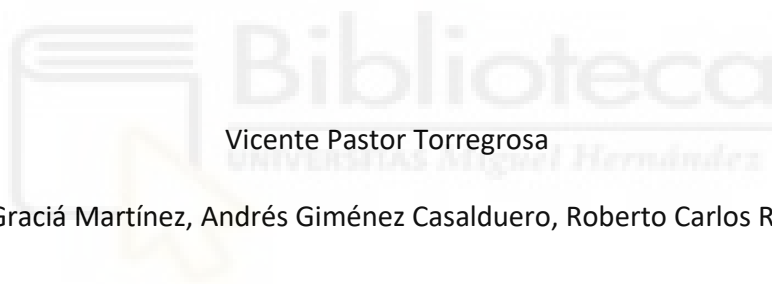


Depredación de mamíferos carnívoros sobre la tortuga mora, *Testudo graeca*, en el sureste ibérico



Tutores: Eva Graciá Martínez, Andrés Giménez Casalduero, Roberto Carlos Rodríguez Caro

Trabajo de Fin de Grado en Ciencias Ambientales

Departamento de Biología Aplicada. Área de Ecología

Facultad de Ciencias Experimentales

2020

RESUMEN:

La depredación es un factor influyente a la hora de estudiar la viabilidad de las poblaciones de especies que son presas. Poco se conoce acerca de la depredación de mamíferos carnívoros sobre la tortuga mora (*Testudo graeca*) en el sureste peninsular, lo cual es de vital importancia para evaluar cómo afecta a su conservación. En este trabajo de fin de grado se estudian diferentes cuestiones sobre el papel que desempeña la tortuga mora como presa para mamíferos carnívoros a partir del análisis de excrementos de mamíferos recogidos en diferentes poblaciones distribuidas entre Murcia y Almería. De los resultados obtenidos se ha podido identificar al zorro (*Vulpes vulpes*) como el principal depredador de tortuga mora, además del tejón (*Meles meles*) que presentan un consumo ocasional, para quienes la tortuga no resulta una presa preferente en su dieta, sino secundaria. La respuesta funcional establecida entre el zorro y la tortuga resultó ajustarse mejor a la respuesta Tipo II y Tipo III, para los cuales se asume un valor de saturación de la presa densodependiente a densidades bajas y densoindependiente a densidades altas. Además se comprobó que no se produce una modificación significativa en parte de la dieta del zorro dependiendo de si consume tortuga o no.

Palabras clave: Tortuga mora, sureste ibérico, depredación, presa secundaria, mamífero carnívoro.

ABSTRACT:

How predation affects a species population is an important agent to study in populations' viability research. Studies about carnivore mammal predators of spur-thighed tortoise (*Testudo graeca*) in southeast Spanish populations are scarce, however we need to understand the interaction among the distinct characters to evaluate how it affects tortoise conservation. This final degree project studies different issues in relation to the role that the spur-thighed tortoise has as prey of different carnivorous mammals thanks to the analysis of excrements collected in different locations distributed through Murcia and Almeria. Results allowed us to identify red fox (*Vulpes vulpes*) as tortoise main predator by far, and European badger (*Meles meles*) as a more occasional one. It was shown that spur-thighed tortoise is not a main prey for them but plays a secondary role in their diet. Functional response established among red fox and the tortoise better match Type II and III, for which it is assumed a prey saturation value dependent at low densities and independent at high densities. Furthermore, it was proved that no alteration occurs on the red fox diet in spite of the presence or the absence of tortoise in the diet.

Key words: Spur-thighed tortoise, Iberian southeast, predation, secondary prey, carnivore mammal.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. ANTECEDENTES	8
3. OBJETIVOS.....	9
4. MATERIAL Y MÉTODOS	10
4.1 Sistema de estudio.....	10
4.2 Selección de poblaciones.....	12
4.3 Análisis de identificación de presas	14
4.4 Análisis de la respuesta funcional.....	15
4.5 Análisis de la relación entre el consumo de tortuga y el resto de la dieta de los depredadores.....	16
5. RESULTADOS	17
5.1 Identificación de depredadores.....	17
5.2 Respuesta funcional.....	20
5.3 Relación entre el consumo de tortugas y el resto de la dieta del zorro.....	21
6. DISCUSIÓN.....	22
7. CONCLUSIÓN	25
8. AGRADECIMIENTOS	26
9. BIBLIOGRAFÍA.....	27
10. ANEXO.....	32

1. INTRODUCCIÓN

La depredación se define como la interacción en la que una especie se alimenta de otra, total o parcialmente. El carnivorismo es la forma más común y extendida de depredación, la cual ocurre cuando los depredadores matan y devoran a sus presas (Krebs, 2001). La depredación repercute de diferentes formas en la densidad de población tanto de la especie consumida como de la especie consumidora. Puede parecer que el efecto inmediato de la depredación sobre una población de presas es perjudicial. No obstante, estos efectos no son tan predecibles como aparentan. En ocasiones es debido a que los individuos depredados no constituyen siempre una muestra aleatoria de la población (Karanth & Sunquist, 1995). En términos poblacionales, los individuos que consiguen huir del depredador pueden mostrar capacidades que compensen incluso la pérdida de los depredados. La depredación puede incluso darse sobre densidades de población elevadas y así reducir la competencia intraespecífica de la presa (Begon *et al.*, 1995). Mientras la depredación es perjudicial para aquellos individuos que son depredados, puede ser beneficiosa para aquellos que no lo han sido.

Un elemento importante en la relación depredador-presa es el tipo de respuesta funcional del consumidor, que es la relación entre la tasa de consumo de un individuo y la densidad del alimento. La respuesta tipo I asume un aumento lineal en la velocidad de consumo a medida que aumenta la densidad hasta un máximo en el que permanece sin responder a los aumentos de la densidad (Figura 1). La respuesta funcional de tipo II se caracteriza por un aumento de la tasa de consumo conforme la densidad de presa crece, pero sufriendo una constante desaceleración hasta llegar a una tasa de consumo constante independiente del incremento de la densidad (Figura 1). El tipo III responde también a una saturación a niveles altos de presa, pero a bajos niveles de presa el aumento de la tasa de consumo sufre una aceleración supralineal conforme la densidad de presa comienza a aumentar (Figura 1). Por lo tanto, a bajos niveles de densidad, el tipo III es la respuesta que menos presión ejerce sobre la presa (Begon *et al.*, 1995). Por otro lado, las situaciones de hiper-depredación se basan sobre los efectos indirectos sobre una presa, y se definen como aquellas en las que se aumenta la presión de los depredadores sobre una presa secundaria por un mayor número de depredadores o por un descenso repentino en la abundancia de la presa principal (Santamaría *et al.*, 2011). Tanto los diferentes tipos de respuesta funcional como

la hiper-depredación son elementos que condicionan profundamente la dinámica poblacional de las presas.

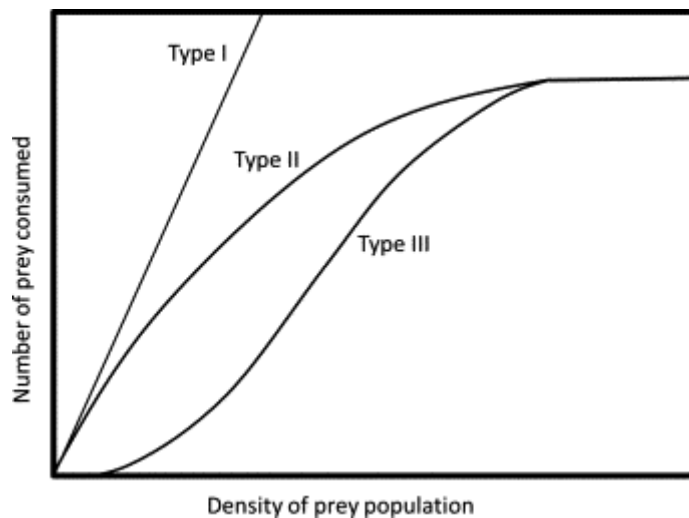


Figura 1. Tipos de respuesta funcional.
Fuente: Pettorelli *et al.*, 2015

El propósito principal de este trabajo es estudiar la interacción de depredación entre la tortuga mora, *Testudo graeca* (Linnaeus, 1758), y los mamíferos carnívoros que la consumen en las poblaciones del sureste peninsular.

La tortuga mora, *Testudo graeca*, es un pequeño quelonio de tierra que normalmente no supera el kilogramo de peso. 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*). *T. graeca* presenta un caparazón fuertemente convexo de color amarillo oliva con manchas negras y piel gruesa acompañada de resistentes escamas córneas en las extremidades delanteras (Andreu, 1987). El caparazón es su principal defensa frente a depredadores y no se desarrolla por completo hasta la etapa adulta, lo cual representa la principal razón por la que los individuos depredados son casi exclusivamente juveniles y crías. Las tortugas son reptiles muy vulnerables durante los primeros años de vida. Un gran número de animales las depredan durante esta fase y de hecho la depredación es la principal causa de mortalidad de huevos y neonatos (Innis, 1997).

La vida media de las tortugas es muy alta, lo que corresponde a tasas de supervivencia de adultos elevadas, frente a las bajas tasas de juveniles. Debido a ello, presentan una alta sensibilidad a la mortalidad de adultos que pueden desestabilizar la demografía de sus

poblaciones. En cambio, el éxito de las puestas o la supervivencia juvenil no tienen una influencia tan alta en la estabilidad demográfica (Giménez *et al.*, 2004; Graciá *et al.*, 2020).

La tortuga mora es un reptil ectotermo de requerimientos energéticos bajos, ya que presenta unos acentuados patrones de actividad estacionales y diarios, que obedecen a las condiciones climáticas. En las áreas de estudio situadas en el sur peninsular, la tortuga mora muestra dos periodos de actividad en otoño y en primavera, que se turnan con dos periodos de inactividad durante el verano y el invierno. El periodo primaveral es el que presenta una mayor actividad ya que se producen las copulas y la reproducción, concentrándose las horas de mayor actividad en las últimas horas de la mañana (Pérez *et al.*, 2002). Por otro lado, en otoño el comportamiento de la tortuga es más impredecible y está altamente condicionado por las temperaturas (Giménez *et al.*, 2004).

La naturaleza ectotérmica de la tortuga está sensiblemente ligada a su hábitat, en el que la variable climática es el mayor condicionante. Factores climáticos como las heladas o las precipitaciones afectan a la dinámica poblacional (Rodríguez-Caro *et al.*, 2016). Las largas épocas de temperaturas frías limitarían sus periodos de actividad y, consecuentemente, su alimentación y reproducción. Mientras que un exceso de precipitación equivaldría a un aumento de cantidad de cobertura vegetal, que de igual forma interrumpiría los periodos de actividad, pero en este caso dificultando su comportamiento termorregulador. Así pues, el paisaje óptimo para la especie correspondería a una matriz con dominancia de matorral y de estructura abierta con bajas coberturas de arbustos (Giménez *et al.*, 2004).

Estos hechos sugieren que la depredación pueda ser irregular a lo largo del año, ya que está condicionada por los periodos de actividad de las tortugas, lo cual condiciona ampliamente la presencia de juveniles. De igual manera, la tortuga mora de forma general presenta poblaciones de densidades muy distintas (Ballestar *et al.*, 2007; Rodríguez-Caro *et al.*, 2017). La tortuga mora no es una excepción, y si además tenemos en cuenta su comportamiento estacional, podemos predecir también que la depredación por parte de mamíferos carnívoros varíe en función de la densidad de tortuga.

Dadas estas condiciones de hábitat, el número de especies depredadoras potenciales que abarca la distribución del nuestro estudio es alto. Algunas de estas especies carnívoras son de la familia de los mustélidos como la garduña (*Martes foina*), la comadreja (*Mustela nivalis*) o el tejón (*Meles meles*). También encontramos depredadores más comunes como

el zorro rojo (*Vulpes vulpes*), que cabe destacar como el más abundante, el gato montés (*Felis silvestris*), el jabalí (*Sus scrofa*), la gineta (*Genetta genetta*) o incluso el perro doméstico (*Canis lupus familiaris*) (Yelo & Calvo, 2004). La mayoría de estas especies siguen estrategias generalistas lo que las convierte en especies de un amplio nicho ecológico. Es importante conocer los hábitos alimenticios de los potenciales depredadores de tortugas que aunque en general no suponen un problema de conservación para las poblaciones de tortugas, sí pueden afectar de manera relevante en poblaciones perturbadas, por ejemplo por la fragmentación (Caparellas *et al.*, 2013). Por tanto, es importante comprender la relación depredador-presa que involucra a la tortuga mora y sus consumidores en las poblaciones de Murcia y Almería, la mayor población y con mayor valor de conservación de la Península Ibérica.



2. ANTECEDENTES

Este trabajo de fin de grado se ha llevado a cabo gracias al trabajo previo realizado por el Área de Ecología en su investigación sobre poblaciones de tortuga mora en el sureste de la Península Ibérica desde el año 1999.

Se ha utilizado una base de datos con muestras de excrementos de carnívoros mamíferos recogidas durante 2004, 2005 y 2006, en los que había restos de sus presas, entre ellos los restos de tortuga mora. Además, comprende un análisis de las muestras indicando fecha de recogida, especie, presencia de restos de tortuga, peso, la población en la que se encontraron y composición de los excrementos con los porcentajes de los restos presentes en ellos (pelo, hueso, pluma, escamas de reptil, semillas, restos vegetales, indeterminados y observaciones).

A su vez se ha hecho uso de las coordenadas UTM de las poblaciones estudiadas y de las estimas de densidad de población de tortugas en cada una de ellas.



3. OBJETIVOS

La finalidad de este trabajo es el estudio de la interacción depredador-presa entre especies de mamíferos carnívoros y la tortuga mora (*Testudo graeca*) en su área de distribución del sureste de la Península Ibérica, situada en Murcia y Almería. Para llevarlo a cabo, los objetivos marcados son:

- Identificación de los mamíferos carnívoros depredadores de tortuga mora y su cuantificación relativa de consumo.
- Evaluación de la respuesta funcional que se establece entre los consumidores y las densidades de tortuga.
- Contrastar si el consumo de tortugas guarda relación con otros componentes de la dieta.



4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Sistema de estudio

El área de distribución de la tortuga mora (*Testudo graeca*) se encuentra localizada en el norte de África, cuenca mediterránea y sur de Europa y a lo largo de Asia suroccidental (Figura 1). De las 10 subespecies catalogadas, en la Península Ibérica únicamente habita *Testudo graeca graeca* (Linnaeus, 1758).

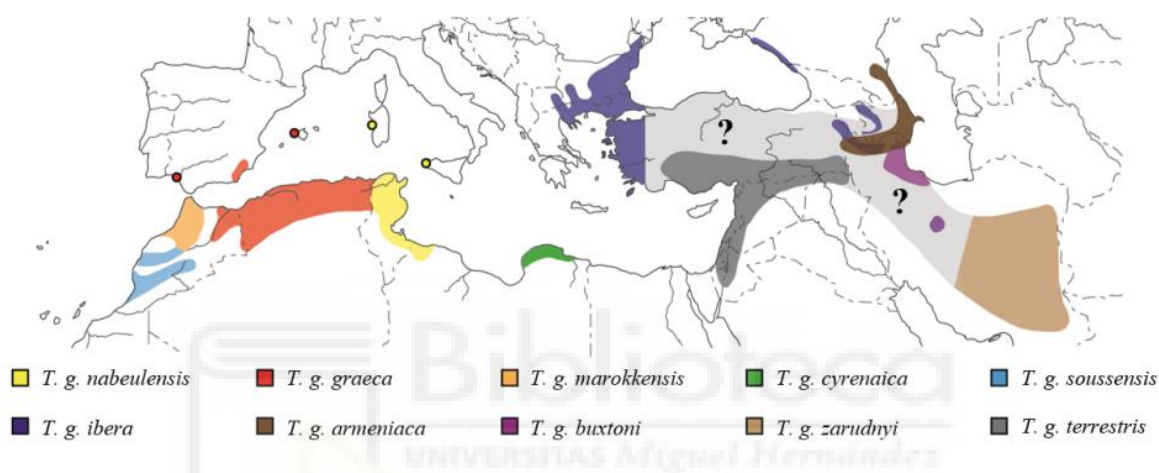


Figura 2: Distribución de las subespecies de *Testudo graeca*. Fuente: Gracià & Giménez (2015)

Las poblaciones de la Península Ibérica son una parte representativa del total de las poblaciones del oeste europeo. Aquí la tortuga mora se distribuye en diferentes poblaciones situadas en las Islas Baleares, una pequeña población en el Parque Nacional de Doñana (Huelva) y la de mayor extensión, de unas 269.000 hectáreas, situada en el sureste que se reparte entre las provincias de Murcia y Almería (Giménez *et al.*, 2004). Nuestra investigación se centra en las poblaciones distribuidas entre Murcia y Almería. Este paisaje ofrece unas características ambientales ideales para acoger poblaciones de tortuga mora. Presenta un clima mediterráneo seco que se singulariza por veranos secos y cálidos con temperaturas diurnas muy altas y una aridez presente 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 fomentan la cobertura vegetal arbustiva y dispersa que satisface las necesidades del quelonio. Además, las características geológicas de esta región desde el punto de vista litológico y topográfico también son muy favorables para la presencia de *T. graeca*. Este espacio cuenta con los paisajes de materiales silíceos por los

que la tortuga mora tiene preferencia, y alterna los relieves moderadamente escarpados con los llanos extensos, por los que muestra rechazo (Giménez *et al.*, 2004; Anadón *et al.*, 2005).

El factor de regresión más importante de los quelonios a nivel mundial es la pérdida y fragmentación de hábitat (Klemens, 2000; Stafort *et al.*, 2020), y las poblaciones tortuga mora del sureste peninsular no son una excepción. La acción antrópica generalizada y más en concreto el cambio de uso del suelo son la principal razón de degradación de su hábitat. Otro importante factor de amenaza es la consideración de la tortuga mora como animal de compañía, lo cual ha generado importantes alteraciones en su demografía (Pérez *et al.*, 2004; Segura *et al.*, 2020). Estos factores sitúan a la tortuga mora en la categoría de vulnerable en la lista roja de especies amenazadas de la IUCN tanto en Europa como a nivel mundial, además de estar catalogada en peligro de extinción en El libro rojo de vertebrados de España (DIRECTIVA 92/43/CEE; TFTSG, 1996).



4.2. Selección de poblaciones

Partimos de los datos de 52 localidades de las cuales unimos las que se ubicaban a menos de 2km de distancia entre ellas considerando los individuos de la misma población. Asimismo, impusimos un criterio de selección de las poblaciones por el número de muestras obtenidas en cada una de ellas. Consideramos que los datos de las poblaciones con un número de muestras menor de 10 para al menos uno de los años muestreados no presentaban la consistencia suficiente como para trabajar con ellas. De esta forma, se seleccionaron las poblaciones con más de 10 muestras en al menos uno de los años muestreados (Tabla 1).

Tabla 1. Poblaciones de *T. graeca* muestreadas seleccionadas ordenadas por número de muestras. El total son 20 poblaciones que suman 730 muestras.

POBLACIONES	Nº MUESTRAS
Abejuela	99
Chinas	90
Galera	76
Cintas	48
Pinos Sur	48
Faina	40
Arraez-Bolinar	34
Centinares-Villaltas	34
Marinica	33
Judío	33
Palas	27
Pinos N-Pané	38
Aljife-Calera	22
Fuentealegre	20
Granaino-Chacona	20
Cantal	19
Peralicos	14
Piña	13
Comara	12
Tejefín	10

Las coordenadas de las poblaciones están delimitadas por cuadrículas UTM de un kilómetro de lado. Podemos ver la ubicación de las poblaciones seleccionadas en la Figura 3.

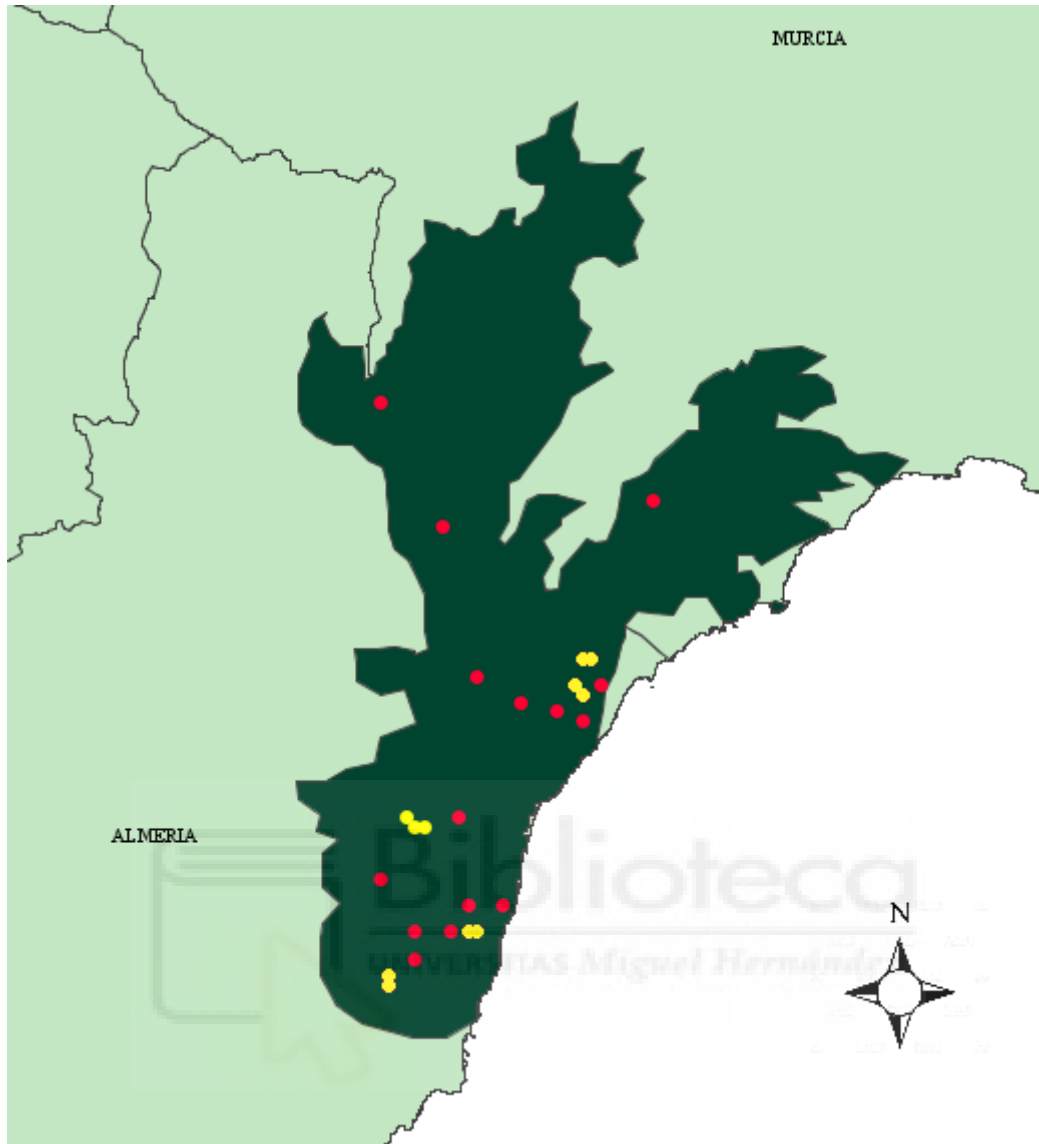


Figura 3. Representación de la ubicación de las poblaciones estudiadas. El área total que ocupan las poblaciones del sureste ibérico está representada en verde oscuro. Los puntos amarillos son las poblaciones que han sido unidas con el criterio de distancia menor a 2 kilómetros, mientras que en rojo se muestran el resto de las poblaciones seleccionadas.

4.3 Análisis de identificación de presas

Los excrementos fueron recogidos mediante itinerarios en las poblaciones descritas durante los meses de marzo, abril, mayo y junio de los años 2004, 2005 y 2006, el periodo primaveral que coincide con el fin de la hibernación de las tortugas y con sus mayores índices de actividad. Los restos de tortuga encontrados en los excrementos eran principalmente escamas pequeñas pertenecientes a individuos inmaduros con el caparazón blando, de 1 a 4 años de edad. Los excrementos fueron identificados y descompuestos para analizar las especies presentes en ellos. Así, partimos de un total de 839 muestras de excrementos repartidas entre dichos años de las que seleccionamos 730 en base al criterio anteriormente descrito para trabajar a nivel de localidad. De todas ellas, analizamos las especies en las que se ha encontrado algún resto de tortuga en alguno de sus rastros. Así continuamos trabajando con el total de las muestras, únicamente para las especies en las que hubo indicios de depredación. Los excrementos cuya especie no fue posible identificar las categorizamos como indeterminado. Los excrementos de los que faltaba información fueron clasificadas como NA (not available, datos faltantes).

Categorizamos las muestras en tablas para cada especie según población, año y presencia de restos de tortuga. De esta forma podemos calcular porcentajes de depredación para cada año, población y especie, con el fin de identificar los principales depredadores de la tortuga mora.

4.4. Análisis de la respuesta funcional

Para llevar a cabo el estudio de la relación entre la densidad de tortugas y su depredación hicimos uso de datos sobre densidades en las 20 poblaciones finales durante los años muestreados. Las densidades se calcularon relativas al esfuerzo, obtenidas mediante transectos lineales (tortugas encontradas por hora de búsqueda por persona) (Anexo: Tabla 1) (Anadón *et al.*, 2009).

Una vez obtenidos los datos de densidades, los relacionamos con el promedio de los tres años de los porcentajes de excrementos con presencia de tortuga para cada población. Analizamos la relación únicamente en las poblaciones en las que si hubo depredación y lo hacemos individualmente para cada especie de carnívoro del cual dispusiéramos suficiente número de muestras. Representamos los tres tipos de respuesta funcional respecto a nuestros valores de densidades y porcentaje de excrementos con presencia de tortuga empleando el programa R mediante una regresión lineal para el Tipo I y regresiones no lineales para el Tipo II y III, para los cuales también asumimos un valor de saturación calculado a partir de la media de los tres valores más altos de porcentaje de muestras con restos de tortuga (R Core Team, 2020). Hicimos uso del Criterio de información de Akaike (AIC), con el cual comparamos a que modelo se ajusta mejor (con mejor ajuste a menor valor de AIC, considerando que $\Delta AIC < 2$ es significativamente mejor) (Burnham & Anderson, 2002).

4.5. Análisis de la relación entre el consumo de tortuga y el resto de la dieta de los depredadores

El análisis de las muestras incluía una estimación de la composición de los restos de otros consumos medida por porcentajes. Sólo realizamos el análisis para las especies que presentan un mayor número de muestras. En la composición se diferenció entre lo que por un lado son restos cazados, que son los restos de presas que requieren un esfuerzo activo de persecución, como plumas, huesos, escamas de reptil y pelo, y por otro lado los restos recolectados, que son los que no requieren dicho esfuerzo, como semillas, restos vegetales, insectos o huevos. Añadimos una variable más que clasificaba cada muestra por restos recolectados, restos cazados o mixtos si se encontraban restos de ambos tipos. Diferenciamos entre las muestras con restos de tortuga y las muestras sin restos. Realizamos dos análisis diferentes: uno considerando los restos de tortuga como restos recolectados, por lo que la nueva variable para las muestras con restos de tortuga solo puede clasificarse como restos recolectados o mixtos; otro considerando los restos de tortuga como restos cazados. Una vez contabilizado el número de muestras de cada tipo, realizamos un análisis de χ^2 (Chi cuadrado) en el programa R enfrentando los números obtenidos de la nueva variable, de las muestras con restos de tortuga y los de las muestras sin restos (R Core Team, 2020). Así, la hipótesis nula a comprobar es que el consumo de tortuga no se relaciona el resto de la dieta del consumidor. No todas las muestras presentaban la información necesaria para llevar a cabo este análisis, por lo tanto, se descartaron las aquellas cuyo nivel de descomposición impedía analizar la composición total.

5. RESULTADOS

5.1. Identificación de depredadores

Tras el análisis de los datos extraídos de las 730 muestras seleccionadas, aparecieron restos de tortuga en 27 de ellas. Hemos observado que las tres especies donde aparecen restos de tortuga (Tabla 2) son en excremento de zorro, tejón y en las muestras indeterminadas descritas anteriormente. En las muestras de las otras especies no se encontraron evidencias de depredación.

Tabla 2. Distribución de las muestras y de las que contenían restos de tortuga según la especie.

ESPECIES	Nº muestras	Nº muestras con tortuga	% Muestras con tortuga
Zorro	454	21	4,63
Tejón	23	1	4,35
Indeterminado	133	5	3,76
Comadreja	4	0	0
Erizo	3	0	0
Garduña	56	0	0
Gato	12	0	0
Gato montés	8	0	0
Jabalí	5	0	0
Lagarto	1	0	0
Perro	29	0	0
NA	2	0	0
Σ	730	27	3,7

A su vez, encontramos que el total de las 27 muestras con restos de tortuga se repartía con una presencia mucho mayor en los excrementos de zorro, hasta un 77,8%. El tejón contribuía con un 3,7%, mientras que el 18,5% restante se le atribuían a los indeterminados.

El zorro y el tejón depredan con valores similares cercanos entre 4,4 y 4,6%. Sin embargo el zorro presenta mayor número de muestras, lo que permite hacer un análisis por poblaciones (Tabla 3).

Tabla 3. Media de los porcentajes de depredación del zorro para cada población y año. El valor cero significa que, de las muestras recogidas, ninguna presentaba restos de tortuga. El guion significa que ese año no se recogieron muestras en esa población.

POBLACIÓN	%DEPREDACIÓN		
	2004	2005	2006
Abejuela	-	5,26	-
Chinas	-	0	0
Galera	11,11	-	17,24
Cintas	6,25	7,69	-
Pinos Sur	12,5	0	-
Faina	0	0	-
Arraez-Bolinar	0	13,33	-
Centinares-Villaltas	0	-	0
Marinica	0	12,5	0
Judío	-	0	0
Palas	-	33,33	0
Pinos N-Pané	0	0	0
Aljife-Calera	-	-	12,5
Fuentealegre	0	0	-
Granaíno-Chacona	0	0	-
Cantal	0	0	-
Peralicos	0	0	-
Piña	-	0	-
Comara	-	-	0
Tejefín	-	0	-
PROMEDIO	2,49	4,51	3,31

Del total de las 20 poblaciones estudiadas, aparecieron muestras de tejón y zorro con restos de tortuga en 9 de ellas. La procedencia de sus excrementos y el número de muestras de ambas especies se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Origen de los excrementos de zorro y tejón. En amarillo se muestran aquellas poblaciones y especies en las cuales se encontraron restos de tortuga mora.

POBLACIÓN	ZORRO	TEJÓN
Abejuela	57	4
Chinas	8	0
Galera	56	2
Cintas	29	1
Pinos Sur	31	1
Faina	32	0
Arraez-Bolinar	20	2
Centinares-Villaltas	19	0
Marinica	20	1
Judío	13	4
Palas	16	3
Pinos N-Pané	28	1
Aljife-Calera	16	2
Fuente alegre	8	0
Granaino-Chacona	14	0
Cantal	11	1
Peralicos	4	1
Piña	8	0
Comara	11	0
Tejefín	6	0

5.2. Respuesta funcional

La escasa presencia de restos de tortuga en muestras de otras especies derivó en que solo tuviéramos datos suficientes como para hacer un análisis congruente de la respuesta funcional del zorro. Se obtuvo la siguiente representación de los tres tipos de respuesta funcional para las poblaciones en las que se encontraron restos de tortuga en sus excrementos:

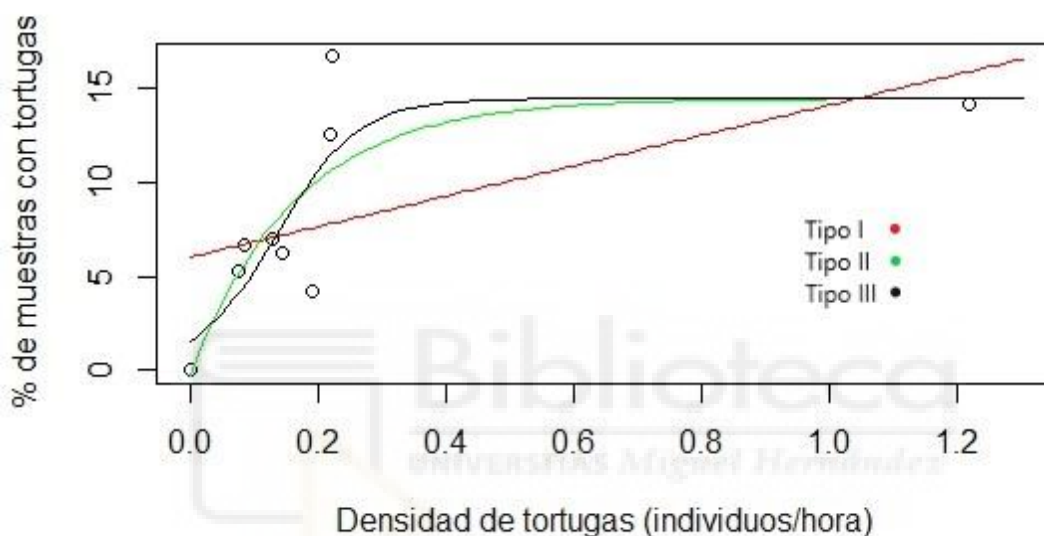


Figura 4. Respuestas funcionales de las poblaciones con depredación del zorro sobre la tortuga mora.

Para los Tipos II y III el valor de saturación fue del 14,45%. Esto es, el 14,45% es el máximo de muestras en las que se van a encontrar restos de tortuga, a partir de ahí la presencia de tortuga en los excrementos se deja de aumentar. Para ambos modelos, dicha saturación se sitúa entre las 0,2 y 0,4 tortugas/hora de densidad aproximadamente. Por otro lado, los índices de AIC del Tipo I, II y III son respectivamente 57, 51 y 50. Los modelos para el Tipo II y Tipo III obtuvieron un mejor ajuste (valores de AIC: Tipo I =xx; Tipo II = XX; Tipo III = XX).

5.3. Relación entre el consumo de tortugas y el resto de la dieta del zorro

Únicamente se evaluó la dieta del zorro por tener un mayor número de muestras con presencia de tortuga en ellas. Las muestras contabilizadas atienden a los números expuestos en la tabla 5:

Tabla 5. Excrementos de zorro clasificados en función de su composición (según hábitos de dieta).

RESTOR DE TORTUGA COMO RECOLECTADOS	RESTOS			
	Cazadas	Mixta	Recolectadas	Total
Muestras sin presencia de tortuga	88	213	47	348
Muestras con presencia de tortuga	----	20	0	20
RESTOS DE TORTUGA COMO CAZADOS	Cazadas	Mixta	Recolectadas	Total
Muestras sin presencia de tortuga	88	213	47	348
Muestras con presencia de tortuga	7	13	----	20
TOTAL	88	233	47	368

Nota: los excrementos considerados “cazados” únicamente presentan restos de presas que requieren un esfuerzo de persecución; los “recolectados” únicamente presentan restos que no requieren de ese esfuerzo; los mixtos se componen de ambos tipos de restos. El análisis se realizó considerando la tortuga como ambos tipos.

El análisis que consideraba las muestras con presencia de tortuga como recolectadas, impide que pueda haber muestras únicamente cazadas en las muestras con presencia de tortuga. De igual modo, al considerar los excrementos como cazados no existe la posibilidad de que hubiera muestras únicamente recolectadas. También fue necesario aplicar una corrección disponible en R en el análisis que las consideraba recolectadas por trabajar con valores menores de 5 (R Core Team, 2020).

En el primero de los análisis, nuestra hipótesis nula (H_0) asumía que el consumo de tortuga no guarda relación con el resto de la dieta del zorro. Realizamos la prueba de χ^2 considerando un nivel de significación (α) de 0,05. El *p-valor* obtenido para el análisis que consideraba la tortuga como recolectada fue de 0,058. Aunque se trate de un valor marginalmente significativo, no descartamos la hipótesis nula (H_0) ya que *p-valor* > α . Para el análisis que consideraba la tortuga como cazada, el *p-valor* fue de 0,77. Por lo tanto, tampoco rechazamos la hipótesis nula (H_0) ya que *p-valor* > α . El análisis no muestra un efecto de la presencia de tortuga con la dieta del zorro.

6. DISCUSIÓN

Los resultados del trabajo confirman que la tortuga mora forma parte de la dieta de al menos dos mamíferos carnívoros con los que comparte distribución en el sureste peninsular: el zorro rojo (*Vulpes vulpes*) y el tejón (*Meles meles*). Existen escasos estudios sobre la depredación de la tortuga mora en estas poblaciones, pero estos concuerdan con los resultados obtenidos y colocan al zorro como el depredador más común (p. ej.: Ballestar *et al.*, 2007). El resto de las especies analizadas no presentaron indicios de depredación, lo cual no significa que dichas especies no depreden a la tortuga mora, pues podrían hacerlo en menor medida y esta relación trófica no quedaría suficientemente representada con las muestras de este estudio. Otros estudios encontraron también como depredadores a la garduña, el gato montés, la gineta, la comadreja, el jabalí y el perro doméstico (García *et al.*, 2003). Todas estas especies son depredadores contrastados de tortuga mora, por lo que las muestras cuya especie no fue posible identificar y fueron clasificadas como indeterminados, bien podrían pertenecer a cualquiera de estas especies. Futuros estudios con tamaños muestrales mayores permitirán elucidar mejor estas posibles interacciones tróficas.

El número de excrementos encontrados de zorro es mucho mayor que el de tejón, lo cual pronostica que la abundancia de zorros en las poblaciones estudiadas es, del mismo modo, mayor. El zorro despunta como principal depredador, pero no por preferencia de presa si no por la presencia de un mayor número de individuos. De hecho, los porcentajes de muestras con restos de tortuga en ambas especies son similares (Tabla 2). Esto sugiere que la preferencia de tortuga para ambas especies puede ser parecida. Aunque el del zorro es algo mayor, la diferencia no parece tal como para que explique una preferencia mayor por el consumo de tortuga que el tejón. Menos de un 5% de las muestras de cada una de las especies contenía restos de tortuga, por lo tanto, el consumo de tortuga mora no parece significar una fuente de alimentación principal para el zorro y el tejón, sino más bien secundaria.

Por norma general, cuanto mayor es la densidad de alimento mayor es el consumo por parte del depredador. La densidad de presa debería ser entonces un factor determinante en la depredación. Los resultados obtenidos de nuestro estudio sobre la respuesta funcional, relación entre la tasa de consumo y la densidad de alimento, manifiestan que los tipos a los que más se ajusta esta relación son los II y III. Para ambos modelos asumimos una saturación del depredador en el 14,45% de las muestras con restos de tortuga, es decir, no

encontraremos presencia de tortuga en más de un 14,45% de las muestras. Los porcentajes situados entre las 0,1 y las 0,2 tortugas/hora, lo que son consideradas densidades moderadamente altas (Anadón *et al.*, 2009), se sitúan entre el 5% y el 7% de excrementos con presencia de tortuga, lo cual no se distancia mucho aparentemente de los resultados obtenidos en el apartado anterior, casi un 5%. No en todas las poblaciones con densidades elevadas se produjo depredación, por lo que queda reforzado el papel secundario de la tortuga en la dieta del zorro. Tomando como base el modelo Tipo II el consumo de tortuga por parte del zorro aumenta linealmente hasta densidades de 0,2 tortugas/hora, donde se estabiliza y deja de aumentar, lo cual también ocurriría si se observa desde la perspectiva del Tipo III. La única diferencia sería que, a densidades menores, el consumo es menor y a partir de ahí crecer exponencialmente hasta la saturación. La depredación de tortuga puede merecer o no búsqueda, ya que pueden ser depredadas por recolección producida por encuentros fortuitos o por caza. Si el zorro utiliza técnicas de caza basadas en la búsqueda y rastreo de los juveniles de tortuga, a densidades bajas el consumo podría disminuir ya que, sabiendo que la tortuga es una presa secundaria para el zorro y que la probabilidad de éxito es relativamente baja, el zorro no dedicaría más tiempo a la búsqueda de tortuga. Siendo presa secundaria, puede que el zorro no compensara la baja densidad con un mayor tiempo de búsqueda. Debido a ello puede que el Tipo III se ajuste mejor que el Tipo II. Sin embargo haría falta mayor número de muestras de excrementos en poblaciones con densidades más bajas para obtener resultados más precisos.

El análisis estadístico de la clasificación de las muestras por su composición indicó que no existe una diferencia significativa en la dieta del zorro dependiendo de si consume tortuga o no. La consideración de la tortuga como recolectada o cazada no tuvo significancia en los resultados del análisis, aunque el *p-valor* obtenido en el caso de ser consideradas como recolectadas es marginalmente significativo. Esto significa que podría resultar significativo si hubiera mayor tamaño muestral. Sin embargo, observando los datos de la tabla 5, ninguna de las muestras con presencia de tortuga presentaba una composición basada únicamente en la recolección, lo que sí que ocurre en un notable número en las muestras sin presencia. Este hecho sugiere que el consumo de tortuga puede sustituir cierta parte de la alimentación por recolección del zorro, es decir, que cuando consume tortuga, disminuye el consumo de vegetales, insectos, huevos, etc. Otra deducción de los resultados es que siempre que ha consumido tortuga, también ha consumido presas que requieren caza. Esta suposición insinúa que la recolección de tortugas se produce, también, cuando el zorro desarrolla la

actividad de caza. Podemos suponer entonces que el zorro no ve modificada su dieta de presas cazadas en favor del consumo de tortuga, sino que consume dichas presas independientemente de si consume tortuga o no. Algo en parte esperable teniendo en cuenta la plasticidad en la dieta de este omnívoro. Este hecho consolida la anterior hipótesis, la cual sugería que la tortuga es una presa secundaria del zorro (Contesse *et al.*, 2004). Por lo tanto, tampoco podemos descartar el hecho de que, ante una falta de presas principales, el zorro aumente su consumo de tortuga por efecto de la hiper-depredación.

Recordemos que los individuos depredados son juveniles inmaduros que no tienen el caparazón completamente desarrollado. Por los resultados observados, no parece que la depredación sea trascendente para la dinámica de nuestras poblaciones de tortuga mora, ya que, a la baja tasa de consumo observada, debemos añadir que la dinámica demográfica de la tortuga mora es robusta ante la depredación de juveniles (Sanz-Aguilar *et al.*, 2011).



7. CONCLUSIONES

El estudio ha revelado que los principales mamíferos carnívoros depredadores de tortuga mora son el tejón y el zorro. El zorro es el principal depredador debido a su mayor abundancia. Aunque en nuestros resultados no se obtuvieron señales de otros depredadores, apoyándonos en otros estudios localizados también en el sureste peninsular, podemos afirmar que especies como la garduña o la comadreja también son, aunque en menor medida, depredadores de la tortuga mora.

Para zorro y tejón no existe un consumo elevado por la tortuga mora, y además entre ambas especies la preferencia es prácticamente idéntica. Por lo tanto, la tortuga es una presa secundaria y no constituye una fuente de alimento excesivamente trascendental para los mamíferos carnívoros estudiados.

La respuesta funcional establecida entre el zorro y la tortuga parece tener una relación que se ajusta mejor a los Tipos II y III que al Tipo I. En densidades de tortuga altas el consumo por parte del zorro tiende a estabilizarse.

No se han encontrado evidencias estadísticas que soporten que la dieta del zorro se ve modificada por el consumo de tortuga. Utiliza a la tortuga como sustitutivo de otros alimentos recolectados. Además, el consumo de tortuga no modifica la alimentación basada en la caza del zorro, lo cual reafirma y consolida las anteriores conclusiones.

Existen escasos estudios sobre la interacción desarrollada entre la tortuga mora y sus depredadores mamíferos carnívoros en el sureste de la Península Ibérica, por esa razón restan varias cuestiones como:

- Qué papel juega la tortuga mora en la dieta del resto de depredadores mamíferos carnívoros, para lo que este estudio se ha quedado escaso en número de muestras.
- Si la depredación se modifica por la variación interanual de tortugas.
- Si la falta de presas principales pudiera suponer un aumento de la depredación sobre la tortuga y cómo afectaría a la dinámica de las poblaciones.
- Cómo es la respuesta funcional del zorro a densidades mayores de tortuga.

8. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría sido posible sin el esfuerzo y dedicación de mis tutores, que en circunstancias tan especiales como las que se han producido, han sido capaces de motivarme y ayudarme siempre que lo he necesitado. A pesar de no haber podido realizar trabajo de campo, gracias a ellos hemos conseguido finalizar lo que en mi opinión es un trabajo serio y riguroso. Muchas gracias, Eva, Andrés y Roberto, sois un verdadero ejemplo para la comunidad científica.

A la universidad como institución, por formarme académicamente y haberme proporcionado tantas oportunidades, y, sobre todo, como experiencia vital, por permitirme disfrutar de la vida y el espíritu universitario en todos los sentidos, porque los años más importantes de mi desarrollo personal se han dado en torno a ella.

A todos mis amigos, por los kilómetros compartidos y los que nos quedan por compartir.

A mi familia por garantizarme una buena educación, comprensión y apoyo siempre que fue necesario. Gracias por poner por delante mi futuro antes que vuestro presente. A mis abuelos por enseñarme humildad y coraje sin importar lo que la vida te ponga por delante, y por agraciarme con unas raíces de las que me siento tan orgulloso.

A Nick, Alex, Joshua y Ayla.

Moltes gràcies!

9. BIBLIOGRAFÍA

- 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., Ballestar, R., & Pérez, I. (2009). *Evaluation of local ecological knowledge as a method for collecting extensive data on animal abundance*. Conservation biology, 23(3), 617-625.
- Andreu, A.C. (1987). *Ecología y dinámica poblacional de la tortuga mora, Testudo graeca graeca L., en Doñana, Huelva*. Universidad de Sevilla.
- Ballestar, R., Anadón, J.D., Giménez, A., Abad, V., Larrosa, M. & Pardo, B. (2007). *Depredación de tortuga por mamíferos carnívoros en tres poblaciones de distinta densidad de tortuga mora (Testudo graeca graeca) en el Sureste Ibérico*. Munibe 25: 210-215.
- Begon, M., Harper, J., Townsend, C. (1995). *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. Ed. Omega. Barcelona.
- Blanco, J.C. & González, J.L. (2006). *Libro Rojo de los vertebrados de España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Burnham KP. & Anderson, DR. (2002). *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. Springer, New York.
- Caparellas, X., Budó, J., Villardel, A. & Pfau, B. (2013). *Testudo hermanni hermanni in the Albera Mountains, Catalonia, northern Iberian Peninsula*. RADIATA 22 (1).
- Comisión de Taxonomía de la Asociación Herpetológica Española (2005). *Lista patrón actualizada de la herpetofauna española: Conclusiones de nomenclatura y taxonomía para las especies de anfibios y reptiles de España*. AHE. Barcelona. 46 pp.
- Contesse, P., Hegglin, D., Gloor, S., Bontadina, F. & Deplazes, P. (2004). *The diet of urban foxes (Vulpes vulpes) and the availability of anthropogenic food in the city of Zurich, Switzerland*. El Sevier. Volume 69, 81-95.

- 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. & Andreu, A.C. (2000). *La tortuga mora (Testudo graeca L.) en Doñana*. Asociación Herpetológica Española.
- Díaz-Paniagua, C., Andreu, A.C., & Keller, C. (1997). *Hatching success, delay of emergence and hatchling biometry of the spur-thighed tortoise, Testudo graeca, in south-western Spain*. Journal of Zoology: 543-553.
- DIRECTIVA 92/43/CEE DEL CONSEJO de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (DO L 206 de 22.7.1992, p. 7)
- Fernández, M. (2011). *Seguimiento y gestión de sistemas depredador-presa: aplicación a la conservación de la fauna amenazada*. Universidad Politécnica de Madrid.
- García, C., Gorostiza, A., Ballestar, R., Yelo, N., Anadón, J. D., Pérez, I., Sánchez-Zapata, J. A., Botella & F., Giménez, A. (2003). *Predation of the spur-thighed tortoise Testudo graeca by carnivorous fauna in Southeastern Spain*. 2nd International Congress on chelonian conservation. Senegal.
- Giménez, A., Esteve, M.A., Pérez, I., Anadón, J.D., Martínez, M., Martínez, J. & 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. (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., Rodríguez-Caro, R.C., Sanz-Aguilar, A., Anadón, J.D., Botella, F., García-García, A.L., Wiegand, T. & Giménez, A. (2020). *Assessment of the key evolutionary traits that prevent extinctions in human-altered habitats using a spatially explicit individual-based model*. Elsevier.
- 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.

- Innis, C.J. (1997). *Caring for help outlaws: chelonian pediatrics*. Proceedings of the A.R.A.V., 1: 117-123.
- Karanth, K. U., & Sunquist, M. E. (1995). *Prey selection by tiger, leopard and dhole in tropical forests*. Journal of Animal Ecology, 439-450.
- Klemens, M.W. (2000). Introduction. En: *Turtle conservation* (Klemens, M.W. ed.). Washington and London. Smithsonian Institute Press.
- Krebs, C.J. (2001). *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. 5th Edition, Benjamin Cummings, San Francisco.
- Lagos, L. (2013). *Ecología del lobo (Canis lupus), del poni salvaje (Equus ferus atlanticus) y del ganado vacuno semiextensivo (Bos taurus) en Galicia: interacciones depredador – presa*. Universidad de Santiago de Compostela.
- Linnaeus, C. (1758). *Systema naturæ per regna tria naturæ, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Laurentii Salvii.
- López Jurado, L.F., Talavera Torralba, P.A., Ibáñez González, J.M., Mac Ivor, J.A. & García Alcaraz, A. 1979. *Las tortugas terrestres Testudo graeca y Testudo hermanni en España*. Naturalia hispánica, 17:1-63.
- Pérez, I., Giménez, A., Anadón, J. D., Martínez, M., & Selma, M. Á. E. (2002). *Patrones de actividad estacional y diaria de la tortuga mora (Testudo graeca L. 1758 ssp. graeca) en el sureste de la Península Ibérica*. In Anales de Biología (No. 24, pp. 65-75). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.
- Pérez, I., Giménez, A., Sánchez, J.A., Anadón, J.D., Martínez, M., Esteve, M.A. (2004). *Non-commercial collection of spur-thighed tortoises (Testudo graeca graeca): a cultural problem in a southeast Spain*. Biol. Conserv. 118, 175–181.
- Pettorelli, N., Hilborn, A., Duncan, C. & Durant, S.M. (2015). *Individual Variability: The Missing Component to Our Understanding of Predator–Prey Interaction*. El Sevier. Volume 52, 19-44.

- R Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Rodríguez-Caro, R.C., Lima, M., Anadón, J.D., Graciá, E. & Giménez, A. (2016). *Density dependence, climate and fires determine population fluctuations of the spur-thighed tortoise Testudo graeca*. Journal of Zoology.
- 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.
- Santamaría, L., Latorre, L. & Larrinaga, A.R. (2011). *Control integrado de complejos de invasión en el Parque Nacional marítimo-terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia*. Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados.
- 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(3), 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., Jiménez, J. & Acevedo, P. (2020). *Predation of Young tortoises by ravens: the effect of habitat structure on tortoise detectability and abundance*. Scientific Reports.
- Stanford CB et al. (2020). *Turtles and Tortoises Are in Trouble*. Current Biology 30, R721–R735. DOI: 10.1016/j.cub.2020.04.088.
- TFTSG (Tortoise & Freshwater Turtle Specialist Group). 1996. *Testudo graeca*. The IUCN Red List of Threatened Species 1996: e.T21646A9305693.
- Van Dijk, P.P., Corti, C., Mellado, V.P. & Cheylan, M. 2004. *Testudo graeca*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2004: e.T21646A9305080.
- Yelo, N. & Calvo, J. 2004. *Aproximación a la distribución y estatus de los mamíferos carnívoros en la Región de Murcia*. Galemys, 16(2): 21-37.

- Znari, M., & Hichami, N. (2018). *Biology, life history traits and conservation of the vulnerable Sous Valley Tortoise in arid areas of west central Morocco*. IntechOpen.



10. ANEXO

Tabla1. Densidades de tortuga estimadas por población. Calculadas relativas al esfuerzo (tortugas encontradas por hora de búsqueda por persona).

POBLACIÓN	ESTIMA DE DENSIDAD
Abejuela	0,08
Chinas	1,36
Galera	1,22
Cintas	0,13
Pinos Sur	0,14
Faina	-
Arraez-Bolinar	0,08
Centinares-Villaltas	0,46
Marinica	0,19
Judío	0,22
Palas	0,22
Pinos N	0,09
Aljife-Calera	0,22
Fuente alegre	-
Granaino-Chacona	-
Cantal	0,05
Pané	0,37
Peralicos	0,23
Piña	0,25
Comara	-
Tejefín	-