

## Aspectos ecológicos y efectos del manejo forestal en una población de tortuga mediterránea (*Testudo hermanni hermanni*) en Cataluña (España)

Maria Casamitjana<sup>1</sup>, Juan Carlos Loaiza<sup>2,3,\*</sup>, Núria Simon<sup>1</sup>, Pere Frigola<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero forestal, consultor particular, Universidad de Lleida, España.

<sup>2</sup> Escuela de Biociencias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

<sup>3</sup> Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona, España.

<sup>4</sup> Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural, Generalitat de Catalunya, España.

\* Correspondencia: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Escuela de Biociencias, Bloque 14, oficina 208, Medellín, Colombia. E-mail: jc.loaiza@ctfc.es

Recibido: 20 noviembre 2011; revisión recibida: 16 agosto 2012; aceptado: 22 agosto 2012.

El objeto de esta investigación es la evaluación de los efectos de los trabajos forestales en *Testudo hermanni hermanni*, así como establecer parámetros ecológicos útiles para el manejo de su hábitat. El estudio se realizó en el noroeste de España, en la sierra de la Albera, donde se encuentra una de las últimas poblaciones naturales. Mediante radioseguimiento semanal se estudiaron 21 tortugas en un periodo de seis meses comprendido entre julio de 2009 y enero de 2010, realizándose trabajos forestales entre octubre de 2009 y enero de 2010. El impacto de los trabajos y daños asociados fue estimado usando dos metodologías: el seguimiento de los desplazamientos de las tortugas monitorizadas y la utilización de modelos de yeso colocados en ubicaciones y condiciones similares a los individuos vivos. Los resultados del radioseguimiento muestran que la presencia de tortugas en zonas abiertas (pastos y alcornocal disperso) representa el 30% de las localizaciones, mientras que el 70% se ubica bajo bosque denso y matorral alto. El análisis del efecto de los trabajos forestales indicó que en el 45% de los casos las tortugas reaccionaron a los trabajos forestales incluso en periodo de hibernación. Los resultados de la simulación del impacto de los trabajos forestales sobre modelos de yeso mostraron que los trabajos realizados manualmente (desbrozadoras) ocasionaron heridas graves en un 4% de las tortugas, mientras que los daños realizados por trabajos mecanizados con tractor de cadenas en zonas planas representaron un 22% de mortalidad y un 6% de heridas graves.

**Key words:** dominio vital; tortuga mediterránea; trabajos forestales; radioseguimiento.

**Ecological aspects and effects of forestry management on a population of Hermann's tortoise (*Testudo hermanni hermanni*) in Catalonia (Spain).** The aim of this research was to evaluate the effects of forestry works on *Testudo hermanni hermanni*, and to establish ecological parameters useful for habitat management. This study took place in the northeast of Spain, in the Albera Mountains, where one of the last natural populations of Hermann's tortoises lives. Twenty-one tortoises were weekly monitored using radiotracking during six months, between July 2009 and January 2010. Between October 2009 and January 2010, forestry works took place at the study site. The impact of the forestry works and the associated damages were estimated using two approaches: the displacements of the monitored tortoises and the use of plaster models resembling tortoises, which were placed in similar locations and conditions to live tortoises. Radiotracking results showed that 30% of the tortoises were found on open areas (pastures and sparse cork oak forest), whereas 70% corresponded to dense forests and heath scrubland locations. The analysis of the effect of forestry works showed that tortoises were affected by the works in 45% of the cases, even during hibernation period. The simulation results of the impact of the forestry works based on plaster models showed that 4% of the models were seriously damaged when using manual works (brush cutters and clearing saws), whereas mechanized works (chain tractor) were responsible for an estimation of 22% mortality and 6% serious damages.

**Key words:** forestry works; home range; Mediterranean tortoise; radiotracking.

*Testudo hermanni hermanni* es una especie ligada a ambientes mediterráneos, con presencia en Europa del este y de forma aislada en los países del oeste (España, Francia, Italia, Islas Baleares, Córcega y Cerdeña (BERTOLERO, 2010)). Debido a la presión humana (cambio de usos del suelo, incendios forestales, capturas ilegales de individuos adultos y manejo forestal) y a la depredación, esta especie ha desaparecido en la mayoría de las regiones de Europa, siendo considerada en peligro de extinción (MADEC, 1996; GUYOT & CLOBERT, 1997; BUDÓ *et al.*, 2003). Estudios previos en Cataluña describen varios parámetros de esta especie como densidades, sex-ratios, parámetros reproductivos, efectos de la temperatura del suelo y otros aspectos ecológicos (BERTOLERO, 2002; BUDÓ *et al.*, 2003; Franch & Oller, datos no publicados), pero los estudios de sus dominios vitales son muy escasos (BERTOLERO, 2010), teniendo como única referencia estudios realizados en otras latitudes (CALZOLAI & CHELAZZI, 1991). Otro aspecto que no ha sido analizado es la influencia directa de los trabajos forestales y el efecto en el dominio vital. Debido a las capacidades miméticas de esta especie y a que gran parte del año permanece enterrada hibernando, la detección y seguimiento son complicados, tal y como sucede en la mayoría de los herpetos (MAZEROLLE *et al.*, 2007), con las dificultades que esto conlleva a la gestión de los espacios donde se encuentra presente. En Cataluña el sucesivo abandono de los campos y bosques en los últimos años ha generado una vegetación muy cerrada con continuidad vertical, sin ningún tipo de gestión, incrementando la biomasa forestal seca y el riesgo de incendios, con el consecuente efecto negativo en las

poblaciones de vertebrados en estos ambientes (MOREIRA & RUSSO, 2007). Los bosques mediterráneos precisan estrategias de manejo forestal con el doble propósito de promover la conservación de la biodiversidad de especies, y disminuir la ocurrencia de incendios forestales y la degradación de los hábitats (SCARASCIA *et al.*, 2000). Debido al incremento de los costes de contratación de mano de obra en las últimas décadas, se ha extendido el uso de tractores de cadenas para el manejo forestal, siendo precisa una evaluación de estas prácticas y de su efecto en la tortuga mediterránea. Este estudio se realizó en la Albera, la sierra más oriental de los Pirineos, donde se encuentra una de las últimas poblaciones nativas de *T. h. hermanni* en Cataluña (LLORENTE *et al.*, 2002; VILARDELL *et al.*, 2008).

El estudio tiene dos objetivos, el primero es describir parámetros ecológicos del dominio vital y estrategias de uso del espacio de *T. h. hermanni* en diferentes periodos de actividad para discutir la idoneidad del periodo de la realización de los trabajos. El segundo objetivo es evaluar el impacto de los trabajos forestales en las poblaciones de *T. h. hermanni* así como las tasas de mortalidad asociadas a éstos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

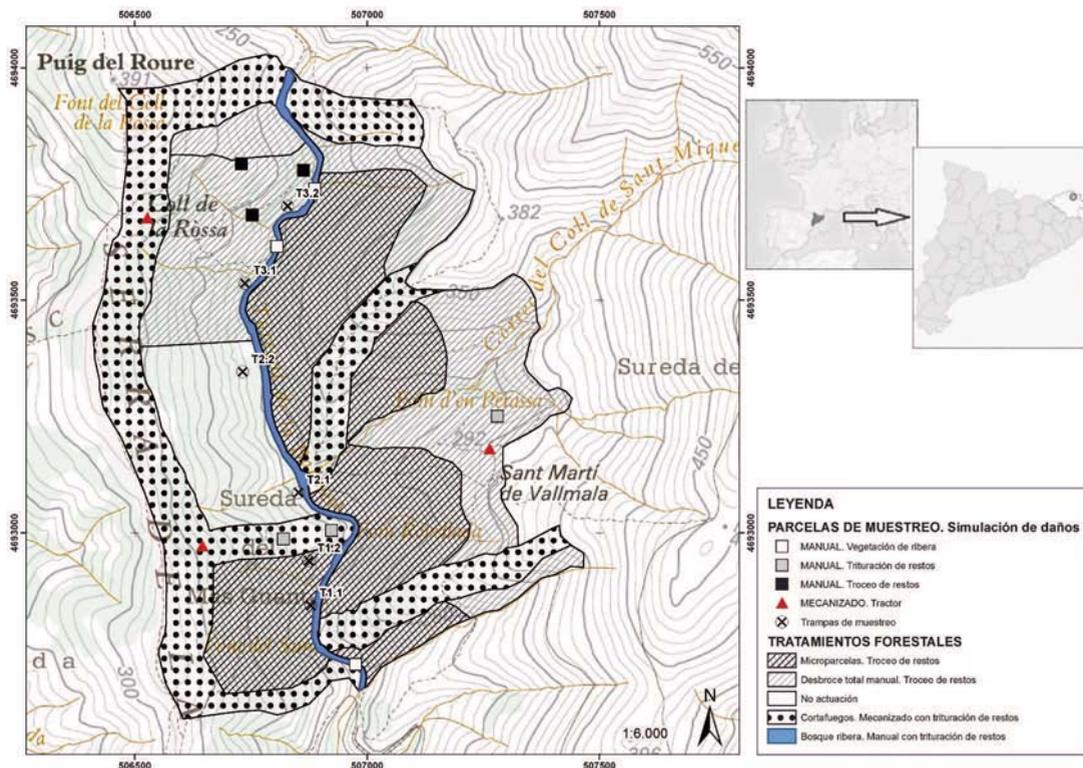
### *Zona de estudio y tratamientos forestales*

El estudio se llevó a cabo en la Sierra de la Albera, concretamente en el Valle de la Balmeta, zona protegida mediante las figuras PEIN (Espacio de Interés Natural) y Red Natura 2000, concretamente en una finca gestionada por la administración de Medio Ambiente (GE-3002) conocida como Mas

Guanter, del municipio de Llançà, en el Pirineo Oriental del noroeste de España (Fig. 1). Mas Guanter tiene un área de 578,57 ha, de las cuales 359,07 ha son arboladas y 219,5 ha son matorrales y pastos distribuidos en forma de mosaico. La localidad de estudio se ubica en la parte norte del valle en un área de 111,3 ha. El clima y la vegetación son típicamente mediterráneos, con una precipitación media anual de 563 mm (según fuentes del Paraje Natural de Interés Nacional la Albera), una temperatura media estival de 22,5°C, y una temperatura media en invierno de 6,4°C. El relieve del valle tiene pendientes pronunciadas, presentando el 85% de la zona de

estudio pendientes superiores al 30%, con una altitud que varía entre los 104 y los 605 m sobre el nivel del mar. El seguimiento de las tortugas se realizó entre julio de 2009 y enero de 2010. En el período comprendido entre octubre de 2009 y enero de 2010, se estudió el efecto de los trabajos forestales en las poblaciones monitorizadas aprovechando la realización de trabajos forestales en la finca de gestión pública donde se ubica la zona de estudio. Para ello, se delimitaron zonas con distintos tratamientos en función de la gestión realizada (Fig. 1). Los tratamientos estudiados fueron: desbrozado total, microparcelación, mantenimiento de

**Figura 1:** Localización de la zona de estudio. En el mapa se detallan los tratamientos forestales realizados, la localización de las trampas de muestreo y la situación de las parcelas de muestreo de simulación de daños donde se colocaron modelos de tortugas de yeso para evaluar el potencial impacto de los trabajos forestales sobre *T. h. hermanni*.



cortafuegos y mantenimiento de bosques de ribera. En la Tabla 1 se detalla la superficie afectada, junto con la maquinaria precisa, el tipo de restos producidos y la finalidad del trabajo forestal realizado. Dado que las tortugas usan los restos producidos en los trabajos (triturado y troceado), en este estudio se monitorizó el uso que hacían los individuos de los distintos restos. La trituración de restos implica un número superior de impactos de la máquina desbrozadora contra el suelo que en el troceado, y por tanto, un impacto potencialmente mayor sobre las tortugas.

Antes de empezar los trabajos forestales, los obreros recibieron formación sobre cómo actuar para reducir el riesgo de dañar tortugas con la maquinaria forestal manual, mediante la realización de un corte previo de la vegetación a 15 cm del suelo, para examinar la posible presencia de tortugas, y poder proceder a la trituración y troceado de restos con el menor impacto posible.

### *Técnicas de captura y radioseguimiento*

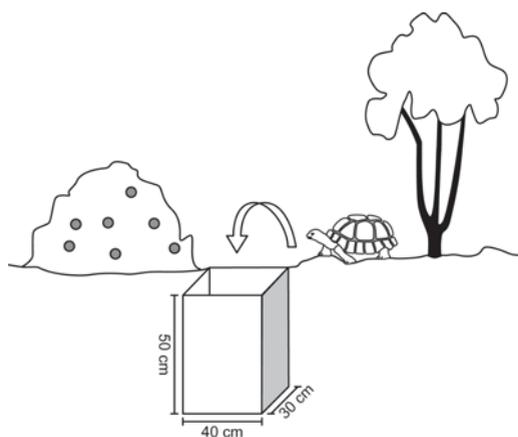
El proceso de monitorización se realizó mediante radioseguimiento para establecer el efecto a corto plazo de los trabajos forestales así

**Tabla 1:** Tratamientos efectuados en la zona de estudio. Para cada tratamiento se detalla la superficie afectada, la maquinaria utilizada, el tratamiento de restos realizados y la finalidad.

Tipo de tratamiento realizado sobre vegetación arbustiva	Superficie (ha)	Maquinaria	Restos	Finalidad
Desbrozado total	30*	Desbrozadora manual	Troceado de 50 cm con desbrozadora	Mejora del arbolado. Prevención incendios. Tratamiento comúnmente realizado en silvicultura
<i>Microparcelación</i> Desbroce de arbustos solo en los 3 m de radio alrededor de los alcornoques	30*	Desbrozadora manual	Troceado de 50 cm con desbrozadora	Mejora del arbolado y también la creación de zonas abiertas para las tortugas
<i>Cortafuegos</i> Desbroce total de sotobosque	3,9*	Tractor de cadenas	Trituración de restos	Prevención de incendios (cimas de cordilleras)
<i>Bosque de ribera</i> Desbroce total de sotobosque	1,3*	Desbrozadora manual	Trituración de restos con desbrozadora, manteniendo zonas intactas cada 30 m.	Prevención de avenidas de agua y prevención de propagación de incendios por los fondos del valle
No actuación	20	-	-	Comparación de comportamiento de las tortugas

\* Poda manual del arbolado

como establecer parámetros ecológicos útiles para el manejo de su hábitat, hasta ahora inexistentes para esta especie. El radioseguimiento se realizó entre julio de 2009 y enero de 2010, y los trabajos forestales tuvieron lugar entre octubre de 2009 y Enero de 2010. Esto permitió obtener información sobre los desplazamientos de las tortugas marcadas antes y después de la realización de los tratamientos forestales. Durante el mes de julio de 2009 se capturaron 21 ejemplares de *T. h. hermanni* en la zona de estudio, a mano o usando trampas de gravedad (Fig. 2). La mayoría de las capturas se realizaron durante las primeras horas del día o al anochecer (periodos de máxima actividad en verano), en ambientes húmedos como bajo zarzamoras y vegetación de ribera. Los individuos fueron sexados, medidos, pesados y marcados mediante marcas en las placas del caparazón (CAGLE, 1939). El peso medio de las hembras estudiadas fue de  $647 \pm 150,13$  gr (media  $\pm$  desviación estándar, SD) con unas dimensiones promedio de caparazón de  $14,83 \pm$



**Figura 2:** Diseño de las trampas de gravedad utilizadas para capturar tortugas en el fondo de valle durante el periodo estival, constituidas por recipientes plásticos enterrados totalmente en el suelo y cubiertas con vegetación (moras y dientes de león sobre hojarasca y un entramado de tallos largos) para atraer a las tortugas.

$1,24$  cm de longitud y  $11,5 \pm 0,79$  cm de ancho. En los machos el peso medio fue de  $447,4 \pm 184,1$  gr con una longitud media de  $13,56 \pm 2,22$  cm y un ancho de  $9,95 \pm 1,33$  cm. Además se anotaron anomalías en los individuos, el hábitat y la actividad desarrollada en el momento de la captura (ver más abajo las variables consideradas). A cada tortuga se le colocó un emisor (DL10, Ayama Segutel, Pantertronic, s.l., Mataró, España) asociado a una señal de radio para ser localizada periódicamente, gracias a un receptor VHF de 21 canales, de 216 MHz, de 10 CV con un margen de 100 dB, el cual permite obtener una gran precisión en la búsqueda. Los emisores instalados tenían una durabilidad de 6 a 8 meses, con batería de botón, con un pulso de 20 mS y 40 pulsaciones por minuto. Los transmisores fueron adheridos al caparazón mediante resina Demotec (Demotec 90, Ankapodol, Nideran, Alemania) colocándolos entre la segunda y tercera placa costal en machos y en la parte central del caparazón en hembras, para interferir en la menor medida posible en la actividad de las tortugas. Una vez colocados, las tortugas fueron liberadas en su localización inicial. El radioseguimiento consistió en una localización semanal (aunque si los trabajadores forestales se aproximaban a las tortugas se realizaba un seguimiento diario). En cada localización, se anotó el tipo de vegetación usada como refugio (herbáceas, restos de vegetación muerta, *Erica arborea*) así como el hábitat (brezal, alcornocal, campo, vegetación ribera) y el grado de apertura de la vegetación, la actividad (hibernación, desplazamiento, alimentación, reproducción) y las coordenadas UTM. Cabe resaltar que tres de las tortugas monitorizadas presentaban miembros amputados, lo que sirvió para evaluar la capacidad de desplazamiento de individuos discapacitados, comunes en la zona estudiada, ante traba-

jos forestales. Para analizar la actividad de las tortugas se calculó el desplazamiento acumulado y el desplazamiento medio diario por cada estación del año estudiado (otoño y verano).

### *Caracterización del dominio vital*

Para estimar el dominio vital previo a los trabajos forestales se analizaron los puntos obtenidos durante el radioseguimiento utilizando polígonos kernel fijos. Este método se aproxima más a la realidad que otras metodologías como los centros de actividad y otras alternativas no paramétricas (POWELL, 2000; KERNOHAN *et al.*, 2001). Los datos fueron analizados mediante el software ArcView (ESRI, California, USA) y las extensiones Animal Movement Analysis (Alaska Biological Science Center, Alaska, USA) (HOOGE & EICHENLAUB, 1997) y “Home Range Extension” HRE (Center for Northern Forest Ecosystem Research, Ontario, Canada) (RODGERS & CARR, 2002), muy eficiente en la determinación de contornos de probabilidad de dominios vitales (MITCHELL, 2006). Se calcularon los polígonos kernel de cada uno de los individuos estudiados, así como de todas las observaciones conjuntas, analizando la zona núcleo (kernel 50%) y la zona representativa (kernel 95%) que indican el 50 y el 95% del área de campeo del animal, respectivamente, y que corresponden a la probabilidad de encontrar un individuo en estas superficies. Se estudió el dominio vital en función del sexo y de la estación del año, así como los parámetros de las zonas de hibernación elegidas. De acuerdo con los polígonos obtenidos se describió el dominio vital (vegetación, pendiente, hábitat) de la tortuga para establecer los parámetros necesarios para su conservación (LONGEPIERRE *et al.*, 2001). Para la caracterización de la vegetación del domi-

nio vital y confirmación de las delimitaciones realizadas en el campo, se realizó un mapa de vegetación de la zona de estudio mediante fotointerpretación.

Los datos obtenidos se analizaron mediante una *t* de Student o G-test en función de las variables a analizar (continuas o categóricas, respectivamente (McDonald, 2009)), usando el software SPSS (version 18.0, SPSS Inc, Chicago, USA).

### *Estudio de los daños directos causados por trabajos forestales*

Con el objetivo de analizar el potencial efecto de la maquinaria utilizada en los trabajos forestales sobre la población de *T. b. hermanni* estudiada, se diseñó un molde de 15 cm de longitud y 11 cm de ancho, con dimensiones y forma similares a una tortuga, con el que se fabricaron modelos en yeso. Éstos se distribuyeron de forma aleatoria en tres sub-parcelas de muestreo de 200 m<sup>2</sup> por cada tratamiento forestal (manual con troceado, manual con trituración de restos y mecanizado). En el caso de trabajos manuales se estudió otro parámetro, la vegetación cortada, considerando tres tipos de vegetación con distinta resistencia al corte (zarzamora, brezal (*E. arborea*) y vegetación herbácea (en su mayoría *Brachypodium retusum*)). En total se colocaron nueve modelos por tipo de vegetación y parcela de muestreo, sumando un total de 81 modelos por cada tratamiento manual (manual con troceado restos y manual con triturado de restos). En el caso de trabajos mecanizados se estimó el factor relieve, seleccionando tres parcelas en ubicaciones planas y tres parcelas en pendiente. En cada parcela de muestreo se colocaron nueve modelos de yeso, en lugares similares a los observados en tortugas en condiciones de actividad. El número total de

**Tabla 2:** Superficie del dominio vital (representativo y núcleo) de acuerdo con el sexo. Para cada zona se muestra la media y desviación estándar (SD).

	Dominio vital representativo (ha) (95% kernel)		Área núcleo (ha) (50% kernel)	
	Media	SD	Media	SD
Machos (N = 10)	5,7	3,42	1,24	0,83
Hembras ( N = 11)	3,24	2,36	0,66	0,51
Total individuos	4,35	3,07	0,92	0,71

modelos de yeso usados para analizar el efecto de la maquinaria fue de 54, sumando un total de 216. Cuando los trabajos finalizaron, se recogieron los modelos y se calculó el porcentaje de daños con distintos grados de afectación (no tocada, daños leves, daños graves, muerte) de acuerdo con la profundidad de las marcas realizadas por la maquinaria.

Debido a que hay dos posibles factores estimados como influyentes en los resultados del impacto de la maquinaria en las tortugas, se planteó un diseño estadístico en bloques aleatorios, considerando la maquinaria utilizada como factor principal y la vegetación como factor secundario en el caso de los trabajos manuales, y la pendiente en el caso de los trabajos mecanizados. Se partió de la hipótesis nula de que los distintos tratamientos afectan de igual manera a las tortugas. Los datos se analizaron mediante un análisis de frecuencias (G-test), mediante el software SPSS (version 18.0, SPSS Inc, Chicago, USA).

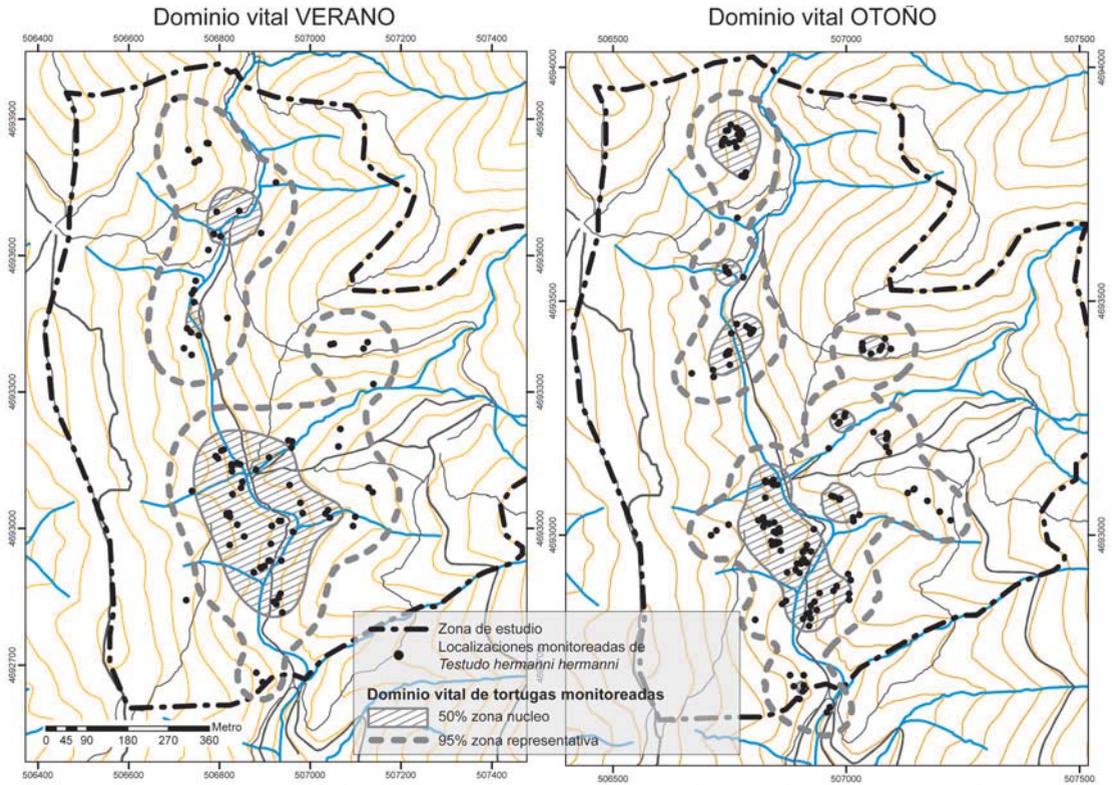
## RESULTADOS

### *Dominio vital*

De acuerdo con los datos registrados (376 localizaciones totales, siendo 316 en fase activa y 60 en fase de hibernación) se obtuvo un dominio vital total de 70,89 ha (95% de las

localizaciones) y una zona núcleo (50% localizaciones) de 17,4 ha. Comparando el dominio vital de los individuos estudiados según el sexo se puede observar como éste es ligeramente superior en el caso de los machos (Tabla 2), aunque de forma no significativa ( $t = 1,902$ ;  $P = 0,073$ ). El área del dominio vital en verano y otoño (Fig. 3) es de 36,83 y 33,00 ha (95% probabilidad) y 9,82 y 7,80 ha (50% probabilidad), respectivamente. Estadísticamente la diferencia estacional de la superficie del dominio vital no es significativa ( $t = 1,893$ ;  $P = 0,051$ ). En verano, los individuos presentan mayores desplazamientos, debido a una mayor actividad y dominios vitales más extensos. El solapamiento del dominio vital con los mapas de vegetación mostró que el dominio vital posee el 50% de la superficie en zonas con vegetación abierta (Tabla 3). Asimismo, si comparamos dichos porcentajes con la distribución de hábitats en la zona de estudio, se observa que los brezales cerrados fueron utilizados con menor intensidad que lo esperado. Durante verano y otoño la vegetación utilizada para resguardarse durante la noche o en las horas de máximo calor durante el día fue la siguiente: 47% bajo zarzamora, 28% bajo brezal 25% bajo *B. retusum* y restos de vegetación muerta (Fig. 4).

Se observa una diferencia estacional (verano, otoño, invierno) en el uso de la vegetación del dominio vital. En verano, cuando las



**Figura 3:** Dominios vitales de las 21 tortugas monitorizadas mediante radioseguimiento en las estaciones de verano y otoño.

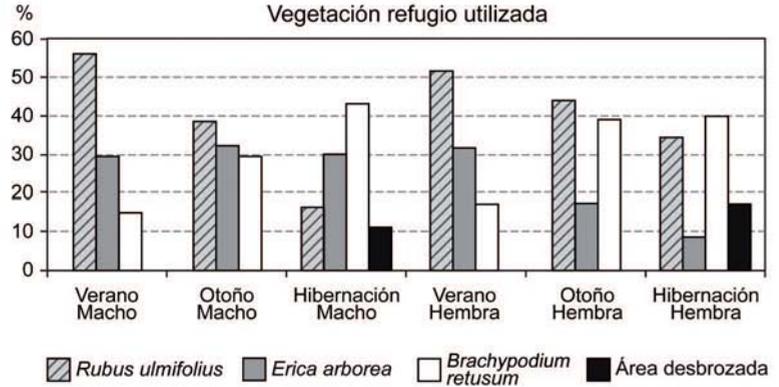
temperaturas son altas (26,7°C de temperatura media) y la pluviometría es baja (70 mm en 3 meses), las tortugas monitorizadas eligieron las zonas de fondo de valle (zona sin agua y con poca insolación) con presencia de zarzamora para esconderse en el 53,8% de los casos, mientras que en el 30,3% de los casos se escondían bajo brezo y en el 15,9% en zonas abiertas con *B. retusum* o herbáceas, donde la insolación es mayor. En otoño se sitúan en las laderas, en zonas abiertas. Las zonas de hibernación utilizadas (a partir de noviembre), son bajo *B. retusum* y herbáceas en un 47,1% de los casos, en un 19,4% bajo *E. arborea*, y en un

25% bajo *R. ulmifolius*. El 13,9% de los individuos en hibernación fueron encontrados bajo restos de vegetación desbrozada (Fig. 4).

**Tabla 3:** Porcentaje de presencia de *T. h. hermanni* en los hábitats analizados en la zona de estudio (111,3 ha), así como en el dominio vital representativo (95% kernel; ver texto para más detalles).

Hábitat	% Zona estudio	% Dominio vital
Brezal abierto	29,7	33,7
Brezal cerrado	27,6	18,2
Alcornocal disperso con sotobosque bajo	15,6	19,9
Campo	0,8	1,3
Vegetación de ribera y zarzamoras	7,6	7,4
Alcornocal denso con sotobosque cerrado	18,8	19,5

**Figura 4:** Tipos de vegetación refugio. En el periodo activo corresponde a la vegetación usada como refugio durante las noches o en las horas más calurosas. En el periodo inactivo (o de hibernación) corresponde a la vegetación bajo la cual las tortugas se semienterraron.



Finalmente, la diferencia del uso de la vegetación como refugio es significativa entre machos y hembras en otoño ( $G = 11,670$ ;  $P = 0,0014$ ) e invierno ( $G = 44,197$ ;  $P < 0,001$ ), mientras que en verano no hubo diferencias ( $G = 0,702$ ;  $P = 0,35$ ), siendo *R. ulmifolius* el refugio empleado mayoritariamente.

La caracterización de la pendiente del dominio vital muestra que la mayoría de la actividad se desarrolla en pendientes entre el 30 y el 50%, representando un 43,7% de la superficie del dominio vital, siendo las tortugas capaces de subir antiguas terrazas antrópicas de piedra seca. Las zonas de hibernación se caracterizan por el uso mayoritario de terrazas en las zonas donde se realizaron trabajos manuales de desbroce total de sotobosque con troceado de restos. Machos y hembras realizaron desplazamientos similares en las pendientes ( $t = 0,752$ ;  $P = 0,461$ ). Por otro lado, aunque con un resultado marginal, las tortugas amputadas no presentaron una inferioridad significativa en cuanto a la capacidad de subir pendientes ( $t = 2,007$ ;  $P = 0,057$ ).

### Desplazamientos

Los desplazamientos observados se pueden consultar en la Tabla 4. Se observó un incre-

mento de la actividad y desplazamiento de los individuos con las lluvias estivales (Fig. 5). Asimismo, se constató un aumento de la actividad de las tortugas monitorizadas frente a la proximidad de los trabajos forestales, algunas de las cuales realizaron cortos desplazamientos en dirección opuesta a los trabajos. En relación a las tortugas con miembros amputados, no se observaron diferencias entre los desplazamientos totales realizados por éstas y por las tortugas no lesionadas ( $t = 1,566$ ;  $P = 0,13$ ).

### Impacto de los trabajos forestales

Durante la realización de los trabajos forestales, los operarios manuales encontraron 15 tortugas vivas e hirieron levemente una en la tercera placa costal, sin afectar a su supervivencia (seguimiento en libertad durante un año posterior). Además se encontraron ocho caparazones de tortuga con marcas de depredación, hecho no relacionado con este estudio.

Los resultados obtenidos de los modelos (Tabla 5) muestran que los trabajos mecanizados pueden llegar a causar un 37% de mortalidad (moldes de yeso destruidos debido al atropello por la maquinaria o cortes en la parte dorsal central donde se ubica la colum-

**Tabla 4:** Desplazamientos acumulado y medio diario (media y desviación estándar SD) observados en función del sexo y la estación del año. El desplazamiento global representa la media del desplazamiento total de machos y hembras.

		Desplazamiento acumulado (m)		Desplazamiento medio diario (m / día)	
		Machos	Hembras	Machos	Hembras
Verano	Media	642	477,8	14,1	10,1
	SD	334,6	354,7	7,4	7,7
Otoño	Media	142,9	132,8	3,7	3,6
	SD	61,3	67,2	1,9	3
Invierno	Media	73	31,9	2,3	1
	SD	97,4	24,4	3,7	0,7
Total	Media	857,9	642,4	8,3	7
	SD	324,9	408,1	12,4	14
Desplazamiento global	Media	752,6		7,7	
	SD	370,4		13,2	

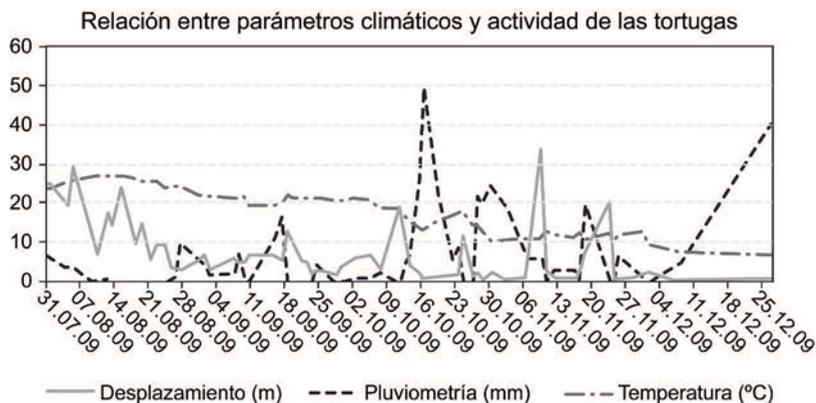
na de las tortugas) en terrenos planos, mientras que este porcentaje disminuye en relieves irregulares (19%), ya que la cadena de la maquinaria pasa muy por encima de los individuos. Los trabajos manuales con desbrozadora mostraron que los individuos encuentran mayor protección bajo *E. arborea*, alcanzando un 5% de daños leves en trituración y un 4% de daños graves en troceado de restos. En relación al uso de herbáceas y zarzamora como protección, la simulación muestra un 10% y un 11% de daños leves bajo troceado, respectivamente, mientras que en los trabajos de trituración se estimó un 7% de daños leves bajo herbáceas. Realizando un análisis de frecuencias (G-test), se encontró que la diferencia de daños entre los distintos tratamientos (manuales o mecanizados) es altamente significativa ( $G = 62,810$ ;  $P < 0,001$ ). El efecto del relieve en el tratamiento mecanizado es altamente significativo en cuanto a los daños ocasionados ( $G = 27,652$ ;  $P < 0,001$ ). La vegetación existente en el caso de tratamientos manuales también comporta efectos signi-

ficativamente distintos en las tortugas simuladas ( $G = 7,861$ ;  $P = 0,009$ ). Finalmente, no se encontraron diferencias significativas en el efecto del tipo de trabajo manual realizado (troceado versus triturado) en *B. retusum* ( $G = 2,126$ ;  $P = 0,345$ ). En cambio, los resultados fueron significativos en *E. arborea* ( $G = 7,868$ ;  $P = 0,0097$ ).

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio han permitido vislumbrar algunos aspectos que son importantes para la gestión del territorio en presencia de tortuga mediterránea. Entre los parámetros estudiados se confirmó que el rango altitudinal del dominio vital de las tortugas se mantuvo entre 148 y 299 m sobre el nivel del mar, tal y como indicaban los resultados encontrados por LLORENTE *et al.* (1995), en los que se observó un rango entre el nivel del mar y los 400 metros de altitud. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en el tamaño del dominio vital

**Figura 5:** Relación entre temperatura, pluviometría y desplazamiento de las tortugas monitorizadas durante el periodo de estudio. Unidades del eje vertical expresadas entre paréntesis en la leyenda.



por sexo ni por estación, aunque sí se encontraron diferencias en el uso de la vegetación refugio por sexos y por estación. Se confirmó que dentro del dominio vital de las tortugas los espacios abiertos tienen una gran importancia, representando un 30% del dominio vital, tal y como observó BERTOLERO (2010), siendo también importante la presencia de zonas de vegetación más cerrada donde poder resguardarse. Por lo tanto, se recomienda la realización de trabajos forestales para mantener zonas abiertas, y al mismo tiempo espaciados en el tiempo, que permitan mantener una vegetación en mosaico. Este hecho per-

mitirá mantener la vegetación refugio necesaria en cada estación del año, especialmente en verano, cuando las tortugas hacen un mayor uso de zonas más cerradas (53,8% de los casos bajo zarzamora y 30,8% bajo brezo). Considerando estos resultados, sería preferible la realización de trabajos forestales en invierno, debido a que las plantas desbrozadas tienen tiempo suficiente para regenerarse hasta el verano entrante. Asimismo, durante el periodo de hibernación los restos de desbroce pueden ser utilizados como refugio. Para la realización de los trabajos forestales en este periodo es importante destacar que la

**Tabla 5:** Grado de afectación o daños provocados por el impacto directo de los distintos tratamientos forestales realizados sobre 216 tortugas simuladas en yeso.

Tratamiento forestal		% de tortugas			
		No tocadas	Daños leves	Daños graves	Muerte
Trabajos manuales (corte de restos de 50 cm, con desbrozadora)	<i>B. retusum</i>	85	11	4	0
	<i>E. arborea</i>	95	4	1	0
	<i>R. ulmifolius</i>	90	10	0	0
	Media	90	9	1	0
Trabajos manuales (con trituración de restos con desbrozadora)	<i>B. retusum</i>	89	7	4	0
	<i>E. arborea</i>	96	0	4	0
	Media	92	4	4	0
Trabajos mecanizados (tractor de cadenas)	Pendiente	67	15	1	17
	Zonas planas	56	7	11	26
	Media	61	11	6	22

hibernación de *T. h. hermanni* es discontinua y que por lo tanto se puede ver interrumpida por varios factores como el incremento puntual de la temperatura en pleno invierno o la proximidad de trabajos forestales (BERTOLERO, 2010). Por lo tanto, los trabajos realizados en invierno, en zonas con tortugas y en periodo de hibernación tienen que ser realizados cuidadosamente. La realización de trabajos en otras estaciones, como en la primavera, que coincide con el inicio del periodo reproductor, y por lo tanto con un periodo de máxima actividad, puede resultar inadecuada debido al impacto sonoro y a la destrucción del hábitat idóneo para el periodo estival. Por otro lado, tal y como se ha confirmado en nuestro estudio, el mayor riesgo de daños se observa en terrenos planos y en el empleo de maquinaria forestal pesada. Por esa razón, en las zonas por debajo de 300 m de altitud se recomienda la realización de trabajos manuales de forma exclusiva, evitando tractores de cadenas. Además, para minimizar al máximo el impacto de los trabajos forestales se recomienda que éstos sean realizados por trabajadores sensibilizados con la presencia de tortugas.

El resultado relativo al impacto de los trabajos manuales (4%) es inferior a la estimación de mortalidad debida a incendios forestales, estudiada mediante técnicas de captura-recaptura por varios autores (70% y 57% de impacto según HAILEY, 2000 y COUTURIER *et al.*, 2011, respectivamente). Los resultados de nuestro estudio indican un impacto variable del tipo de maquinaria y tratamiento de restos (troceado o triturado) en función del tipo de vegetación, de manera que aunque en especies leñosas no hay diferencias, en el sotobosque herbáceo sí que se observan diferencias. Por lo tanto, se recomienda un especial cuida-

do en la realización de tratamiento de restos por trituración en sotobosque herbáceo.

En este estudio solo se han considerado los daños que pueden provocar mortalidad directa. Sin embargo, otros factores como la infección de heridas leves, no han sido considerados. Los resultados obtenidos del análisis de individuos con miembros amputados muestran que éstos no diferían significativamente del resto en la capacidad de desplazamiento ni en la capacidad de subir pendientes, aunque los dominios vitales eran más reducidos que en los individuos sanos. A pesar de que la probabilidad de muerte directa a causa de los trabajos forestales en los individuos con miembros amputados se estima, por lo tanto, igual que en los individuos sin lesiones, los primeros parecen más susceptibles a la depredación, debido a los dominios vitales más reducidos. Esta afirmación concuerda con los resultados observados por ESQUE *et al.* (2010) en tortugas del desierto (*Gopherus agassizii*), donde las hembras, con dominio vital inferior, sufrieron una mayor mortalidad por depredación.

Finalmente, en un futuro será interesante ampliar el estudio a otras estaciones del año donde la actividad de las tortugas es mayor, especialmente durante la primavera y verano, y así cerrar el ciclo anual de la especie. También se recomienda realizar un estudio de depredación sobre *T. h. hermanni* para evaluar el impacto relativo de los trabajos forestales en relación al impacto por depredación.

#### *Agradecimiento*

Esta investigación fue encargada por la Dirección General de Medio Ambiente y Política Forestal. Agradecemos la colabora-

ción de TRAGSA S.L. y Miguel Galán, por facilitar la investigación. El autor principal quiere agradecer la colaboración del Centre de Reproducció de Tortugues de l'Albera por su apoyo durante el transcurso del estudio.

## REFERENCIAS

- BERTOLERO, A. (2002). Biología de la tortuga mediterránea aplicada a su conservación. Tesis doctoral, Universitat de Barcelona.
- BERTOLERO, A. (2010). Tortuga mediterránea – *Testudo hermanni*, In A. Salvador & A. Marco (eds.) *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. Disponible en <http://www.vertebradosibericos.org/reptiles/tesher.html>. Consultado el 15/06/2012.
- BUDÓ, J.; CAPALLERAS, X.; MASCORT, R. & FÈLIX, J. (2003). Estudi de la depredació de postes de tortuga mediterrània (*Testudo hermanni hermanni*) a la serra de l'Albera (Pirineu oriental, Catalunya). *Butlletí de la Societat Catalana d'Herpetologia* 16: 20-23.
- CAGLE, F.R. (1939). A system of marking turtles for future identification. *Copeia* 3: 170-172.
- CALZOLAI, R. & CHELAZZI, G. (1991). Habitat use in a central Italy population of *Testudo hermanni* Gmelin (Reptilia Testudinidae). *Ethology Ecology and Evolution* 3: 153-166.
- COUTURIER, T.; CHEYLAN, M.; GUÉRETTE, E. & BESNARD, A. (2011). Impacts of a wildfire on the mortality rate and small-scale movements of a Hermann's tortoise *Testudo hermanni hermanni* population in southeastern France. *Amphibia-Reptilia* 32: 541-545.
- ESQUE, T.C.; NUSSEAR, K.E.; DRAKE, K.K.; WALDE, A.D.; BERRY, K.H.; AVERILL-MURRAY, R.C.; WOODMAN, A.P.; BOARMAN, W.I.; MEDICA, P.A.; MACK, J. & HEATON, J.S. (2010). Effects of subsidized predators, resource variability, and human population density on desert tortoise populations in the Mojave Desert, USA. *Endangered Species Research* 12: 167-177.
- GUYOT, G. & CLOBERT, J. (1997). Conservation measures for a population of Hermann's tortoise *Testudo hermanni* in southern France bisected by a major highway. *Biological Conservation* 79: 251-256.
- HAILEY, A. (2000). The effects of fire and mechanical habitat destruction on survival of the tortoise *Testudo hermanni* in northern Greece. *Biological Conservation* 92: 321-333.
- HOOG, P.N. & EICHENLAUB, B. (1997). *Animal Movement Extension to Arcview. ver. 1.1*. Alaska Science Center - Biological Science Office, U.S. Geological Survey, Anchorage, Alaska, USA.
- KERNOHAN, B.J.; GITZEN, R.A. & MILLSPAUGH, J.J. (2001). Analysis of animal space use and movements, In J.J. Millspaugh & J.M. Marzluff (eds.) *Radio Tracking Animal Populations*. Academic Press, San Diego, pp. 126-166.
- LLORENTE, G.A.; MONTORI, A.; SANTOS, X. & CARRETERO, M.A. (1995). *Atlas dels amfibis i rèptils de Catalunya i Andorra*. Editorial El Brau, Figueres, Spain.
- LLORENTE, G.A.; MONTORI, A.; CARRETERO, M.A. & SANTOS, X. (2002). *Testudo hermanni* (Gmelin, 1789) Tortuga mediterránea, In J.M. Pleguezuelos, R. Márquez & M. Lizana (eds.) *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza - Asociación Herpetológica Española, Madrid, pp. 151-153.
- LONGEPIERRE, S.; HAILEY, A. & GERNOT, C. (2001). Home range area in the tortoise

- Testudo hermanni* in relation to habitat complexity: implications for conservation of biodiversity. *Biodiversity and Conservation* 10: 1131-1140.
- MADEC, D. (1996). La predation dans le processus de conservation de la Tortue d'Hermann, *Testudo hermanni*, In B. Devaux (ed.) *Proceedings of the International Congress of Chelonian Conservation*, SOPTOM editorial, Gonfaron, France, pp. 181-183.
- MAZEROLLE, M.J.; BAILEY, L.L.; KENDALL, W.L.; ROYLE, J.A.; CONVERSE, S.J. & NICHOLS, J.D. (2007). Making great leaps forward: accounting for detectability in herpetological field studies. *Journal of Herpetology* 41: 672-689.
- MCDONALD, J.H. (2009). *Handbook of Biological Statistics, 2<sup>nd</sup> ed.* Sparky House Publishing, Baltimore, Maryland, USA.
- MITCHELL, B.R. (2006). Comparison of programs for fixed kernel home range analysis. Remotely Wild. Disponible en <http://www.wildlife.org/wg/gis/newsletter/jun06/hrcompar.htm>. Consultado el 15/06/2012.
- MOREIRA, F. & RUSSO, D. (2007). Modelling the impact of agricultural abandonment and wild-fires on vertebrate diversity in Mediterranean Europe. *Landscape Ecology* 22: 1461-1476.
- POWELL, R.A. (2000). Animal home ranges and territories and home range estimators, In L. Boitani & T.K. Fuller (eds.) *Research Techniques in Animal Ecology*. Columbia University Press, New York, pp. 65-110.
- RODGERS, A.R. & CARR, A.P. (2002). *HRE: The Home Range Extension for ArcView™ (Beta Test Version 0.9, July 1998). User's Manual*. Center for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario, Canada.
- SCARASCIA, G.; OSWALD, H.; PIUSSI, P. & RADOGLU, K. (2000). Forests of the Mediterranean region: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management* 132: 97-109.
- VILARDELL, A.; CAPALLERAS, X.; BUDÓ, J.; MOLIST, F. & PONS, P. (2008). Test of the efficacy of two chemical repellents in the control of Hermann's tortoise nest predation. *European Journal of Wildlife Research* 54: 745-748.