujo de Panamá, la temperatura superficial de mar esta cálida (23° C - 26° C), los días permanecen soleados con ocasionales lluvias tropicales y tanto en las tierras bajas como en las zonas altas de las islas permanecen húmedas (Jackson, 1985; Trueman y D'Ozouville, 2010).

La descripción general del clima de Galápagos hecha en el párrafo anterior se ve alterada fuertemente cada 2 – 10 años por efecto de los eventos de

El Niño u Oscilación Sureña de El Niño (ENSO), los que juegan un papel importante al momento de caracterizar el clima de Galápagos. Se trata de un fenómeno natural que ocurre de manera errática en el tiempo, influye sobre todo en el Pacífico y muestra dos fases. La fase caliente es conocida como El Niño y la fase fría es conocida como La Niña. Durante los eventos de El Niño los vientos alisios de sureste se debilitan, la temperatura superficial del Océano Pacífico Este se incrementa y la termoclina se profundiza. En Galápagos las condiciones descritas hacen que la temporada húmeda o cálida se incremente y se prolongue. Los fuertes eventos de El Niño en 1982-1983 y 1997-1998 tuvieron efectos dramáticos en los ecosistemas de Galápagos los cuales serán discutidos más adelante en el texto de esta monografía y ayudarán a evidenciar las posibles amenazas que enfrentan los ecosistemas y especies galapagueñas por el cambio climático. Durante los eventos de La Niña los vientos alisios de sureste se fortalecen, la temperatura superficial Océano Pacífico Este disminuye y la termoclina se presenta casi en la superficie del mar. En Galápagos las condiciones descritas hacen que la temporada fría o de garúa se incremente y se prolongue con efectos sobre el ecosistema de las islas poco entendidos hasta el momento (Trueman y D'Ozouville, 2010).

4.1.3 AMBIENTES TERRESTRES

La capa de nubosidad tipo estrato que domina en la temporada fría o de garúa ha desarrollado en las islas hasta tres zonas climáticas bien definidas. En las tierras bajas una zona climática seca, en las tierras altas una zona climática húmeda y en las islas más altas hasta una tercera zona alta y seca. Estas zonas

climáticas aunque no han sido mapeadas, se corresponden con áreas de vegetación árida, semi-húmeda y húmeda. La clasificación de estas zonas varía de autor a autor, sin embargo existe en las islas una zonificación de especies de plantas y en menor grado de especies de animales que varía de acuerdo a la altitud y a la humedad disponible en el ambiente (Jackson, 1985; Trueman y D'Ozouville, 2010). En este sentido y para los efectos de esta monografía se describirán las siguientes zonas: litoral, árida y húmeda.

La zona litoral se extiende a lo largo de las costas de las islas y se la puede observar siempre verde en base a la capacidad que tienen las plantas de este ecosistema para tolerar la salinidad del mar al poblar el área de interface entre el mar y la tierra. El tipo de vegetación y fauna que puebla esta zona varía grandemente y está caracterizado por el tipo de sustrato que conforma la costa: En las caletas poco profundas y poco expuestas a nivel de la costa se observan bosques de manglar conformados por distintas combinaciones de cuatro especies de mangles (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*) donde habitan, entre otros, varias especies de moluscos, crustáceos y aves costeras. En las costas arenosas se observan dunas cubiertas de plantas rastreras como la *Ipomoea* de playa y ofrecen sitio de anidación para la tortuga verde del Pacífico. En las costas rocosas y barrancos no se observa mayor vegetación sin embargo ofrece una área importante para la alimentación de cangrejos *Grapsus grapsus* y descanso de iguanas marinas *Amblyrhynchus cristatus*, especie endémica de las islas. En el resto de las costa se puede observar de manera generalizada vegetación tipo pasto y vegetación con hojas suculentas como el monte salado. Muy pocas de las plantas encontradas en esta

zona son endémicas debido a que están adaptadas a ser dispersadas por el mar lo que mantiene el flujo genético abierto entre poblaciones de Galápagos y otras áreas del Océano Pacífico (Jackson, 1985; McMullen, 1999).

La zona árida o bosque seco que está dispuesto inmediatamente después de la zona litoral y hasta aproximadamente los 100 m y 300 m de altitud constituye la mayor zona de vida de las islas. Se trata de un bosque árido que se desarrolla sobre un sustrato rocoso pobre en suelo fértil dominado por árboles y arbustos deciduos. Es en este tipo de bosque donde se pueden observar la mayoría de las especies endémicas de plantas y animales registradas para Galápagos. Entre las plantas se distinguen varias especies de cactus endémicos de los géneros *Opuntia*, *Jasminocereus* y *Brachycereus*, especies de árboles endémicos como *Acacia rorudiana*, *Bursera malacophylla*, y, arbustos endémicos de los géneros *Scaevola*, *Tournefortia*, *Alternanthera*, *Lantana*, *Lecocarpus*, *Tiquilia*, *Portulaca*, entre otros. La mayoría de las plantas de este bosque demuestran adaptaciones para sobrevivir largos periodos de sequía en un sol ecuatorial, como tener hojas pequeñas o transformadas en espinas, hojas dispuestas verticalmente para evitar la radiación solar, hábitos deciduos. En cuanto a la fauna que habita este bosque se encuentran varias especies de reptiles endémicos como las icónicas tortugas gigantes de caparazón de montura, iguanas terrestres, lagartijas de lava, culebras y geckos. En cuanto a las aves terrestres que habitan este bosque la mayoría son endémicas, como el gavilán de Galápagos, paloma de Galápagos, papamoscas de Galápagos, pinzones de Darwin (13 especies) y cucubes de Galápagos (4 especies). En cuanto a los mamíferos que habitan los bosques secos están dos especies endémicas de ratones y una especie

endémica de murciélago. La información disponible sobre la fauna de invertebrados de este bosque también reporta que en su mayoría son endémicos (Jackson, 1985; McMullen, 1999).

La zona húmeda está inmediatamente después de la zona árida y se extiende hasta los 500 m – 700 m de altitud. Se trata de un bosque nublado denso dominado por árboles, epífitas y arbustos siempre verdes. Entre las plantas se distinguen varias especies de árboles endémicos de los géneros *Scaecia*, *Psidium*, *Pisonia*, arbustos endémicos de los géneros *Darwiniothamnus*, *Scaecia*, *Pleuropetalum*, *Miconia*, entre otros, y, epífitas y trepadoras endémicas de los géneros *Epidendrum*, *Tillandsia*, *Peperomia* y *Passiflora*. Las plantas de este bosque demuestran adaptaciones para sobrevivir las estaciones secas capturando agua de las nubes de garúa la cual gotea al suelo haciendo que este bosque permanezca siempre verde. En cuanto a la fauna que habita este bosque se encuentran varias especies de reptiles endémicos como las tortugas gigantes de caparazón de domo y lagartijas de lava. Considerando las aves terrestres que habitan este bosque encontramos que la mayoría son endémicas como los gavilanes de Galápagos, pachai, martín de Galápagos, paloma de Galápagos, papamoscas de Galápagos, pinzones de Darwin y cucubes de Galápagos. En cuanto a los mamíferos terrestres la fauna de las islas no registra especies endémicas en esta zona de vida. Si revisamos la fauna de invertebrados de este bosque observamos que también en su mayoría son endémicos (Jackson, 1985; McMullen, 1999).

En la Tabla 2 se listan algunas de las especies de plantas galapagueñas típicas de las zonas de vegetación litoral, árida y húmeda.

Para los efectos de esta monografía, en base a la extensión y gran número de especies endémicas presentes, consideraremos al bosque seco de Galápagos como el ecosistema terrestre icónico a ser analizado en cuanto a su vulnerabilidad ante el cambio climático.

4.1.4 AMBIENTES MARINO COSTEROS

Las islas Galápagos, como se mencionó anteriormente, están localizadas en un punto de convergencia de corrientes marinas. Estas corrientes marinas al interactuar entre ellas y con las islas, desarrollan en la RMG varios tipos de ambientes marino costeros que dan cabida a una flora y fauna marina diversa (Banks, 2002). La diversidad marina de Galápagos incluye más de 500 especies de peces de las cuales un importante 18% corresponde a especies endémicas, 58% especies correspondientes a la provincia Panámica, 7% a la provincia Perú – Chile y, 14% provincia Indo Pacífico. Así mismo esta diversidad incluye 24 especies de mamíferos marinos, de los cuales el lobo marino de Galápagos y el lobo peletero de Galápagos son endémicos. Esta importante fauna marina arriba descrita se alberga en varios sistemas ecológicos. En este sentido y para los efectos de esta monografía describiremos los siguientes: Costas y arrecifes rocosos, arrecifes de coral y zonas de afloramiento.

Las costas y arrecifes rocosos son los sistemas ecológicos que más ocurren en las aguas de la RMG. Representan aproximadamente el 90% de los hábitat bentónicos de aguas someras (menores a 50 m de profundidad) y están intercalados con ecosistemas marino costeros representados en menor medida como son playas y fondos arenosos, paredes verticales y manglares. Se trata de costas y arrecifes formados por lava solidificada y que alberga la mayor diversidad de recursos marinos registrados para Galápagos (Bustamante *et al.*, 2002). En general, al considerar los datos de distribución de especies marino costeras en las costas y arrecifes rocosos de Galápagos se pueden identificar tres regiones de importancia: las islas del norte Darwin y Wolf incluye un gran componente de especies del Indo-Pacífico y Panamá pero no se registran especies endémicas, las islas centrales, del sur y del este, incluyendo la costa oriental de Isabela consiste en una combinación de especies provenientes de varias regiones, y la isla Fernandina y el oeste de Isabela que contiene numerosas especies endémicas y aquellas cuya distribución abarca las aguas templadas del flujo de Perú (Edgar *et al.*, 2002).

Son en estos ambientes donde se encuentran especies de importancia económica para el sector pesquero de Galápagos, como langostas (2 especies) , langostino, pepino de mar, bacalao, canchalaguas, churos y pulpos. Estos recursos al momento experimentan los impactos de 40 - 50 años de pesquerías en Galápagos (Bustamante *et al.*, 2002).

Los arrecifes de coral son ecosistemas que mantienen una amplia biodiversidad y mantienen complicadas cadenas alimenticias. De las

aproximadamente 50 especies de corales en Galápagos el 30% son endémicas y de éstas 31 especies son constructoras de arrecifes. Se trata de comunidades de lento crecimiento que están sometidas a alta mortalidad causada por los efectos en las aguas de Galápagos de los años de El Niño (Piu, 2003). En Galápagos las comunidades de coral ocurren típicamente como colonias dispersas y de manera infrecuente como acumulaciones de carbonato. Solo en una localidad fuera de la costa de la Isla Darwin existen verdaderos arrecifes de coral (Bruckner, 2013).

Las zonas de afloramiento son sistemas ecológicos de gran importancia en términos de la productividad de las aguas de la RMG y se producen de manera intermitente al oeste de prácticamente todas las islas, en especial en las costas occidentales de las Islas Fernandina e Isabela. Las zonas de afloramiento son causadas por un proceso oceánico atmosférico en que aguas frías ricas en nutrientes que están en el fondo del mar son llevadas hacia la superficie del mar. Este proceso es causado por el efecto que producen los vientos alisios del sureste sobre la superficie del mar desplazando el agua superficial fuera de la costa y permitiendo que las aguas del fondo afloren. Este afloramiento de aguas frías ricas en nutrientes junto a la luz solar hace que el fitoplancton se multipliquen y sirvan de base a una muy diversa cadena alimenticia que culmina en peces depredadores como bacalao, varias especies de atunes y tiburones, 19 especies de aves marinas de las cuales siete son endémicas, y, mamíferos marinos como dos especies de lobos marinos endémicos y varias especies de delfines y ballenas.

Para los efectos de esta monografía, en base al importantísimo efecto que tiene sobre la productividad de las aguas de la RMG, consideraremos a las zonas de afloramiento como el ecosistema marino icónico a ser analizado en cuanto a su vulnerabilidad ante el cambio climático.

4.2 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS

Bajo el entendido que el cambio climático es un fenómeno de efecto global que en el largo plazo se refleja en una variación en el patrón del clima, el Quinto Reporte del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (2014) entre sus conclusiones señala “que la influencia humana en el sistema climático del planeta es claro, que actualmente las emisiones de gases de invernadero de origen antrópico son las mayores en la historia y que a esto se debe mucho del incremento observado en los promedios globales de temperatura desde mediados del siglo XX”. Este Panel, como otros foros de discusión sobre este tema para llegar a la conclusión señalada utilizan información que indica que el calentamiento a escala global de las últimas décadas solo puede ser explicado a través de los efectos que causan las emisiones que resultan de la quema de combustibles fósil y de la deforestación. Existen varias líneas de pensamiento que ayudan a acumular evidencia a favor de este sugerido cambio en los patrones del clima global. La primera es el entendimiento que existe sobre como funcionan los gases como el dióxido de carbono y el vapor de agua al interactuar con la atmosfera atrapando calor y causando un efecto de invernadero. La segunda línea de pensamiento utiliza información que ayuda a reconstruir el clima del pasado geológico de la Tierra, utilizando muestras de hielo, coral, anillos de

crecimiento en árboles, que sumada a información documentada desde mediados del siglo XIX sugieren que el calentamiento experimentado globalmente en las últimas décadas es debido a la acumulación en la atmósfera de gases de invernadero de origen antrópico. Otra línea de pensamiento, utiliza modelos computarizados en los que se pueden añadir o quitar a la dinámica natural del clima del planeta los efectos que causan los gases de invernadero liberados por actividades como la quema de combustible fósil y la deforestación. Solamente al añadir en los modelos los efectos inducidos por acciones humanas se puede explicar el calentamiento global experimentado en las últimas décadas. Es decir, existe suficiente evidencia para justificar el hecho de que el clima de la tierra está siendo afectado por causas antrópicas más allá de su variabilidad natural. Y como van las cosas es muy probable que el clima continúe cambiando durante este siglo y la magnitud de este cambio va a depender principalmente de la cantidad de gases de invernadero que la humanidad a nivel global siga emitiendo y, en cuanto sensible es el planeta frente a estas emisiones (Walsh *et al.*, 2014).

Entre los efectos globales directos más importantes del cambio climático que se plantean son la elevación de la temperatura media a nivel de la superficie de la Tierra, derretimiento de los glaciares, cambios en la circulación oceánica y acidificación de los océanos.

La elevación de la temperatura media a nivel de la superficie de la Tierra se prevé que será de entre 1,4 °C y 5,8 °C entre el año 1990 y el 2100. Este incremento en la temperatura del planeta aumentará la humedad relativa del ambiente y se verá afectado en frecuencia e intensidad el patrón de lluvias

global, lo que quiere decir que en algunas regiones podría llover más de lo usual mientras que en otras podría disminuir de manera considerable la precipitación. El Quinto Reporte del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (2014) entre sus conclusiones señala que para lo que resta del siglo XXI los eventos de la Oscilación Sureña de El Niño seguirán siendo parte de la variabilidad interanual del clima y que debido a los cambios en la humedad en el ambiente las lluvias asociadas con los años de El Niño se intensificarán (Christensen *et al.*, 2013).

El derretimiento de los glaciares a causa del incremento en la temperatura media de la superficie de la tierra se prevé que haga que el nivel del mar aumente entre 8 cm a 88 cm entre el año 1990 y el 2100 con efectos globales catastróficos a nivel de comunidades y ecosistemas costeros, en especial aquellos insulares como Galápagos (Estrada, 2001).

La circulación oceánica causada por corrientes marinas y vientos tiene efectos importantes al momento de regular el clima planetario. La situación es que el cambio climático afecta el bombeo de la corrientes marinas perturbando la distribución del calor en las aguas del mar alrededor del globo. En una situación normal las corrientes marinas calentadas en las zonas tropicales del planeta fluyen hacia los polos causando que las aguas más frías y más densas de esas latitudes se hundan actuando como una bomba que hace que aguas más frías fluyan a las zonas tropicales y de esa manera se regula el clima del planeta. Si la situación normal descrita cambia a causa del calentamiento global se prevé que el patrón de corrientes oceánicas cambie y las zonas polares se vuelvan más frías y las áreas tropicales más calientes. En la región Galápagos se afectaría la

circulación oceánica local con consecuencias en la forma en como se moverán e interactuarán las corrientes que bañan las aguas de Galápagos con consecuencias en el clima y la ocurrencia de zonas de afloramiento (Banks *et al.*, 2011).

En cuanto a la acidificación, ésta se produce por el incremento en la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera desde el inicio de la Revolución Industrial, aproximadamente hace 135 años, haciendo que el océano se vuelva más ácido. Este incremento en la acidez del mar hará que plantas y animales marinos tengan dificultad en producir conchas de carbonato de calcio. Los efectos de la señalada acidificación del mar se verían incrementados en regiones marinas donde el afloramiento produce aguas ricas en dióxido de carbono, como Galápagos (Sachs y Ladd, 2011) .

4.3 VULNERABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS Y ESPECIES ICÓNICAS DE GALÁPAGOS

Para determinar la vulnerabilidad de los ecosistemas bosque seco y zonas de afloramiento y de las especies endémicas: tortuga gigante de Galápagos, iguana marina de Galápagos, pingüino de Galápagos y lobo marino de Galápagos, se tomarán en cuenta los efectos del cambio climático descritos en la sección anterior: elevación de la temperatura media de la superficie del mar / mayor precipitación, elevación del nivel de la superficie del mar, cambios en la circulación oceánica y acidificación de los océanos.

Aunque existe mucha incertidumbre a nivel de la comunidad científica que trabaja en el tema, en cuanto a la intensidad de los efectos del cambio climático en el área de Galápagos esta monografía se desarrolla bajo la lupa del escenario más extremo, es decir, en el que las islas experimentarían un cambio gradual hacia un estado más caliente, con temperaturas y nivel del mar más elevados, mayor precipitación anual, eventos de El Niño y/o La Niña intensificados y cambios en la circulación oceánica local.

4.3.1 VULNERABILIDAD DEL ECOSISTEMA TERRESTRE BOSQUE SECO

Como se indicó anteriormente el bosque seco de Galápagos representa la mayor parte del PNG y alberga el mayor número de especies de plantas y animales endémicos de estas islas. En este sentido, las especies que habitan este bosque han evolucionado en un clima inusualmente seco para los trópicos y han sido sometidas de manera esporádica a los eventos la Oscilación Sureña de El Niño. Si este patrón varía por efectos del cambio climático con años muy húmedos o muy secos la resiliencia natural de los ecosistemas galapagueños podría estar amenazada.

Ante un escenario en el que a causa del cambio climático el nivel del mar aumenta en la región de Galápagos, en principio, se produciría una redistribución en la manera que ocupan actualmente el espacio las zonas de vegetación litoral y árida. En esta redistribución el bosque seco perdería espacio debido a la colonización de la zona litoral sobre el nuevo perfil costero. Así mismo, habrían

zonas de bosque seco que podrían ser inundadas, en particular las que están localizadas en tierras muy bajas y detrás de bahías poco profundas. Los efectos descritos constituyen una amenaza para la estabilidad del bosque seco de Galápagos en cuanto le dejan menos espacio disponible para desarrollarse. En este sentido, se puede decir que a nivel de la flora y la fauna que habita este bosque habría una reducción en la cantidad de nichos de los que dispondrían para adaptarse y desarrollarse.

Para aportar a la discusión de los efectos en el bosque seco de Galápagos ante un escenario de temperaturas más elevadas y años de El Niño más intensos y frecuentes existe, la experiencia de los dos últimos eventos de El Niño registrados como los más intensos en los últimos años. Durante los eventos de El Niño 1982-1983 y 1997-1998, el bosque seco sufrió cambios importantes que alteraron su estructura perturbando la importancia relativa de las especies que lo componen. El ambiente más húmedo y caliente favoreció la dispersión de plantas herbáceas y trepadoras e incrementó la mortalidad de las especies de larga vida como las *Opuntias* gigantes, cactus *Jasminocereus* y los palo santo. Esta mortalidad sucedió debido a que muchos de los árboles, cactus y arbustos grandes se cayeron por el peso extra que resulta de estar saturados de agua y/o cargados de plantas trepadoras (Hamann, 1985; Luong y Toro, 1985; Trueman *et al.*, 2011). También durante estos eventos de El Niño el bosque seco sufrió erosión a causa de los nuevos lechos de agua formados por la abundante precipitación. En este punto es importante anotar que gracias a la variabilidad natural que experimenta el clima de Galápagos sus ecosistemas demuestran una resiliencia inherente a los cambios de temperatura, humedad relativa,

precipitación que se suceden de un año de El Niño al otro. Sin embargo, si la intensidad de estos eventos calientes se incrementa a causa del cambio climático, la dinámica natural del bosque seco no podrá responder al cambio y las especies nativas y endémicas adaptadas a una zona árida perderán competitividad frente a otras con mejores respuestas adaptativas a los climas húmedos.

También durante los eventos de El Niño 1982-1983 y 1997-1998 se observó que el área ocupada por el bosque seco presentaba un mejor ambiente para la propagación de plantas favoreciendo la colonización de este espacio por especies introducidas, esto sucedió en especial en las áreas de bosque seco cercanas a los senderos turísticos y las comunidades galapagueñas. Luego del año del niño 1982-1983 se reportó la presencia de una cucurbitácea introducida, *Cucumis dipsaceus*, conocida como “huevos de tigre” dispersándose por el sendero turístico de Punta Suarez en la Isla Española (Luong y Toro, 1985; Trueman *et al.*, 2011). También las condiciones húmedas favorecieron la dispersión de patógenos y parásitos. La mosca introducida y parasítica de aves terrestres, *Philornis dowsii*, incrementó durante los últimos eventos con la consecuente afectación en el éxito reproductivo de varias especies de aves terrestres endémicas y nativas (Trueman *et al.*, 2011). La página web de la Fundación Charles Darwin (FCD) (2013) menciona que 10 de las 19 especies de passeriformes endémicos de Galápagos, entre ellos varias especies de pinzones de Darwin, están amenazados de extinción o al menos están bajo riesgo inminente a causa de especies introducidas, principalmente a causa de la mosca *Philornis dowsii*. Si la intensidad y frecuencia de los eventos cálidos aumenta en

Galápagos especies de bosque seco, como varios de los emblemáticos pinzones de Darwin, no tendrían oportunidad de sobrevivir.

En el marco del cambio climático también se podría esperar eventos de La Niña más intensos y frecuentes, es decir largos periodos de sequía en la parte baja de la isla en la que la productividad del bosque caería haciendo difícil sostener la cadenas alimenticias ligadas al bosque seco de Galápagos; es decir, reptiles terrestres como iguanas y lagartijas atravesarían por momentos difíciles. También la disminución en la humedad relativa causaría que procesos como la descomposición, formación de suelo y ciclo de nutrientes, decaigan aportando al proceso de baja en productividad de este bosque como consecuencia de las sequias prolongadas previstas bajo este escenario (Trueman *et al.*, 2011).

4.3.2 VULNERABILIDAD DEL ECOSISTEMA MARINO ZONA DE AFLORAMIENTO

Al describir las zonas de afloramiento en las aguas de Galápagos se advirtió sobre su importancia a nivel de la productividad de esta parte del océano. En este sentido, vale la pena acentuar que la biodiversidad marina nativa y endémica de estas islas depende de las cadenas tróficas desarrolladas a partir de la productividad que ocurre en las zonas de afloramiento de Galápagos. Las especies galapagueñas de peces, aves marinas, reptiles marinos, mamíferos marinos e, inclusive algunas de tierra están ligadas a las cadenas de vida vinculadas a esta parte del océano, en otras palabras dependen de que la dinámica natural de la RMG se mantenga.

Ante un escenario de temperaturas más elevadas en las aguas de la RMG con años de El Niño más intensos y con cambios en la circulación oceánica del Pacífico Este Tropical los efectos de eventos pasados son ilustradores. Según Banks *et al.* (2011) durante los últimos años de El Niño se reportó una alta mortalidad de algas lo que llevó a reestructurar las comunidades marinas costeras de las zonas intermareales y submareales. A consecuencia de la mortalidad de algas las iguanas marinas de Galápagos fueron rápidamente afectadas y se reportó una alta mortalidad en esta especie. Así mismo, se encontró una profundización de la termoclina por efecto de la gruesa capa de agua cálida que se aloja sobre el Pacífico Este Tropical durante los eventos de El Niño con el consecuente efecto en la distribución y disponibilidad de zonas de afloramiento. Esta baja en la presencia de zonas de afloramiento tuvo efectos importantes limitando la productividad en las aguas de la RMG y con consecuencias como una severa reducción de hasta el 50% en la población de lobos marinos de Galápagos, del 77% en la población de pingüinos de Galápagos, 50% en la población de cormoranes no voladores, entre otros (Palacios *et al.*, 2011). Según Banks (2006 – 2007) los eventos de El Niño afectaron fuertemente la mayoría de especies marinas residentes, particularmente especies de las cuales dependen otras especies. Por supuesto, pesquerías de importancia económica para la comunidad pesquera de Galápagos como langostas (2 especies), langostino, pepino de mar, bacalao, canchalaguas, churos y pulpos, que ya experimentan los impactos de 40 – 50 años de esta actividad extractiva decayeron aún más que el resto de recursos.

En este sentido, si las condiciones en las aguas de la RMG se vuelven más cálidas con años de El Niño más intensos la resiliencia inherente a los ecosistemas no sería capaz de responder, los efectos irían más allá de los reportados para los recientes años de El Niño y, se podrían producir extinciones de especies claves para el ecosistema como las comunidades de macroalgas que son las base de la mayoría de cadenas alimenticias de Galápagos.

En el marco del cambio climático también se podría esperar eventos de La Niña más intensos y frecuentes, en este caso los efectos para la vida marina serían favorables en el sentido de que al persistir las aguas frías en la región de Galápagos y con la mayor disponibilidad de zonas de afloramiento la productividad incrementaría y especies como pingüinos, lobos marinos, cormoranes no voladores aprovecharían esta oportunidad para incrementar sus poblaciones. Las iguanas marinas de Galápagos se beneficiarían del crecimiento de algas verdes sin embargo podrían enfrentar dificultades con la termoregulación de sus cuerpos ya que los días serían más fríos y nublados (Palacios *et al.*, 2011)

4.3.3 VULNERABILIDAD DE LAS TORTUGAS GIGANTES DE GALÁPAGOS

Las tortugas gigantes de Galápagos, *Chelonoidis spp*, y las iguanas terrestres de Galápagos, *Conolophus spp*, son los grandes herbívoros de las islas y su rol en el ecosistema es comparable a la de algunos de los grandes mamíferos herbívoros de otros lugares. Debido al aislamiento de las islas, naturalmente, el grupo de mamíferos terrestres está pobremente representado en

Galápagos. Aunque existe mucha discusión sobre la taxonomía de las tortugas gigantes de Galápagos se puede decir que al momento existen doce poblaciones claramente identificadas de las cuales cinco se encuentran en la Isla Isabela, seis en las islas Santa Cruz, Pinzón, San Cristóbal, Española, Santiago y Floreana. Las condiciones en términos del estado de conservación de las poblaciones varía entre islas. Existen poblaciones como la del Volcán Alcedo y la de la Isla Santa Cruz cuyo números oscilan entre los 3.000 y 5.000 individuos y otras como las de algunas de las poblaciones en la Islas Isabela, Pinzón, Española y otras que son criadas en cautiverio por el personal del PNG, que han sido afectadas principalmente por efectos antrópicos. En el pasado, las Islas Galápagos eran conocidas por la carne y el aceite de tortuga y, entre los años 1600s y principios de los 1900s miles de tortugas gigantes fueron removidas de las islas por piratas, bucaneros, balleneros, exploradores y colonizadores. Así mismo, estos visitantes y los colonos introdujeron a las islas, o por accidente o a propósito, especies como ratas y chivos lo que sumado a los bajos números de algunas de las poblaciones generan estrés a las tortugas gigantes de Galápagos limitando sus fuentes de alimento y reduciendo su éxito reproductivo.

Bajo el espectro expuesto y con motivo de entender cuáles podrían ser los efectos del cambio climático sobre las poblaciones de tortugas gigantes de Galápagos vale revisar la situación que experimentaron estos reptiles durante los últimos períodos del El Niño. Según Cayot (1985) la situaciones extremas del clima como los años de El Niño y La Niña aparentemente no tienen mayores efectos en las poblaciones de tortugas gigantes de Galápagos. El único cambio importante reportado luego del evento de 1982-1983 fue en la población de la Isla

Santa Cruz donde observó una migración masiva de las tortugas hacia tierras más bajas causada posiblemente por la cantidad de zonas inundadas y de lodazales que se generaron en la parte alta, haciendo difícil el tránsito de las tortugas. Sin embargo, Saa (2015) en una comunicación personal menciona que durante su actividad de Guía Naturalista del Parque Nacional Galápagos, durante los años 1997 y 1998, observo una declinación en el éxito reproductivo de las torgas gigantes en la isla Santa Cruz debido a varias razones: una por la cantidad de vegetación herbácea cubriendo el suelo de la Isla que hizo difícil a las hembras de esta especie encontrar sitios propicios para la anidación, la segunda debido a que los sitios de anidación en las partes bajas de las islas estaban muy húmedos y fríos como para producir embriones viables y, finalmente porque los pocos embriones que lograban eclosionar en la Isla Santa Cruz eran devorados por las hormigas coloradas. Estas observaciones también se respaldan en Snell y Rea (1999) quienes además reportan que en el Volcán Alcedo de la Isla Isabela se produjo una mortalidad de más de treinta individuos de tortugas gigantes de Galápagos, arrastradas por lechos de agua que corrían por las islas, fruto de las torrenciales lluvias.

Vale ahora pensar en un escenario de cambio climático en el que las tortugas gigantes de Galápagos tengan que lidiar con condiciones que progresen hacia unas islas que soporten eventos de La Niña más intensos y frecuentes. En este contexto sería de esperar que la zona de vegetación húmeda de las islas se mantengan, ya que la precipitación en forma de garúa que recibe esta área y que la mantiene siempre verde es formada por una capa de inducción en donde el agua fría del mar que aflora en las costas de las islas refresca el aire cargado de

humedad y lo condensa en forma de llovizna. En este sentido, aunque los años serían en general más secos, el bosque siempre verde de la zona húmeda de las islas se mantendría, facilitando la alimentación y apareamiento de las tortugas y, las tierras bajas estarían secas y listas para recibir a las tortugas gigantes de Galápagos durante sus temporadas de anidación. Así mismo, los reptiles terrestres de las islas, en especial las tortugas gigantes, están adaptados a sobrevivir largos periodos de tiempo sin alimento ni agua, lo que les da una ventaja adaptativa bajo el escenario de cambio climático donde las islas se vuelvan más secas.

Al momento, en la pagina web de la Lista de Especies de Galápagos de la Fundación Charles Darwin todas las poblaciones de tortugas gigantes de Galápagos en la sección de la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) constan como amenazadas, es decir, con un alto riesgo de extinción en la naturaleza debido principalmente sus bajos números poblacionales y a las amenazas que sufren por especies introducidas como chivos y ratas.

4.3.4 VULNERABILIDAD DE LAS IGUANAS MARINAS DE GALÁPAGOS

La iguana marina de Galápagos *Amblyrhynchus cristatus*, especie endémica de las islas, es la única iguana en el planeta que se aventura al mar en busca de su alimento, principalmente compuesto por algas marinas, como *Ulva*, *Centroceras* y *Spermothamnium* (Laurie, 1985). Snell y Márquez (2002), en el

estudio de línea base de biodiversidad de la RMG, mencionan que la población de este reptil es de aproximadamente 700.000 individuos. Dependen estrictamente de las aguas frías ricas en nutrientes que surgen de las zonas de afloramiento en las aguas de la RMG. Para esto han desarrollado adaptaciones extraordinarias que les permiten sobrevivir en las costas rocosas del archipiélago y buscar su alimento en las zonas intermareal y submareal del perfil costero. Entre sus adaptaciones más sobresalientes destacan: el color principalmente negro de su piel escamosa, la cual luego de que el animal ha perdido calor al alimentarse en el agua, brinda una superficie eficiente para la termoregulación de estos poiquiloterms; han desarrollado una glándula de sal muy eficiente que les permite deshacerse eficazmente de la sal que ingieren al momento de alimentarse; su cola a diferencia de otras iguanas es comprimida lateralmente haciendo que el movimiento ondulante de impulso que brinda la cola al nadar sea efectivo; el hocico de esta especie es achatado de tal manera que facilita la alimentación en el ambiente rocoso en donde vive, entre otras.

Las iguanas marinas de Galápagos son fácilmente vistas a todo lo largo del perfil costero de las islas, islotes y rocas del archipiélago, en unas más que en otras, pero esta situación cambió durante los últimos años de El Niño donde las condiciones calientes del mar suprimieron el crecimiento de las algas que son su alimento y que junto a los altos niveles del mar y oleaje de este evento, restringieron el acceso a sus áreas de alimentación conduciendo a una extensiva mortalidad de estos animales en todas las islas. Según Laurie (1985) esta extensa mortalidad condujo a una reducción en la colonias de entre el 30% - 55% y que debido a la baja tasa de éxito reproductivo de esta especie tomaría al

menos un periodo de 100 años para volver a la densidad poblacional previa al evento del El Niño 1982-1983. Luego Palacios *et al.* (2011) señala que durante el año de El Niño 1997-1998 las iguanas marinas de Galápagos sufrieron una mortalidad del 90%, esto es sin haberse recuperado del evento anterior. Vale resaltar aquí que los eventos de El Niño 1982-1983 y 1997-1998 han sido los más extremos registrados desde 1965, año desde el cual se cuenta con información instrumental sobre el clima de Galápagos. Si por efecto del cambio climático, Galápagos entra a una fase en la que los años del Niño se hacen más intensos las condiciones para las iguanas serían muy complicadas en un escenario donde escasearían las áreas de afloramiento que sustentan la producción de algas que son el alimento y como consecuencia se produciría una extensiva mortalidad en la población.

Por otro lado, ante un escenario en el que las islas entren en una fase más fría con años de La Niña más intensos la situación sería diferente para las iguanas marinas de Galápagos. En este caso las iguanas marinas se beneficiarían del crecimiento de algas fruto del desarrollo continuado de zonas de afloramiento. Sin embargo, según Palacios *et al.* (2011) podrían enfrentar dificultades con la termoregulación de sus cuerpos ya que los días serían más fríos y nublados.

Al momento en la pagina web de la Lista de Especies de Galápagos de la Fundación Charles Darwin las iguanas marinas de Galápagos en la sección de la lista roja de la UICN constan como amenazadas, es decir, con un alto riesgo de extinción en la naturaleza debido principalmente según Snell y Márquez (2002) a

las depredación que sufren por especies introducidas principalmente gatos ferales.

4.3.5 VULNERABILIDAD DEL PINGÜINO DE GALÁPAGOS

Los pingüinos de Galápagos, *Spheniscus mendiculus*, y los cormoranes no voladores de Galápagos, *Phalacrocorax harrisi*, son dos especies endémicas de aves marinas que dependen fuertemente de la productividad que provoca en el archipiélago las zonas de afloramientos. En el caso del pingüino, éste está distribuido principalmente en el lado oeste de del archipiélago. Se han reportado nidos de pingüinos en las Islas Isabela, Fernandina, Floreana y Bartolomé/Santiago. La mayor parte de la población anida en las costas occidentales de la isla Isabela y alrededor de la isla Fernandina. Se trata de uno de los pingüinos más pequeños del planeta cuya población se distribuye más al norte en el hemisferio sur, tan así que algunas parejas anidan sobre línea ecuatorial e inmediatamente al norte de ella. Los pingüinos de Galápagos son aves de hábitos costeros y eventualmente se reporta movimiento de individuos entre las comunidades. Las concentraciones de estas aves son pequeñas con grupos que en promedio van desde los 5 a 20 hasta 50, los mismos que normalmente exploran juntos la costa en busca de alimento. El alimento de los pingüinos consiste en una variedad de peces principalmente anchovetas y sardinas. Son aves de hábitos monógamos en los que las parejas se mantienen juntas por varios años, ponen hasta dos huevos y dependiendo de la disponibilidad de alimento uno o los dos polluelos llegan a volantones. Ubican sus nidos entre las rocas del perfil costero dentro de tubos de lava. Se trata de

aves oportunistas en el sentido de que esperan que las condiciones sean buenas, principalmente en términos de su alimentación para reproducirse, esto se refleja en años en que las parejas no anidan. Normalmente temprano en la mañana y al atardecer se los ve acicalándose y asoleándose sobre las rocas dispuestas inmediatamente sobre el nivel del mar. Boersma *et al.* (2013) señalan que la actual población de pingüinos de Galápagos se estima entre 1.500 y 4.700 individuos y que no es ni la mitad de la que fue en los años 70. Afirman que los conteos realizados sobre la población de pingüinos después de los años de El Niño 1982-1983 y 1997-1998 descendió a aproximadamente 400 individuos en cada caso. Durante estos años los pingüinos sufrieron una alta mortalidad que se produjo principalmente por la falta de alimento a causa de la reducción en la productividad de las aguas de Galápagos y una reducción a cero de la actividad reproductiva. Asegura que la razón para este declive general en los números poblacionales se debe principalmente al incremento en la frecuencia de los años de El Niño, decrecimiento en la frecuencia de años de La Niña y por depredadores introducidos. En este sentido, los pingüinos de Galápagos, debido a su pequeña población, restringido rango de distribución y depredadores introducidos en la Lista de Especies de Galápagos de la Fundación Charles Darwin en la sección de la lista roja de la UICN constan como amenazadas. Las amenazas causadas por la depredación por animales introducidos son principalmente por ratas y gatos ferales que ingresan a los nidos y matan a polluelos y adultos.

4.3.6 VULNERABILIDAD DEL LOBO MARINO DE GALÁPAGOS

Los lobos marinos de Galápagos, *Zalophus worlebaeki*, y los lobos peleteros de Galápagos, *Arctocephalus galapagoensis*, son las dos especies de mamíferos marinos endémicos que, así como la mayoría de biodiversidad marina de estas islas, dependen de las aguas ricas en nutrientes de la RMG. En el caso del lobo marino de Galápagos existe un gran dimorfismo sexual entre el macho y la hembra de esta especie; los machos pueden alcanzar un promedio de 200 kg y medir 2 m de longitud y, las hembras pesar 120 kg y medir 1,5 m. Los lobos marinos de Galápagos como otros pinnípedos forman importantes colonias en donde, durante la época de reproducción, los machos establecen territorios que son defendidos fuertemente de otros machos interesados en reproducirse. La época de reproducción se extiende entre julio y diciembre de cada año, las hembras están listas para reproducirse a partir del cuarto año, y entran en celo entre una o dos semana después de que ha nacido el cachorro. Normalmente paren una cría y la gestación de esta especie dura nueve meses, pero debido a una adaptación conocida como implantación tardía las hembras dan a luz al finalizar el decimosegundo mes. La lactancia dura normalmente un año, sin embargo se han reportado casos de cachorros amantándose hasta los tres años. La dieta de los cachorros hasta aproximadamente los 4 – 5 meses consiste exclusivamente de leche materna lo que, debido a su alto contenido en grasa y proteína, hace que los cachorros ganen peso rápidamente. Luego de esto su alimentación se cumplirá alternando la lactancia con la pesca de peces como sardinas que atrapan en bajos cercanos a las colonias. Los individuos adultos se pueden tomar varios días en realizar sus faenas de alimentación. Se alimentan

principalmente durante el día en bajos o arrecifes rocosos localizados a lo largo y ancho de la RMG y su dieta consiste en varias especies de peces.

Al momento, en la pagina web de la Lista de Especies de Galápagos de la Fundación Charles Darwin el lobo marino de Galápagos en la sección de la lista roja de la UICN consta como amenazado, categoría que se otorga a especies con riesgo muy alto de extinción en la naturaleza. Según Salazar (2002) principalmente son dos las amenazas que más preocupan sobre esta especie: Captura incidental y enredos con basura pesquera; y, problemas causados por especies introducidas como enfermedades y depredación.

Salazar (2002) estima una población de entre 14.000 a 16.000 lobos marinos de Galápagos, de una población estimada en 40.000 individuos en 1979 y atribuye al evento de El Niño de 1997-1998 como responsable del una mortalidad del 50%. Durante estos eventos como efecto del calentamiento de las aguas en la RMG la productividad baja y por supuesto baja la cantidad de alimento disponible para esta especie. Los individuos más afectados bajo estas condiciones son las crías, en donde se puede producir una mortalidad de hasta el 90% debido a que durante estos periodos adversos las hembras alargan sus viajes de pesca para trata de sobrevivir y no regresan a tiempo para alimentar a las crías.

5 CONCLUSIONES

El análisis en el tiempo del clima de Galápagos nos ayuda a entender los efectos del cambio climático. La variabilidad propia del clima insular hace que podamos establecer tendencias acerca de lo que podría pasar ante los distintos escenarios de cambio. Eventos pasados del El Niño y La Niña nos ayudan a entender las respuestas de los ecosistemas galapagueños ante la variabilidad del clima.

Bajo un escenario en el que Galápagos entre en una fase caliente a causa del cambio climático las posibilidades de los ecosistemas bosque seco y zonas de afloramiento y de las especies tortuga gigante de Galápagos, iguana marina de Galápagos, pingüino de Galápagos y lobo marino de Galápagos, analizadas en esta monografía, estarían amenazadas ya que en este escenario las condiciones ambientales de estos ecosistemas variaría de tal manera que la resiliencia inherente de los ecosistemas Galapagueños no sería suficiente para mantenerlos viables. Las amenazas aún se profundizan más para estos ecosistemas y especies endémicas si añadimos al escenario del cambio climático los actuales problemas que sufre Galápagos por las especies introducidas, especialmente aquellas de carácter invasivo, patógeno o parásito, que muy probablemente se propaguen y causen aún más daño.

La mayoría de los ecosistemas y especies de Galápagos, en particular las investigadas en el marco de esta monografía, sobreviven al filo de su distribución, dependen de las específicas condiciones climáticas y oceánicas locales y, están

adaptadas a sobrellevar la variabilidad climática natural de los años de El Niño y La Niña. Es decir, son ambientes y comunidades muy frágiles en los que los cambios inducidos por el hombre pueden causar mucho daño. En este sentido, si a causa del cambio climático, la dinámica natural de Galápagos se altera entrando en una fase más caliente con años de El Niño más intensos, entonces las posibilidades de estos ecosistemas y especies se reducen considerablemente, veamos caso por caso:

Un Galápagos más caliente y húmedo amenaza la existencia del bosque seco de galapagueño en la medida que estas condiciones cambiarían de manera dramática la estructura de este tipo de bosque favoreciendo el crecimiento de unas plantas en favor de otras en especial dando espacio para que plantas introducidas colonicen el espacio. Además el incremento en la pluviosidad causaría erosión removiendo el suelo y creando lechos de agua en el terreno. En este sentido, el bosque seco de Galápagos está amenazado ante los efectos del cambio climático y la penetración de las amenazas descritas dependerá de la magnitud con que se presenten los años muy húmedos.

Las zonas de afloramiento también están amenazadas por los efectos del cambio climático si los cambios van hacia el lado de un Galápagos más caliente. En este caso la persistencia de aguas cálidas suprimirían el desarrollo de estas zonas con consecuencias dramáticas para la productividad del archipiélago. La mayoría de la biodiversidad marina endémica de Galápagos se concentra o depende de estas áreas, y si desaparecen o su presencia es más esporádica, entonces muchas de las cadenas tróficas que mantienen especies tope como

tiburones, atunes, bacalaos, aves marinas, lobos marinos, delfines y ballenas, serían suprimidas. Lo anterior traería como consecuencia el que la vida para estas especies sea desfavorable, produciéndose mortalidad, extinción y dispersión a otras regiones del Pacífico.

Prácticamente todas las poblaciones de tortugas gigantes de Galápagos al momento ya son asistidas en centros de crianza en cautiverio debido a que sus poblaciones naturales son pequeñas y enfrentan problemas con especies introducidas. En este sentido, en un escenario de cambio climático en el que las islas se vuelvan más húmedas y calientes, las tortugas gigantes enfrentarán mayores problemas en la anidación por vegetación sobrecrecida y humedad en el suelo y, más impacto de especies introducidas en particular hormigas coloradas complicando la situación para esta especie y poniéndola inclusive en nivel de mayor amenaza.

Como se ha expuesto, las iguanas marinas de Galápagos viven en una delgada banda del perfil costero de las islas y dependen fuertemente de la productividad de las nutritivas aguas que se dan fruto de las zonas de afloramiento dentro la RMG. Sí a causa del cambio climático en el futuro, Galápagos entra en una fase caliente, las condiciones serían muy difíciles para esta especie y estaría forzosamente amenazada ya que el acceso a su alimento se complicaría por la disminución en la productividad del océano y por el fuerte oleaje asociado a las condiciones calientes de El Niño.

Si ponemos en consideración la información provista sobre la historia natural y el estado de la población de los pingüinos de Galápagos frente a un escenario de cambio climático en donde las islas entren en una fase caliente con años del Niño más intensos, la capacidad de respuesta de esta especie no podrá adaptarse a las condiciones adversas y el número poblacional ira decreciendo paulatinamente.

Los lobos marinos de Galápagos son también vulnerables ante los efectos del cambio climático si las islas entran en una fase caliente. Esta especie como otros organismos marinos insulares dependen de la productividad de esta parte del Pacífico. En este sentido, están amenazados ya que bajo las condiciones calientes que experimentaría Galápagos la productividad bajaría drásticamente con efectos en las cadenas de vida que mantienen a esta especie.

Los impactos de carácter antrópico en Galápagos exacerbarían los efectos del cambio climático en especial si los efectos van hacia años más calientes con años de El Niño más intensos. En este caso las especies introducidas, que ya al momento ponen en riesgo algunas especies nativas y endémicas, se dispersarían con más facilidad desplazando especies nativas y endémicas.

Por otro lado, si los efectos del cambio climático van por un Galápagos más seco con años de La Niña más intensos y frecuentes las cosas serían distintas para los ecosistemas y especies considerados en esta monografía ya que en este caso la productividad marina de Galápagos sería favorecida mientras que la condición árida del bosque seco se acentuaría. Veamos caso por caso la

situación que experimentarían los ecosistemas y especies analizadas en esta monografía.

En el caso del bosque seco bajo este escenario, las condiciones áridas como se dijo más arriba se acentuarían, la productividad de este bosque bajaría, sin embargo aquellas plantas y animales de este bosque con capacidad para resistir largos períodos de sequía en las islas serían los mejor adaptados. Si las condiciones de sequía se vuelven insostenibles para algunas de los habitantes de este bosque podría ocupar zonas con más humedad en las tierras altas de las islas.

En el caso de las zonas de afloramiento y en el marco de que Galápagos experimente una fase fría las cosas se vuelven más favorables para la mayoría de la vida marina de Galápagos. Bajo estas condiciones el desarrollo de las zonas de afloramiento serían más frecuentes con un consiguiente incremento en la productividad y especies propias de Galápagos y que dependen de este ambiente se verían favorecidas y recuperarían sus poblaciones.

Frente al escenario señalado y en el caso de las tortugas gigantes de Galápagos se podría decir que no estarían amenazadas ya que aunque las condiciones climáticas secas que ahora experimenta el clima de Galápagos se acentuarían los ecosistemas clave para las tortugas gigantes, bosque seco en las tierras altas y bosque húmedo en las tierras altas persistirían facilitando los proceso de vida de las tortugas en cuanto a su alimentación y éxito reproductivo.

Para las iguanas marinas de Galápagos un escenario galapagueño más frío con zonas de afloramiento más frecuentes en principio sería favorable y no constituye una amenaza para esta especie. Situaciones como zonas de alimentación y sitios de anidación estarían disponibles pero quizá, como se mencionó anteriormente, el tema de la termoregulación de esta especie se podría complicar en el sentido que los días serían más nublados.

Los pingüinos de Galápagos dependen fuertemente de la productividad de las zonas de afloramiento que se generan en la RMG, bajo el escenario en el que las islas experimenten un clima más frío estas zonas se incrementarían con la consecuente subida en la productividad y el fortalecimiento de las cadenas tróficas de las cuales se nutren los pingüinos. En este sentido se puede decir que los pingüinos de Galápagos no están amenazados por este tipo de cambio.

Los lobos marinos de Galápagos bajo un escenario de cambio climático en el que las islas entren en una fase fría no están amenazados principalmente porque bajo estas condiciones la productividad del mar incrementaría y beneficiaría la población de esta especie en las islas.

Entonces se puede decir que sí las islas Galápagos a causa del cambio climático experimentan un cambio gradual hacia un estado más caliente, con temperaturas y nivel del mar más elevados, mayor precipitación anual, eventos de El Niño intensificados, la biodiversidad única de estas islas está fuertemente amenazada por las razones que se han explicado.

Y, finalmente, sí las islas Galápagos a causa del cambio climático experimentan un cambio gradual hacia un estado más frío, menor precipitación anual, eventos de La Niña intensificados la biodiversidad galapagueña podría adaptarse al cambio y continuar con sus procesos naturales.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Banks, S., **Ambiente Físico**. En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. Fundación Charles Darwin / Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. 2002. Páginas 28-44.
- Banks, S., **Status of marine species and habitats**. Galapagos Report 2006 – 2007. Galapagos Conservancy, Disponible en: <http://www.galapagos.org/wp-content/uploads/2012/04/biodiv4-marine-species-status.pdf> (fecha de consulta: 18 de marzo del 2015)
- Banks, S., Edgar, G., Glynn, P., Kuhn, A., Moreno, J., Ruiz, D., Schuhbauer, A., Tierna, J., Tirado, N. y Vera, M., **A Review of Galapagos Marine Habitats and Ecological Processes under Climate Change Scenarios**. En: Climate Change Vulnerability Assessment of the Galapagos Islands. USA: WWF and Conservation International. 2011. Páginas: 47-68.
- Boersma, P., Steinfurth, A., Merlen, G., Jimenez - Uzcategui, G., Vargas, H., y Parker, P., **Galapagos Penguin**. En: Penguins Natural History and Conservation. University of Washington Press. 2013
- Bustamante, R., Vinueza, L. R., Smith, F., Banks, S., Calvopiña, M., Francisco, V., Chiriboga, A. y Harris, J., **Comunidades Submareales Rocosas I: Organismos Sésiles Y Mesoinvertebrados Móviles**. En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. Fundación Charles Darwin / Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. 2002. Páginas 45-65p.
- Bruckner, A.W., **Galápagos Coral Reef and Coral Community Monitoring Manual**. Khaled bin Sultan Living Oceans Foundation Publication #10, Landover. 2013. Página 1.
- Cayot, L., **Effects of El Niño on Giant Tortoises and their Environment**. En: Robison, G. y del Pino, E., El Niño en las Islas Galápagos El Evento de 1982-1983. 1ra ed. Quito - Ecuador: Fundación Charles Darwin para las Islas Galápagos, 1985. Páginas 363-398.
- Christensen, J.H., K. Krishna Kumar, E. Aldrian, S.-I. An, I.F.A. Cavalcanti, M. de Castro, W. Dong, P. Goswami, A. Hall, J.K. Kanyanga, A. Kitoh, J. Kossin, N.-C. Lau, J. Renwick, D.B. Stephenson, S.-P. Xie and T. Zhou. **Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change**. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.
- Edgar, G. J., Fariña, J. M., Calvopiña M., Martínez, C. y Banks, S., **Comunidades Submareales Rocosas I: Peces y Macroinvertebrados Móviles**. En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. Fundación

Charles Darwin / Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. 2002. Páginas 45-65p.

Estrada, M., **Cambio Climático Global: Causas y Consecuencias**. Notas Revista de Información y Análisis. 2001. 16: 7-16,.

Fundación Charles Darwin. Noticias. Página web:
<http://www.darwinfoundation.org/es/noticias/>

Geist, D., **On the Emergence and Submergence of the Galápagos Islands**. Noticias de Galápagos, 56: 5-9, 1996.

Hamann, O., **The El Niño Influence on the Galapagos Vegetation**. En: Robisonson, G. y del Pino, E., El Niño en las Islas Galápagos El Evento de 1982-1983. 1ra ed. Quito - Ecuador: Fundación Charles Darwin para las Islas Galápagos, 1985. Páginas 299-330.

Jackson, M. H. **Galapagos: A Natural History Guide**, 1ra ed. Calgary, Canada: The University of Calgary Press, 1985 P 24-28, 58 -60, 176.

Laurie, A., **The Effects of the 1982-83 El Niño on Marine Iguanas**. En: Robisonson, G. y del Pino, E., El Niño en las Islas Galápagos El Evento de 1982-1983. 1ra ed. Quito - Ecuador: Fundación Charles Darwin para las Islas Galápagos, 1985. Páginas 199-209.

Luong, T. y Toro, B., **Cambios en la Vegetación de las Islas Galápagos Durante El Niño 1982-1983**. En: Robisonson, G. y del Pino, E., El Niño en las Islas Galápagos El Evento de 1982-1983. 1ra ed. Quito - Ecuador: Fundación Charles Darwin para las Islas Galápagos, 1985. Páginas 331-342.

McMullen, C. K. **Flowering Plants of the Galápagos**, 1ra ed. South Korea: Cornell University Press, 1999.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). **Climate Change**. 2007. <http://www.nws.noaa.gov/om/brochures/climate/Climatechange.pdf>

Palacios, D., Salazar, S. y Vargas, H., **Galapagos Marine Vertebrates: Responses to Environmental Variability and Potential Impacts of Climate Change**. En: Climate Change Vulnerability Assessment of the Galapagos Islands. USA: WWF and Conservation International. 2011. Páginas: 17-27.

Intergovernmental Panel on Climate Change. **Fifth Assessment Report**. 2014. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>

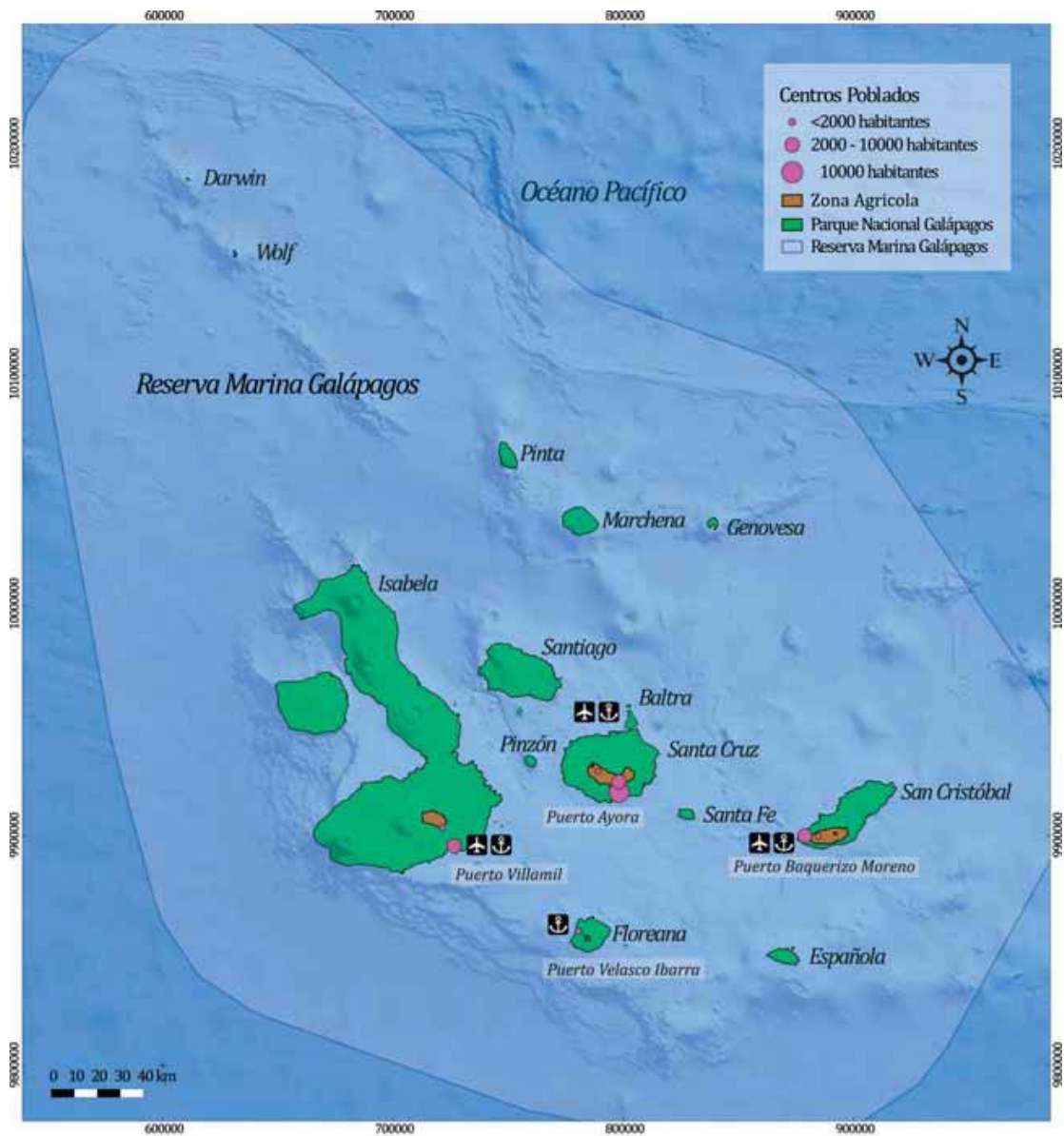
Piu, M. **La Reserva Marina de Galápagos**. Red de Red Iberoamericana de Reservas Marinas. 2003. www.reservasmarinas.net/eventos/pdf/galapagos.pdf.

Sachs, J. y Ladd, N., **Climate and Oceanography of the Galapagos in the 21st Century: Expected Changes and Research Needs**. En: Climate Change

- Vulnerability Assessment of the Galapagos Islands. USA: WWF and Conservation International. 2011. Paginas: 17-27.
- Salazar, S., **Lobo marino y lobo peletero**. En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. Fundación Charles Darwin / Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. 2002. Paginas: 267-290.
- Snell, H. y Rea, S., **The 1997-98 El Niño in Galápagos: Can 34 Years of Data Estimate 120 Years of Pattern?** En: Noticias de Galápagos, 60: 11-20, 1999.
- Snell, H., Tye, A., Causton, C. y Bensted-Smith, R. **Current Status of and Threats to the Terrestrial Biodiversity of Galapagos**. En: A Biodiversity vision for the Galapagos Islands. Charles Darwin Foundation and World Wildlife Fund, Puerto Ayora, Galapagos. 2002. Paginas: 30-47.
- Snell, H., y Márquez, C., **Iguanas Marinas**. En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. Fundación Charles Darwin / Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. 2002. Paginas 324-342.
- Trueman, M., Hannam, I. y Ozouville, N. **Terrestrial Ecosystems in Galapagos: Potential Responses to Climate Change**. En: Climate Change Vulnerability Assessment of the Galapagos Islands. USA: WWF and Conservation International. 2011. Paginas: 29-46.
- Trueman, M. y Ozouville, N. **Characterizing the Galapagos Terrestrial Climate in the Face of Global Climate Change**. Noticias de Galápagos, 2010. 67: 26-37.
- Walsh, J., Wuebbles, D., Hayhoe, K., Kossin, J., Kunkel, K., Stephens, G., Thorne, P., Vose, R., Wehner, M., Willis, J., Anderson, D., Doney, S., Feely, R., Hennon, P., Kharin, V., Knutson, T., Landerer, F., Lenton, T., Kennedy, J. and Somerville, R. **Our Changing Climate. Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment**, J. M. Melillo, Terese (T.C.) Richmond, and G. W. Yohe, Eds., U.S. Global Change Research Program, 19-67. doi:10.7930/J0KW5CXT. 2014.
- Watkins, G., Cardenas, S. y Tapia, W., Introducción. **Galapagos Report 2006 – 2007**. Galapagos Conservancy, Disponible en: <http://www.galapagos.org/wp-content/uploads/2012/04/INTRODUCTION.pdf> (fecha de consulta: 18 de marzo del 2015)

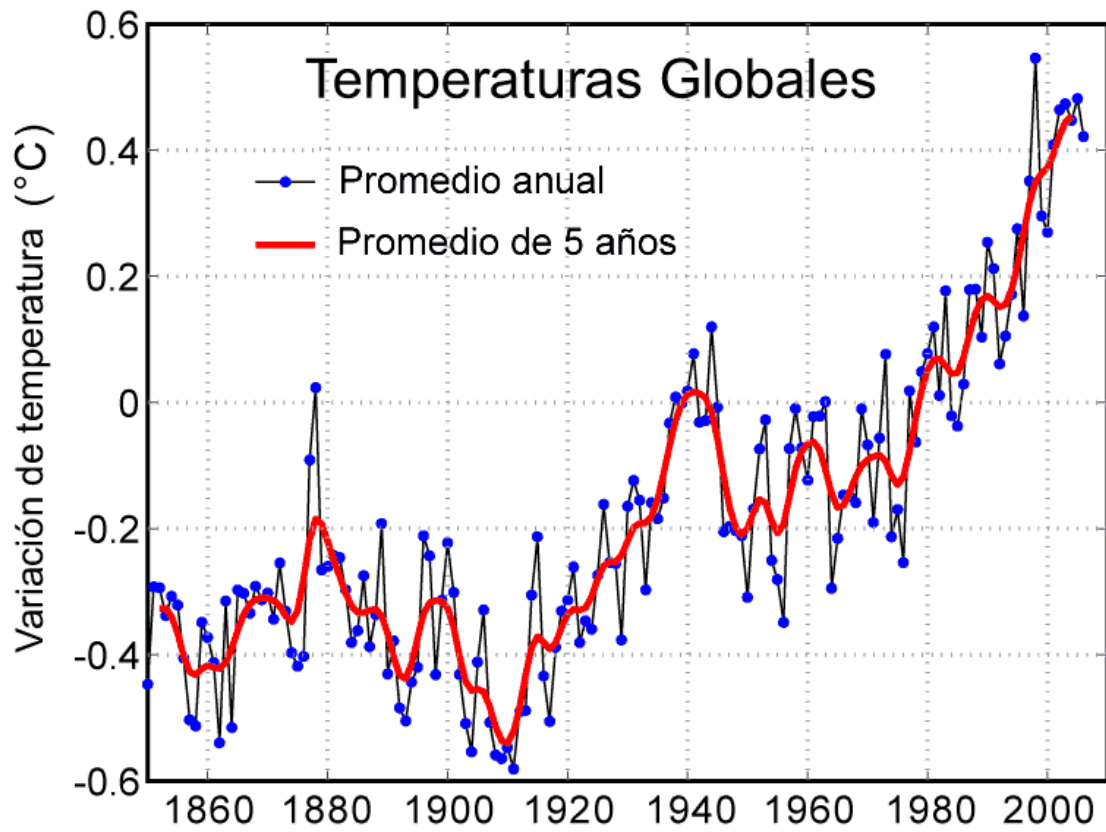
7 FIGURAS

Figura 1. Mapa de las Islas Galápagos donde se puede observar las áreas pobladas, las áreas de Parque Nacional Galápagos y Reserva Marina de Galápagos.



Fuente: Dirección del Parque Nacional Galápagos. Plan manejo de las áreas protegidas de Galápagos para el buen vivir. 2014.

Figura 2. Temperatura media global sobre el planeta desde 1860 – 2010

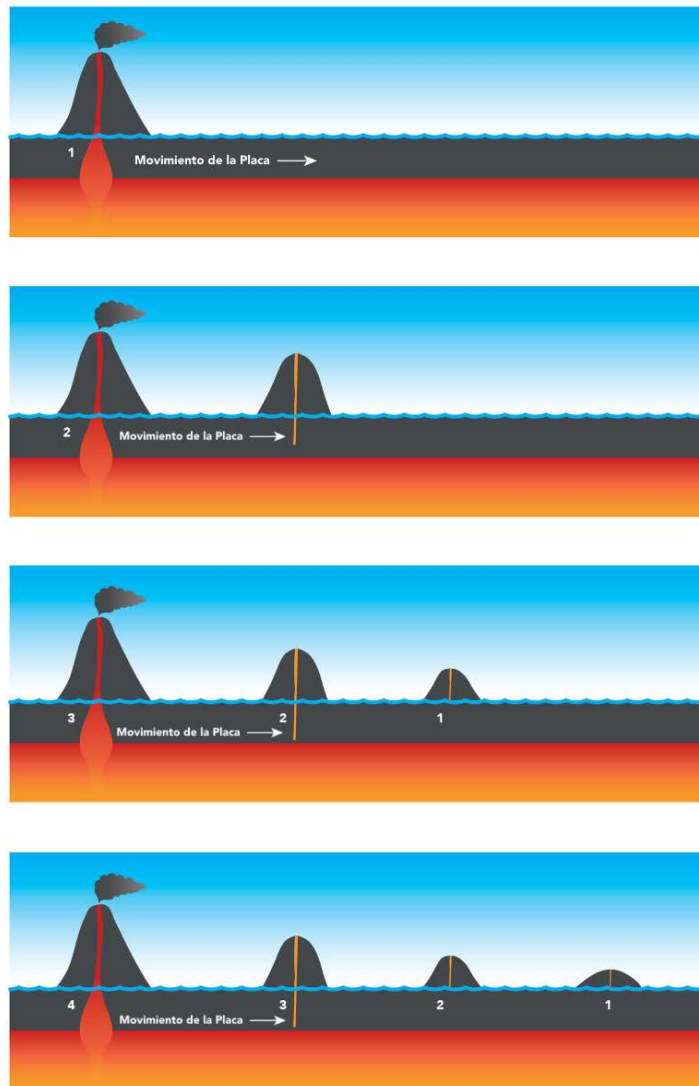


Fuente: Pagina web CambioClimaticoGlobal.com.

<http://cambioclimaticoglobal.com/evidencias-cambio-climatico>

Figura 3. Ilustración que explica la manera en que el punto caliente y la placa tectónica interactúan para formar islas.

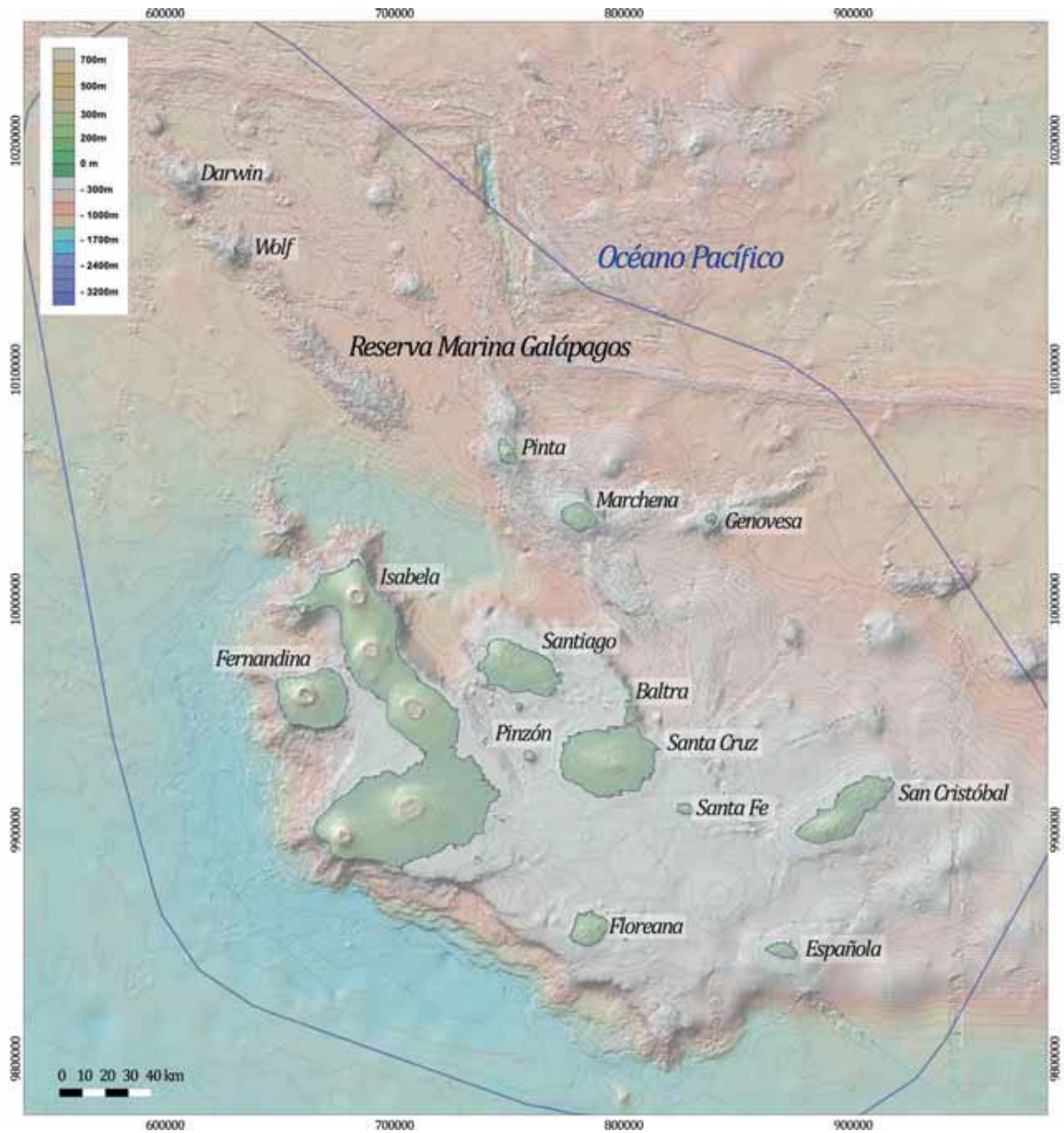
Formación de Volcanes por Punto Caliente



Fuente: Pagina web Descubriendo Galápagos del Galapagos Conservation Trust.

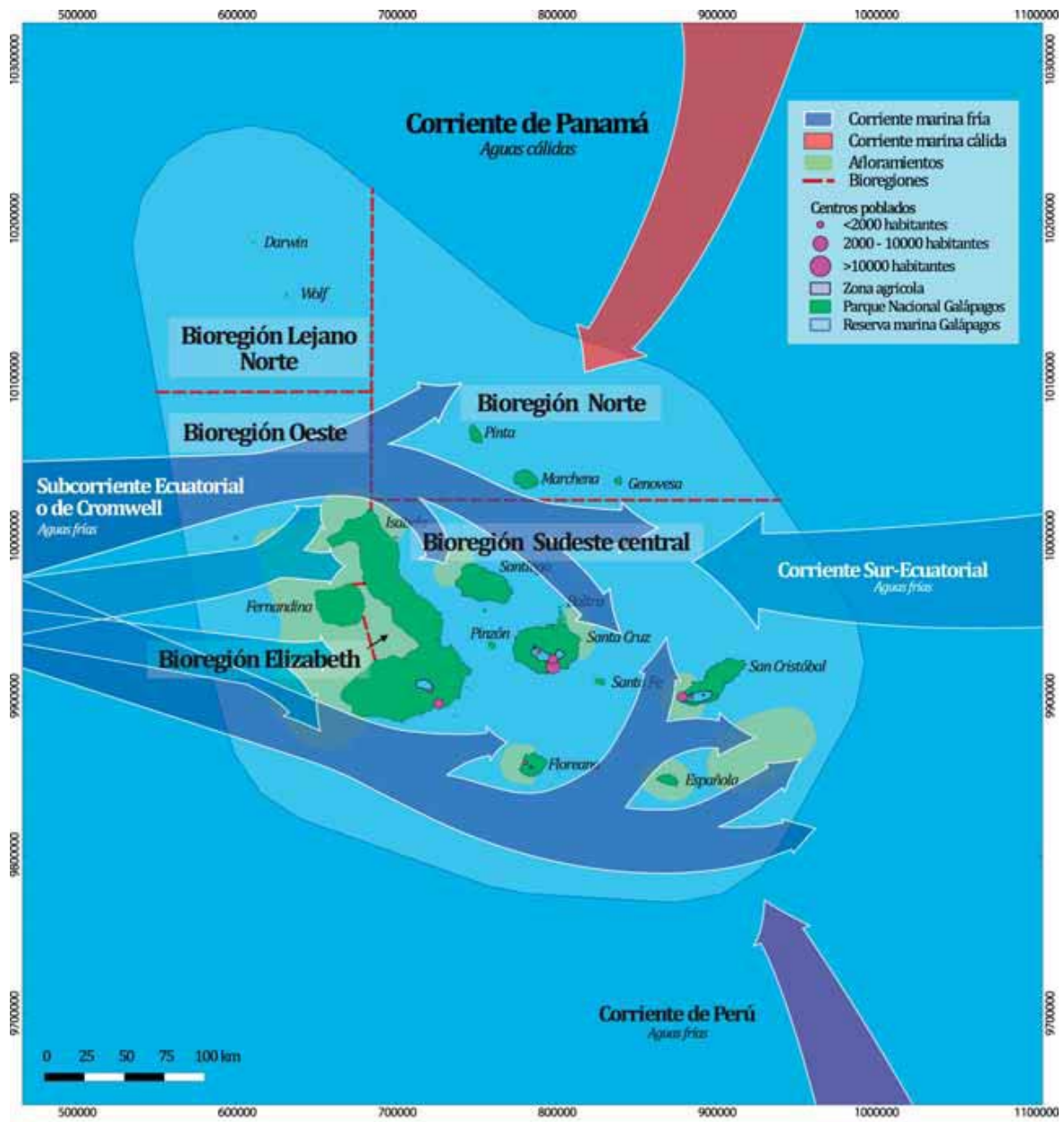
<http://descubriendogalapagos.ec/descubrir/procesos-geograficos/ubicacion-formacion/puntos-calientes-volcanes/>

Figura 4. Mapa batimétrico de las islas donde se revela tanto la superficie submarina como la terrestre.



Fuente: Dirección del Parque Nacional Galápagos. Plan manejo de las áreas protegidas de Galápagos para el buen vivir, 2014.

Figura 5. Configuración oceanográfica que rige en Galápagos donde se puede ver en detalle las corrientes marinas que a lo largo del año bañan las costas de de las islas Galápagos.



Fuente: Dirección del Parque Nacional Galápagos. Plan manejo de las áreas protegidas de Galápagos para el buen vivir, 2014.

8 TABLAS

Tabla 1. Áreas y alturas de las Islas Galápagos

NOMBRE COMUN	AREA (km²)	Altura (m)
Isabela	4588	1707
Santa Cruz	986	864
Fernandina	642	1494
Santiago	585	907
San Cristóbal	558	730
Floreana	173	640
Marchena	130	343
Española	60	206
Pinta	60	777
Baltra	27	100
Santa Fe	24	259
Pinzón	18	458
Genovesa	14	76
Rábida	4,9	367
Seymour	1,9	---
Wolf	1,3	253
Tortuga	1,2	186
Bartolomé	1,2	114
Darwin	1.1	168
Daphne Mayor	0,32	120
Sombrero Chino	0,22	52
Plaza Sur	0,13	25

Fuente: Jackson (1985)

Tabla 2. Algunas plantas típicas de las zonas de vegetación litoral, árida y húmeda.

Zona Litoral	
<i>Avicennia germinans</i>	<i>Risizophora mangle</i>
<i>Atriplex peruviana</i>	<i>Maytenus octogona</i>
<i>Batis maritima</i>	<i>Nolana galapagensis</i>
<i>Conocarpus erecta</i>	<i>Sesuvium spp</i>
<i>Cryptocarpus pyriformis</i>	<i>Lycium minimum</i>
Zona Árida	
<i>Acacia spp</i>	<i>Brachycereus nesioticus</i>
<i>Alternanthera echinocephala</i>	<i>Opuntia spp.</i>
<i>Bursera graveolens</i>	<i>Jasminocereus thouarsii</i>
<i>Castela Galapageia</i>	<i>Scaecia affinis</i>
<i>Cordia lutea</i>	<i>Tiquilia spp</i>
<i>Croton scouleri</i>	<i>Scutia pauciflora</i>
<i>Chamaesyce spp</i>	<i>Tribulus spp</i>
Zona Húmeda	
<i>Scaecia pedunculata</i>	<i>Psidium galapageium</i>
<i>Zanthoxylum fagara</i>	<i>Plumbago scandens</i>
<i>Piscidia carthagensis</i>	<i>Peperomia galapagensis</i>
<i>Darwiniothamnus tenuifolius</i>	<i>Lycopodium spp</i>

Fuente: Jackson (1985)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Salvador Iván Cazar Cadena, C I 1706863741, autor del trabajo de graduación intitulado : Vulnerabilidad ante el Cambio Climático de los Ecosistemas y Especies Icónicas de Galápagos”, previa a la obtención del grado académico de **LICENCIADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en la **Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**:

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar al SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 17 de abril del 2105

C.I.: 1706863741