

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias De la Vida

Análisis de comportamiento de tortugas Galápagos (*Chelonoidis* spp.) en el

Centro de Crianza Fausto Llerena

Código del Proyecto Integrador: VIDA470

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Biólogo

Presentado por:

Juan Sebastian Rivera Romero

Guayaquil – Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo, en primer lugar, a todos mis compañeros de carrera con quienes compartí mi formación durante mi estancia en la ESPOL. Gracias por las experiencias, aprendizajes y momentos que hicieron de este camino universitario una etapa de crecimiento personal y profesional. A mis profesores, quienes desde el inicio de mi vida universitaria confiaron en mí, me guiaron y me brindaron su apoyo constante, sembrando las bases de lo que hoy representa este logro académico. A mis amigos de toda la vida, Michael, Camilo, Elías y Tamayo, por estar presentes en cada etapa, por el apoyo incondicional, la amistad sincera y por acompañarme incluso en los momentos más difíciles de este proceso. A Mell, por creer en mí cuando yo mismo dudaba, por impulsarme a dar un paso que cambió el rumbo de este proyecto y por hacer posible que pudiera llegar a Galápagos a realizar esta tesis. Su apoyo fue clave para demostrarme que los límites

muchas veces solo existen en la mente.
Finalmente, dedico este trabajo a la conservación de la fauna y flora, con la esperanza de que la ciencia, el compromiso y el conocimiento contribuyan a la construcción de un mundo más sano, equilibrado y consciente de la importancia de proteger nuestro patrimonio natural.

Agradecimientos

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este proyecto. En primer lugar, agradezco profundamente a la persona que me motivó a dar el primer paso en este camino, cuyo apoyo, confianza y palabras oportunas fueron fundamentales para iniciar y sostener el desarrollo de este trabajo. Un agradecimiento especial al **profesor Diego Gallardo**, por su orientación académica, disposición y valiosos aportes, los cuales fueron clave para fortalecer el enfoque y la calidad de esta investigación. Asimismo, agradezco al **profesor Paolo Piedrahíta** y a la **Facultad de Ciencias de la Vida (FCV)**, por la tutoría, el acompañamiento constante y el respaldo brindado a lo largo de todo este proceso. De manera especial, expreso mi gratitud a la **profesora Fernanda Ratti**, por su apoyo, orientación y valiosas recomendaciones, las cuales

contribuyeron significativamente al desarrollo del trabajo y a mi formación académica. Agradezco a la **Dirección del Parque Nacional Galápagos**, por autorizar y facilitar la realización de esta tesis en el **Centro de Crianza Fausto Llerena**, espacio clave para la conservación y manejo de las tortugas gigantes de Galápagos. Expreso un agradecimiento especial a los guardaparques **Fidelino Gaona y Freddy Villalba**, cuyo acompañamiento, disposición y experiencia fueron fundamentales durante el desarrollo del trabajo de campo. Sus aportes en conocimiento práctico y teórico sobre el manejo, cuidado y comportamiento de las tortugas gigantes enriquecieron significativamente esta tesis y permitieron una mejor comprensión de las dinámicas observadas, además de compartir su conocimiento para fortalecer mi desarrollo profesional. Finalmente, reconozco el trabajo que realiza el **Parque Nacional Galápagos** en la protección, manejo y

recuperación de las tortugas gigantes, cuya labor diaria contribuye de manera directa a la conservación del patrimonio natural del Ecuador y al desarrollo de investigaciones científicas que fortalecen las estrategias de repatriación y manejo de especies. De igual manera, agradezco a los voluntarios del **Centro de Crianza** y a todas las personas que, de una u otra forma, me brindaron su ayuda, motivación y acompañamiento durante este proceso, recordándome la importancia de la ciencia, la conservación y el trabajo en equipo para la protección de nuestro patrimonio natural.

Declaración Expresa

Yo Juan Sebastian Rivera Romero acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 2 de diciembre de 2025.

Juan Sebastian Rivera Romero

Evaluadores

Diego Arturo Gallardo Polit, MSc

Profesor de Materia

**Paolo Michael Piedrahita
Piedrahita, Ph.D.**

Tutor de proyecto

Resumen

El comportamiento animal constituye una herramienta fundamental para comprender la interacción de las especies con su entorno y evaluar su adaptación a condiciones ambientales variables. En las tortugas gigantes de Galápagos (*Chelonoidis* spp.), el análisis etológico en cautiverio resulta clave para optimizar las estrategias de manejo y repatriación. El objetivo del presente proyecto es evaluar las diferencias en el comportamiento diurno de cuatro especies de tortugas gigantes (*Chelonoidis darwini*, *C. niger*, *C. hoodensis* y *C. donfaustoi*) mantenidas en el Centro de Crianza Fausto Llerena, considerando la influencia de variables ambientales. Se plantea como hipótesis que el comportamiento observado difiere entre especies y refleja respuestas conductuales asociadas al origen insular de cada taxón, moduladas por las condiciones ambientales presentes en los recintos. El estudio se desarrolló mediante observación directa para evaluar las diferencias en el comportamiento diurno, considerando patrones de locomoción, reposo, alimentación, uso de refugio y selección de sustrato en recintos sectorizados, registrando variables ambientales siendo temperatura, condición climática, exposición a la luz directa y tipo de sustrato. Los comportamientos fueron agrupados en categorías funcionales y analizados mediante herramientas estadísticas descriptivas y modelos de regresión a partir de un total de 4 466 registros conductuales, se evidenció una asociación significativa entre la temperatura ambiental y la categoría funcional del comportamiento. La probabilidad de locomoción aumentó en rangos térmicos intermedios, mientras que el reposo/inactividad predominó a temperaturas más elevadas. En relación con la exposición a la luz directa, el modelo de regresión logística indicó que en el rango térmico de 24,0–24,9 °C la probabilidad de exposición fue aproximadamente 6,7 veces mayor que en el rango de referencia (OR = 6,66), disminuyendo progresivamente a temperaturas superiores, lo que evidencia una selección activa de microhábitats sombreados. En conclusión, el comportamiento expresado en cautiverio integra instintos biológicos y respuestas al ambiente,

constituyéndose en una herramienta útil para orientar estrategias de manejo y repatriación.

Palabras clave: instintos, etología, repatriación, conservación.

Abstract

*Animal behavior constitutes a fundamental tool for understanding species–environment interactions and evaluating adaptation to variable environmental conditions. In Galápagos giant tortoises (*Chelonoidis* spp.), ethological analyses under captive conditions are essential for optimizing management and repatriation strategies. The aim of this study was to evaluate differences in diurnal behavior among four giant tortoise species (*Chelonoidis darwini*, *C. niger*, *C. hoodensis*, and *C. donfaustoi*) housed at the Fausto Llerena Breeding Center, considering the influence of environmental variables. It was hypothesized that behavioral patterns differ among species and reflect conductual responses associated with the insular origin of each taxon, modulated by the environmental conditions present in the enclosures. The study was conducted through direct observation to assess differences in diurnal behavior, including locomotion, resting, feeding, refuge use, and substrate selection within sectorized enclosures. Environmental variables such as temperature, climatic condition, exposure to direct sunlight, and substrate type were recorded. Behaviors were grouped into functional categories and analyzed using descriptive statistical tools and regression models. Based on a total of 4,466 behavioral records, a significant association between ambient temperature and functional behavioral categories was detected. The probability of locomotion increased at intermediate thermal ranges, whereas resting/inactivity predominated at higher temperatures. Regarding exposure to direct sunlight, logistic regression indicated that within the thermal range of 24.0–24.9 °C, the probability of exposure was approximately 6.7 times higher than in the reference range (OR = 6.66), progressively decreasing at higher temperatures, evidencing an active selection of shaded microhabitats. In conclusion, behavior expressed under captive conditions integrates biological instincts and environmental responses, representing a valuable tool to guide management and repatriation strategies.*

Keywords: instincts, ethology, repatriation, conservation.

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	III
Índice general.....	V
Abreviaturas.....	VII
Simbología.....	VIII
Índice de figuras.....	IX
Índice de tablas	X
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del problema	5
1.3 Justificación	6
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Marco Teórico	8
1.5.1 Origen, evolución y diversificación de las tortugas gigantes de las Galápagos	8
1.5.2 Morfotipos de caparazón y relación con el ambiente	9
1.5.3 Dieta, gigantismo y plasticidad fenotípica	9
1.5.4 Cautiverio, repatriación y efectos sobre el crecimiento	10
Capítulo 2	11
2. Metodología	12
2.1 Área de estudio y delimitación de sectores.....	12
2.2 Fase preliminar.....	15
2.3 Horario y esfuerzo de muestreo sistemático	15
2.4 Especies estudiadas y condiciones de manejo	15
2.5 Registro del comportamiento.....	16
2.6 Variables ambientales y sustrato	18
2.7 Análisis de datos	18
Capítulo 3	19
3. Resultados y análisis.....	20

3.1 Influencia de las variables ambientales sobre el comportamiento diurno	24
3.2 Efecto de la luz directa y estrategias de termorregulación conductual	25
3.3 Diferencias interespecíficas en la respuesta conductual.....	26
3.3.1 <i>Chelonoidis darwini</i>	26
3.3.2 <i>Chelonoidis niger (híbrido)</i>	26
3.3.3 <i>Chelonoidis hoodensis</i>	27
3.3.4 <i>Chelonoidis donfaustoi</i>	27
3.4 Uso del sustrato como componente de la respuesta conductual	27
Capítulo 4	28
4.1 Conclusiones y recomendaciones	29
4.1.1 <i>Conclusiones</i>	29
4.1.2 <i>Recomendaciones</i>	30
Referencias	34
Apéndice A.....	36

Abreviaturas

IC 95% – Intervalo de confianza al 95 %

OR – Odds Ratio (razón de momios)

R² – Coeficiente de determinación

spp. – Especies (plural taxonómico)

Simbología

χ^2 – Estadístico de prueba Chi-cuadrado

p – Valor de probabilidad asociado a la prueba estadística

< – Menor que

> – Mayor que

% – Porcentaje

°C – Grados Celsius

R² – Coeficiente de determinación del modelo

IC 95% – Intervalo de confianza al 95 %

OR – Odds Ratio (razón de probabilidades)

≈ – Aproximadamente

n – Número total de observaciones

Índice de figuras

Figura 2.1.....	12
Figura 2.2.....	14
Figura 2.3.....	14
Figura 2.4.....	14
Figura 3.1.....	20
Figura 3.2.....	21
Figura 3.3.....	22
Figura 3.4.....	23
Figura 3.5.....	24

Índice de tablas

Tabla 2.1	13
Tabla 2.2	17
Tabla 2.3	18

Capítulo 1

1.1 Introducción

El Centro de Crianza Fausto Llerena fue creado como una estrategia clave de conservación *ex situ* para la recuperación de las poblaciones de tortugas gigantes de las Galápagos, severamente afectadas por la explotación histórica y la introducción de especies invasoras. A través de la cría, manejo y posterior repatriación de individuos a sus islas de origen, el centro ha contribuido de manera directa a la restauración de ecosistemas insulares y al restablecimiento del rol ecológico de las tortugas como ingenieras del ecosistema en el archipiélago. Estas acciones han sido fundamentales para prevenir extinciones locales y fortalecer los procesos de conservación a largo plazo en las Galápagos (Sanmartin Costa & Jumbo Jimbo, 2024).

El comportamiento animal constituye una herramienta fundamental para comprender la forma en que las especies interactúan con su entorno y responden a variaciones ambientales, tanto naturales como antrópicas. Desde la etología, el estudio sistemático de los patrones conductuales es posible inferir aspectos clave relacionados con la ecología, la fisiología, la adaptación y el bienestar animal (Altmann, 1974). En reptiles, y particularmente en quelonios, el comportamiento se encuentra estrechamente condicionado por factores ambientales como la temperatura, la humedad, la disponibilidad de refugios y la estructura del hábitat, debido a su condición de organismos ectotermos (Deveci & Egginton, 2002).

Las tortugas gigantes de las Galápagos, del género *Chelonoidis*, representan uno de los linajes más emblemáticos del archipiélago, no solo por su singular historia evolutiva, sino también por su papel ecológico como ingenieras del ecosistema. Estudios filogenéticos y filogeográficos han demostrado que estas tortugas conforman un linaje monofilético que se diversificó en respuesta a la dinámica geológica del archipiélago, dando lugar a poblaciones diferenciadas entre islas e incluso entre volcanes de una misma isla (Caccone et al.,

1999; Kwiatkowski & Sullivan, 2002). Esta diversificación genética y morfológica se ha acompañado de adaptaciones asociadas a las condiciones ambientales específicas de cada isla.

Las tortugas gigantes de las Galápagos tienen su origen en poblaciones ancestrales provenientes del continente sudamericano, cuya llegada al archipiélago se estima ocurrió hace varios millones de años mediante eventos de dispersión pasiva a través del océano. El análisis de la estructura genética y geográfica del linaje indica que el linaje ancestral más cercano a estas tortugas corresponde a poblaciones relacionadas con *Chelonoidis chilensis*, especie continental adaptada a ambientes áridos, lo que respalda la hipótesis de un origen continental previo a la diversificación insular (Caccone et al., 1999; Ciofi et al., 2002). Una vez establecidas en las islas, estas poblaciones experimentaron procesos de evolución adaptativa asociados a las condiciones ambientales particulares de cada isla. La ausencia de depredadores naturales nativos, junto con la disponibilidad de recursos, permitió que las tortugas se desarrollaran sin presiones selectivas intensas por depredación, favoreciendo la evolución de un marcado gigantismo corporal, el cual ha sido interpretado como una ventaja adaptativa en ambientes insulares (Caccone et al., 1999; Gibbs et al., 2010).

Como resultado de estos procesos evolutivos, las tortugas gigantes de las Galápagos presentan dos morfologías principales de caparazón: la forma tipo domo o cúpula y la forma tipo montura. Las tortugas de caparazón tipo domo se encuentran principalmente en islas caracterizadas por condiciones climáticas más húmedas y una mayor disponibilidad de vegetación a nivel del suelo, donde el alimento es abundante y de fácil acceso. Islas como Santiago y Santa Cruz presentan precipitaciones relativamente constantes y una diversidad de hábitats que favorecen este tipo morfológico, asociado a estrategias de forrajeo predominantemente terrestre (Kwiatkowski & Sullivan, 2002; Bykova et al., 2012).

Las tortugas con caparazón tipo montura predominan en islas áridas, donde la vegetación es escasa y el recurso alimenticio principal se encuentra a mayor altura,

especialmente en cactus del género *Opuntia*. En islas como Pinta, Floreana y Española, la dominancia de *Opuntia* ha ejercido una presión selectiva que favoreció la evolución de individuos con cuellos más largos y una conformación del caparazón que facilita el acceso a la vegetación elevada (Deveci & Egginton, 2002; Gibbs et al., 2010).

Desde una perspectiva ecológica, las tortugas gigantes cumplen funciones clave como herbívoros dominantes, dispersores de semillas y modificadores de la estructura vegetal. Se ha documentado que su actividad de forrajeo, desplazamiento y pisoteo influye significativamente en la dinámica de la vegetación, particularmente en especies clave como *Opuntia*, regulando su densidad poblacional y promoviendo su dispersión en los ecosistemas áridos de las Galápagos (Bykova et al., 2012; Gibbs et al., 2010). Debido a estas funciones, las tortugas gigantes son especies clave e ingenieras del ecosistema, cuyo comportamiento tiene repercusiones directas sobre la composición y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres del archipiélago (Molina-Moctezuma et al., 2021).

En contextos de cautiverio o manejo *ex situ*, el estudio del comportamiento adquiere una relevancia adicional. Las condiciones controladas, como el diseño de recintos, la disponibilidad de recursos, la presencia de refugios y la exposición a factores climáticos, pueden modificar la expresión conductual de las tortugas, afectando tanto su bienestar como la validez de los programas de conservación y reproducción (Burghardt, 2013). Por ello, el análisis etológico en recintos controlados permite evaluar cómo las variables ambientales influyen en la frecuencia y distribución de comportamientos como la locomoción, el descanso, la alimentación, el refugio y las interacciones sociales.

VARIABLES como la temperatura y la humedad influyen directamente en la selección de microhábitats y refugios en reptiles, determinando patrones de actividad diaria y uso del espacio (Deveci & Egginton, 2002). En tortugas gigantes, estas variables pueden modular la alternancia entre estados activos e inactivos, así como la preferencia por zonas con sombra,

agua o sustratos específicos. Sin embargo, a pesar de la importancia ecológica y conservacionista de estas especies, aún existen vacíos de información respecto a cómo se manifiestan estos patrones conductuales en condiciones controladas y cómo varían entre recintos con características ambientales distintas.

Esta investigación compara el comportamiento de tortugas *Chelonoidis* en distintos recintos, evaluando la influencia de variables ambientales (temperatura, humedad, disponibilidad de agua, estructura del recinto y exposición a la luz directa) sobre patrones conductuales. El estudio se enmarca en un enfoque etológico y ecológico, integrando conceptos de comportamiento animal, ecología de reptiles y conservación. A través de un muestreo sistemático basado en metodologías etológicas estandarizadas (Altmann, 1974), se generaron datos sobre el comportamiento de estas especies en cautiverio para aportar criterios útiles de manejo, tanto en programas de conservación *ex situ* como *in situ*.

1.2 Descripción del problema

Las tortugas gigantes de las Galápagos (*Chelonoidis* spp.) representan uno de los símbolos más emblemáticos de la biodiversidad mundial y desempeñan un rol ecológico fundamental como ingenieros del ecosistema en los ambientes insulares. No obstante, sus poblaciones han experimentado una drástica disminución histórica (Márquez et al., 2016) como consecuencia de la explotación humana, la introducción de especies invasoras y la alteración y fragmentación de sus hábitats naturales.

Desde el siglo XIX, la caza indiscriminada realizada por balleneros y navegantes provocó una reducción severa de las poblaciones de tortugas gigantes, ya que estos animales eran capturados y almacenados como fuente de alimento durante largos viajes marítimos (Townsend, 1925). Posteriormente, la introducción de especies invasoras como cabras, ratas y cerdos intensificó el impacto negativo sobre las poblaciones remanentes, afectando la

regeneración de la vegetación nativa y aumentando la depredación de huevos y crías (Galapagos Conservancy, s.f.)

Pese a los programas de conservación *ex situ*, como los desarrollados en el Centro de Crianza “Fausto Llerena”, aún se desconoce cómo varía el comportamiento entre las distintas especies de tortugas gigantes mantenidas en cautiverio y de qué manera esto afecta a los procesos de reintroducción. La falta de información detallada sobre patrones de actividad, interacción y uso del espacio representa un obstáculo significativo para la planificación de estrategias de conservación efectivas.

Esta carencia de conocimiento resulta particularmente relevante si se considera la extinción de *Chelonoidis abingdonii*, la especie del icónico Solitario George, cuyo caso evidencia las consecuencias irreversibles de la presión antrópica y de una gestión insuficiente de las poblaciones silvestres (Edwards et al., 2013). Por tanto, comprender las diferencias interespecíficas en el comportamiento de las tortugas gigantes en cautiverio resulta fundamental para asegurar el éxito en los programas de conservación y restauración poblacional.

1.3 Justificación

El presente estudio permite comprender las diferencias en el comportamiento diurno de distintas especies de tortugas gigantes de las Galápagos mantenidas en condiciones de cautiverio. El análisis de comportamientos como la alimentación, el descanso, la locomoción y las interacciones sociales y su relación con variables ambientales del entorno, constituye una herramienta clave para optimizar los programas de manejo y conservación de estas especies. Esto es especialmente relevante si se considera que los factores de riesgo que llevaron a la extinción a especies como *Chelonoidis abingdonii* continúan presentes para otras especies del género *Chelonoidis* (Edwards et al., 2013; Townsend, 1925). Existen estrategias generales de

manejo para las tortugas gigantes de las Galápagos bajo cuidado humano como menciona (Márquez Baltán et al., 1999) establecen los lineamientos operativos para la crianza de tortugas gigantes en cautiverio, que garantizan condiciones adecuadas durante la crianza y preadaptación. Sin embargo, estos lineamientos se aplican de forma generalizada y no consideran explícitamente las particularidades ecológicas y comportamentales de cada especie.

El Centro de Crianza “Fausto Llerena” fue creado sobre una base científica orientada a la conservación ex situ de las tortugas gigantes de las Galápagos, con corrales diseñados para cubrir de manera general los requerimientos de las especies bajo cuidado humano. Los resultados de esta investigación aportarán información etológica que permitirá optimizar el diseño y manejo de los corrales según las necesidades ecológicas y comportamentales de cada especie, fortaleciendo las acciones de conservación ex situ y contribuyendo a futuras iniciativas de restauración y conservación in situ en sus islas de origen.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar las diferencias de comportamiento diurno entre las especies de tortugas gigantes (*Chelonoidis* spp.) en cautiverio en el Centro de Crianza Fausto Llerena, considerando variables ambientales del recinto, para proponer estrategias de reubicación en zonas de conservación acorde a su comportamiento biológico innato.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Comparar los patrones de actividad (alimentación, descanso, locomoción, interacción social) de cada especie a lo largo del día (mañana, mediodía y tarde).
2. Relacionar dichos patrones con variables ambientales del entorno en cautiverio (temperatura, sombra, exposición solar, acceso al agua).

3. Proponer recomendaciones para la fortalecer la planificación de zonas de conservación y reintroducción, alineadas con el comportamiento natural observado en cautiverio.

1.5 Marco Teórico

1.5.1 Origen, evolución y diversificación de las tortugas gigantes de las Galápagos

El archipiélago de las Galápagos es un sistema insular de origen volcánico caracterizado por una marcada heterogeneidad ambiental, producto de diferencias en edad geológica, tamaño de las islas, altitud, régimen de precipitaciones y tipos de vegetación. Estas condiciones han favorecido procesos de colonización, aislamiento y diversificación evolutiva en múltiples grupos de organismos, entre ellos las tortugas terrestres gigantes del género *Chelonoidis* (Darwin, 1839; Bonin F et al., 2006).

Estudios geológicos indican que las islas más antiguas del archipiélago surgieron hace aproximadamente entre 2,4 y 4,0 millones de años, mientras que las más jóvenes presentan edades considerablemente menores, lo que ha generado una marcada heterogeneidad geológica y ambiental dentro del archipiélago (Geist, 2009, citado en Cruz Márquez, 2019). Esta diversidad física ha influido directamente en los procesos evolutivos de la biota insular.

Evidencias genéticas basadas en ADN mitocondrial y nuclear señalan que las tortugas gigantes de las Galápagos descienden de un ancestro continental sudamericano, estrechamente relacionado con *Chelonoidis chilensis*, que habría llegado al archipiélago mediante eventos de dispersión oceánica pasiva (Caccone et al., 1999; Kwiatkowski & Sullivan, 2002; Ciofi et al., 2002). Una vez establecidas, las poblaciones ancestrales experimentaron procesos de aislamiento y diferenciación genética que dieron lugar a la diversidad actual de especies y poblaciones insulares (Poulakakis et al., 2011, citado en Márquez Baltán et al., 1999)

1.5.2 Morfotipos de caparazón y relación con el ambiente

Las tortugas gigantes de las Galápagos presentan una notable variación morfológica, particularmente en la forma del caparazón, la cual se agrupa en dos morfotipos principales: domo y montura. El morfotipo domo se caracteriza por un caparazón alto y redondeado, cuello y extremidades relativamente cortas, y se asocia a islas grandes y húmedas con abundante vegetación a nivel del suelo. En contraste, el morfotipo montura presenta una elevación anterior del caparazón, cuello y extremidades más largas, y se encuentra principalmente en islas pequeñas y áridas, donde el alimento es escaso y se distribuye en arbustos y cactus (Cayot, 1987).

Estas diferencias morfológicas responden a presiones selectivas asociadas a la disponibilidad de recursos alimenticios y a la estructura de la vegetación. En ambientes áridos, la capacidad de extender el cuello permite a las tortugas montura acceder a fuentes de alimento elevadas, como los cactus del género *Opuntia*, especialmente durante la estación seca (Snell et al., 1988, citado en Cruz Márquez, 2019). En contraste, en islas húmedas, la abundancia de plantas suculentas favorece el desarrollo del morfotipo domo, que alcanza mayores tamaños corporales (Kwiatkowski & Sullivan, 2002)

1.5.3 Dieta, gigantismo y plasticidad fenotípica

El gigantismo observado en las tortugas terrestres de las Galápagos ha sido atribuido a una combinación de factores ecológicos, como la disponibilidad de alimento de alta calidad nutricional, la ausencia histórica de grandes depredadores y la longevidad de la especie (Snell et al., 1988, citado en Cruz Márquez, 2019). Las plantas suculentas, particularmente los cactus *Opuntia*, constituyen una fuente importante de agua y energía que permite el crecimiento sostenido de los individuos.

Estudios experimentales han demostrado que las tortugas de morfotipo domo consumen mayores cantidades de alimento cuando este se encuentra disponible, lo que se traduce en tasas

de crecimiento superiores en comparación con el morfotipo montura (Snell et al., 1988, citado en Cruz Márquez, 2019) No obstante, investigaciones posteriores evidencian que el crecimiento y el tamaño corporal no dependen únicamente del morfotipo, sino también de la historia temprana de alimentación y del ambiente en el que se desarrollan los individuos, reflejando una marcada plasticidad fenotípica (Márquez et al., 2004, citado en Cruz Márquez, 2019).

1.5.4 Cautiverio, repatriación y efectos sobre el crecimiento

Ante la disminución poblacional de las tortugas gigantes de las Galápagos, se implementaron programas de crianza en cautiverio y repatriación como herramientas clave para su recuperación. No obstante, el cautiverio durante las etapas tempranas puede afectar el crecimiento, el peso corporal y la adaptación posterior al ambiente natural (Márquez et al., 2004, citado en Cruz Márquez, 2019).

Las comparaciones entre tortugas nativas y repatriadas indican que los efectos del cautiverio varían según el morfotipo. En tortugas montura, las diferencias iniciales tienden a reducirse con el tiempo, mientras que en tortugas domo pueden persistir desventajas en talla y peso corporal asociadas al manejo temprano (Márquez et al., 2004, citado en Cruz Márquez, 2019). Estos hallazgos evidencian que la historia temprana de vida influye de manera diferencial en la biología de las tortugas gigantes.

Situaciones comparables se han documentado en otros reptiles sometidos a programas de conservación ex situ. En el lagarto gigante de El Hierro (*Gallotia simonyi machadoi*), especie recuperada mediante crianza en cautiverio y reintroducción en su área de distribución histórica, se han registrado diferencias iniciales en crecimiento, comportamiento y uso del hábitat entre individuos criados en cautiverio y silvestres, las cuales pueden atenuarse tras la liberación bajo condiciones ambientales adecuadas y manejo post-liberación efectivo (Martín et al., 2000; López-Jurado et al., 2007).

Este ejemplo refuerza que los programas de cautiverio y repatriación, aunque esenciales para la conservación, generan efectos variables sobre el crecimiento y la adaptación, dependiendo del manejo en cautiverio y de las características ecológicas y morfológicas de cada especie.

Capítulo 2

2. Metodología

2.1 Área de estudio y delimitación de sectores

El estudio se llevó a cabo en el Centro de Crianza de Tortugas Fausto Llerena, ubicado en Puerto Ayora, isla Santa Cruz, Galápagos. El centro cuenta con cinco recintos de preadaptación, de los cuales se seleccionaron tres para el desarrollo del estudio como se muestra en la Figura 2.1.

Figura 2.1

Imagen satelital del Centro de Crianza Fausto Llerena.



Nota. En la figura se delimitan los cinco recintos de pre-adaptación. Se indican y numeran los recintos seleccionados para el desarrollo de los muestreos etológicos.

Cada recinto fue delimitado y subdividido en sectores numerados consecutivamente a partir del 1, considerando características estructurales y ambientales tales como el tipo de sustrato, la presencia o ausencia de cobertura vegetal, la disponibilidad de sombra y la existencia de fuentes de agua. Esta delimitación permitió identificar distintos microhábitats dentro de cada recinto y analizar la ocurrencia de comportamientos en función de sus condiciones ambientales.

En los recintos se identificaron ocho tipos de sustrato, como se muestra a continuación en la Tabla 2.1. La distribución de estos sustratos, junto con la topografía y los límites

sectoriales, fue representada gráficamente para cada recinto (Figuras 2.2, 2.3 y 2.4), permitiendo una visualización detallada de la estructura espacial y los microhábitats disponibles.

Tabla 2.1

Tipos de sustrato identificados en los recintos de estudio y sus respectivos códigos.

Sustratos	Código
Roca	R
Tierra	T
Agua	A
Planta	P
Tierra/roca	T/R
Tierra/planta	T/P
Agua/roca	A/R
Roca/planta	R/P

Leyenda de tipos de sustrato:

△ = Roca

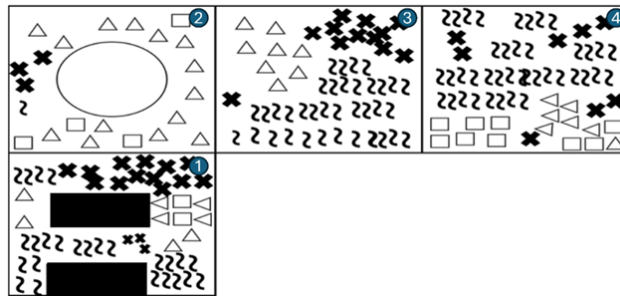
✕ = planta

~ = Tierra

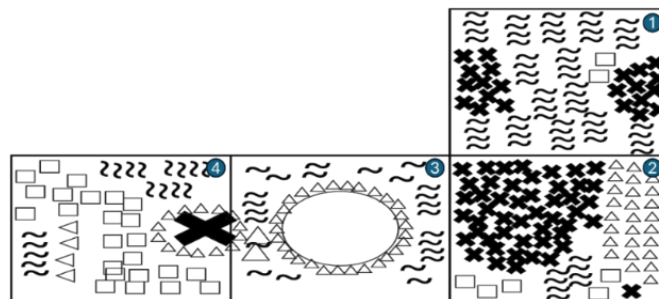
□ = Tierra roca

○ = Cuerpo de agua

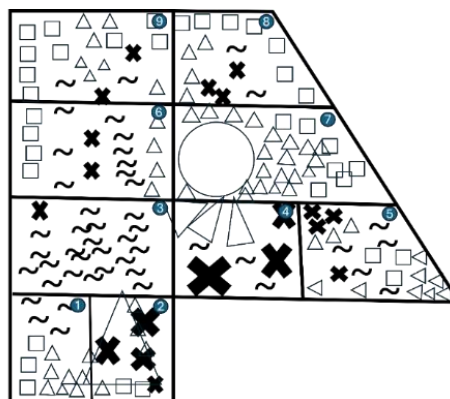
— = Estructuras de cemento

Figura 2.2*Representación del recinto 1.*

Nota. Recinto 1 dividido en 4 sectores, hábitat donde residen tortugas de la especie *C. darwini*.

Figura 2.3*Representación del recinto 2.*

Nota. Recinto 2 dividido en 4 sectores, hábitat donde residen tortugas de la especie *C. niger*.

Figura 2.4*Representación del recinto 3.*

Nota. Recinto 3 dividido en 9 sectores, hábitat donde residen tortugas de las especies *C. hoodensis* y *C. donfaustoi*.

2.2 Fase preliminar

Previo al muestreo sistemático, se realizó una fase exploratoria mediante muestreo ad libitum (Altmann, 1974) durante 15 días consecutivos, en un horario comprendido entre las 08:00 y las 17:00 horas. El objetivo de esta fase fue identificar los periodos de mayor actividad de las tortugas, información que permitió definir los intervalos horarios para el muestreo siendo 08:00–09:00, 10:00–11:00, 11:00–12:00 y 16:30.

2.3 Horario y esfuerzo de muestreo sistemático

El muestreo sistemático se llevó a cabo entre el 5 y el 28 de noviembre de 2025, periodo que coincide con la estación fría seca del archipiélago. Se realizaron tres jornadas de observación diarias, con un esfuerzo total de tres horas por día.

Los lunes, miércoles y viernes se muestrearon simultáneamente los tres recintos en el horario de 11:00 a 12:00. En cada recinto se observó un sector durante intervalos de 15 minutos, registrando un máximo de 10 individuos por sector y por especie. Los martes y jueves, el muestreo se realizó en tres franjas horarias (08:00–09:00, 10:00–11:00 y 11:00–12:00), muestreando un recinto por hora y seleccionando aleatoriamente el orden de los recintos. Adicionalmente, se efectuó un muestreo conjunto de todas las especies a las 16:30.

En el recinto 3, debido al mayor número de sectores, estos se seleccionaron aleatoriamente, estableciendo como condición obligatoria el muestreo diario del sector 7, único con fuente de agua.

2.4 Especies estudiadas y condiciones de manejo

En el Centro de Crianza Fausto Llerena se encuentran cuatro especies de tortugas gigantes: *Chelonoidis darwini* (isla Santiago), *Chelonoidis niger* (individuos híbridos originarios de Floreana), *Chelonoidis hoodensis* (isla Española) y *Chelonoidis donfaustoi*

(sector oriental de Santa Cruz). Las tortugas estudiadas en los recintos presentan una edad aproximada de entre 5 a 7 años, las cuales se encuentran en una fase cercana a la repatriación.

Para el estudio, el recinto 1 albergó individuos de *C. darwini* (caparazón tipo domo), el recinto 2 a *C. niger* (caparazón tipo montura), y el recinto 3 a *C. hoodensis* (caparazón tipo domo) y *C. donfaustoi*. (caparazón tipo domo).

Las actividades de manejo (alimentación, limpieza y medición) influyeron en los horarios de muestreo, provocando una habituación de las tortugas por lo que el observador permaneció en un punto fijo durante aproximadamente 20 minutos antes de iniciar cada registro, permitiendo que las tortugas retomaran sus patrones de comportamiento habituales. La alimentación se realizó los lunes, miércoles y viernes entre las 08:00 y las 10:00, por lo que en estos días se esperó entre una y dos horas antes de iniciar el muestreo. La dieta estuvo compuesta por porotillo (*Erythrina smithiana*) y otoy (*Xanthosoma sagittifolium*). El suministro de agua se realizó cinco días a la semana, suspendiéndose durante dos días con el fin de simular condiciones naturales.

2.5 Registro del comportamiento

Los comportamientos registrados se basaron en la síntesis propuesta por (Buteler, 2017), que retoma los planteamientos de Lovich (1990), Niblick et al. (1994) y Schneider et al. (2010). Durante la fase ad libitum se realizaron ajustes a esta clasificación: el comportamiento de cópula fue excluido debido a que las tortugas de las Galápagos alcanzan la madurez sexual entre los 15 y 20 años (Molina-Moctezuma et al., 2021), y se incorporó el comportamiento de escalar, observado de manera recurrente durante el estudio, La clasificación final de los comportamientos registrados, junto con sus códigos y descripciones, se presenta en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2*Comportamientos de las tortugas terrestres de las Galápagos.*

Código	Comportamiento	Descripción
D	Descanso	Animal inmóvil, sin actividad aparente
R	Refugio	Dentro de cueva/refugio
A	Alerta	Cabeza erguida, observando entorno
Ll	Locomoción lenta	Camina lentamente
Ln	Locomoción normal	Camina a velocidad moderada
C	Correr	Movimiento rápido
Al	Alimentación	Comiendo alimento sólido
B	Bebiendo	Ingiere agua
Ag	Agonismo	Interacciones agresivas
E	Escalar	Acción de escalar/trepar
Ca	Cavar	Excava con patas delanteras/traseras

Con el fin de simplificar el análisis y facilitar la interpretación ecológica de los datos, los comportamientos registrados fueron agrupados en categorías funcionales como se observa en tabla 3, las cuales integran conductas con funciones biológicas similares. Esta clasificación permitió reducir la complejidad de la etograma original y analizar patrones generales de actividad, termorregulación y uso del hábitat, siguiendo criterios etológicos previamente aplicados en estudios con quelonios y reptiles terrestres.

Tabla 2.3

Agrupación de comportamientos en categorías funcionales para el análisis etológico en Chelonoidis spp.

Categoría funcional	Comportamientos incluidos
Reposo / Inactividad	Descanso (D), Refugio (R)
Vigilancia	Alerta (A)
Locomoción	Locomoción lenta (Ll), Locomoción normal (Ln), Correr (C)
Alimentación / Hidratación	Alimentación (Al), Bebiendo (B)
Uso del hábitat	Escalar (E), Cavar (Ca)
Interacciones	Agonismo (Ag)

2.6 Variables ambientales y sustrato

De manera paralela a las observaciones etológicas, se registraron variables ambientales usando un multiparámetro digital, incluyendo la temperatura ambiental (°C) y la humedad relativa (%). Asimismo, se consignó la condición climática presente durante el muestreo, clasificada como soleado, nublado, lluvioso o soleado/nublado, así como la exposición de los individuos a luz directa o indirecta.

2.7 Análisis de datos

Los datos etológicos y ambientales obtenidos durante el muestreo fueron organizados en una base de datos estructurada que incluyó información sobre especie, recinto, sector, hora, temperatura, humedad, condición climática, exposición a la luz, tipo de sustrato y comportamiento observado.

Los comportamientos registrados fueron agrupados en categorías funcionales con el fin de simplificar el análisis y facilitar su interpretación ecológica. Posteriormente, se realizó un análisis descriptivo de las frecuencias relativas de estas categorías por especie y en función de las variables ambientales, apoyado mediante representaciones gráficas.

Para evaluar la relación entre el comportamiento y las variables ambientales, se aplicaron análisis de asociación mediante tablas de contingencia, tanto a nivel global como por especie. Adicionalmente, se emplearon modelos de regresión multinomial para analizar el efecto conjunto de las variables ambientales y de la especie sobre la categoría funcional del comportamiento y el tipo de sustrato, utilizando el comportamiento de reposo/inactividad como categoría de referencia. Asimismo, la exposición a la luz directa fue evaluada mediante un modelo de regresión logística binaria.

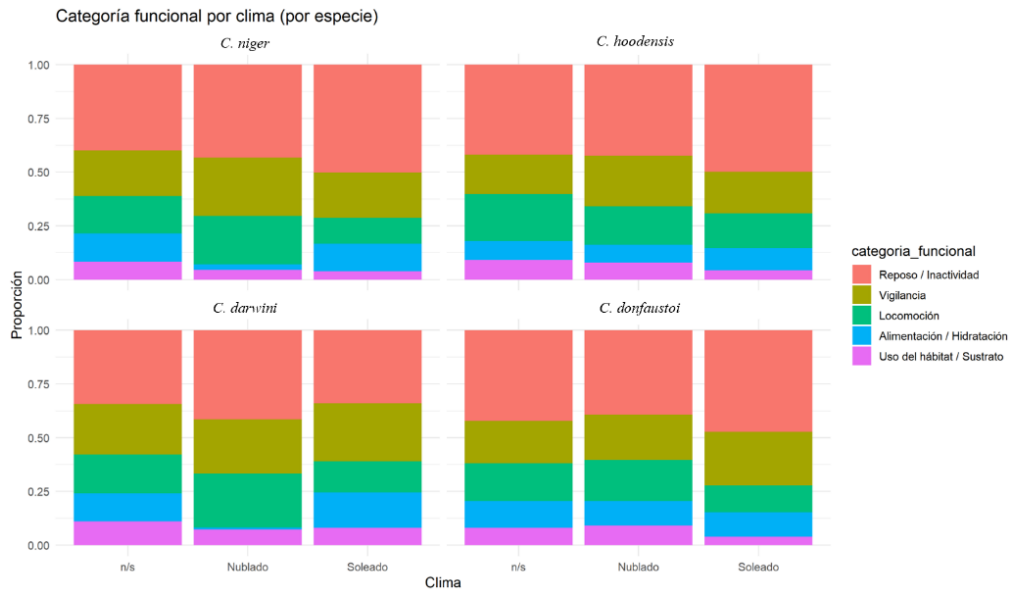
Todos Los análisis se realizaron en el entorno R, empleando los paquetes nnet para modelos multinomiales y stats para regresión logística, garantizando un análisis reproducible y transparente.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

Figura 3.1

Distribución de las categorías funcionales de comportamiento.

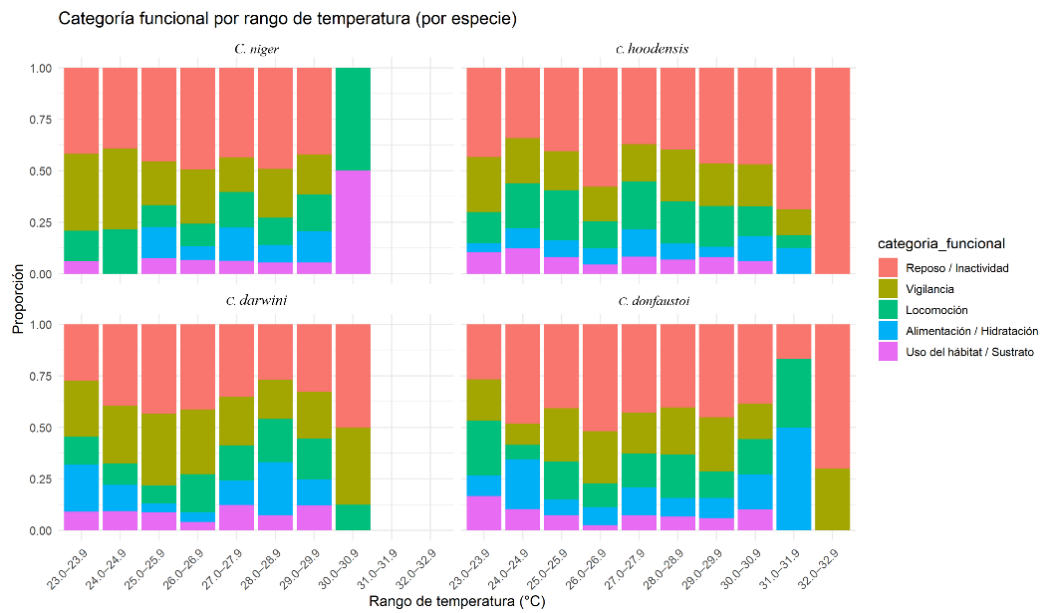


Nota. La distribución es en función de la condición climática para cada especie de *Chelonoidis spp.*

La Figura 3.1 muestra la proporción relativa de registros conductuales por categoría funcional eje Y en función de la condición climática eje X, separada por especie. En todas las especies predomina el reposo/inactividad, especialmente bajo condiciones soleadas, donde alcanza aproximadamente entre el 40% y 60% de los registros, mientras que bajo climas nublados aumenta proporcionalmente la locomoción y la vigilancia, sobre todo en *C. darvini* y *C. hoodensis*. La asociación entre categoría funcional y condición climática fue estadísticamente significativa χ^2 global, $p < 0.05$, y los modelos evidencian efectos diferenciales del clima sobre la probabilidad de comportamientos activos, con intervalos de confianza al 95% que no incluyen el valor nulo para varias categorías.

Figura 3.2

Distribución de las categorías funcionales de comportamiento.

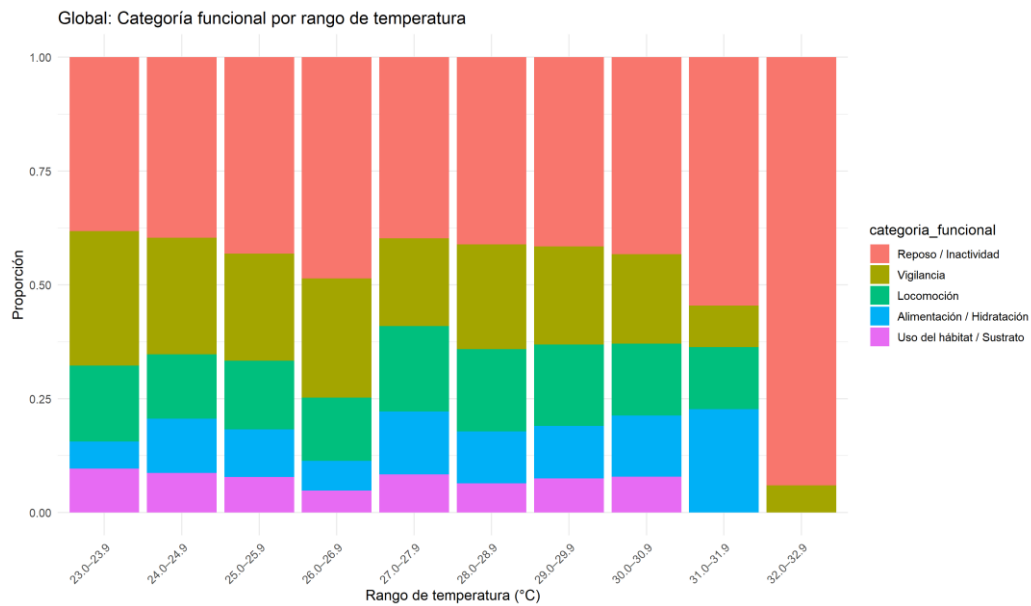


Nota. La distribución es en función del rango de temperatura para cada especie *Chelonoidis spp.*

La Figura 3.2 presenta la proporción de categorías funcionales eje Y a lo largo de distintos rangos de temperatura ambiental eje X para cada especie. En todas ellas se observa un patrón consistente, con máximos de locomoción y alimentación/hidratación en rangos térmicos intermedios $\approx 25\text{--}29\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un aumento progresivo del reposo/inactividad a temperaturas superiores a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, donde esta categoría supera el 50% de los registros. El análisis multinomial confirmó una asociación significativa entre temperatura y categoría funcional con un $p < 0.01$, mostrando una reducción estadísticamente significativa en la probabilidad de conductas activas a temperaturas elevadas IC 95%.

Figura 3.3

Distribución global de las categorías funcionales de comportamiento.

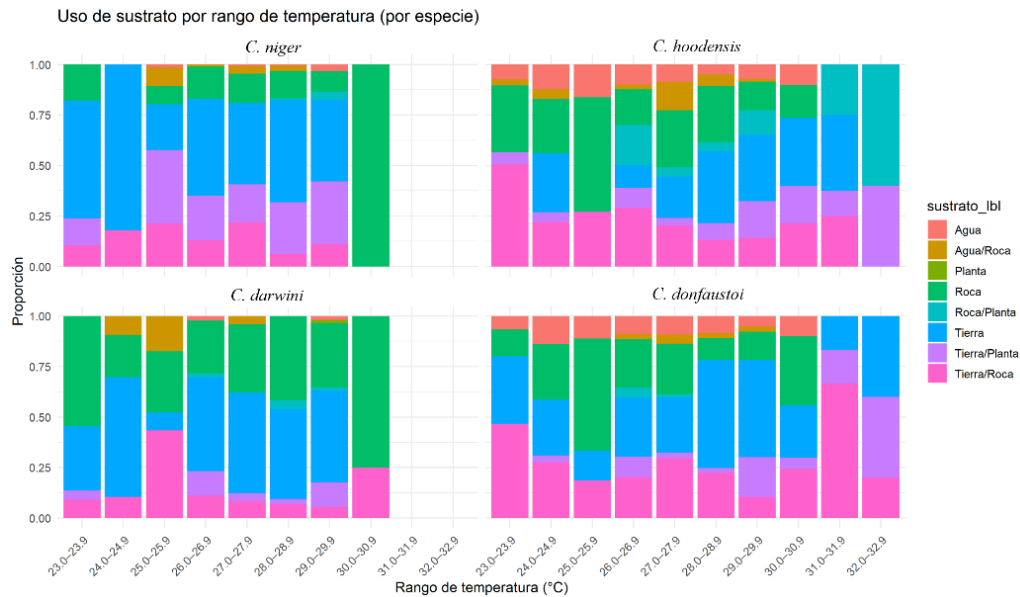


Nota. Distribución global en función del rango de temperatura.

La Figura 3.3 integra todas las especies y muestra la proporción global de categorías funcionales eje Y en relación con los rangos de temperatura eje X. A nivel global, el reposo/inactividad representa aproximadamente entre el 30% y 45% del presupuesto conductual en rangos térmicos bajos a intermedios, incrementándose abruptamente por encima de los 30 °C, donde supera el 60%, mientras que la locomoción disminuye de forma inversa. La temperatura fue identificada como el principal predictor conductual con un $p < 0.001$, con un buen ajuste del modelo pseudo- $R^2 > 0.25$, indicando que el patrón observado no responde a variación aleatoria.

Figura 3.4

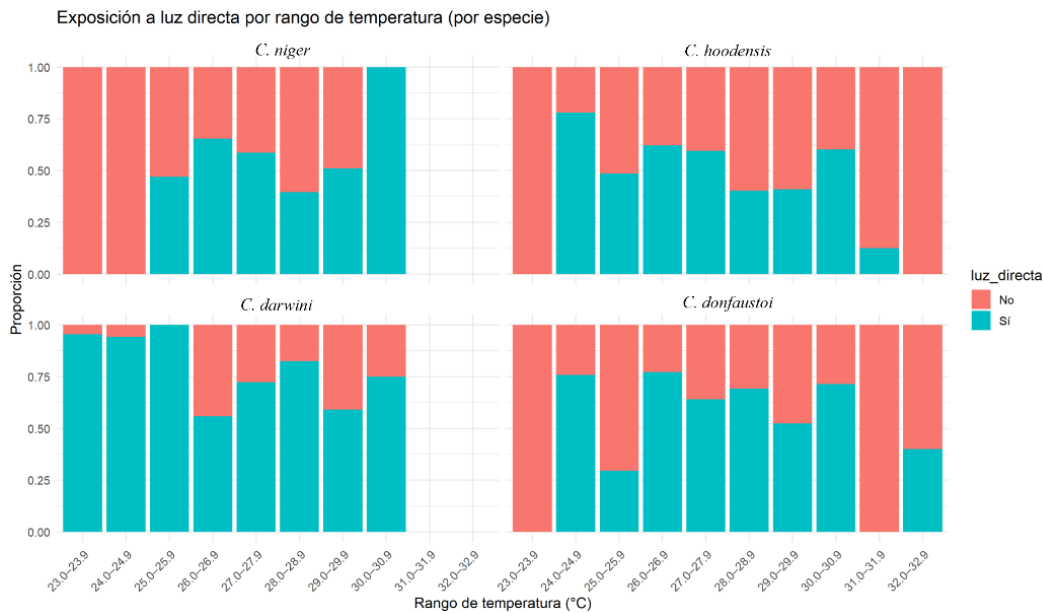
Uso de sustrato en función del rango de temperatura para cada especie de Chelonoidis spp.



La Figura 3.4 muestra la proporción de uso de sustrato eje Y en función de los rangos de temperatura ambiental eje X para cada especie. En todas ellas predominan los sustratos de tierra y las combinaciones tierra/roca, observándose a temperaturas más elevadas un mayor uso de sustratos estables y de menor exposición, mientras que el uso de agua y roca es marginal y restringido a rangos térmicos específicos. Los modelos multinomiales evidenciaron una asociación significativa entre temperatura y selección de sustrato con un $p < 0.05$, con diferencias interespecíficas confirmadas por intervalos de confianza al 95%.

Figura 3.5

Proporción de exposición a luz directa.



Nota. La proporción es en función del rango de temperatura para cada especie de *Chelonoidis spp.*

La Figura 3.5 presenta la proporción de registros con y sin exposición a luz directa eje Y a lo largo de los rangos de temperatura ambiental eje X para cada especie. En todas ellas se observa una disminución progresiva de la exposición directa al sol conforme aumenta la temperatura, siendo inferior al 25% en rangos superiores a 30 °C, lo que indica una preferencia marcada por sombra o luz indirecta. El modelo logístico mostró un efecto negativo significativo de la temperatura sobre la probabilidad de exposición a luz directa $p < 0.01$, con odds ratios e intervalos de confianza al 95% que respaldan cuantitativamente este patrón.

3.1 Influencia de las variables ambientales sobre el comportamiento diurno

Los resultados obtenidos confirman que el comportamiento diurno de las tortugas gigantes del género *Chelonoidis* en cautiverio está fuertemente modulado por variables ambientales, siendo la temperatura ambiental el principal factor estructurador del presupuesto conductual diario. Si bien variables como la condición climática, la humedad y la exposición a

la luz directa influyen de manera significativa, estas actúan de forma integrada y no independiente, determinando patrones conductuales consistentes entre especies. Esta integración de factores se ve reforzada por los patrones temporales y microambientales detallados en los gráficos del Apéndice A (Gráficos 1, 2 y 3), los cuales muestran cómo la actividad varía de manera coordinada a lo largo del día y bajo distintos niveles de humedad y radiación.

El análisis global evidenció que, a medida que aumenta la temperatura, se produce una reducción progresiva de los comportamientos activos, particularmente la locomoción, junto con un incremento del reposo/inactividad. Este patrón, observado tanto en el análisis global como por especie, se mantiene al considerar los rangos horarios y de humedad (Apéndice A, Gráficos 3 y 4), lo que sugiere que la temperatura actúa como un eje central de regulación conductual, modulando la expresión del repertorio a lo largo del día. Este comportamiento es característico de reptiles ectotermos, los cuales ajustan su nivel de actividad para evitar el sobrecalentamiento y optimizar su balance energético (Huey, 1982; Deveci & Egginton, 2002).

3.2 Efecto de la luz directa y estrategias de termorregulación conductual

Los modelos logísticos aplicados a la exposición a luz directa demostraron que la presencia de individuos bajo radiación solar no ocurre de manera aleatoria, sino que depende significativamente de la temperatura ambiental y de la especie. La disminución de la probabilidad de exposición directa conforme aumenta las temperaturas respalda la interpretación de una selección activa de sombra, ampliamente documentada como estrategia de termorregulación conductual en reptiles terrestres (Angilletta, 2009). Este patrón se observa de manera consistente tanto en los resultados principales como en los análisis por rango horario incluidos en el Apéndice A (Gráfico 7), donde la exposición directa disminuye conforme avanza el día.

Este comportamiento se ve reforzado por el uso concomitante de sustratos más estables térmicamente, como tierra y combinaciones tierra/roca. Los gráficos de uso de sustrato por rango horario y de humedad (Apéndice A, Gráficos 5 y 6) evidencian que la selección de microhábitat acompaña la reducción de la actividad y la evasión de la radiación directa, lo que indica que la termorregulación conductual involucra un conjunto integrado de decisiones espaciales, más allá de una respuesta aislada a la luz.

3.3 Diferencias interespecíficas en la respuesta conductual

A pesar de los patrones generales compartidos, los resultados revelan diferencias interespecíficas claras en la forma en que cada especie ajusta su comportamiento frente a las condiciones ambientales, diferencias que se mantienen al analizar los datos en escalas temporales y microambientales más finas (Apéndice A, Gráficos 2–7).

3.3.1 *Chelonoidis darwini*

C. darwini presentó una mayor probabilidad relativa de comportamientos activos, incluso en rangos térmicos intermedios-altos. Este patrón se mantiene a lo largo de distintos rangos horarios y de humedad (Apéndice A, Gráficos 3 y 4), lo que sugiere una mayor plasticidad conductual. Esta flexibilidad podría estar relacionada con el origen de la especie en la Isla Santiago, caracterizada por una marcada heterogeneidad ambiental y topográfica, favoreciendo estrategias orientadas a la exploración y al uso variable del hábitat.

3.3.2 *Chelonoidis niger* (híbrido)

En *C. niger* se observó una mayor asociación con comportamientos de reposo/inactividad, especialmente bajo condiciones de alta temperatura y mayor radiación solar. Los análisis complementarios por rango horario (Apéndice A, Gráfico 1) refuerzan este patrón, mostrando una reducción temprana de la actividad conforme avanzan las horas del día. Este comportamiento conservador es coherente con estrategias adaptativas propias de

ambientes áridos, donde la minimización del gasto energético resulta ventajosa durante periodos térmicamente desfavorables.

3.3.3 *Chelonoidis hoodensis*

C. hoodensis mostró una marcada sensibilidad a la condición climática, con mayor actividad bajo climas nublados y una reducción significativa de la locomoción bajo climas soleados. Esta respuesta se ve reforzada por los patrones de exposición a luz directa por rango horario y térmico (Apéndice A, Gráficos 5 y 6), donde la especie evidencia una evasión consistente de la radiación directa en condiciones cálidas. Este comportamiento es coherente con su origen en la Isla Española, una de las islas más áridas del archipiélago.

3.3.4 *Chelonoidis donfaustoi*

C. donfaustoi presentó los valores más altos de reposo/inactividad y una fuerte asociación con condiciones de luz indirecta y sustratos estables. Los gráficos de uso de sustrato y exposición a luz incluidos en el Apéndice A (Gráficos 3, 4 y 6) refuerzan este patrón, evidenciando una selección consistente de microhábitats que minimizan la exposición térmica. Esta estrategia conservadora es coherente con la variabilidad climática y la disponibilidad de refugios en el sector oriental de la Isla Santa Cruz.

3.4 Uso del sustrato como componente de la respuesta conductual

Los resultados indican que la selección del sustrato forma parte integral de las estrategias de termorregulación conductual. La preferencia general por sustratos de tierra y combinaciones tierra/roca, junto con la reducción en la diversidad de sustratos utilizados a temperaturas elevadas, se mantiene al analizar los datos por rango horario y de humedad (Apéndice A, Gráficos 5 y 6), lo que sugiere que el uso del sustrato responde principalmente a condiciones térmicas y micro ambientales, más que a una preferencia estructural fija.

En conjunto, estos resultados refuerzan la interpretación de que las tortugas ajustan dinámicamente su uso del espacio y su repertorio conductual para minimizar el estrés térmico, integrando variables ambientales, selección de microhábitat y actividad diaria en una respuesta conductual coordinada.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

El comportamiento diurno de las tortugas gigantes del género *Chelonoidis* en cautiverio se encuentra fuertemente influenciado por variables ambientales, siendo la temperatura y la exposición a la luz directa los principales factores que estructuran la alternancia entre estados activos e inactivos.

En todas las especies estudiadas se observó un incremento de la locomoción en rangos térmicos intermedios y un predominio del reposo/inactividad a temperaturas elevadas, lo que evidencia la presencia de mecanismos de termorregulación conductual, característicos de reptiles ectotermos.

Se identificaron diferencias interespecíficas claras en los patrones conductuales. *Chelonoidis darwini* presentó mayor plasticidad y actividad, mientras que *C. niger* y *C. donfaustoi* mostraron comportamientos más conservadores, con alta proporción de reposo y preferencia por sombra. *C. hoodensis* evidenció una marcada sensibilidad a la radiación solar.

Los análisis estadísticos realizados en R confirmaron que las asociaciones observadas entre comportamiento, clima, temperatura, luz y sustrato no son aleatorias, respaldando cuantitativamente los patrones detectados mediante el análisis gráfico.

A pesar de que todas las especies provienen de islas con historias ambientales distintas, los recintos evaluados presentan condiciones predominantemente áridas, similares entre sí, lo que podría estar influyendo en la homogeneización parcial de los comportamientos observados en cautiverio.

Los resultados sugieren que el comportamiento expresado en cautiverio refleja tanto adaptaciones ecológicas asociadas al origen insular, como respuestas conductuales al ambiente actual de los recintos, lo que resalta la importancia de considerar el contexto ambiental del manejo *ex situ*.

4.1.2 Recomendaciones

Recomendaciones para el manejo y cuidado en el Centro de Crianza

1. Incrementar la heterogeneidad ambiental de los recintos, incorporando gradientes de sombra, variación de sustratos y microrefugios, con el fin de permitir una mayor expresión de comportamientos naturales y facilitar la termorregulación conductual.
2. Optimizar la disponibilidad de sombra natural o artificial, especialmente durante las horas de mayor radiación solar, dado que todas las especies mostraron una clara evasión de la luz directa a temperaturas elevadas.
3. Mantener sectores con distintos tipos de sustrato (tierra, roca y combinaciones), ya que el uso del sustrato se asoció a condiciones térmicas y al comportamiento, formando parte de la estrategia de regulación ambiental de las tortugas.
4. Considerar la diferenciación de recintos o sectores por especie, evitando el manejo uniforme, ya que las respuestas conductuales observadas indican necesidades ecológicas distintas.

Recomendaciones para futuras repatriaciones (por especie)

Chelonoidis darwini (origen isla Santiago)

- Priorizar zonas de repatriación con heterogeneidad ambiental, presencia de gradientes altitudinales o microclimas variables.
- Favorecer áreas que permitan exploración y desplazamiento, acordes con su mayor plasticidad conductual.

Chelonoidis niger (híbridos de isla Floreana)

- Repatriar en ambientes áridos o semiáridos, con disponibilidad de sombra natural.

- Evitar zonas con alta exposición térmica continua sin refugios, dado su comportamiento conservador y su alta proporción de reposo bajo calor intenso.

Chelonoidis hoodensis (origen isla Española)

- Seleccionar áreas áridas, pero con refugios naturales (vegetación, rocas, irregularidades del terreno).
- Considerar periodos de liberación en épocas de menor radiación solar, debido a su sensibilidad a la exposición directa.

Chelonoidis donfaustoi (origen isla Santa Cruz oriental)

- Evaluar cuidadosamente la repatriación a zonas que incluyan microhábitats sombreados y refugios térmicos, incluso dentro de ambientes secos.
- Dado su patrón altamente conservador, se recomienda un seguimiento post-liberación más prolongado para evaluar su adaptación.

Recomendación general de conservación

Dado que los recintos del Centro de Crianza presentan condiciones predominantemente áridas, similares a islas secas del archipiélago, se recomienda ajustar las estrategias de manejo y preadaptación de acuerdo con la isla de destino de cada especie, evitando enfoques generalizados. La incorporación de criterios etológicos basados en el comportamiento observado permitirá mejorar el bienestar en cautiverio y aumentar la probabilidad de éxito en futuras repatriaciones.

Referencias

- Altmann, J. (1974). Observational Study of Behavior: Sampling Methods. *Behaviour*, 49(3–4), 227–266. <https://doi.org/10.1163/156853974X00534>
- Angilletta, M. J. (2009). *Thermal adaptation: A theoretical and empirical synthesis*. Oxford University Press.
- Bonin F, Devaux B, & Dupré A. (2006). Turtles of the world. *Johns Hopkins University Press*.
- Burghardt, G. M. (2013). Environmental enrichment and cognitive complexity in reptiles and amphibians: Concepts, review, and implications for captive populations. *Applied Animal Behaviour Science*, 147(3–4), 286–298. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.04.013>
- Buteler, C. (2017). *Comportamiento y uso del espacio en condiciones de cautiverio de la tortuga terrestre (Chelonoidis chilensis)*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Bykova, O., Chuine, I., Morin, X., & Higgins, S. I. (2012). Temperature dependence of the reproduction niche and its relevance for plant species distributions. *Journal of Biogeography*, 39(12), 2191–2200. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2012.02764.x>
- Caccone, A., Gibbs, J. P., Ketmaier, V., Suatoni, E., & Powell, J. R. (1999). Origin and evolutionary relationships of giant Galápagos tortoises. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(23), 13223–13228. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.23.13223>

- Cayot, L. J. (1987). Ecology of giant tortoises in the Galápagos Islands. *Biological Journal of the Linnean Society*, *21*, 193–206.
- Ciofi, C., Milinkovitch, M. C., Gibbs, J. P., Caccone, A., & Powell, J. R. (2002). Microsatellite analysis of genetic divergence. *Molecular Ecology*, *11*, 2265–2283.
- Cruz Márquez, C. (2019). *Misceláneas: la tortuga terrestre gigante de Galápagos*. Ecuador.
- Darwin, C. (1839). Journal of researches into the geology and natural history of the voyage of the Beagle. *Journal of Researches* .
- Deveci, D., & Egginton, S. (2002). The effects of reduced temperature and photoperiod on body composition in hibernator and non-hibernator rodents. *Journal of Thermal Biology*, *27*(6), 467–478. [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(02\)00019-0](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(02)00019-0)
- Edwards, D. L., Benavides, E., Garrick, R. C., Gibbs, J. P., Russello, M. A., Dion, K. B., Hyseni, C., Flanagan, J. P., Tapia, W., & Caccone, A. (2013). The genetic legacy of Lonesome George survives: Giant tortoises with Pinta Island ancestry identified in Galápagos. *Biological Conservation*, *157*, 225–228. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.10.014>
- Galapagos Conservancy. (n.d.). *Biodiversity*.
- Gibbs, J. P., Sterling, E. J., & Zabala, F. J. (2010). Giant Tortoises as Ecological Engineers: A Long-term Quasi-experiment in the Galápagos Islands. *Biotropica*, *42*(2), 208–214. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00552.x>
- Huey, R. B. (1982). Temperature, physiology, and the ecology of reptiles. In C. Gans & F. H. Pough (Eds.). *Biology of the Reptilia*, *12*, 25–91.

- Kwiatkowski, M. A., & Sullivan, B. K. (2002). GEOGRAPHIC VARIATION IN SEXUAL SELECTION AMONG POPULATIONS OF AN IGUANID LIZARD, SAUROMALUS OBESUS (=ATER). *Evolution*, 56(10), 2039–2051. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2002.tb00130.x>
- López-Jurado, L. F., Mateo, J. A., & Geniez, P. (2007). Reintroduction of *Gallotia simonyi machadoi*. *Oryx*, 41(3), 1–8.
- Lovich, J. E. (1990). Gaping behavior in basking eastern painted turtles. *Journal of the Pennsylvania Academy of Science.*, 64(2), 78–80.
- Márquez Baltán, C., Cayot, L., & Rea, S. (1999). *La crianza de tortugas gigantes en cautiverio: Un manual operativo*. Fundación Charles Darwin Para Las Islas Galápagos.
- Márquez, C., Wiedenfeld, D., Snell, H., Fritts, T., MacFarland, C., Tapia, W., & Naranjo, S. (2016). ESTADO ACTUAL DE LAS POBLACIONES DE TORTUGAS TERRESTRES GIGANTES (*Geochelone* spp., Chelonia: Testudinae) EN LAS ISLAS GALÁPAGOS. *Ecología Aplicada*, 3(1–2), 98. <https://doi.org/10.21704/rea.v3i1-2.277>
- Martín, J., López, P., & Salvador, A. (2000). Effects of captivity on morphology and behavior. *Biological Conservation*, 94(2), 189–198.
- Molina-Moctezuma, A., Ellis, E., Kapuscinski, K. L., Roseman, E. F., Heatlie, T., & Moerke, A. (2021). Restoration of rapids habitat in a Great Lakes connecting channel, the St. Marys River, Michigan. *Restoration Ecology*, 29(1). <https://doi.org/10.1111/rec.13310>

- Niblick, H. A., Rostal, D. C., & Classen, T. (1994). Role of Male-Male Interactions and Female Choice in the Mating System of the Desert Tortoise, *Gopherus agassizii*. *Herpetological Monographs*, 8, 124. <https://doi.org/10.2307/1467076>
- Sanmartin Costa, P. A., & Jumbo Jimbo, D. A. (2024). *Análisis de las condiciones de manejo bajo cuidado humano de la tortuga gigante Chelonoidis donfaustoi en el centro de crianza "Fausto Llerena" Santa Cruz-Galápagos.*
- Schneider, L., Ferrara, C., & Vogt, R. C. (2010). Description of behavioral patterns of *Podocnemis erythrocephala* (Spix, 1824) (Testudines: Podocnemididae) (Red-headed river turtle) in captivity, Manaus, Amazonas, Brazil. *Acta Amazonica*, 40(4), 763–770.
- Townsend, C. H. (1925). The Galápagos tortoises and the whaling industry. *New York Zoological Society*.

Apéndice A

Gráfico 1. Distribución de las categorías funcionales de comportamiento en función del rango horario para cada especie de *Chelonoidis* spp.

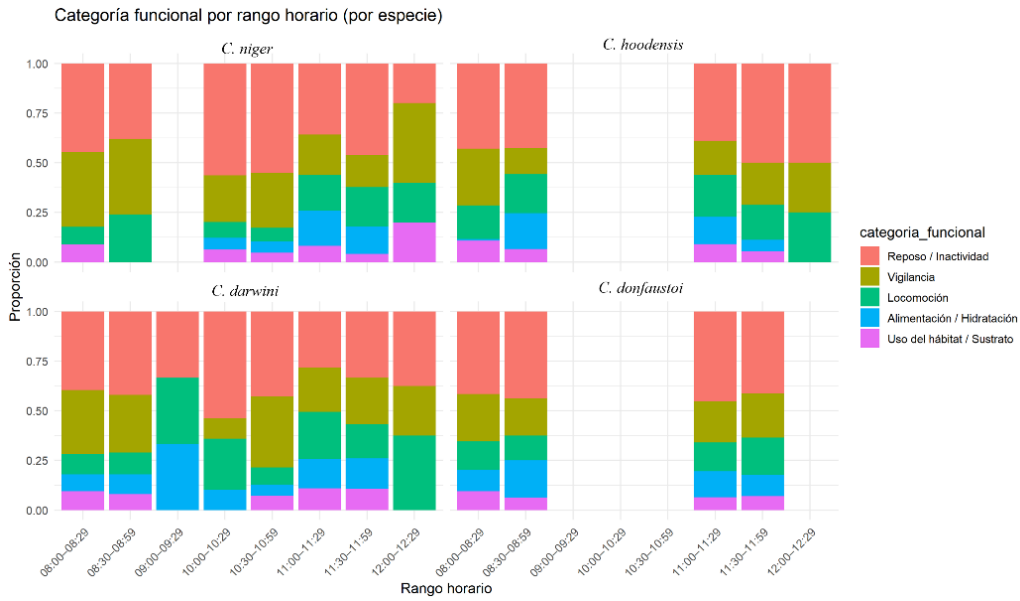


Gráfico 2. Distribución de las categorías funcionales de comportamiento en función del rango de humedad para cada especie de *Chelonoidis* spp.

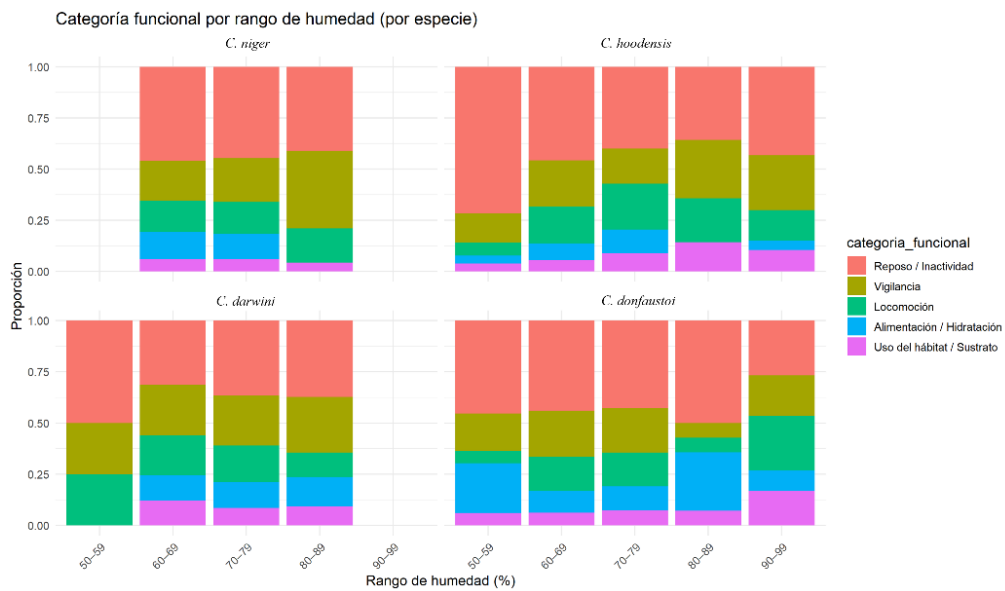


Gráfico 3 Distribución del uso de sustrato en función del rango horario para cada especie de *Chelonoidis* spp.

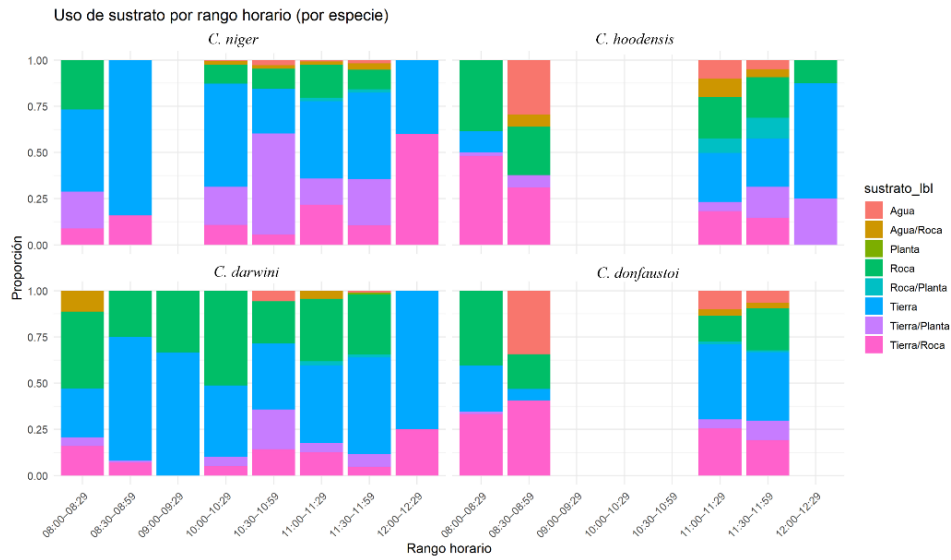


Gráfico 4. Distribución del uso de sustrato en función del rango de humedad para cada especie de *Chelonoidis* spp.

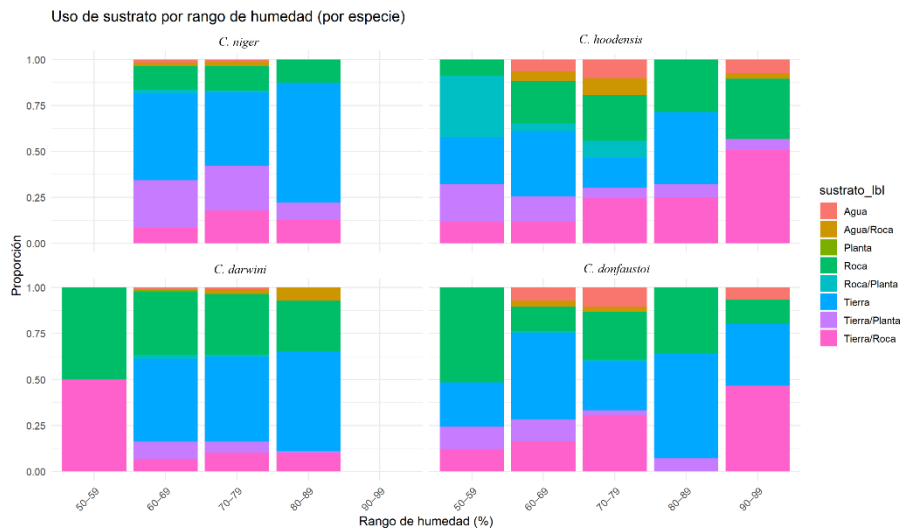


Gráfico 5. Proporción de exposición a luz directa en función del rango horario para cada especie de *Chelonoidis spp.*

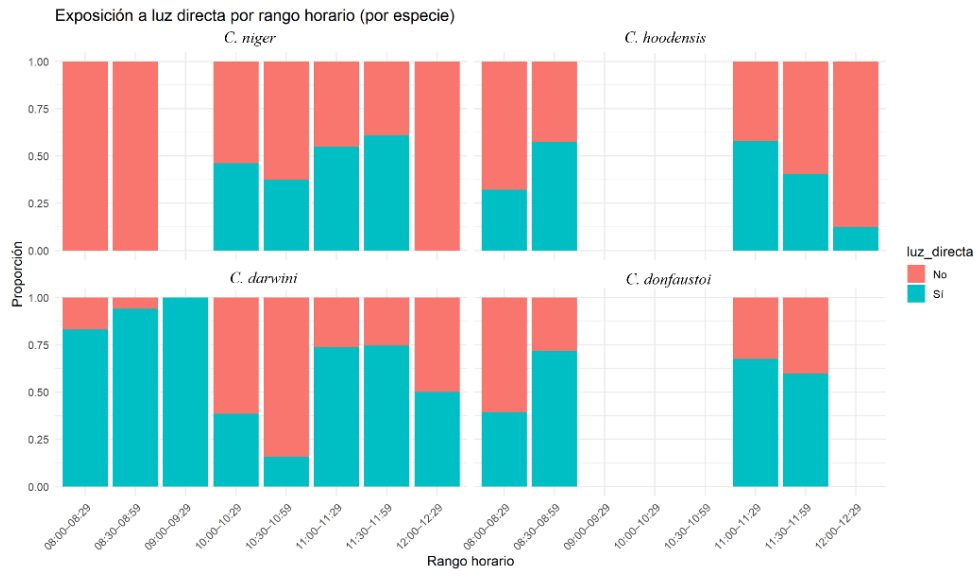


Gráfico 6. Proporción de exposición a luz directa en función del rango de temperatura para cada especie de *Chelonoidis spp.*

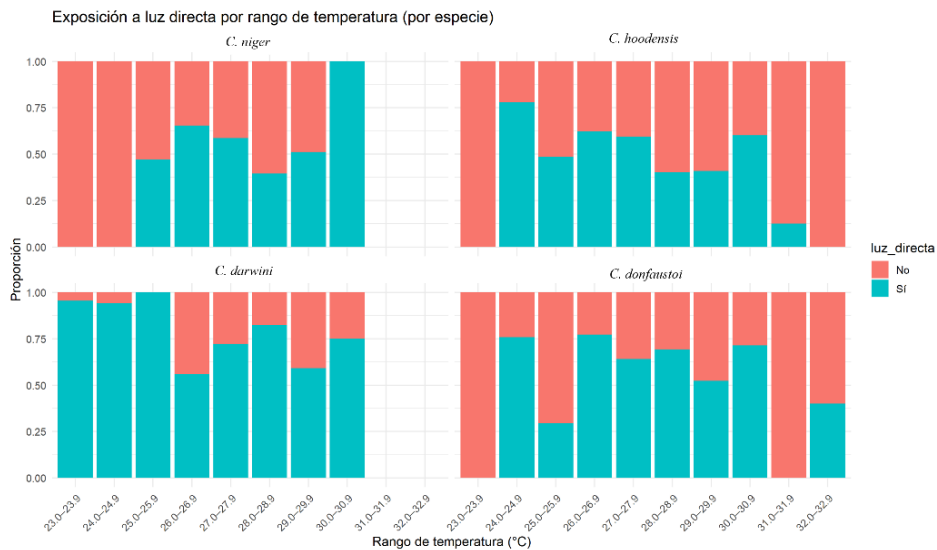


Gráfico 7. Uso de sustrato (%) registrado a las 16:30 en cuatro especies de tortugas gigantes del género *Chelonoidis*. Durante este bloque horario, y pese a la disponibilidad de múltiples sustratos en los recintos, el

100% de los registros correspondió a individuos ubicados sobre sustrato tierra, lo que indica una selección activa de microhábitat bajo condiciones de baja actividad.

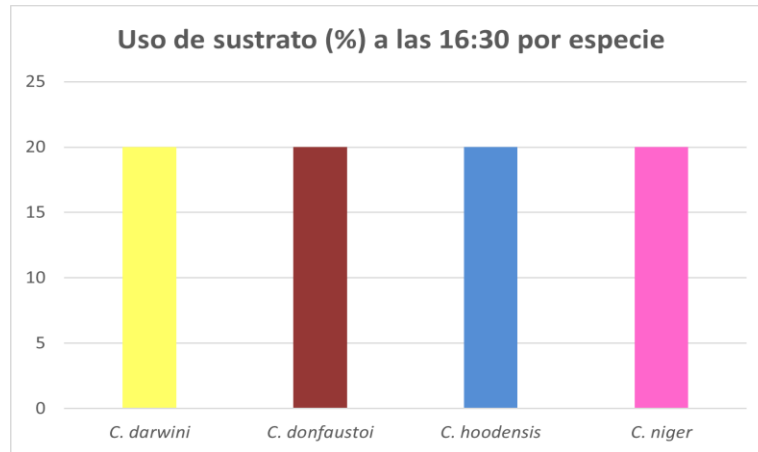


Gráfico 8. Presencia (%) de los comportamientos descanso (D) y cavar (Ca) registrados a las 16:30 en cuatro especies de tortugas gigantes del género *Chelonoidis*. Durante este bloque horario, y pese a la disponibilidad de múltiples sustratos en los recintos, el 100% de los registros correspondió a individuos ubicados sobre sustrato tierra, observándose exclusivamente los comportamientos descanso y cavar.

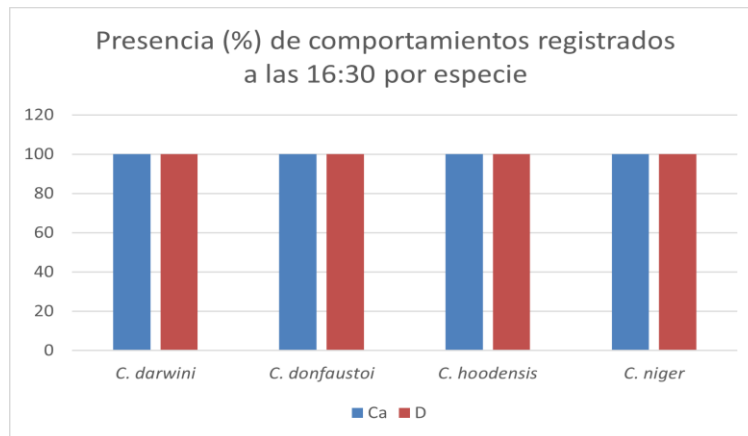


Gráfico 9. Vista general y sectorización del recinto 1 correspondiente a *Chelonoidis darwini* en el Centro de Crianza Fausto Llerena.



Gráfico 10. Vista general y sectorización del recinto 2 correspondiente a *Chelonoidis niger* en el Centro de Crianza Fausto Llerena.



Gráfico 11. Vista general y sectorización del recinto 3 correspondiente a *Chelonoidis hoodensis* y *Chelonoidis donfaustoi* en el Centro de Crianza Fausto Llerena.

