

Estudio de la morfología de tortugas moras (*Testudo graeca*) procedentes de cautividad



Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencias Ambientales 2022/2023

Autor: Francisco José Sánchez Ferrández

Tutora: Eva Graciá Martínez

Cotutor externo: Roberto Carlos Rodríguez Caro

CÓDIGO COIR: TFG.GCA.EGM.FJSF.230217

Facultad de Ciencias Experimentales

Departamento de Biología Aplicada. Área de Ecología



Agradecimientos

A toda el área de ecología que me ha hecho interesarme desde el primer día en esta rama de Ciencias Ambientales. En especial a Eva y a Roberto por su cercanía, gracias por acogerme y ayudarme a realizar este trabajo de investigación pese a la gran cantidad de proyectos y reuniones que tenéis siempre.

Al Río Safari Elche, por dejarnos tomar medidas de las tortugas moras y por su trato con nosotros, fue fundamental la toma de nuevos datos en cautiverio para el estudio.

A Mario y Vico por acompañarme en mi etapa universitaria y hacerla más llevadera con sus risas y momentos.

A Nicol, por ser una gran delegada y un pilar fundamental cuando la he necesitado.

A mis padres por su ilusión y su esfuerzo en que su hijo tenga una carrera, mis logros son los vuestros y espero que estéis orgullosos de mí.

Quiero terminar agradeciéndole a mi abuelo llevarme a la sierra y a su campo cuando era pequeño, porque mi pasión por la naturaleza comenzó gracias a él, allá donde estés siempre serás mi ejemplo a seguir.

RESUMEN

Como consecuencia de la actividad antrópica, la supervivencia de los quelonios se ha visto en grave peligro en las últimas décadas. La tortuga mora (*Testudo graeca*) es un ejemplo de ello, siendo una de sus principales amenazas su consideración como animal doméstico. Esta percepción ha conllevado sueltas de tortugas procedentes de cautividad por parte de particulares y por la administración (refuerzos poblacionales) en las poblaciones silvestres, afectando su singularidad genética y, pudiendo conllevar la introducción enfermedades y parásitos. La conservación de la especie en el medio silvestre requiere de una gestión correcta, que evite las sueltas de ejemplares domésticos en las poblaciones silvestres, y la reversión de estas prácticas en la medida de lo posible. El objetivo de este estudio es evaluar si la morfología de las tortugas moras procedentes de cautividad difiere de la de los individuos silvestres, siendo el análisis biométrico una potencial herramienta para la gestión de la especie. Para tal fin se comparó la morfología de tortugas de cautividad frente a la de tortugas silvestres del Sureste Ibérico utilizando estadística descriptiva y multivariante. Los resultados evidenciaron dimorfismo sexual tanto en tortugas silvestres como cautivas. Aunque los machos en cautividad alcanzan mayores tamaños, la variabilidad morfológica de las tortugas cautivas es elevada, resultando que la mayoría no son distinguibles mediante análisis biométricos. Nuestros resultados sugieren que las sueltas son prácticas en gran parte irreversibles, pues la identificación y retirada de individuos procedentes de cautividad no siempre será posible en base a la morfología, siendo necesario otras herramientas más costosas como los análisis genéticos.

Palabras Clave: Sureste Ibérico, *Testudo graeca*, dimorfismo sexual de tamaño, biometría, análisis de componentes principales y refuerzos poblacionales.

ABSTRACT

As a consequence of anthropic activity, the survival of chelonians has been seriously threatened in recent decades. The spur-thighed tortoise (*Testudo graeca*) is an example of this, one of the main threats is the consideration as a pet. This perception has led to the release of turtles from captivity by individuals and by the administration (population reinforcements) in wild populations, affecting their genetic singularity and, possibly leading to the introduction of diseases and parasites. The conservation of wild populations require correct management, which avoids the release of domestic specimens, and the reversal of these practices to the extent possible. The objective of this study is to evaluate the differences in morphology of the spur-thighed tortoises between captivity and wild individuals, being the biometric analysis a potential tool for the management of the species. For this purpose, the morphology of captive tortoises was compared with wild tortoises from the Iberian Southeast using descriptive and multivariate statistics. The results showed sexual dimorphism in both wild and captive tortoises. Although captive males reach larger sizes, the morphological variability of captive tortoises is high, and are not distinguishable by biometric analysis. Our results suggest that releases are largely irreversible practices, since the identification and removal of individuals from captivity will not always be possible based on morphology, requiring other more expensive tools such as genetic analysis.

Keywords: Southeast Iberian, *Testudo graeca*, sexual size dimorphism, biometry, principal component analysis and population reinforcements.

ÍNDICE

1. Introducción.....	7
2. Antecedentes.....	11
3. Objetivos	11
4. Materiales y métodos.....	12
4.1 Sistema de estudio.....	12
4.2 Selección de individuos procedentes de cautividad y silvestres.....	15
4.3 Selección de medidas biométricas.....	18
4.4 Análisis estadístico.....	20
5. Resultados	22
6. Discusión.....	28
7. Conclusión y proyección futura	32
8. Bibliografía	33



1. Introducción

Los quelonios se encuentran entre los grupos de animales con peor estado de conservación, con 187 especies amenazadas de las 360 actualmente reconocidas, según la Lista Roja de la UICN (51,9% del total; Stanford *et al.*, 2018, 2020). Dentro de este grupo, las tortugas terrestres (familia Testudinidae) son especialmente vulnerables. De los 10 taxones de quelonios que se han sido extinguido en la reciente historia humana, ocho fueron tortugas terrestres (*Chelonoidis abingdonii*, *C. niger*, *Aldabrachelys gigantea daudinii* y los cinco representantes del género *Cylindraspis*, Stanford *et al.*, 2018). Además, 33 de las 50 especies de tortugas actualmente existentes se categorizan como amenazadas por la UICN, siendo que 18 de ellas están en Peligro Crítico o En peligro (Rhodin *et al.*, 2011, 2018). Estos datos podrían ser incluso más críticos porque el estado de conservación de 21 especies (18 de ellas catalogadas como amenazadas por la UICN) fue evaluado hace más de diez años (Fig. 1) y podría haber empeorado desde entonces (Graciá *et al.*, 2020).

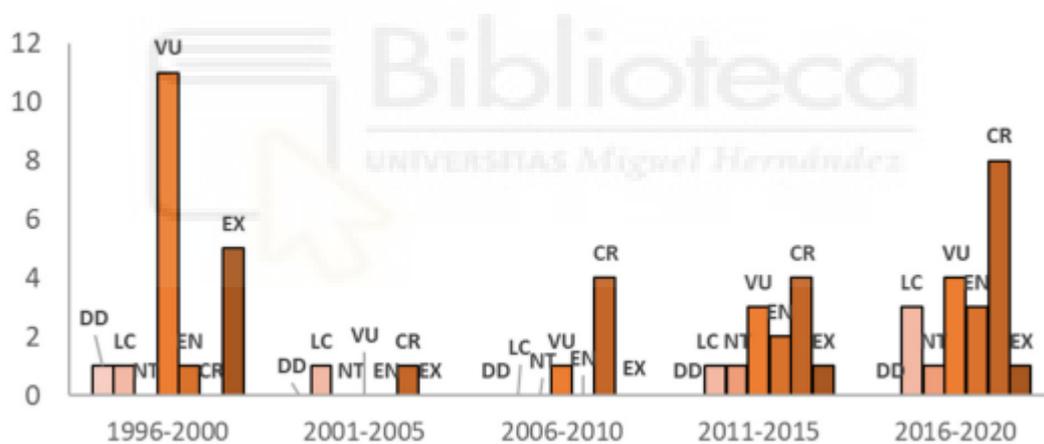


Figura 1. Esquema temporal de las evaluaciones actuales de la Lista Roja de la UICN de las 58 especies de tortugas reconocidas. Se debe tener en cuenta que las evaluaciones de 21 especies existentes se remontan a 2010 o antes. DD: Datos Insuficientes; LC: Preocupación Menor; NT: Casi amenazado; UV: Vulnerable; ES: En peligro; CR: En Peligro Crítico; Ej.: extinguido. Datos de la UICN (2020). Tomado con modificaciones de Graciá *et al.*, 2020.

La desaparición de los quelonios constituye una gran pérdida de diversidad genética y de uno de los grupos más icónicos y de alta diversidad funcional de fauna silvestre (Griffiths *et al.*, 2010). Las poblaciones de tortugas terrestres y galápagos están disminuyendo debido a la degradación del hábitat, el consumo local insostenible y la recolección del comercio internacional de mascotas (Stanford *et al.*, 2020). La degradación del hábitat afecta a la mayoría de las especies de tortugas y cocodrilos, especialmente en América del Norte y Europa (Rodríguez-Caro *et al.*, 2023). El comercio mundial de estas especies es la tercera

amenaza más importante por su diversidad funcional, afectando a las tortugas terrestres y galápagos principalmente por su uso como mascotas (Luiselli *et al.*, 2016; Rodríguez-Caro *et al.*, 2023). El colapso de la población de tortugas ha disminuido significativamente sus funciones ecológicas como especies clave (por ejemplo, como dispersores de semillas y potenciadores de especies germinadoras, también como consumidores, como presas o minadoras de suelo), generando un impacto negativo para los ecosistemas a escala global (Lovich *et al.*, 2018).

Este trabajo se enfoca en un pequeño quelonio terrestre, la tortuga mora (*Testudo graeca*), una especie amenazada en estado silvestre pero ampliamente mantenida en cautividad. La distribución de *Testudo graeca* ocupa parte de tres continentes: África, Europa y Asia (desde el este de Irán hasta la costa atlántica de Marruecos en dirección este-oeste, y desde el delta del Danubio hasta Península Cirenaica de Libia en una dirección norte-sur; Anadón *et al.*, 2012; Graciá *et al.*, 2017a).

Este trabajo se ha realizado en el Sureste Ibérico, donde las distintas poblaciones de tortuga mora se reparten entre las provincias de Murcia y Almería, en sistemas semiáridos litorales y prelitorales (Giménez *et al.*, 2004).

Las poblaciones del Sureste Ibérico constituyen una parte importante del total de las poblaciones del Oeste Europeo. Sobre el origen de esta población, estudios moleculares han permitido datar en aproximadamente 20.000 años el origen de la misma e inferir en la zona de Orán en el norte de Argelia como originaria del linaje ibérico, y la zona que comprende la Cuenca de Vera y las Sierras de Bédar y Cabrera como el área donde probablemente se inició la expansión de la especie en el Sureste Ibérico (Graciá *et al.*, 2011, 2013a, b; Graciá y Giménez, 2015).

Las tortugas moras son especies longevas y necesitan mucho tiempo para alcanzar la madurez sexual, es por ello que son extremadamente vulnerables a la presión humana y sus factores de amenaza, entre algunos de los más importantes están la pérdida y fragmentación de hábitat (Klemens, 2000; Stanford *et al.*, 2020). Especialmente desde las décadas de 1970 y 1980, la expansión de la urbanización y la agricultura intensiva han disminuido de forma importante el hábitat adecuado para estas especies. (Bertolero *et al.*, 2011; Rodríguez-Caro, 2017).

El otro principal factor de amenaza es la consideración de la tortuga mora como animal doméstico o de compañía. La recolección local ha generado importantes alteraciones en su

demografía (Pérez *et al.*, 2004; Segura *et al.*, 2020), disminuyendo sus tamaños poblacionales (Pérez *et al.*, 2011, 2012a; Segura *et al.*, 2020). Además, las prácticas de manejo de la especie, como las introducciones o las translocaciones, ponen en contacto a tortugas silvestres y tortugas cautivas (cuyo origen genético puede ser diverso), y pueden poner en riesgo la persistencia de las poblaciones en el futuro. Aunque en algunos contextos estas prácticas de gestión pueden favorecer a algunas poblaciones, sus posibles riesgos (como la dispersión de enfermedades y parásitos, o la exogamia genética) no han sido suficientemente tenidos en cuenta en el caso de la tortuga mora, y, en el Sureste Ibérico, se han reforzado poblaciones con animales procedentes de cautividad (Pérez *et al.*, 2012a; Chávarri *et al.*, 2012). Recientes estudios indican la importancia y el peligro inminente para las poblaciones silvestres el contacto con individuos domésticos por la propagación de enfermedades o parásitos (Brown, 2020) y la exogamia genética (Graciá *et al.*, 2013, 2017b). La enfermedad que más frecuentemente se detecta en las tortugas moras es la rinitis crónica, aunque se diagnostica principalmente en individuos de cautividad, mientras que se considera poco frecuente en tortugas en libertad (Martínez-Silvestre y Mateu, 1997). Frente a la consideración de animal doméstico, debemos recalcar que las poblaciones silvestres deben ser entendidas como un importante legado biológico y cultural, que evidencian la complejidad de procesos biogeográficos y culturales en el Mediterráneo Occidental y que, por tanto, deben ser preservadas garantizando su viabilidad a largo plazo (Graciá y Giménez, 2015). Se trata de una especie que cumple funciones ecológicas relevantes en los ecosistemas que ocupa, pudiendo destacar su papel como dispersora de semillas en Doñana (Cobo y Andreu, 1988), o como sustento de especies amenazadas como el águila real (*Aquila chrysaetos*) en lugares con escasez de conejos del Sureste Ibérico (*Oryctolagus cuniculus*; Gil-Sánchez *et al.*, 2022).

Sumadas a la pérdida de hábitats y a la tenencia en cautividad, aparecen otras amenazas como son los incendios forestales (p.e, Cheylan 2004; Sanz Aguilar, 2011). La Cuenca Mediterránea está experimentando cambios en el régimen de incendios debido a las tendencias socioeconómicas (por ejemplo, el abandono rural) y el cambio climático, con el consiguiente incremento en la intensidad, extensión y frecuencia de los incendios (p.e, Chergui *et al.*, 2018). Las tortugas son especialmente vulnerables a los incendios de alta intensidad y recurrentes (Graciá *et al.*, 2020). Cabe apuntar que los refuerzos poblacionales con animales domésticos se han llevado a cabo de forma particularmente intensa en poblaciones que han sufrido incendios (datos propios del área de Ecología de la UMH).

Identificar y retirar del medio individuos liberados, procedentes de cautividad, se ha convertido en un reto para la conservación de la tortuga mora en tanto que son transmisoras

Estudio de la morfología de tortugas moras (*Testudo graeca*) procedentes de cautividad

de enfermedades y provocan problemas de exogamia genética. Es por ello que, en este trabajo, se ha estudiado la morfología de tortugas moras en cautividad y se ha comprobado si difiere con los individuos silvestres. Las hipótesis que se plantean son: i) que las tortugas de cautividad presentan patrones morfológicos anormales que pueden permitir su identificación; y, ii) que los patrones anormales afectan a ambos sexos.



2. Antecedentes

El presente Trabajo de Fin de Grado se ha podido llevar a cabo gracias a trabajos previos del Área de Ecología de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

Utilizamos una base de datos con 7.646 individuos muestreados entre los años 2004 y 2019. Esta base de datos incluye información sobre la edad y el sexo de los individuos, la fecha de encuentro, localización, número de marca, observaciones, además de medidas biométricas (detalladas en la sección de Materiales y Métodos) y peso. Esta base de datos incluye también individuos procedentes de cautividad que han sido gestionados por las administraciones con competencias en la conservación de la especie e información de tortugas moras que, a juicio del observador, contaban con signos claros de haber sido mantenidas en cautividad y que en algún momento fueron liberadas en el medio.

Por cuestiones mayormente formativas, a esta base de datos se le añadió la información de 10 individuos en estado de cautividad recogidos en una salida al Río Safari Elche.

3. Objetivos

La finalidad del trabajo consiste en estudiar la morfología de la tortuga mora (*Testudo graeca*) procedente de cautividad y comprobar si presenta diferencias con la de las tortugas silvestres del Sureste Ibérico. En consecuencia, los objetivos específicos del trabajo son:

-Identificar individuos procedentes de cautividad de *Testudo graeca* en la base de datos del Área de Ecología de la Universidad Miguel Hernández.

-Describir la variabilidad y diferenciación de la morfología de las tortugas moras procedentes de cautividad, en comparación con la morfología de tortugas silvestres.

-Describir del dimorfismo sexual en *Testudo graeca*, tanto en ejemplares silvestres como los ejemplares de cautividad.

-Discutir las implicaciones de los resultados obtenidos para la gestión y conservación de la especie.



4. Materiales y métodos

4.1 Sistema de estudio

La tortuga mora, *Testudo graeca* (Linnaeus, 1758), es un pequeño quelonio de tierra que de manera general no supera el kilogramo de peso (Fig. 2). Pertenece al género *Testudo*, y se trata de una de las dos especies pertenecientes a este género que habitan la Península Ibérica (siendo la otra *Testudo hermanni*). *Testudo graeca* presenta un caparazón convexo de color amarillo oliva con manchas negras y piel gruesa, acompañada de resistentes escamas córneas en las extremidades delanteras (Andreu, 1987). El peto es amarillento, con manchas irregulares negras, que en algunos individuos pueden extenderse ampliamente alrededor de las suturas centrales, mientras que en otros forman un diseño estrellado especialmente en las placas ventrales y femorales (Díaz-Paniagua *et al.*, 2009)



Figura 2. Distintos diseños dorsales y ventrales de *Testudo graeca* de Doñana. (Andreu y Portheault, 2009).

De las 10 subespecies catalogadas, en la península ibérica únicamente se encuentra *Testudo graeca whitei* (Linnaeus, 1758; nomenclatura, recientemente modificada por el *Turtle Taxonomy Working Group*, 2021). En España, *Testudo graeca* se halla presente en la península ibérica (en Doñana y en el sureste, entre las provincias de Murcia y Almería) y en las Islas Baleares.

En las Islas Baleares, en la actualidad se halla únicamente presente en Mallorca (Graciá y Giménez 2015), entre los municipios de Andratx, Puigpunyent, Palma de Mallorca y Calvià, pero ha sido recientemente reintroducida en Formentera (Fig. 3), que al igual que en Ibiza se consideraba extinguida (Mayol, 2003).

En el Parque Nacional de Doñana, Huelva (Fig 3.), se estima una población de una decena de miles de tortugas, cuyo núcleo principal se encuentra en el sector central de la Vera, el ecotono húmedo entre las arenas y la marisma, y los alrededores de las lagunas peridunares. Además, presenta pequeños núcleos de población dispersos entre las dunas, en pequeños valles interdunares en el sur del Parque Nacional (López-Jurado *et al.*, 1979; Andreu *et al.*, 2000).

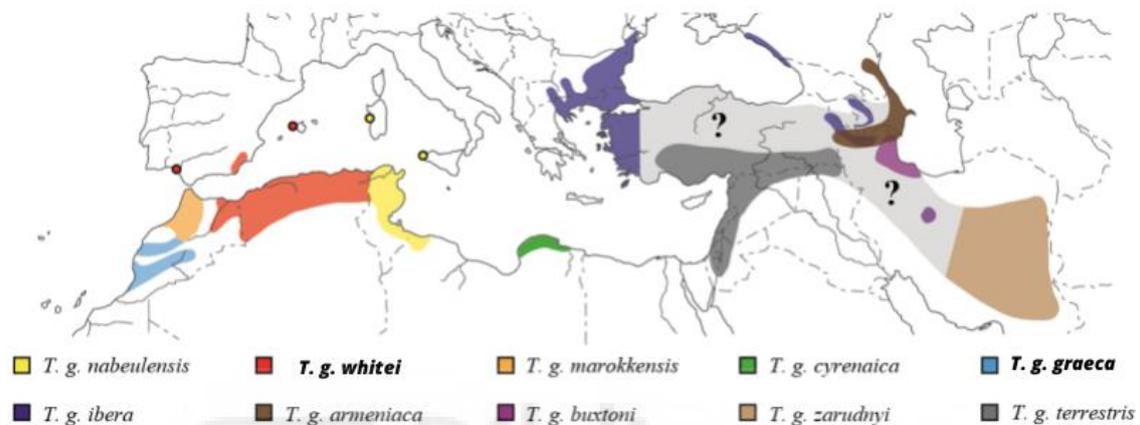


Figura 3. Distribución de las subespecies de *T. graeca* según diversos autores (Fritz *et al.*, 2007, 2009; Mikulíček *et al.*, 2013). El color gris claro hace referencia a aquellos lugares de Asia en donde se desconoce qué subespecies se hallan presentes. Las poblaciones del oeste de Europa están representadas por círculos por su escasa distribución, a excepción del sureste ibérico, para la que sí se muestra el área que aproximadamente ocupa. Figura tomada con modificaciones de Graciá *et al.* (2015a).

Las poblaciones de tortuga mora del sureste ocupan una superficie aproximada de 2.700 km² entre las provincias de Murcia y Almería con densidades entre 0,03 y 12,52 individuos por hectárea (Anadón *et al.*, 2007, 2009). La especie está restringida a hábitats naturales y seminaturales principalmente caracterizados por vegetación mediterránea abierta y paisajes agrícolas tradicionales distinguidos por tener baja presión antrópica (Anadón *et al.*, 2006; Bertolero *et al.*, 2011).

Esta zona presenta un clima mediterráneo seco que se caracteriza por veranos cálidos con escasa precipitación y con temperaturas diurnas muy altas, con una aridez constante durante la mayor parte del año, concentrando la precipitación en las estaciones equinocciales (Ibáñez *et al.*, 1989). La escasez de lluvias y el intenso calor favorecen la cobertura vegetal arbustiva y dispersa que satisface las necesidades de termorregulación de la tortuga mora. Por otro lado, las características geológicas de esta región desde el punto de vista litológico y topográfico también son muy favorables para la presencia de *Testudo*

graeca. Estas zonas naturales cuentan con paisajes de materiales silíceos por los que la tortuga mora tiene preferencia, y alterna los relieves moderadamente escarpados (Fig. 4) con los llanos extensos (Giménez *et al.*, 2004; Anadón *et al.*, 2005).

En estas áreas semiáridas del Sureste Ibérico la tortuga mora selecciona sitios con estructura simplificada de vegetación e incluye en su dominio vital sitios recolonizados por matorrales y campos no sometidos a regadío (Anadón *et al.*, 2006). En el Sureste Ibérico, las tortugas abundan más en pendientes orientadas al noroeste y en fondos de valle (Anadón *et al.*, 2005). La distribución de la especie en Almería se relaciona con las temperaturas mínimas extremas y el régimen hídrico, con un óptimo en torno a 290 mm de precipitación anual (Anadón *et al.*, 2007). Evita suelos volcánicos y orientaciones de solana y selecciona positivamente usos agrícolas de secano y negativamente zonas de matorral muy denso (Anadón *et al.*, 2007).



Figura 4. Hábitat de la tortuga mora en la Sierra de Cabrera (Almería). Fotografía de Eva Graciá.

Como se ha mencionado en la introducción los principales factores de amenaza que afectan a la población son la pérdida y fragmentación del hábitat, debido principalmente a la dinámica de cambios de usos del suelo dentro de su área de distribución, y la recolección de tortugas de las poblaciones naturales para su tenencia como mascotas (Pérez *et al.*, 2010). Por otro lado, al reintroducir tortugas domésticas en poblaciones silvestres se transmiten enfermedades y parásitos (Brown, 2020). Algunas enfermedades infecciosas tienen efectos negativos, impactando gravemente en el estado de conservación de poblaciones de tortugas salvajes (p.e.enfermedad del tracto respiratorio en *Gopherus sp.*; Jacobson *et al.*, 2014) junto con la morbilidad asociada con patógenos de tortugas, especialmente Herpes virus y Micoplasma, donde en tortugas mora de cautiverio es alto (Graciá *et al.*, 2020).

A nivel internacional, la situación de amenaza de la especie *Testudo graeca* está categorizada en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) de 2000 como Vulnerable (VU A1cd). Esto señala que, aunque la especie no está en riesgo inminente de extinción, enfrenta amenazas a mediano plazo. Los marcos legales globales incluyen los Convenios de Berna y Washington, así como la Directiva Europea 92/43/CEE (Directiva Hábitat).

En el Convenio de Berna, *Testudo graeca* está enlistada en su Anexo II como especie estrictamente protegida, prohibiendo captura, posesión, daño a lugares de reproducción y más. El Convenio de Washington (CITES) también incluye la especie en su Apéndice A, lo que permite el comercio internacional bajo regulación. A nivel nacional, la protección está regulada por el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial (LESRPE) y el Catálogo Español de Especies Amenazadas (CEEAA). El Real Decreto 139/2011 establece la categorización de la especie como Vulnerable en España, requiriendo la creación de un Plan de Conservación. Desde 2015, la tenencia y comercio de la especie están penalizados legalmente.

El Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles Españoles cataloga a *Testudo graeca* En Peligro (EN) debido a su reducción poblacional y fragmentación del hábitat. A nivel regional, en Andalucía, está considerada "En Peligro de Extinción" según el Catálogo Andaluz de Especies Amenazadas, lo que demanda la elaboración de un Plan de Recuperación para la especie. La normativa viene dada por la Ley 8/2003 de 28 de octubre, de la flora y la fauna silvestres, Decreto 23/2012 por el que se regula la conservación y el uso sostenible de la flora y fauna silvestre y sus hábitats. En Murcia, por otro lado, se considera a la especie como Vulnerable requiriendo un Plan de Conservación (Ley 10/2002, de 12 de noviembre, de modificación de la Ley 7/1995, de 21 de abril, normas reguladoras de la Fauna Silvestre, Caza y Pesca Fluvial).

4.2 Selección de individuos procedentes de cautividad y silvestres

Se partió de una base de datos en Excel con 7.646 individuos recogidos en diferentes localidades del sureste de España y el norte de África muestreados entre 2004 y 2019. Además, se añadieron los datos biométricos y pesos de 10 ejemplares más de *Testudo graeca* procedentes de cautividad, recogidos en una salida al Zoológico Río Safari de Elche. Las medidas de las tortugas se tomaron con calibres digitales y balanza electrónica (Fig. 5). La toma de datos se realizó siguiendo un correcto protocolo de bioseguridad (Mira-Jover *et al.*, in press). Las enfermedades y parásitos constituyen una importante amenaza para la

Estudio de la morfología de tortugas moras (*Testudo graeca*) procedentes de cautividad

conservación de las poblaciones silvestres de tortugas, pudiendo transmitirse entre poblaciones o, incluso, afectar a las personas que entran en contacto con estos animales. (Fig. 6).



Figura 5. Calibres digitales y peso. Foto tomada en la salida al Río Safari Elche por Fco. José Sánchez.

Higiene y seguridad en campo: protocolo de desinfección para trabajos con tortugas.

Las enfermedades y parásitos constituyen una importante amenaza para la conservación de las poblaciones silvestres de tortugas pudiendo transmitirse entre poblaciones y afectar a las personas que entran en contacto con estos animales. En esta infografía os presentamos la manera de proceder en el manejo de las tortugas siguiendo todas la recomendaciones de seguridad y salud.

Zoonosis
(Eg: Micosis o salmonelosis)

Higiene y seguridad

Dispersión de enfermedades
(Eg: Mycobacterium, herpesvirus, nematodos intestinales)

PROTOCOLO DE SEGURIDAD Y SALUD EN CAMPO

CAPTURA
Cada persona dispondrá de una bolsa de algodón exclusiva para cada tortuga. Envolvermos la tortuga con la bolsa, evitando en todo momento el contacto directo con el animal. Siempre que se toque a una tortuga deberá hacerse con la bolsa o con guantes.

TOMA DE DATOS
1- Una persona manipulará al animal (toma de medidas y muestras) y dispondrá en todo momento de guantes.
2- Otra persona será la encargada de la recogida de datos. No es necesaria la utilización de guantes en este caso.
3- En el caso de ser necesario se designará una persona encargada de la desinfección.

LIBERACIÓN
La tortuga ha de ser liberada en su bolsa a la localización exacta de captura.

LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN
Todo el equipo y el material reutilizable ha de ser desinfectado con etanol al 70% y productos biocidas utilizando bayetas, pulverizadores.

ELIMINACIÓN DE RESIDUOS
El material no reutilizable ha de ser eliminado correctamente en los contenedores específicos.

REUSABLE MATERIAL

SINGLE USE MATERIAL

TODO EL MATERIAL DEBE SER DESINFECTADO ENTRE INDIVIDUOS Y ENTRE POBLACIONES

Figura 6. Ilustración del protocolo de seguridad y salud para los censos de tortuga mora (Mira-Jover et al., in press).

Los registros de la base de datos fueron filtrados, eliminando tortugas con múltiples capturas (para garantizar la independencia de los datos), tortugas muertas (que pueden estar deformadas), tortugas que presenten malformaciones o anomalías y tortugas a las que les faltasen numerosos datos. Además, se seleccionaron únicamente adultos que fueron sexados en base a caracteres sexuales secundarios (Fig. 7). Las hembras alcanzan en general mayor tamaño corporal que los machos, no obstante, las colas de los machos son proporcionalmente más largas, gruesas y robustas que las de las hembras. Además, los machos adultos se diferencian fácilmente de las hembras por la forma de las placas anales, que tienen menor longitud que en las hembras. En las hembras, estas placas son más alargadas y puntiagudas, llegando casi a tocar el espaldar (Díaz-Paniagua y Andreu, 2009). El peto de los machos es más cóncavo y la placa supracaudal convexa, fuertemente curvada hacia dentro, mientras que en las hembras tanto el peto como la supracaudal son planos (Ángel, 1946). Se consideraron ejemplares adultos los machos de más de 8 años y las hembras de más de 11. La estima de edad se basó en el conteo de anillos en el caparazón (asumiendo que cada anillo depositado equivale a un año, según el método descrito por Rodríguez-Caro *et al.*, 2015). Las placas córneas del caparazón crecen por aportes anuales de queratina que dan lugar a anillos evidentes (Braza *et al.*, 1981), cuya validez ha sido demostrada en esta especie por Castanet y Cheylan (1979). Cuando se detectaron tortugas sin información sobre la edad, se comparó su tamaño con el de otras tortugas que tenían edad conocida y se observó si tenían anillos en Fase III, de ser así se consideró que era un ejemplar adulto. Para esta interpretación se tuvieron en cuenta las distintas fases de crecimiento de anillos (Fig. 8): Fase I: los primeros anillos, tamaño mediano, por debajo de 4 o 5 mm, los depositan mientras las tortugas están osificando el caparazón; Fase II: anillos relativamente grandes, en la máxima fase de crecimiento, en torno a 5 mm; Fase III: anillos muy finos que depositan las tortugas una vez alcanzada la madurez sexual.

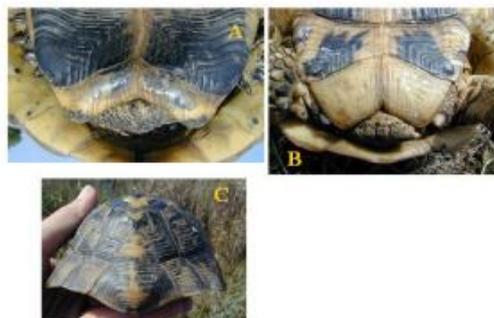


Figura 7. (A) Placas anales y femorales de una tortuga macho; (B) placas anales y femorales de una tortuga hembra; (C) La placa supracaudal de los machos está curvada hacia dentro. (Fotografías tomadas de Díaz-Paniagua y Andreu, 1998).

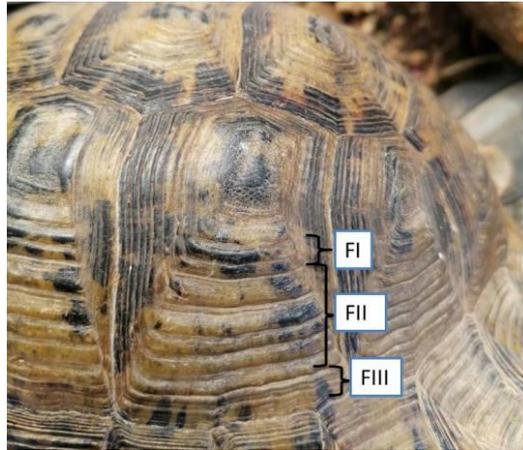


Figura 8. Fases de crecimiento de los anillos I, II y III. Extraída con modificaciones del protocolo; "Censos de Tortuga. Sureste Ibérico. Campaña ADIF 2023. Protocolo de marcado, biometría y fotografía". documento propio del Área de Ecología

Una vez filtrados los datos, se generaron dos subconjuntos de datos distintos. En primer lugar, se generó un subconjunto de tortugas que han sido mantenidas en cautividad filtrando para ello los registros de observaciones por las siguientes palabras clave: "crecimiento piramidal", "suelta", "liberada", "doméstica", "cautividad" o "cautiva". También se incluyeron en este grupo tortugas que se sabe provienen de cautividad por análisis genéticos (Graciá et al., 2013a) y las tortugas muestreadas en el Río Safari (N cautividad = 114). El segundo subconjunto estuvo formado por un número relativamente equivalente de tortugas silvestres, características del Sureste Ibérico. Para esto, se seleccionaron tortugas de lugares remotos, en los que no existen indicios de sueltas y representativos del área de distribución (N silvestres = 318).

4.3. Selección de medidas biométricas

Para analizar la biometría, cada tortuga fue pesada y medida. Las medidas biométricas utilizadas fueron la longitud del peto y del espaldar, la altura, la sutura anal y la sutura femoral, la anchura de la parte anterior y posterior, la anchura femoral y la longitud de la sutura ventral (Tabla 1, Fig. 9). Este conjunto de medidas describe bien el volumen de las tortugas (Abad, 2007). En la visita al Río Safari estos datos fueron recogidos en fichas de campo (Fig. 10).

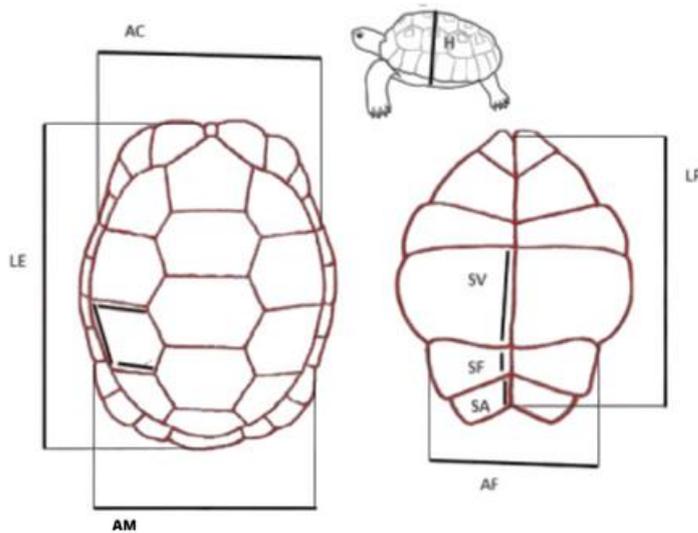


Figura 9. Medidas biométricas tomadas en el espaldar y el peto de los caparazones de tortuga. (Martínez, 2015). Las abreviaturas se definen en la Tabla 1.

Tabla 1. Medidas biométricas utilizadas en el estudio de morfología de *Testudo graeca*.

LP: Longitud del peto. Medida longitudinal del plastrón desde el inicio de las placas gulares hasta el final de las placas anales, englobando las suturas ventral, femoral y anal.

LE: Longitud del espaldar. Medida colocando las puntas del pie de rey en el borde del caparazón, una en el borde izquierdo de la placa nucal y la otra a la altura del centro de la placa caudal.

H: Altura. Desde el peto hasta el centro de la placa 3ª vertebral. Se medirá colocando a la tortuga reposando el peto en un brazo del pie de rey y colocando la punta del otro brazo en el centro de la placa 3ª ventral.

AC: Anchura de la parte anterior del caparazón, medida desde la placa marginal de un lado a la placa marginal de otro, a la altura de donde acaban los huecos de las patas delanteras.

AM: Anchura de la parte posterior del caparazón, desde la placa marginal de un lado a la placa marginal de otro, a la altura donde la sutura femoral coincide con los huecos de las patas traseras.

SV: Longitud de la sutura ventral. Medida central entre las placas ventrales (ante la diferencia de longitud de la sutura se utiliza el lado derecho como referencia) cuando la tortuga la tenemos boca arriba.

SF: Sutura femoral. Medida central entre las placas femorales (ante la diferencia de longitud de la sutura se utiliza el lado derecho como referencia) cuando la tortuga la tenemos boca arriba.

SA: Sutura anal. Medida central entre las placas anales (ante la diferencia de longitud de la sutura se utiliza el lado derecho como referencia), cuando la tortuga la tenemos boca arriba.

AF: Anchura femoral. Medida longitudinal del límite superior de las placas femorales.

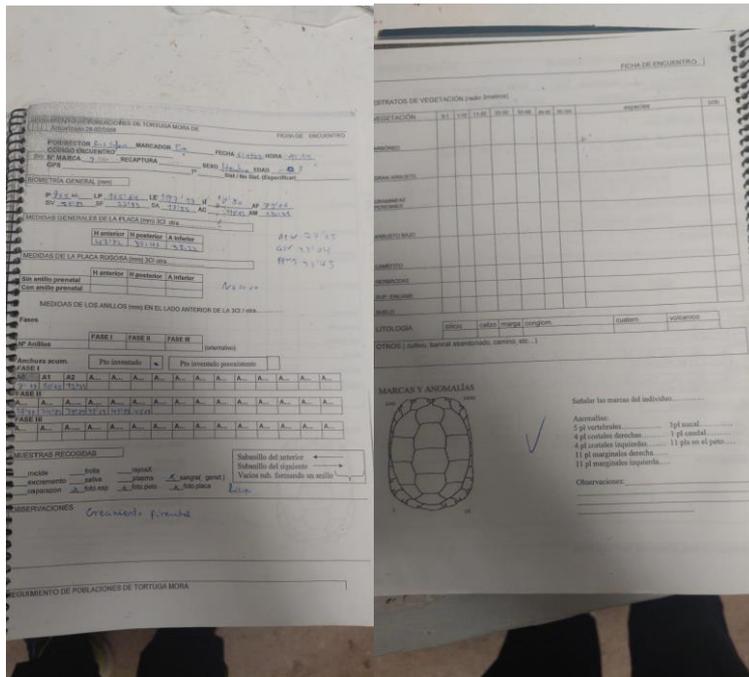


Figura 10. Fichas donde se coloca información relevante, datos biométricos, malformaciones y observaciones. Tomada en la visita al Río Safari Elche.

4.4 Análisis estadístico

Con el objetivo de explorar la variabilidad en la morfología, los análisis estadísticos de este trabajo fueron desarrollados en RStudio (RStudio Team, 2022).

Se realizó una descripción de la morfología de cada subconjunto de datos, diferenciando entre machos y hembras. Se utilizaron las variables biométricas descritas previamente, para las que se calcularon la media, el rango y la desviación estándar.

Para explorar las diferencias entre machos y hembras, se analizó el dimorfismo sexual de tamaño (sexual size dimorphism, SSD), calculado como el porcentaje de variación del tamaño promedio de hembras y machos. Cuando el porcentaje obtenido es positivo, significa que las hembras son mayores que los machos, si éste es negativo, los machos son mayores y, si el porcentaje presenta valores en torno a 0, indican ausencia de dimorfismo (Carretero *et al.*, 2005; Eq1).

$$\text{Eq.1} \quad \%SSD = \frac{(\text{hembra} - \text{macho})}{\text{macho}} * 100$$

Para buscar patrones de variabilidad morfológica a través del conjunto de variables, empleamos análisis multivariante de componentes principales (PCA. Este método aborda de

manera simultánea múltiples características en cada individuo, considerando todas las variables como aleatorias e interconectadas entre sí (Cayuela, 2011). Se trata de un enfoque adecuado para el análisis de medidas biométricas, que suelen presentar alta correlación, consiguiendo así reducir su dimensionalidad.

Para estandarizar los datos se utilizaron logaritmos, después se realizó el PCA usando la función ***prcomp*** en RStudio (Rstudio Team, 2022). Para la representación de los componentes se utilizó la función ***biplot***. Esto permite, por un lado, representar la relación de las variables biométricas con los dos primeros componentes del PCA, y también, representar en el gráfico cada individuo en el espacio según su morfología. De esta manera se puede interpretar el significado de los ejes y visualizar si existe alguna relación entre estos ejes y nuestra variable respuesta (Cayuela, 2011).

Para identificar si existían diferencias significativas entre los distintos grupos (tortugas de cautividad y silvestres, machos y hembras), se aplicó un ANOVA utilizando los dos componentes principales (PC1 Y PC2).

De entre los diferentes métodos post-hoc de comparaciones múltiples y correcciones, se empleó una de las más utilizadas, Tukey-Kramer Honest Significant Difference (HSD). Este método permite identificar las diferencias entre los distintos grupos del ANOVA cuando es significativo. En R, las funciones ***Tukey HSD*** permiten calcular los *p-value* corregidos por Tukey y representar los intervalos (Amat, 2016).

Una vez analizadas las diferencias entre los grupos de individuos, el objetivo siguiente fue comprobar la posibilidad de discriminar la procedencia de los animales. Para comprobarlo se aplicó un Análisis Discriminante Lineal o Linear Discriminant Analysis (LDA) en Rstudio (Rstudio Team, 2022). Es un método de clasificación supervisado de variables cualitativas en el que dos o más grupos son conocidos a priori y nuevas observaciones se clasifican en uno de ellos en función de sus características (Amat, 2016).

Posteriormente, se analizó cómo fue la clasificación resultante, evaluando el porcentaje de aciertos en las clasificaciones.

5. Resultados

Se analizaron 432 individuos en total: 64 hembras cautivas, 50 machos cautivos, 152 hembras silvestres y 166 machos silvestres (Tablas 2 y 3). Las tortugas silvestres fueron representativas del área de distribución.

Tabla 2. Poblaciones de *Testudo graeca* provenientes de cautividad junto con el número de individuos por sexos.

Población	Hembras	Machos
Adanes	0	1
Aljife	3	10
Bas Sur	0	1
Cantal	0	1
Cercado Murcia	28	0
Cintas	2	0
Cortijo Aire	1	2
Cunas	2	0
Ermita Villareal	0	1
Esparrillar	7	1
Galera	5	8
Loma del Escribano	1	0
Los Balcones	1	0
Malcamino	3	3
Palomera	0	1
Pinos Norte	0	1
Quinoneros Uno	1	3
Río Safari Elche	3	6
Selvarejo	0	1
Sierra de en medio	6	10
Sierrecica	1	0
Total	64	50

Tabla 3. Poblaciones de *Testudo graeca* silvestres junto con el número de individuos por sexos.

Población	Hembras	Machos
Alboluncas	67	71
Bas Norte	0	4
Casa agua	3	4
Centinares bajo	5	4
Chinas	8	5
Crisoleja	2	8
Culebras	2	2
Hinojares	1	5
Judío	1	0
Lentiscar	9	8
Luchena	1	2
Marinica	2	3
Palas	2	7
Palomera	8	6
Pisadas Virgen	4	8
Sierrecica	5	10
Villaltas	32	19
Total	152	166

El dimorfismo sexual de tamaño (SSD) resultó siempre positivo, todas las hembras tuvieron mayores tamaños que los machos (Tabla 4). Se observó un dimorfismo sexual promedio del 9,11% en tortugas mora silvestres, mientras que en tortugas mora procedentes de cautividad fue del 10.14%.

Coherentemente, las medias obtenidas fueron mayores en las hembras que en los machos, tanto en cautividad como en estado silvestre. Las desviaciones estándar de las hembras cautivas fueron superiores a la de los machos cautivos, exceptuando AC y AM. Por el contrario, la desviación estándar de los machos silvestres resultó superior a la desviación de las hembras silvestres. Los rangos muestran tamaños máximos en cautividad muy altos en comparación a los tamaños máximos de silvestres (Tabla 5).

Si comparamos las medias de tortugas hembra cautivas podemos constatar que son superiores a las medias de las hembras silvestres, lo mismo ocurre si comparamos machos cautivos con machos silvestres, las medias de los cautivos son más altas también. Las desviaciones estándar de las hembras cautivas son mayores a las de las hembras silvestres. La mayoría de las desviaciones estándar en machos cautivos son superiores a las de los machos silvestres, con excepción de SV, AF y AC.

Tabla 4. Dimorfismo sexual de tamaño (SSD) en *Testudo graeca* entre tortugas silvestres y cautivas.

	SSD (%)	
	Silvestres	Cautivas
P	21.97	38.25
LP	9.78	13.17
LE	7.90	7.88
H	8.50	11.86
AF	8.10	10.31
SV	10.55	11.20
SF	6.98	7.95
SA	14.71	11.47
AC	7.95	8.29
AM	7.51	9.14



Tabla 5. Análisis descriptivo de los 4 grupos de *Testudo graeca* estudiados. N= Tamaño muestral. Media, rango y desviación estándar en gramos para el peso y en mm para el resto de las variables.

Medidas biométricas	Machos Silvestres				Machos Cautivos				Hembras Silvestres				Hembras Cautivas			
	N	Media	SD	Rango	N	Media	SD	Rango	N	Media	SD	Rango	N	Media	SD	Rango
P	166	500.37	221.83	148-1360	50	646.05	365.43	100-2032	152	610.3	211.45	220-1360	63	893.18	521.63	100-3174
LP	166	109.05	18.38	70.13-166.61	50	120.31	22.51	81.86-173	152	119.71	16.61	74.24-166.61	63	136.16	26.78	87.37-250.3
LE	166	127.87	18.62	83.91-187.16	50	135.95	22.29	93.22-201	152	137.97	16.52	98.92-187.16	35	146.66	24	93.27-201
H	166	67.53	11.1	41.44-99.77	50	73.96	13.39	50.16-112	152	73.27	10.3	52.76-99.77	64	82.73	13.65	55.83-114.41
AF	166	61.37	9.2	41.55-94.21	50	69.14	7.97	45.37-97.71	152	66.34	8.5	35.04-94.21	64	76.27	12.64	49.38-109.41
SV	166	39.23	8.1	24.63-60.5	50	40.1	7.72	27-66.53	152	43.37	7.31	29.56-60.5	29	44.59	8.38	30.2-66.53
SF	166	16.76	3.53	1.58-40.65	50	18.36	4.39	11-33.56	152	17.93	3.52	1.58-40.65	29	19.82	4.83	11.61-33.56
SA	166	13.26	3.9	5.8-26.56	50	13.95	4.55	7.88-33.56	152	15.21	3.99	1.1-26.56	29	15.55	4.69	9.98-33.55
AC	166	83.69	15.24	13.18-120.38	50	91.51	14.62	64.92-135.26	152	90.34	12.1	27.14-120.38	30	99.1	13.87	71.49-135.26
AM	166	94.97	13.1	64.06-137.25	50	101.47	16.81	70.1-147.65	152	102.1	11.18	76.41-137.25	30	110.74	16.32	78.64-147.65

El análisis de componentes principales generó resultados que describen la morfología de la especie en dos ejes, los cuales explican conjuntamente un 85% de la variabilidad observada (PC1 con un 78.8% y PC2 con un 6.2%). A través del PCA llevado a cabo, se evaluaron las complejas interacciones entre las mediciones en relación con la variabilidad morfológica. Las mediciones biométricas asociadas al tamaño general de la tortuga, como la longitud del peto y del espaldar, la altura, el peso, y las anchuras anterior y posterior, junto con la anchura femoral y la longitud de la sutura ventral, se alinearon con el eje PC1, mostrando una correlación negativa. Por otro lado, la sutura anal y la sutura femoral se asociaron con el eje PC2, presentando una correlación positiva con la anchura femoral y una correlación negativa con la sutura anal (Fig. 10).

En el ANOVA, se identificaron diferencias significativas en los dos componentes principales. PC1 exhibió un valor de $p < 2e-16$, mientras que PC2 presentó un valor de $p = 0.00734$. Tras la aplicación del ajuste de Tukey, únicamente se observaron diferencias entre los machos cautivos y los machos silvestres en relación al PC1 ($p = 0.041$); en contraste, no se detectaron disparidades entre las hembras (Tabla 6).

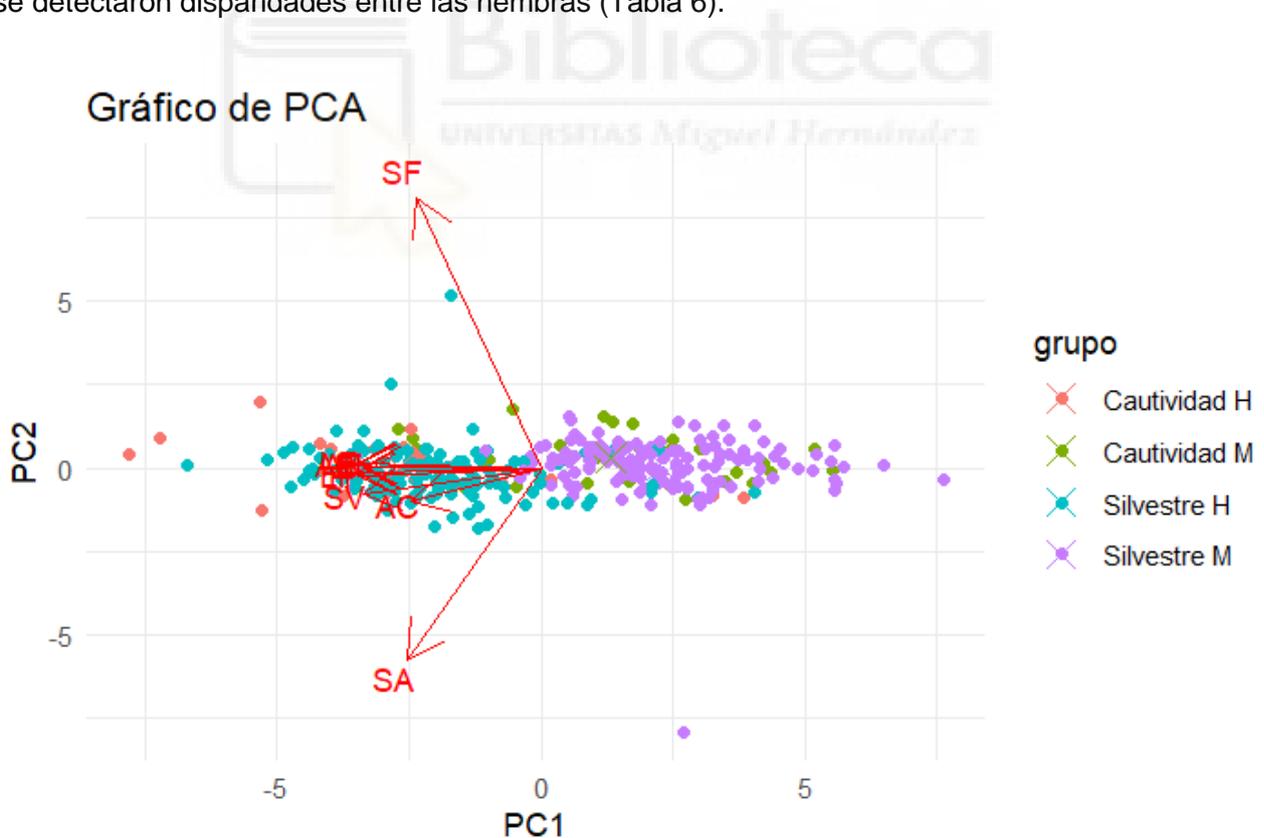


Figura 11. Representación de los componentes seleccionados del PCA. La morfología de *Testudo graeca* puede ser explicada con dos ejes de variación. Los datos más grandes en cuanto a tamaño se encuentran a la izquierda, corresponden a hembras cautivas y silvestres. Tanto el gráfico como las

Estudio de la morfología de tortugas moras (*Testudo graeca*) procedentes de cautividad

correlaciones de las variables con los ejes parecen apuntar a que el primer componente (PC1) está relacionado con el tamaño de AC, AM, AF, H, SV, P y LP, mientras, el segundo componente (PC2) está relacionado fundamentalmente con la sutura anal (SA) y la sutura femoral (SF), siendo que éstas se correlacionan negativamente entre sí. Los dos primeros ejes recogen cerca del 85 % de la variabilidad de las variables biométricas utilizadas.

Tabla 6. Tukey, Honest Significant Difference (HSD). Se aplicó Tukey en ambos ANOVAS, para PC1 y PC2.

Relación de grupos en PC1 y PC2	Diferencia	p
PC1. Hembra Silvestre - Hembra Cautiva	0.551	0.496
PC1. Macho Silvestre - Macho Cautivo	0.942	0.042
PC1. Macho Silvestre – Hembra Silvestre	4.399	0.000
PC1 Macho Cautivo – Hembra Cautiva	4.008	0.000
PC2. Hembra Silvestre - Hembra Cautiva	-0.175	0.758
PC2. Macho Silvestre - Macho Cautivo	-0.226	0.506
PC2. Macho Silvestre – Hembra Silvestre	0.254	0.041
PC2. Macho Cautivo – Hembra Cautiva	0.304	0.517

El análisis discriminante lineal resultó en un bajo nivel de acierto en la asignación de individuos procedentes de cautividad a sus respectivos grupos (Tabla 7). Solamente 4 tortugas hembra cautivas de las 24 muestreadas fueron asignadas correctamente, mientras que sólo 7 machos cautivos de los 23 muestreados fueron identificados de manera correcta. Se logró identificar por tanto un 16,66% de las tortugas hembra cautivas y un 30,43% de las tortugas macho cautivas. Por el contrario, en los individuos silvestres fueron identificados correctamente 130 hembras de las 142, y 138 machos de los 144. Estas cifras suponen, un 91,55% de acierto en hembras silvestres y un 95,83% de acierto en el caso de machos silvestres. En cualquier caso, el umbral de incertidumbre es demasiado alto en individuos cautivos y no resulta una metodología fiable.

Tabla 7. Análisis de asignación posterior al análisis discriminante lineal. Número de aciertos de tortugas mora para cada grupo.

Clase Real	Clase predicha			
	Cautividad H	Cautividad M	Silvestre H	Silvestre M
Cautividad H	4	1	18	1
Cautividad M	1	7	2	20
Silvestre H	3	0	130	9
Silvestre M	0	2	4	138

6. Discusión

Aunque las medidas biométricas empleadas en este estudio son suficientes para evidenciar el dimorfismo sexual en el tamaño de *Testudo graeca*, no han servido para la discriminación de ejemplares según su procedencia (silvestres vs cautividad). Con los datos utilizados se ha podido evidenciar que las tortugas de mayor tamaño son las hembras, siendo el porcentaje de dimorfismo sexual similar entre las tortugas silvestres y procedentes de cautividad, aunque los machos en cautividad alcanzan mayores tamaños que los machos silvestres. Sin embargo, la utilidad del conjunto de medidas utilizado es escasa en tanto a que, con el análisis discriminante, sólo es posible discriminar correctamente un porcentaje relativamente bajo de tortugas cautivas, un 23,4% del total. Esta baja correcta clasificación limita el uso de la morfología como una herramienta de manejo para identificar ejemplares encontrados en poblaciones silvestres, pero criados en cautividad.

Dimorfismo sexual en *Testudo graeca*

Los resultados obtenidos en el estudio evidencian mayores tamaños en las medidas biométricas de las tortugas hembras frente a los grupos de machos, tanto para el grupo de silvestres como el de cautividad. En general, en esta especie, las hembras presentan mayor tamaño que los machos (Benelkadi *et al.*, 2022). La edad de madurez de las hembras es más tardía y presentan por tanto mayor periodo de crecimiento juvenil (Díaz-Paniagua y Andreu, 2009). Los resultados de la morfología del caparazón de las tortugas apuntan a un equilibrio entre la selección natural y sexual. Por un lado, la selección natural promueve hembras grandes y, por lo tanto, aumenta las tasas reproductivas. Las hembras jóvenes tienden a poner menos huevos que las adultas (Díaz-Paniagua *et al.*, 2001). Además, el tamaño de las hembras adultas ha sido relacionado recientemente con las diferencias en el

Estudio de la morfología de tortugas moras (*Testudo graeca*) procedentes de cautividad

éxito reproductivo: las hembras más grandes tienen más crías y con mayores tasas de supervivencia (Segura *et al.*, 2021). Por lo tanto, es beneficioso para las hembras invertir en el crecimiento, incluso después de alcanzar madurez (Benelkadi *et al.*, 2022). Por otro lado, se piensa que la selección sexual promueve machos pequeños, que son móviles para poder aparearse (Carretero *et al.*, 2005) aunque esto último no ha sido realmente evaluado. Además, la estructura del caparazón de los machos de tortuga mora tiene una morfología que permite movimientos más amplios para sus patas, mejorando así su movilidad y la capacidad de darse la vuelta para no quedar boca abajo ya que podría suponer el fallecimiento del macho (Bonnet *et al.*, 2001).

Diferencias morfológicas entre las tortugas silvestres y en cautividad

Aunque, aparece una tendencia de que las tortugas hembra cautivas tienen un tamaño superior a las medias de las hembras silvestres, sólo observamos diferencias significativas en machos, donde los cautivos alcanzan mayores tamaños frente a los silvestres. Es posible que al estar en cautividad se alcancen mayores tamaños por la disponibilidad de alimento (Wiesner y Iben, 2003). En relación con las medidas biométricas, la mayor variabilidad de las medidas de las tortugas moras se encuentra en la sutura anal (SA) y la sutura femoral (SF). Además, una vez realizado el análisis discriminante lineal se puede observar la poca fiabilidad de discriminar las tortugas cautivas frente a las silvestres. Tan sólo se pudo identificar un 16,66% de las tortugas hembra cautivas y un 30,43% de las tortugas macho cautivas. Por lo tanto, con las medidas biométricas actuales, no es posible diferenciar morfológicamente las tortugas silvestres de las cautivas, especialmente en las hembras. Es probable que la causa de que no se hayan podido discriminar más tortugas sea que los ejemplares seleccionados han pasado varios años en vida silvestre, teniendo un crecimiento más homogéneo a las tortugas salvajes. Por ejemplo, las diferencias no aparecen en las hembras y esto probablemente se deba al compromiso de crecimiento. Para optimizar su reproducción las tortugas deben ser más grandes (Benelkadi *et al.*, 2022).

Las sueltas son prácticas de manejo que pueden ser irreversibles, la captura, la identificación y retirada de individuos procedentes de cautividad no siempre es posible y puede resultar muy costosa. Este estudio tenía como objetivo evaluar la morfología como herramienta diagnóstica que permitiría la identificación del origen de los individuos, pero los resultados muestran que no se pueden discriminar las tortugas cautivas en base a sus características biométricas. Por el momento, podemos apoyarnos en combinar distintas estrategias a la hora de identificar tortugas procedentes de cautiverio: 1) Anomalías en el caparazón como el crecimiento piramidal (los escudos del caparazón y el hueso subyacente se elevan en forma de pirámides), que es una patología que aparece en tortugas cautivas,

Estudio de la morfología de tortugas moras (*Testudo graeca*) procedentes de cautividad

pero que no aparece en tortugas mora salvajes (Wiesner y Iben, 2003). Esta alteración del crecimiento se puede deber a la relación entre los distintos niveles de proteína en la dieta junto con una humedad inadecuada (Wiesner y Iben, 2003). 2) La concavidad del plastrón, en muchos especímenes machos criados en cautiverio, el plastrón crece rápidamente pudiendo fallar en el desarrollo, resultando así en un plastrón plano o incluso convexo. En los individuos silvestres se observa el levantamiento formando la concavidad del plastrón (Soler *et al.*, 2012). 3) Utilizando marcadores moleculares en el ADN de los individuos y realizando determinaciones genéticas en relación a los patrones propios de las poblaciones silvestres. Esta herramienta es mucho más costosa, pero es la mejor opción para identificar individuos procedentes de cautividad (Graciá *et al.*, 2013a)

Implicaciones para la gestión y la conservación de *Testudo graeca*

Es de vital importancia utilizar las herramientas adecuadas en la conservación de la tortuga mora. Lo cierto es que la gestión de la tortuga mora supone un reto de conservación. Hay una falta de estudios globales y actualizados que evalúen el estado de conservación de sus poblaciones y falta más consenso sobre cómo manejar animales cautivos, que se cuentan a millares (aunque se han desarrollado algunos protocolos, e.g. MATTM, 2019; Pérez *et al.*, 2012b). Al mismo tiempo, también son necesarias y hacen falta evaluaciones locales, siendo las acciones de manejo supervisadas por las administraciones locales y consideradas en los programas de conservación de especies, programas basados en el conocimiento científico y con una correcta transparencia en el manejo de las mismas (Graciá *et al.* 2020)

Garantizar el futuro de estas poblaciones a largo plazo requiere del desarrollo de programas de educación ambiental, de la persecución del tráfico ilegal de tortugas y de la disminución y el control del stock de los animales mantenidos en cautividad para así evitar riesgos sobre las poblaciones silvestres (Graciá *et al.*, 2020). Las condiciones de cautiverio podrían ser un principal factor predisponente para el parasitismo y la emergencia de enfermedades, debe tomarse en cuenta para los programas de conservación y recuperación. Aunque las reintroducciones de tortugas son frecuentes como medida de gestión y estos animales parecen soportar condiciones de estrés cuando viven en condiciones de cautiverio, se han de considerar como medidas de alto riesgo, ya que los ejemplares en cautividad pueden tener enfermedades latentes y la liberación de estos ejemplares pone en riesgo la supervivencia de la población silvestre (Jacobson *et al.*, 1995; Jacobson y Berry, 2009; Martel *et al.*, 2009).

Por otro lado, el control del estado sanitario de animales comercializados es inexistente en el comercio ilegal. Para prevenir zoonosis y la propagación de enfermedades entre poblaciones silvestres, se debe controlar y perseguir ese tipo de comercio. En caso de comercio regulado por CITES, se debe monitorear durante períodos apropiados de cuarentena y realizar chequeos veterinarios. Sin embargo, el actual marco legislativo no permite la tenencia de tortugas moras incluso con papeles CITES. Las asociaciones herpetológicas son actores clave que ayudan a la conservación de la naturaleza, a las poblaciones de tortugas y al manejo de sus poblaciones cautivas, ya sea llevando a cabo sensibilización ambiental en colegios o parques naturales dando a conocer la problemática causada por el comercio ilegal y la transmisión de enfermedades y parásitos, o bien ejerciendo presión a los gobiernos locales y nacionales para que garanticen el cumplimiento de una normativa eficiente que pueda proteger la especie (Graciá *et al.*, 2020). Es necesario el cambio de dimensión social de la especie, la población debe ser consciente de los problemas generados por la tenencia de tortugas como animales domésticos. Para lograr este cambio, la sensibilización y la educación ambiental son estrictamente necesarias.



7. Conclusión y proyección futura

Tras nuestro estudio, podemos concluir que existen diferencias significativas entre el grupo de machos silvestres y machos cautivos, siendo estos últimos de mayor tamaño. No obstante, no se puede utilizar la morfología para discriminar la procedencia de una tortuga encontrada en campo ya que el nivel de incertidumbre es alto en tortugas cautivas. Por otra parte, existe dimorfismo sexual entre machos y hembras tanto en cautividad como en estado silvestre.

Sería de especial interés realizar más estudios acerca de las diferencias morfológicas entre tortugas moras de cautiverio y silvestres, utilizando otras medidas biométricas.

Por el momento, la introducción de individuos de cautividad en poblaciones silvestres es una medida irreversible en tanto que no somos capaces de diferenciarlos morfológicamente (especialmente en el caso de las hembras). Análisis más costosos (genéticos) podrían aportar cierta información, aunque por supuesto únicamente informan del acervo genético del animal, y no de su historial vital particular.

La solución al problema pasa obligatoriamente por promover un cambio de dimensión social en la población sobre este quelonio terrestre, que minimice su tráfico y la liberación de ejemplares en el medio natural.

8. Bibliografía

- Abad, V. (2007). Variaciones del Índice corporal en una población de tortuga mora (*Testudo graeca*) del Sureste Ibérico.
- Amat, J. (2016). Análisis discriminante lineal (LDA) y análisis discriminante cuadrático (QDA), available under a Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) at https://www.cienciadedatos.net/documentos/28_linear_discriminant_analysis_lda_y_quadratic_discriminant_analysis_qda
- Anadón, J. D., Giménez, A., Pérez, I., Martínez, M., & Esteve, M. A. (2005). The role of relief in local abundance patterns of the spur-thighed tortoise *Testudo graeca graeca* in south-east Spain. *The Herpetological Journal*, 15(4), 285-290.
- Anadón, J.D., Giménez, A., Martínez, M., Martínez, J., Pérez, I. & Esteve, M.A. (2006). Factors determining the distribution of the spur- thighed tortoise *Testudo graeca* in south- east Spain: a hierarchical approach. *Ecography* 29: 339- 346.
- Anadón, J.D., Ballestar R. (2007). *Distribución y abundancia de la tortuga mora Testudo graeca en el Sureste Ibérico*. Tesis doctoral. Universidad de Murcia.
- Anadón, J.D., Giménez A., Ballestar, R., Pérez, I. (2009). Evaluation of Local Ecological Knowledge as a method for collecting extensive animal abundance data. *Conservation Biology* 23: 617-625.
- Anadón, J.D., Giménez, A., Graciá, E., Pérez, I., Ferrández, M., Fahd, S., El Mouden, H., Kalboussi, M., Jdeidi, T., Larbes, S., Rouag, R., Slimani, T., Znari, M. & Fritz, U. (2012). Distribution of *Testudo graeca* in the western Mediterranean according to climatic factors. *Amphibia-Reptilia* 33: 285- 296.
- Andreu, A.C. (1987). Ecología y dinámica poblacional de la tortuga mora, *Testudo graeca graeca* L., en Doñana, Huelva. Universidad de Sevilla.
- Andreu, A.C., Díaz-Paniagua, C. & Keller, C. (2000). *La tortuga mora (Testudo graeca L.) en Doñana*. Monografías de Herpetología, 5. Asociación Herpetológica Española. Barcelona.
- Ángel, F. (1946). Reptiles et Amphibiens. Faune de France, vol. 45. Pierre André Imprimerie. Librairie de la Faculté des Sciences. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, Office Central de Faunistique. Paris.
- Benelkadi, H., Rodriguez-Caro, R.C., Mansur, A., Graciá, E. (2022) Las medidas del caparazón que mejor describen el dimorfismo sexual en la tortuga *Testudo graeca* de Argelia. *Herpetología Básica y Aplicada*. 37, 1-13.
- Bertolero, A., Cheylan, M., Hailey, A., Livoreil, B. & Willemsen, R.E. (2011). *Testudo hermanni* (Gmelin 1789)—Hermann's tortoise, In A.G.J Rhodin, P.C.H. Pritchard,

Estudio de la morfología de tortugas moras (*Testudo graeca*) procedentes de cautividad

- P.P. van Dijk, R.A. Saumure, K.A. Buhlmann, J.B. Iverson & R.A. Mittermeier (eds.) Conservation Biology of Freshwater Turtles and Tortoises: a Compilation Project of the IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group. Series: Chelonian Research Monographs, vol. 5. *Chelonian Research Foundation*, Arlington, VT, USA, pp. 059.1- 059.20.
- Bonnet, X., Lagarde, F., Henen, B. T., Corbin, J., Nagy, K. A., Naulleau, G., ... & Cambag, R. (2001). Sexual dimorphism in steppe tortoises (*Testudo horsfieldii*): influence of the environment and sexual selection on body shape and mobility. *Biological Journal of the Linnean Society* 72(3): 357-372.
- Braza, F., Delibes, M. y Castroviejo, J. (1981): Estudio biométrico de la tortuga mora (*Testudo graeca*) en la Reserva Biológica de Doñana, huelva. Doñana, Acta Vertebr., 8: 15-41.
- Brown, S. (2020). Mediterranean Tortoises. In M. Kubiak (ed.) *Handbook of Exotic Pet Medicine*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, pp. 327- 359.
- Carretero, M., Znari, M., Macé, J. & Harris, D.J. (2005). Morphological divergence among populations of *Testudo graeca* from west-central Morocco. *Animal Biology* 55: 259-279.
- Castanet, J. & Cheylan, M. (1979): Les marques de croissance des os et des écailles comme indicateur de l'âge chez *Testudo hermanni* et *T.graeca*. *Can. J. Zool.*, 57: 1649- 1665.
- Cayuela L. (2011) Análisis multivariante. Área de Biodiversidad y Conservación, Universidad Rey Juan Carlos, Departamental 1 – DI. 231, c/ Tulipán s/n. E-28933 Móstoles (Madrid), España.
- Chávarri, M., Berriatua, E., Giménez, A., Graciá, E., Martínez-Carrasco, C., Ortiza, J.M. & Ruiz de Ybáñez, R. (2012). Differences in helminth infections between captive and wild spur-thighed tortoises *Testudo graeca* in southern Spain: A potential risk of reintroductions of this species. *Veterinary Parasitology*, 187: 491-497.
- Chergui, B., Fahd, S., Santos, X. & Pausas, J.G. (2018). Socioeconomic factors drive fire regime variability in the Mediterranean Basin. *Ecosystems* 21: 619- 628.
- Cheylan, M. (2004). Incendies: lourd tribut pour les tortues d'Hermann. *Espace Naturels* 5: 10.
- Cobo, M. & Andreu, A.C. (1988). Seed consumption and dispersal by the Spur-thighed tortoise *Testudo graeca*. *Oikos*, 51: 267-273.
- Decreto 139/2011. Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. Art. 11 (2011). *Boletín Oficial del Estado*, 23 de febrero de 2011. España.

Estudio de la morfología de tortugas moras (*Testudo graeca*) procedentes de cautividad

- Decreto 23/2012. Conservación y uso sostenible de la Flora y la Fauna Silvestre y sus hábitats. Art. 39 (2012). *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, 27 de marzo de 2012. España.
- Díaz-Paniagua, C. & Andreu, A.C. (1998). Survival Rates and Causes of Mortality of *Testudo graeca* Hatchlings in Southwestern Spain. *Journal of Herpetology*.
- Díaz-Paniagua, C., Keller, C., Andreu, A.C. (2001). Longterm demographic fluctuations of the spur-thighed tortoise *Testudo graeca* in SW Spain. *Ecography* 24: 707-721.
- Díaz-Paniagua, C., Andreu, A. C. (2009). Tortuga mora – *Testudo graeca*. En: *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Salvador, A., Marco, A. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- Fritz, U., Hundsdörfer, A.K., Široký, P., Auer, M., Kami, H., Lehmann, J., Mazanaeva, L.F., Türkozan, O & Wink, M. (2007). Phenotypic plasticity leads to incongruence between morphology-based taxonomy and genetic differentiation in western Palaearctic tortoises (*Testudo graeca* complex: Testudines, Testudinidae). *Amphibia-Reptilia*, 28: 97-121.
- Fritz, U., Harris, D.J., Fahd, S., Rouag, R., Gracia, E., Giménez, A., Siroký, P., Kalboussi, M., Jdeidi, T.B. & Hundsdorfer, A.K. (2009). Mitochondrial phylogeography of *Testudo graeca* in the Western Mediterranean: old complex divergence in North Africa and recent arrival in Europe. *Amphibia-Reptilia*, 30: 63-80.
- Gil-Sánchez, J.M., Rodríguez-Caro, R.C., Moleón, M. *et al.* (2022) Predation impact on threatened spur-thighed tortoises by golden eagles when main prey is scarce. *Sci Rep.* 12, 17843.
- Giménez, A., Esteve, M.A., Pérez, I., Anadón, J.D., Martínez, M., Martínez, J. y Palazón J.A. (2004). *La tortuga mora en la Región de Murcia: conservación de una especie amenazada*. Diego Marín Librero- Editor. Murcia.
- Graciá, E., Giménez, A., Anadón, J.D., Botella, F., García-Martínez, S. & Marín, M. (2011). Genetic patterns of a range expansion: the spur-thighed tortoise *Testudo graeca graeca* in Southeastern Spain. *Amphibia-Reptilia*, 32: 49-61.
- Graciá, E., Giménez, A., Anadón, J.D., Harris, D.J., Fritz, U. & Botella, F. (2013a). The uncertainty of Late Pleistocene range expansions in the western Mediterranean: a case study of the colonization of south- eastern Spain by the spur- thighed tortoise, *Testudo graeca*. *Journal of Biogeography* 40: 323- 334.
- Graciá E., Giménez, A., Anadón, J.D., Harris, D.J., Edelaar, P., Botella, F. (2013b) ¿Surfing en tortugas? Signos empíricos de estructuración genética debidos a la expansión del rango. *Biol. Letters*. 9: 20121091.
- Graciá, E. y Giménez, A. (2015). *La tortuga mora (Testudo graeca) en la península ibérica y en las islas Baleares*. Boletín de la Asociación Herpetológica Española 26(2).

- Graciá, E., Vargas- Ramírez, M., Delfino, M., Anadón, J.D., Giménez, A., Fahd, S., Corti, C., Jdeidi, T.B. & Fritz, U. (2017a). Expansion after expansion: dissecting the phylogeography of the widely distributed spur- thighed tortoise, *Testudo graeca* (Testudines: Testudinidae). *Biological Journal of the Linnean Society* 121: 641- 654.
- Graciá, E., Rodríguez- Caro, R.C., Andreu, A.C., Fritz, U., Giménez, A. & Botella, F. (2017b). Human- mediated secondary contact of two tortoise lineages results in sex biased introgression. *Scientific Reports* 7: 4019.
- Graciá, E., Rodríguez-Caro, R.C., Ferrández, M., Martínez-Silvestre, A., Pérez-Ibarra, I., Amahjour, R., Aranda, C., Benelkadi, H.A., Bertolero, A., Esperón, F., Esteve-Selma, M.A., Fahd, S., Pascual-Rico R., Perera-Lega, Pfau, B., Pinya, S., Santos, X., Segura, A., Semaha, M.J., Biaggini, M., Botella, F., Budo, J., Cadenas, V., Chergui, B., Corti, C., García de la Fuente, I., Golubović, A., Heredia, A., Jiménez-Franco, V.M., Arakelyan, M., Marini, D., Martínez-Fernández, J., Martínez-Pastor, C., Mascort, R., Mira-Jover, A., Soler-Massana, J., Vidal, J.M., Giménez, A. (2020). Desde problemas a soluciones: conservación de tortugas mediterráneas bajo cambio global. *Herpetología Básica y Aplicada* 34: 5–16.
- Griffiths, C.J., Jones, C.G., Hansen, D.M., Puttoo, M., Tatayah, R.V., Müller, C.B. & Harris, S. (2010). The use of extant non- indigenous tortoises as a restoration tool to replace extinct ecosystem engineers. *Restoration Ecology* 18: 1- 7.
- Ibáñez, J. M., López, L. F., Mc. Ivor, J. & Talavera, P. A. (1989). Las tortugas terrestres *Testudo graeca* y *Testudo hermanni* en España. Revista científica de ANSE.
- IUCN (2020). IUCN Red List of Threatened Species. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland. Available at <https://www.iucn.org/resources/conservation-tools/iucn-red-list-threatened-species>. Retrieved on 23 July 2020.
- Jacobson, E.R., Brown, M.B., Schumacher, I.M., Collins, B.R., Harris, R.K., Klein, P.A., (1995). Mycoplasmosis and the desert tortoise (*Gopherus agassizii*) in Las Vegas Valley, Nevada. *Chelonian Conserv. Bi.* 1 (4), 279–284.
- Jacobson, E.R., Berry, K.H., (2009). Necropsies of twelve desert tortoises (*Gopherus agassizii*) from California. Annual Report for 2008 to U.S. Geological Survey, Order No. 96WRCN0020.
- Jacobson, E.R., Brown, M.B., Wendland, L.D., Brown, D.R., Klein, P.A., Christopher, M.M. & Berry, K.H. (2014). Mycoplasmosis and upper respiratory tract disease of tortoises: a review and update. *The Veterinary Journal* 201: 257- 264.
- Karesh, WB, Cook, R., Bennett, EL y Newcomb, J. (2005). Comercio de Vida Silvestre y Emergencia Global de Enfermedades. *Enfermedades infecciosas emergentes* ,11 (7), 1000-1002.

Estudio de la morfología de tortugas moras (*Testudo graeca*) procedentes de cautividad

- Klemens, M.W. (2000). Introduction. En: Turtle conservation (Klemens, M.W. ed.). Washington and London. Smithsonian Institute Press.
- Ley 7/1995. Ley de Fauna Silvestre, Caza y Pesca Fluvial. Art. 17 (1995). Publicada en el *Boletín Oficial del Estado*, 21 de abril de 1995. España.
- Ley 10/2002. Ley de Fauna Silvestre, Caza y Pesca Fluvial. Art. 17 (2002). Publicada en el *Boletín Oficial de la Región de Murcia*, 12 de noviembre de 2002. España.
- Ley 8/2003. Ley de la Flora y la Fauna Silvestres. Art. 25 (2003). Publicada en el *Boletín Oficial del Estado*, 2 de diciembre de 2003. España.
- Linnaeus, C. (1758). *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Laurentii Salvii.
- López-Jurado, L.F., Talavera, P.A., Ibáñez, J.M., Mac Ivor, J.A. & García, A. (1979). Las tortugas terrestres *Testudo graeca* y *Testudo hermanni* en España. *Naturalia Hispanica*, 17: 61pp.
- Lovich, J.E., Ennen, J.R., Agha, M. & Gibbons, J.W. (2018). Where have all the turtles gone, and why does it matter? *Bioscience* 68: 771- 791.
- Luiselli, L., Starita, A., Carpaneto, G.M., Segniagbeto, G.H., Amori, G. (2016). Una breve reseña del comercio internacional de tortugas terrestres silvestres y de agua dulce en todo el mundo y a lo largo de dos décadas. *Conservación Quelonia Biol.*, 15 (2), págs. 167 - 172.
- Martel, A., Blahak, S., Vissenaekens, H., Pasmans, F. (2009). Reintroduction of clinically healthy tortoises: the herpesvirus Trojan horse. *J. Wildl. Dis.* 45 (1), 218–220.
- Martínez Pastor, M.C., Graciá, E., Giménez, A., Rodríguez-Caro R.C. (2015). Depredación del águila real sobre la tortuga mora en el Sureste Ibérico. <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3591/1/TFG%20Mart%C3%ADnez%20Pastor%2C%20M%C2%AA%20Carmen.pdf>
- Martínez Silvestre, A., Mateu, E. (1997). Bacteriological features of rhinitis in captive greek tortoises, *Testudo graeca*. *Assoc Reptilian Amphibian Vet.*, 7: 12-15.
- MATTM (2019). Linee Guida per il Ricollocamento in Natura di Individui del Genere *Testudo* spp. Confiscati. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Università degli Studi di Perugia, Università degli Studi di Firenze e Museo di Storia Naturale, Roma, Italy. Available at https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/cites/linee_guida_testudo_aggiornate_2019.pdf. Retrieved on 17 July 2020.
- Mayol, J. (2003). Rèptils i Amfibis de les Balears. Manuals d'Introducció a la Natura, 6. *Editorial Moll*. Palma.

- Mikuliček, P., Jandzik, D., Fritz, U., Schneider, C. & Široký, P. (2013). AFLP analysis shows high incongruence between genetic differentiation and morphology-based taxonomy in a widely distributed tortoise. *Biological Journal of the Linnean Society*, 108: 151-160.
- Mira-Jover, A., García de la Fuente, M.I., Rodríguez-Caro, R.C., Giménez, A., Graciá, E., (in press). *Prophylaxis protocol for tortoise fieldwork. Conservation of Mediterranean tortoises under global change*. Madrid. Asociación Herpetológica Española. ISBN:978-84-921999-6-9.
- Pérez, I., Giménez, A., Sánchez, J.A., Anadón, J.D., Martínez, M., Esteve, M.A. (2004). Noncommercial collection of spur-thighed tortoises (*Testudo graeca graeca*): a cultural problem in a southeast Spain. *Biol. Conserv.* 118, 175–181.
- Pérez I, Giménez A & Pedreño A. (2010). *Dimensión social de la conservación de la fauna: la tortuga mora*. 125 Pp. Editum. Ediciones de la Universidad de Murcia, Murcia.
- Pérez, I., Giménez, A., Pedreño, A. (2011). A qualitative examination of the social practices and representations towards a species of endangered tortoise. *Wildlife Research* 38: 323- 329.
- Pérez, I., Tenza, A., Anadón, J.D., Martínez-Fernández, J., Pedreño, A. & Giménez, A. (2012a). Exurban sprawl increases the extinction probability of an endangered tortoise due to well-intentioned collections. *Ecological Modelling*, 245: 19-30.
- Pérez, I., Anadón, J.D., Díaz, M., Nicola, G.G., Tella, J.L. & Giménez, A. (2012b). What is wrong with current translocations? A review and a decision-making proposal. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10: 494-501.
- Rhodin, A.G.J., Walde, A.D., Horne, B.D., van Dijk, P.P., Blanck, T. & Hudson, R. (2011). Editorial introduction and executive summary, In A.G.J. Rhodin, A.D. Walde, B.D. Horne, P.P. van Dijk, T. Blanck & R. Hudson (eds.) *Turtles in Trouble: The World's 25+ Most Endangered Tortoises and Fresh-water Turtles—2011*. Turtle Conservation Coalition – IUCN/SSC Tortoise and Fresh-water Turtle Specialist Group, Turtle Conservation Fund, Turtle Survival Alliance, Turtle Conservancy, Chelonian Research Foundation, Conservation International, Wildlife Conservation Society, San Diego Zoo Global, Lunenburg, MA, USA, pp. 3- 16.
- Rhodin, A.G.J., Stanford, C.B., Van Dijk, P.P., Eisemberg, C., Luiselli, L., Mittermeier, R.A., Hudson, R., Horne, B.D., Goode, E.V., Kuchling, G., Walde, A., Baard, E.H.W., Berry, K.H., Bertolero, A., Blanck, T.E.G., Bour, R., Buhlmann, K.A., Cayot, L.J., Collett, S., Currylow, A., Das, I., Diagne, T., Ennen, J.R., Forero-Medina, G., Frankel, M.G., Fritz, U., García, G., Gibbons, J.W., Gibbons, P.M., Shiping, G., Guntoro, J., Hofmeyr, M.D., Iverson, J.B., Kiester, A.R., Lau, M., Lawson, D.P., Lovich, J.E., Moll, E.O., Páez, V.P., Palomo-Ramos, R., Platt, K., Platt, S.G., Pritchard, P.C.H., Quinn, H.R., Rahman, S.C., Randrianjafizanaka, S.T., Schaffer, J., Selman, W., Shaffer, H.B., Sharma, D.S.K., Haitao, S., Singh, S., Spencer, R., Stannard, K., Sutcliffe, S.,

- Thomson, S. & Vogt, R.C. (2018). Global conservation status of turtles and tortoises (order Testudines). *Chelonian Conservation and Biology* 17: 135- 161.
- RStudio Team, 2022. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA
URL <http://www.rstudio.com/>.
- Rodríguez-Caro, R.C., Graciá, E., Dos Santos, R.M., Anadón, J.D., Gimenez, A. (2015): One scute ring per year in *Testudo graeca*? A novel method to identify ring deposition patterns in tortoises. *Acta Herpetologica* 10:77-84.
- Rodríguez- Caro, R.C. (2017). Estudios Sobre los Efectos de las Perturbaciones Ambientales en Poblaciones Animales Mediante Métodos Analíticos y de Simulación: *Testudo graeca* como Sistema de Estudio. Ph.D. Dissertation, Universidad Miguel Hernández, Elche, Spain.
- Rodríguez-Caro, R.C., Oedekoven, C.S., Graciá, E., Anadón, J.D., Buckland, S.T., Esteve-Selma, M.A, Martínez, J. & Giménez, A. (2017). Low tortoise abundances in pine forest plantations in forest-shrubland transition areas. *PLOS ONE* 12(3): e0173485.
- Rodríguez-Caro, R.C., Graciá, E., Blomberg, S.P. *et al.* (2023) Anthropogenic impacts on threatened species erode functional diversity in chelonians and crocodylians. *Nat Commun* 14, 1542.
- Sanz- Aguilar, A., Anadón, J.D., Giménez, A., Ballestar, R., Graciá, E. & Oro, D. (2011). Coexisting with fire: The case of the terrestrial tortoise *Testudo graeca* in Mediterranean shrublands. *Biological Conservation* 144: 1040- 1049.
- Segura, A., Delibes-Mateos, Miguel. & Acevedo, P. (2020). Implications for Conservation of Collection of Mediterranean Spur-Thighed Tortoise as Pets in Morocco: Residents' Perceptions, Habits, and Knowledge. *Animals*, 10 (2), 265.
- Segura, A., Rodríguez-Caro, R.C., Graciá, E. & Acevedo, P. (2021). Differences in Reproductive Success in Young and Old Females of a Long-Lived Species. *Animals* 11: 467.
- Soler, J., Pfau B., Martinez-silvestre, A. (2012). Detección intraespecífica de híbridos en *Testudo Hermannii* (Gmelin 1789). *Radiata* 21:4–29.
- Stanford, C.B., Rhodin, A.G.J., van Dijk, P.P., Horne, B.D., Blanck, T., Goode, E.V., Hudson, R., Mittermeier, R.A., Currylow, A., Eisemberg, C., Frankel, M., Georges, A., Gibbons, P.M., Juvik, J.O., Kuchling, G., Luiselli, L., Haitao, S., Singh, S. & Wald, A. (2018). Turtles in Trouble: The World's 25+ Most Endangered Tortoises and Freshwater Turtles. The Turtle Conservation Coalition – IUCN SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group, Turtle Conservancy, Turtle Survival Alliance, Turtle Conservation Fund, Conservation International, Chelonian Research Foundation, Wildlife Conservation Society, and Global Wildlife Conservation. Ojai, CA, USA.

Stanford, C.B., Iverson, J.B., Rhodin, A.G.J., van Dijk, P.P., Mittermeier, R.A., Kuchling, G., Berry, K.H., Bertolero, A., Bjorndal, K.A., Blanck, T.E.G., Buhlmann, K.A., Burke, R.L., Congdon, J.D., Diagne, T., Edwards, T., Eiseberg, C.C., Ennen, J.R., Forero-Medina, G., Frankel, M., Fritz, U., Gallego- García, N., Georges, A., Gibbons, J.W., Gong, S., Goode, E.V., Shi, H.T., Hoang, H., Hofmeyr, M.D., Horne, B.D., Hudson, R., Juvik, J.O., Kiestler, R.A., Koval, P., Le, M., Lindeman, P.V., Lovich, J.E., Luiselli, L., McCormack, T.E.M., Meyer, G.A., Páez, V.P., Platt, K., Platt, S.G., Pritchard, P.C.H., Quinn, H.R., Rosenburg, W.M., Seminoff, J.A., Shaffer, H.B., Spencer, R., Van Dyke, J.U., Vogt, R.C. & Walde, A.D. (2020). Turtles and tortoises are in trouble. *Current Biology* 30, R721- R735.

Turtle Taxonomy Working group [Rhodin, AGJ, Iverson, JB, Bour, R., Fritz, U., Georges, A., Shaffer, HB y van Dijk, PP]. (2021). Tortugas del mundo: lista de verificación anotada y atlas de taxonomía, sinonimia, distribución y estado de conservación (9.ª ed.). En: Rhodin, AGJ, Iverson, JB, van Dijk, PP, Stanford, CB, Goode, EV, Buhlmann, KA y Mittermeier, RA (Eds.). *Biología de la conservación de tortugas terrestres y terrestres: un proyecto de compilación del Grupo de especialistas en tortugas terrestres y terrestres de la CSE/UICN. Monografías de investigación de quelonios* 8: 1–472.

Wiesner, C.S., Iben, C. (2003). Influence of environmental humidity and dietary protein on pyramidal growth of carapaces in African spurred tortoises (*Geochelone sulcata*). *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 87 (1–2), 66–74.

