

# Evaluando diferentes fuentes de datos para el modelado de la distribución de especies: datos de presencia de ciencia ciudadana y de introducciones históricas

María del Carmen Griñán Pozo



**Tutores:** Juan Manuel Pérez García, Eva Graciá Martínez y María Victoria Jiménez Franco

**4º Curso. Grado en Ciencias Ambientales**

**Departamento de Biología Aplicada. Área de Ecología**

**Universidad Miguel Hernández de Elche**

**2016-2017**

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
  - 1.1. Modelos espacialmente explícitos en ecología
  - 1.2. Diversas posibilidades para la colecta de datos de campo
  - 1.3. Los reptiles como especies modelo
2. ANTECEDENTES
3. OBJETIVOS
4. MATERIAL Y MÉTODOS
  - 4.1. Área de estudio
  - 4.2. Colecta de datos
  - 4.3. Variables ambientales
  - 4.4. Modelado de datos
  - 4.5. Análisis de solapamiento
5. RESULTADOS
  - 5.1. Modelo con datos bibliográficos y de ciencia ciudadana
  - 5.2. Modelo con y sin introducciones
6. DISCUSIÓN
  - 6.1. Comparación de la distribución potencial de *Testudo graeca graeca* entre datos bibliográficos y de ciencia ciudadana
  - 6.2. Comparación de la distribución potencial de *Testudo graeca graeca* entre datos de poblaciones naturales e introducidas históricamente.
7. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA
8. BIBLIOGRAFÍA
9. ANEXOS

## RESUMEN

Los modelos de distribución son herramientas muy útiles en ecología para estudiar los patrones de distribución de especies y poder realizar predicciones en escenarios de cambio global. Evaluar cómo afectan las fuentes de los datos a los modelos de distribución es esencial para identificar debilidades en las predicciones. En este trabajo se comparan modelos de distribución para la subespecie de tortuga mora *Testudo graeca graeca*, utilizando diferentes fuentes de procedencia de datos de presencias. Específicamente se comparan modelos utilizando datos de bibliografía y bases de datos de ciencia ciudadana, y con y sin introducciones históricas. Los modelos se construyeron y proyectaron utilizando los programas QGIS y MaxEnt.

Los modelos realizados con datos de presencias bibliográficas resultaron más adecuados que los de ciencia ciudadana. Por su parte, los modelos en los que se incluyeron introducciones históricas de *T. g. graeca* resultaron igual de robustos que en aquellos en los que no. Los resultados de este estudio concluyen que es necesario realizar una revisión en profundidad de los datos antes de elaborar los modelos de distribución de especies, evitando así posibles errores por sesgos en la distribución espacial de las citas.

## SUMMARY

Distribution models are tools very useful in Ecology to study the patterns of distribution of species and to make predictions under global change conditions. To evaluate how different data sources affect these models is essential to identify limitations of predictions. In this work, we compare models of distribution for the subspecies of the spur-thighed tortoise *Testudo graeca graeca*, using different data sources of presences. Specifically, we compare models using bibliographic data and databases of citizen science, and with and without historical populations. The models were built and projected using QGIS and MaxEnt.

The models built with bibliographic data resulted more adequate than the models from citizen science. However, the models were not sensible to the consideration of historical populations. The results of this study conclude that it is necessary to review the data to be used in species distribution modelling to avoid errors due to biases in the spatial distribution of presence data.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Modelos espacialmente explícitos en ecología

Los modelos ecológicos son representaciones matemáticas simplificadas de la realidad. Las aplicaciones de estos modelos son muy numerosas, y cada día aparecen nuevas ideas. Entre los campos de aplicación quizás los más evidentes sean los relacionados con la riqueza de especies (Cumming 2000, Lehmann et al., 2002, Hortal et al., 2004, Wohlgemuth et al., 2008) y con la distribución potencial de comunidades y especies (Ferrier y Guisan 2006). Los modelos se pueden dividir en dos grandes grupos, los modelos espacialmente implícitos y espacialmente explícitos. Los espacialmente explícitos son más complejos que los implícitos, ya que incorporan reglas detalladas en el modelo espacial de tal forma que cada especie y/o proceso ecológico posee coordenadas o restricciones espaciales determinadas (Zavala et al., 2006). La utilización de los modelos espacialmente explícitos ha crecido en las últimas décadas debido a la mejora en los sistemas de recopilación de información y por la mejora en las herramientas de tratamiento estadístico e informático de los datos. Entre estas mejoras aparece una herramienta clave, los sistemas de información geográfica (SIG), los cuales permiten acumular, ver, manipular y analizar una gran cantidad de datos georreferenciados de una forma rápida y eficaz, obteniendo información útil para la gestión de poblaciones. Su desarrollo y aplicación ha sido especialmente relevante en el marco de la ecología espacial (Zavala et al., 2006).

Por su gran utilización, entre los modelos espacialmente explícitos cabe destacar los modelos de distribución de especies o como se denominan en inglés *Species Distribution Models*. Estos modelos utilizan el nicho ecológico como base teórica para comprender las dimensiones ambientales y ecológicas en las que se encuentra un determinado taxón y proyectar su distribución potencial en relación con factores abióticos (como precipitación o temperatura) y bióticos (como tipos de vegetación o usos del suelo).

El desarrollo de diferentes algoritmos matemáticos ofrece la posibilidad de modelar el nicho ecológico de los taxones bajo diferentes asunciones. Entre los diferentes algoritmos de modelado que existen podemos destacar BIOCLIM (Busby, 1986), GARP (Stockwell y Peterson, 1999) y MaxEnt (Phillips et al., 2006). Sus aproximaciones para el modelado del nicho ecológico difieren. Por ejemplo, BIOCLIM utiliza algoritmos de envolturas climáticas, GARP utiliza algoritmos genéticos y MaxEnt por su parte algoritmos de máxima entropía.

Algunas de las aplicaciones de los modelos de distribución de especies pueden ser: el análisis de las relaciones biológicas entre las especies y su ambiente, la búsqueda de áreas con hábitats que pudieran albergar taxones en riesgo, la ubicación de nuevas poblaciones o reintroducciones (Hirzel et al., 2004), la predicción de distribuciones ante escenarios de cambio climático (Pech-Cárdenas y Espadas-Manrique, 2014) o la predicción de zonas de riesgo de impacto de infraestructuras o diseño de espacios protegidos (Pérez-García et al., 2017).

## 1.2. Diversas posibilidades para la colecta de datos de campo

La fuente de los datos de campo es relevante a la hora de llevar a cabo el modelado ecológico y podría influir en los resultados obtenidos. En este sentido cabe destacar que en los últimos 5 años se ha producido una revolución en la colecta de datos con el movimiento conocido como ciencia ciudadana o *Citizen Science*. El documento "*Green Paper on Citizen Science: Citizen Science for Europe*" hace una definición de ciencia ciudadana (Socientize Project, 2013) que se detalla en el Cuadro 1.

### **Cuadro 1.** Definición de ciencia ciudadana según Socientize Project (2013)

*"El compromiso del público general en actividades de investigación científica; cuando los ciudadanos contribuyen activamente a la ciencia con su esfuerzo intelectual o dando soporte al conocimiento con sus herramientas o recursos. Los participantes proveen datos experimentales o equipos a los investigadores. Los voluntarios, a la vez que aportan valor a la investigación, adquieren nuevos conocimientos o habilidades, y un mejor conocimiento del método científico de una manera atractiva. Como resultado de este escenario abierto, colaborativo y transversal, las interacciones entre ciencia-sociedad-políticas investigadoras mejoran, conduciendo a una investigación más democrática, basada en la toma de decisiones basada en evidencias informadas surgidas del método científico, total o parcialmente, por parte de científicos amateur o no profesionales."*

En el ámbito de la ecología y la conservación de especies esta actividad científica se lleva a cabo, entre otros, mediante herramientas y plataformas informáticas como:

- *eBird* ([ebird.org](http://ebird.org)), lanzado en 2002 por el Laboratorio Cornell de Ornitología y la Sociedad Nacional Audubon, incorpora datos en tiempo real sobre la distribución y abundancia de aves;
- *iNaturalist* ([inaturalist.org](http://inaturalist.org)), se trata de una red social en línea por la que se comparten observaciones de biodiversidad en todo el mundo. Comenzó en 2008 como un proyecto final de la máster de la Universidad de Berkeley;

- *Observation* ([observation.org](http://observation.org)), una herramienta gratuita, práctica y útil para que los observadores de campo de todo el mundo puedan registrar y compartir sus avistamientos de plantas y animales. Es una iniciativa privada de Bélgica y Holanda creada en 2004.

Además, existen repositorios oficiales como GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*, [gbif.org](http://gbif.org)) los cuales almacenan bancos de datos. El objetivo de GBIF es dar acceso, vía Internet, a los datos de biodiversidad de todo el mundo para apoyar la investigación científica fomentando la conservación biológica y favoreciendo el desarrollo sostenible.

### **1.3. Los reptiles como especies modelo**

Los reptiles son buenos sistemas de estudio para realizar modelos de distribución ya que son animales ectotermos, es decir, requieren de una fuente de calor externa para poder regular su temperatura corporal y, por tanto, su actividad está estrechamente ligada a las condiciones ambientales presentes. Además, presentan una movilidad reducida, por lo que su presencia va a estar ligada a la zona donde fueron detectadas (Araújo et al., 2006). En este trabajo se ha utilizado como modelo la tortuga mora (*Testudo graeca*, Linnaeus 1758) y específicamente la subespecie *T. g. graeca*. Esta especie se distribuye por el sur de Europa, norte de África y el suroeste asiático. En concreto, *T. g. graeca* se distribuye por el sureste de España y el norte de África, y demás cuenta con poblaciones introducidas en la Península Ibérica (Graciá et al., 2017b) y en islas del Mediterráneo. Históricamente, las poblaciones del sureste Ibérico se consideraron también como introducidas (Pleguezuelos et al., 2002), pero recientes estudios genéticos han puesto de manifiesto su origen antiguo y, por tanto, ha de ser considerada como una población autóctona (Graciá et al., 2013).

La especie modelo de estudio cuenta con estatus de conservación amenazado, tanto desde una perspectiva global como a nivel regional, lo cual la hace una especie relevante para su gestión y conservación. A escala internacional, la especie aparece en los anexos del Convenio de Washington sobre el comercio internacional de animales silvestres (CITES) y en el Convenio de Berna. En la legislación de la Unión Europea es considerada de interés comunitario, por lo cual es necesario designar Zonas de Especial Conservación (ZEC) para su protección. En España, está incluida en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas aprobado por Real Decreto 439/1990 y sujeto desde entonces a periódicas modificaciones y ampliaciones, donde es considerada de *Interés Especial*. En nuestro país, la Región de Murcia la cataloga como especie *Vulnerable* en el Catálogo de Especies Amenazadas de la

Región de Murcia de la Ley 7/95 de la Fauna Silvestre, Caza y Pesca Fluvial (Giménez et al., 2010). Las Islas Baleares disponen de un Plan de Conservación aprobado para la especie (BOIB núm. 112 de 1 de agosto de 2009). Mientras que el PN de Doñana cuenta con un Programa de Seguimiento de Procesos y Recursos Naturales (Andreu, 2015)

## 2. ANTECEDENTES

Este estudio parte de datos de presencia de tortuga mora obtenidos de trabajos previos realizados por Área de Ecología de la Universidad Miguel Hernández en la Península Ibérica y el norte de África (desde 1999 hasta la actualidad). Además, los estudios genéticos realizados por este grupo han permitido reconstruir la filogenia de la especie y asignar las localizaciones a los diferentes linajes presentes en el Mediterráneo Occidental (Graciá et al., 2013, 2017a, 2017b; Anadón et al., 2015). Como se ha apuntado anteriormente, en este trabajo de fin de grado se utilizarán únicamente las citas de presencias pertenecientes al linaje *Testudo graeca graeca*.

## 3. OBJETIVOS

El objetivo principal del trabajo es evaluar qué efectos tienen diversas fuentes de datos de campo sobre la presencia de especies para la elaboración de sus modelos de distribución.

Los objetivos específicos se exponen a continuación:

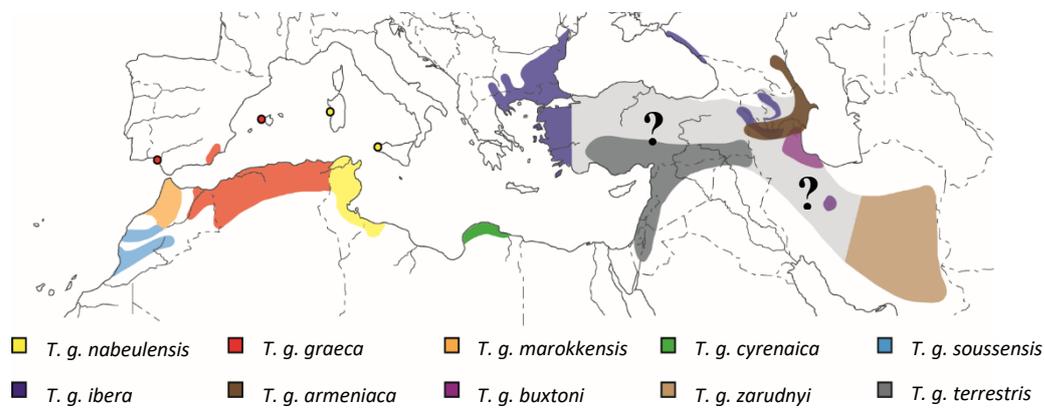
- Evaluar el efecto de la procedencia de los datos de campo en los resultados obtenidos en el modelado de la distribución potencial de la tortuga mora (subespecie *T. g. graeca*) comparando las citas procedentes de bibliografía científica con las obtenidas a partir de ciencia ciudadana.
- Evaluar el efecto de la consideración de poblaciones introducidas en tiempos históricos de tortuga mora en el modelado de su distribución potencial.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Área de Estudio

El género *Testudo* se distribuye por el sur de Europa, el norte de África y el suroeste asiático, ocupando un amplio gradiente ambiental que comprende desde estepas frías hasta ambientes subdesérticos (Figura 1). El área de estudio de este trabajo queda delimitada por

la distribución de la subespecie *Testudo graeca graeca*. Está comprendida por el sureste de España (Murcia y Almería) y el norte de África (Figura 2).



**Figura 1.** Distribución aproximada de las diferentes subespecies o linajes de tortuga mora. En rojo, el área de distribución de la subespecie considerada este trabajo (*Testudo graeca graeca*). Imagen tomada con modificaciones de Graciá et al., (2017a)



**Figura 2.** Mapa de Europa, el cuadro morado muestra el área de estudio de este trabajo.

#### 4.2. Colecta de datos

Los datos de presencia de la especie de estudio proceden de dos fuentes diferentes: 1) estudios previos (artículos científicos) y 2) plataformas de ciencia ciudadana. De ambas bases de datos se seleccionaron aquellas localizaciones atribuibles al linaje *T. g. graeca*. Los datos fueron clasificados según la procedencia de los mismos.

Aunque se revisaron varias plataformas de ciencia ciudadana se escogió trabajar finalmente con los datos procedentes de *iNaturalist*. Esta plataforma, a diferencia de otras como *eBird*, presta información sobre diferentes taxones. Además, proporciona imágenes que permiten identificar de un modo más riguroso la especie deseada. Las observaciones se

encuentran en abierto para el desarrollo de trabajos de investigación científica y para museos, jardines botánicos, parques y otras organizaciones. Los usuarios de *iNaturalist* han aportado más de cuatro millones de observaciones desde su fundación en 2008.

Por otro lado, tenemos las presencias bibliográficas derivadas de estudios sobre la distribución de la especie en el sureste ibérico (Anadón et al., 2007, 2010) y en el norte de África (Anadón et al., 2012, 2015).

Tras la colecta de datos, se realizaron 4 modelos a partir de las fuentes de datos: i) fuentes bibliográficas; ii) ciencia ciudadana (*iNaturalist*); iii) bibliografía + ciencia ciudadana y iv) bibliografía + ciencia ciudadana, excluyendo las introducciones históricas de la especie (i.e., Doñana y Mallorca).

### 4.3. Variables ambientales

Las variables ambientales se obtuvieron de la base de datos de WorldClim ([worldclim.org](http://worldclim.org)), la cual proporciona un conjunto de 20 variables ambientales globales que resumen información de temperatura, precipitación y altitud (Tabla 1). Estas variables tienen una resolución de aproximadamente 1 km<sup>2</sup>.

**Tabla 1.** Variables ambientales obtenidas a partir de WorldClim.

Variable climática	Descripción
<b>ALT</b>	Altitud
<b>TMA</b>	Temperatura media anual (°C)
<b>RTMD</b>	Rango de temperatura media diurna (media mensual (temperatura máxima – temperatura mínima)) (°C)
<b>ISO</b>	Isotermalidad: índice de variabilidad de temperatura (RTMD/RTA)*100 (Razón del rango diario promedio con respecto al rango mensual)
<b>EST</b>	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar de la temperatura media mensual x 100)
<b>TMMC</b>	Temperatura máxima del mes más cálido (°C)
<b>TMMF</b>	Temperatura mínima del mes más frío (°C)
<b>RTA</b>	Rango de temperatura anual (°C) (TMMC-TMMF)
<b>TTMH</b>	Temperatura promedio del trimestre más húmedo (°C)
<b>TTMS</b>	Temperatura promedio del trimestre más seco (°C)
<b>TTMC</b>	Temperatura promedio del trimestre más cálido (°C)
<b>TTMF</b>	Temperatura promedio del trimestre más frío (°C)
<b>PA</b>	Precipitación anual (mm)
<b>PMMH</b>	Precipitación del mes más húmedo (mm)
<b>PMMS</b>	Precipitación del mes más seco (mm)
<b>EP</b>	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)
<b>PTMH</b>	Precipitación del trimestre más húmedo (mm)
<b>PTMS</b>	Precipitación del trimestre más seco (mm)
<b>PTMC</b>	Precipitación del trimestre más cálido (mm)
<b>PTMF</b>	Precipitación del trimestre más frío (mm)

#### 4.4. Modelado de datos

Este trabajo utiliza MaxEnt como algoritmo de modelado, que como ya se ha mencionado está fundamentado en el concepto de máxima entropía. Interpola puntos de ocurrencia para predecir distribuciones en áreas no observadas, considerando restricciones impuestas por variables ambientales (Phillips et al., 2006, 2008).

Se utilizaron un 70% de los datos para el entrenamiento, y para la validación de los modelos se utilizaron el 30% de los datos iniciales de presencias de la subespecie. Además, se hicieron un total de 30 réplicas por modelo para mejorar el ajuste y obtener intervalos de confianza.

Para evaluar la validez de los modelos se utilizó la curva ROC (Característica Operativa del Receptor). Además, para analizar la capacidad predictiva del modelo se consideró el AUC, área bajo la curva. Valores de AUC entre 0,5 y 0,7 indican una baja capacidad predictiva, mientras que valores de AUC entre 0,7 y 0,9 indican una capacidad predictiva buena. Los modelos que presentan valores de AUC por encima de 0,9 presentan muy buena capacidad predictiva (Swets 1988, Boyce et al., 2002).

A continuación, se analizó la contribución de cada variable a los modelos para seleccionar aquellas cuyo porcentaje de contribución (importancia de cada variable) fuera mayor al 1%. El porcentaje de permutación explica cuanto explica la variable por sí sola. Además, se interpretaron las curvas de respuesta de aquellas que tienen los porcentajes más elevados (a partir del 9%).

Para construir los mapas de distribución potencial se utilizaron dos umbrales, dónde la probabilidad alta queda determinada por el umbral indicado por el valor de maximizar la sensibilidad frente a la especificidad (*Maximum test sensitivity plus specificity*), y la probabilidad baja por el valor umbral de minimizar las presencias (*Minimum training presence*). Los mapas de distribución potencial se representaron mediante el programa QGIS ([qgis.org](http://qgis.org)).

#### 4.5. Análisis de solapamiento

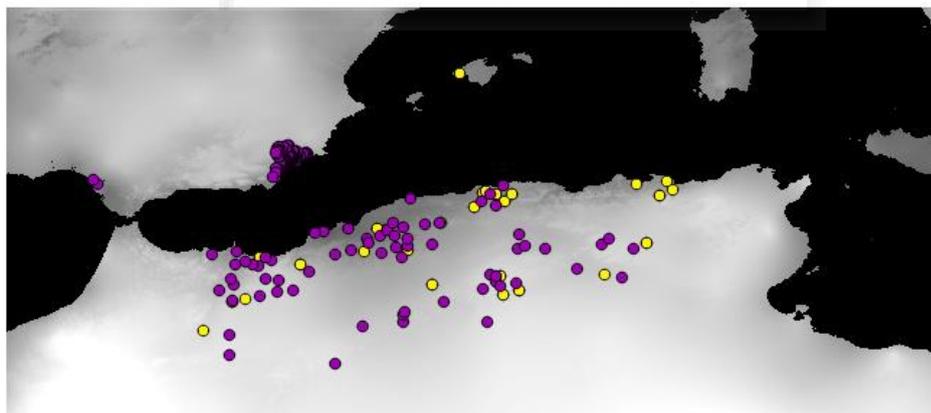
Se compararon tanto las variables ambientales como los mapas de distribución para las dos aproximaciones que comprende este estudio: i) la comparación de fuentes bibliográficas y

de ciencia ciudadana (*iNaturalist*); y ii) la comparación de modelos incluyendo y sin incluir introducciones históricas de la especie (Doñana y Mallorca).

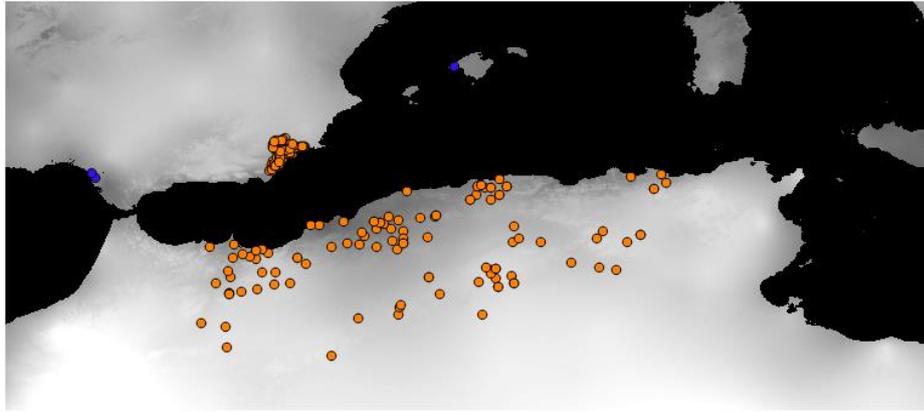
Finalmente, se calculó el solapamiento de nicho entre los modelos mediante el programa Estadísticas de Cálculo de Solapamiento de Nichos (*Calculate Niche Overlap Statistics*) de QGIS (Jung, 2014), y se obtuvieron los índices de Schöener y de Warren que miden la similitud y la equitatividad. Además, se calculó el solapamiento espacial de los modelos de distribución potencial de cada base de datos para evaluar el solapamiento en la distribución potencial mediante QGIS.

## 5. RESULTADOS

Se obtuvieron un total de 243 citas, de las cuales el 77,8% proviene de datos bibliográficos y el 22,2% restante proceden de la plataforma de ciencia ciudadana *iNaturalist* (Figura 3). Las localizaciones de *Testudo graeca graeca* aparecieron distribuidas en España en las provincias de Murcia, Almería, Mallorca y Huelva. En el norte de África aparecieron en el este de Marruecos y el norte de Argelia. Del total de observaciones, tres (1,23% del total de citas) se corresponden con introducciones históricas (dos en el PN de Doñana y una en la isla de Mallorca). El resto de datos corresponden a presencias naturales de la especie objeto de estudio (Figura 4).



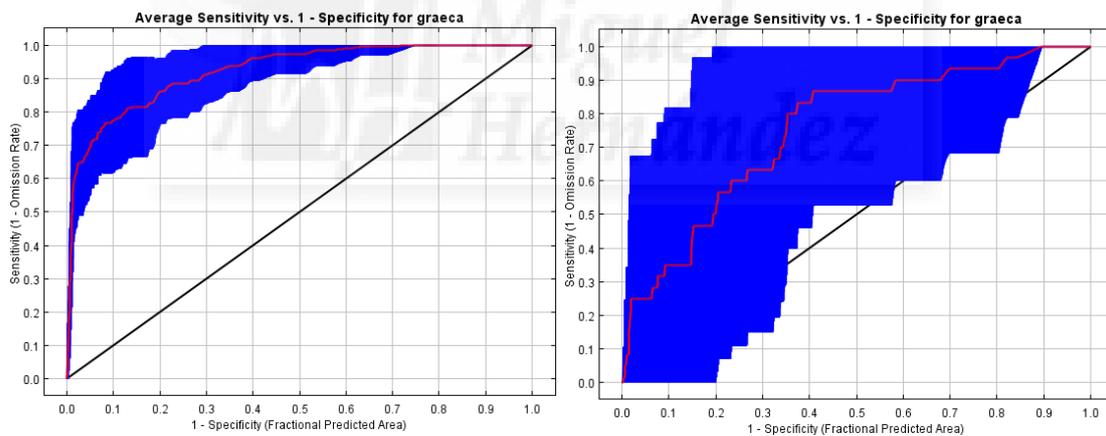
**Figura 3.** Distribución de los datos recopilados de *Testudo graeca graeca* en el área de estudio. En amarillo las presencias obtenidas a través de *iNaturalist* y en morado obtenidas de fuentes bibliográficas.



**Figura 4.** Distribución de los datos recopilados de *Testudo graeca graeca* en el área de estudio. En naranja las presencias sin introducciones y en azul las introducciones históricas.

### 5.1. Modelo con datos bibliográficos y de ciencia ciudadana

Según la información extraída de las curvas ROC, los modelos obtenidos fueron óptimos. El modelo obtenido a partir de datos bibliográficos mostró una capacidad predictiva muy alta (AUC = 0.92). El obtenido a partir de datos de ciencia ciudadana (*iNaturalist*) mostró una capacidad predictiva alta (AUC = 0,75; Figura 5).



**Figura 5.** Curvas ROC para los modelos con datos bibliográficos a la izquierda y datos de *iNaturalist* a la derecha. En el eje de la X se muestran valores de 1 - la especificidad (área fraccional predicha). En el eje Y se muestran los valores de sensibilidad (1 - omisión). La curva de datos bibliográficos tiene un AUC del 92% y la de datos de Ciencia Ciudadana tienen un AUC del 75%.

Para el modelo realizado con datos bibliográficos, la presencia de tortugas se relacionó significativamente con 13 variables ambientales. Por su parte, el modelo realizado con datos de *iNaturalist* se relacionó significativamente con 10 variables ambientales. Las variables que más contribuyen en los modelos no fueron las mismas (Tabla 2).

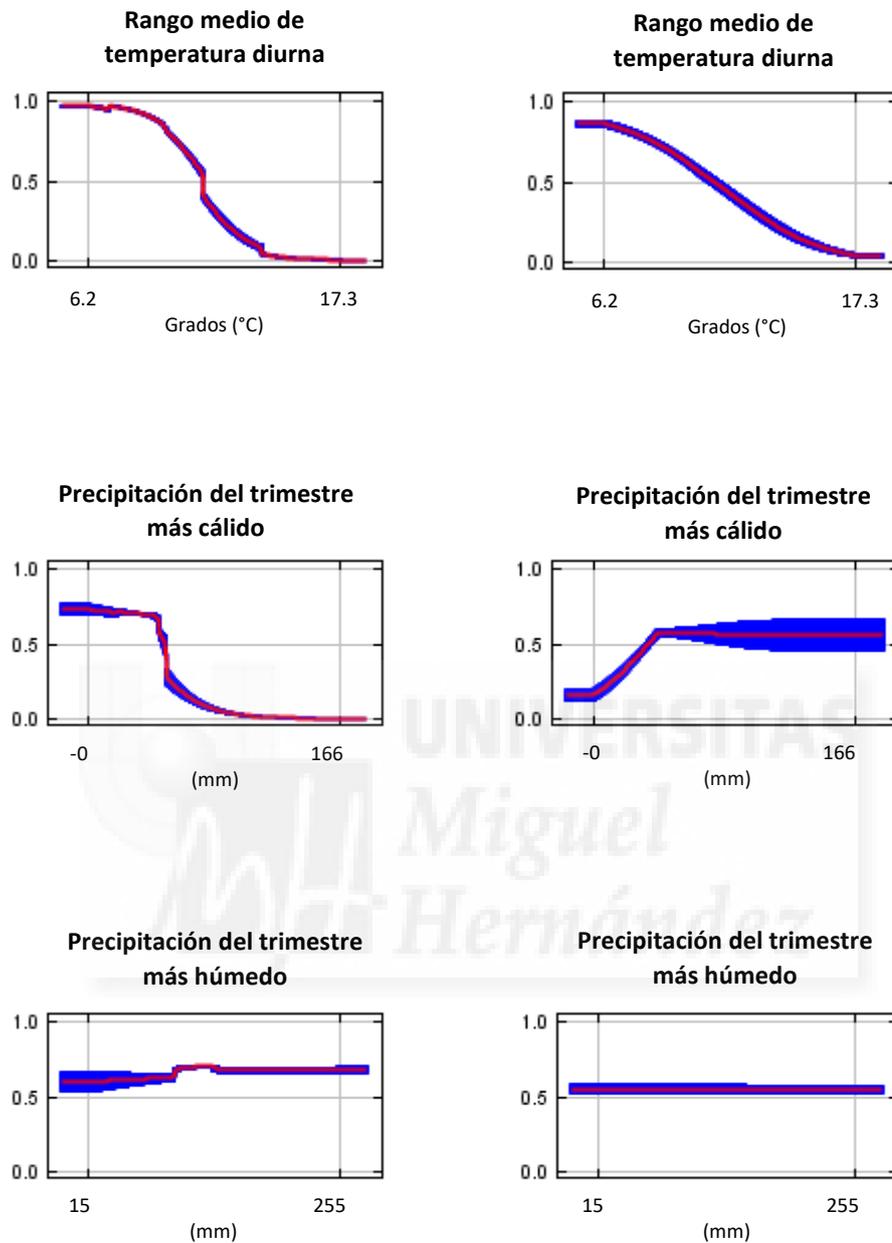
Para el modelo realizado con datos bibliográficos las variables con mayor porcentaje de contribución fueron: el rango de temperatura media diaria (RTMD; 26,9%), la precipitación del trimestre más húmedo (PTMH; 12,9%) y la precipitación del trimestre más cálido (PTMC; 9,9%). Para *iNaturalist* fueron: la precipitación del mes más seco (PMMS; 29,1%), la precipitación del trimestre más cálido (PTMC; 16,9%) y el rango de temperatura media diaria (RTMD; 12,9%) (Tabla 2). En la Figura 6 se muestran las gráficas de probabilidad de presencia de *T. g. graeca* en función de las 3 variables que más contribuyeron al modelo realizado con datos bibliográficos. Entre ellas, la gráfica para la precipitación del trimestre más cálido mostró diferencias en el comportamiento de la probabilidad de presencia entre ambos modelos.

**Tabla 2.** Contribución de las variables a los modelos. En los modelos se seleccionaron aquellas variables con un porcentaje de contribución superior al 1%. Las variables no incluidas no se muestran.

Variable	Porcentaje de contribución		Importancia de permutación	
	Bibliográficos	<i>iNaturalist</i>	Bibliográficos	<i>iNaturalist</i>
RTMD	26,9	12,9	43,5	20,1
PTMH	12,9	0,2	0,1	0,2
PTMC	9,9	16,9	11	21
ISO	9	3,3	1,7	0,8
PMMH	8,9	0	3,5	0
PA	7,3	2,1	0,1	2,2
TTMH	6,4	0,4	1,8	2,1
PMMS	5,2	29,1	1,5	17,4
TTMS	4,1	7,2	1,1	9,2
EST	2,7	4,8	3,4	11,6
TTMF	1,7	0,9	5,9	4,9
TMMF	1,3	0,1	2,6	0,1
PTMF	1,2	11	9,3	0,7
RTA	0,5	5,4	2	4,4
ALT	0,4	5,4	4	4,5

## BIBLIOGRÁFICOS

## CIENCIA CIUDADANA

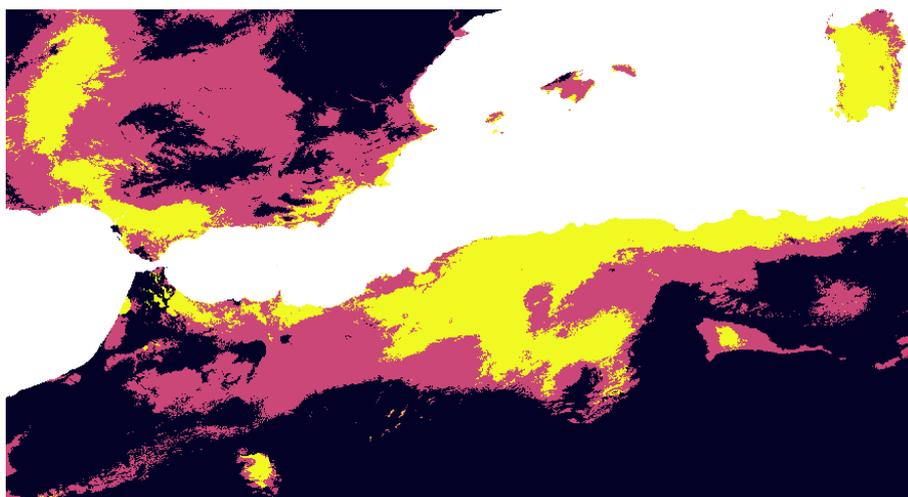


**Figura 6.** Probabilidad de distribución de *Testudo graeca graeca* para las tres variables con mayor contribución al modelo generado con datos bibliográficos. El eje Y representa la probabilidad de presencia de la especie. Y en el eje X las diferentes variables estudiadas.

En cuanto a los mapas de distribución potencial obtenidos de ambos modelos, mostraron claras diferencias. El mapa realizado con datos bibliográficos muestra un rango de probabilidad de presencia mucho más restringido (7,45 km<sup>2</sup>) que el mapa obtenido de *iNaturalist* (12,05 km<sup>2</sup>) (Figuras 7 y 8). En el primer caso, la distribución potencial de la subespecie analizada se concentra en el sureste español y el norte de África y el sureste de Cerdeña. En el segundo caso, su distribución potencial abarca gran parte del sur de España, el norte de África y las islas Mediterráneas de Baleares y Cerdeña.

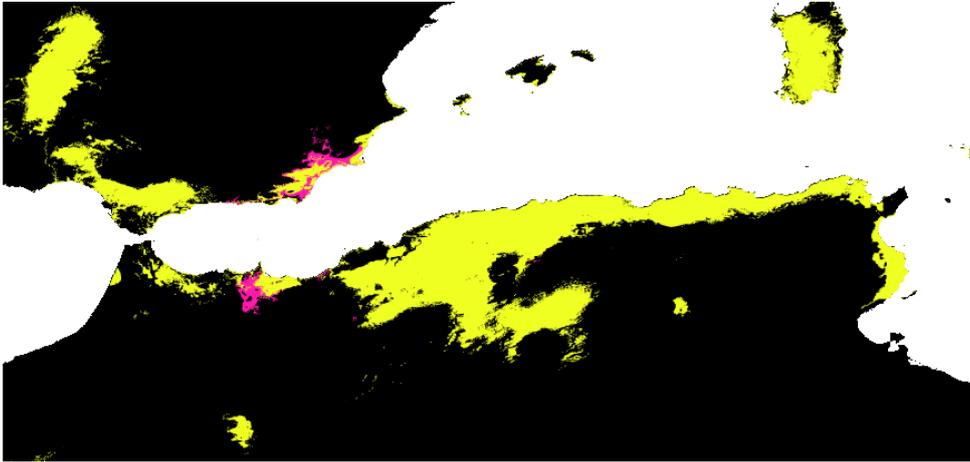


**Figura 7.** Proyecciones de los modelos multivariantes de la probabilidad de distribución de *Testudo graeca graeca* considerando citas bibliográficas. Se muestran las áreas de alta probabilidad en amarillo, media en rosa y baja probabilidad en azul oscuro.



**Figura 8.** Proyecciones de los modelos multivariantes de la probabilidad de distribución de *Testudo graeca graeca* considerando citas de *iNaturalist*. Se muestran las áreas de alta probabilidad en amarillo, media en rosa y baja probabilidad en azul oscuro.

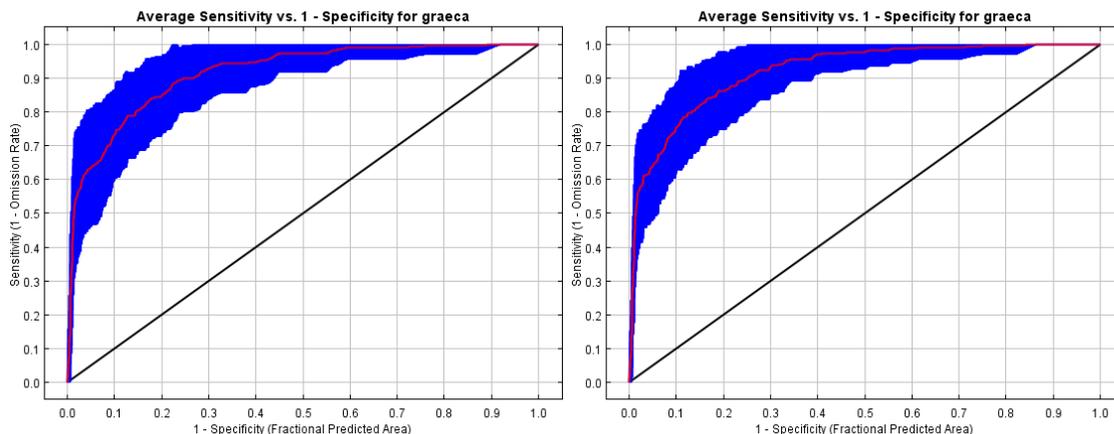
Por último, se calculó el solapamiento espacial de la probabilidad de presencia alta de ambos modelos. Frente al área total, la obtenida con datos bibliográficos solapó en un 57%, mientras que la obtenida con datos de *iNaturalist* solapó un 89% (Figura 9). El solapamiento de nicho según los índices de Schöener fue del 94% y de Warren fue de 99%.



**Figura 9.** Solapamiento espacial entre los modelos realizados con datos que provienen de fuentes bibliográficas y datos de plataformas de ciencia ciudadana (*iNaturalist*). En rosa la probabilidad de presencia obtenida con datos bibliográficos y en amarillo la obtenida con datos procedentes de *iNaturalist*. La capa de *iNaturalist* se muestra por encima de la de fuentes bibliográficas. Frente al área total, el solapamiento de los datos bibliográficos es de un 57% y el de los datos de *iNaturalist* es de un 89%.

## 5.2. Modelo con y sin introducciones

Las curvas ROC mostraron que los modelos fueron óptimos. Tanto el modelo realizado con introducciones como sin introducciones mostraron una capacidad predictiva muy alta, presentando AUCs de 0,91 y 0,92, respectivamente (Figura 10).



**Figura 10.** Curvas ROC para los modelos con introducciones a la izquierda y datos sin introducciones a la derecha. En el eje de la X se muestran valores de 1 - la especificidad (área fraccional predicha). En el eje Y se muestran los valores de sensibilidad (1 - omisión). La curva de datos con introducciones tiene un AUC del 91,4% y la de datos sin introducciones tiene un AUC del 92%.

Para ambos modelos, la presencia de tortugas se relacionó significativamente con 13 variables ambientales (Tabla 3). Las variables que más contribuyeron en los modelos fueron las mismas: rango de temperatura media diaria (RTMD; 28,8% y 29%), precipitación del trimestre más cálido (PTMC; 15,4% y 14,6%) y precipitación del trimestre más húmedo (PTMH; 12,7% y 13%) (Tabla 4). En la Figura 11 se observa que el comportamiento de las curvas de respuesta de los dos modelos a estas variables fue similar.

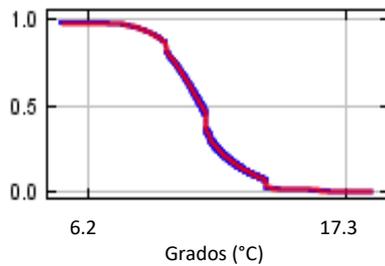
**Tabla 3.** Contribución de las variables a los modelos. En los modelos se seleccionaron aquellas variables con un porcentaje de contribución superior al 1%. Las variables no incluidas no se muestran.

Variable	Porcentaje de contribución		Importancia de permutación	
	Sin introducciones	Con introducciones	Sin introducciones	Con introducciones
RTMD	28,8	29	43.6	45.1
PTMC	15,4	14,6	11	8.4
PTMH	12,7	13	0.4	0.6
ISO	8,1	7,2	3.2	2.1
TTMH	6,2	6,7	3.9	1.9
PMMS	5,9	6,6	1.9	3.7
PMMH	5,9	5	1.1	3.1
PA	4,1	4,3	0	0
EST	3,3	3,8	3.2	3.5
TTMC	3,1	3,2	1	0.9
TTMF	1,8	1,8	7.1	8.1
RTA	1,5	1,6	3.1	3.3
PTMF	1,3	1	10.9	9.5

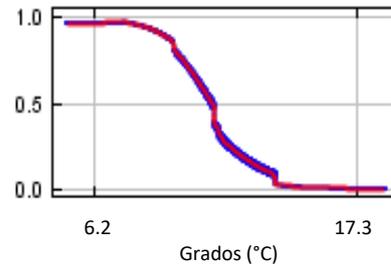
**CON INTRODUCCIONES**

**SIN INTRODUCCIONES**

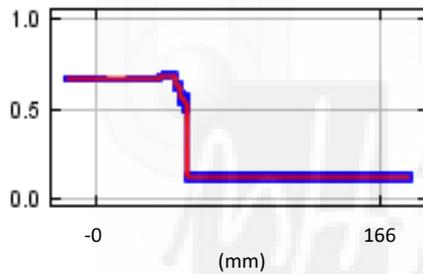
**Rango de temperatura media diaria**



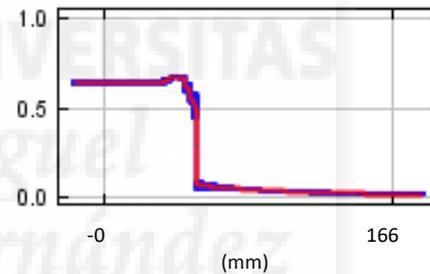
**Rango de temperatura media diaria**



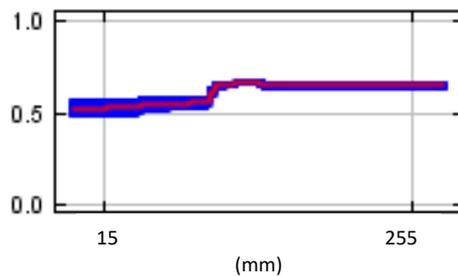
**Precipitación del trimestre más cálido**



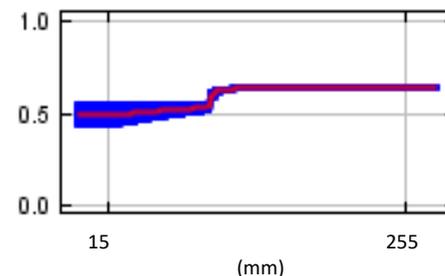
**Precipitación del trimestre más cálido**



**Precipitación del trimestre más húmedo**

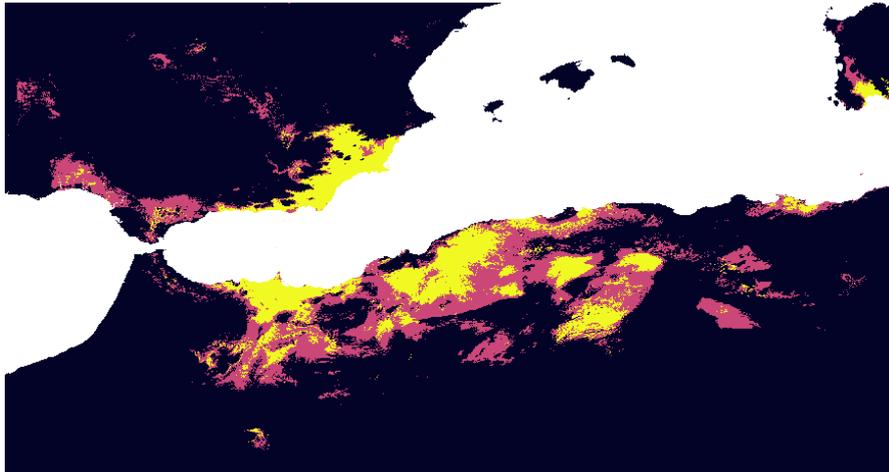


**Precipitación del trimestre más húmedo**

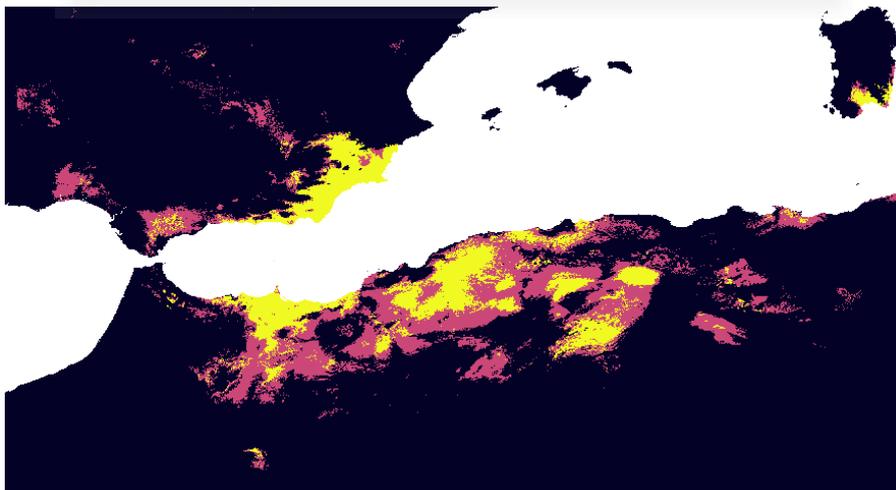


**Figura 11.** Probabilidad de distribución de *T. g. graeca* a las tres variables con mayor contribución a los modelos generados con y sin introducciones. El eje Y representa la probabilidad de presencia de la especie, y en el eje X las diferentes variables a estudiar.

En cuanto a los mapas de distribución potencial realizados para ambos modelos, no obtuvimos mucha diferencia. La probabilidad de presencia de la especie fue mayor en el PN de Doñana y Mallorca fue mayor en el mapa generado con el modelo que incluía citas de introducciones históricas (Figuras 12 y 13). El resto de áreas resultaron similares.



**Figura 12.** Proyecciones de los modelos multivariantes de la probabilidad de distribución de *Testudo graeca graeca* considerando citas bibliográficas y de *iNaturalist*, con introducciones históricas. Se muestran las áreas de alta probabilidad en amarillo, media en rosa y baja probabilidad en azul oscuro.



**Figura 13.** Proyecciones de los modelos multivariantes de la probabilidad de distribución de *Testudo graeca graeca* considerando citas bibliográficas y de *iNaturalist*, sin introducciones. Se muestran las áreas de alta probabilidad en amarillo, media en rosa y baja probabilidad en azul oscuro.

Por último, se calculó el solapamiento espacial de la probabilidad de presencia alta de ambos modelos. Frente al área total, el obtenido con introducciones históricas solapa un 98%, mientras que el obtenido sin introducciones solapa un 91% (Figura 9). El solapamiento de nicho según los índices de solapamiento de Schöener fue del 55% y de Warren fue de 83%.



**Figura 14.** Solapamiento espacial entre los modelos realizados con datos con introducciones históricas y sin introducciones. En rosa la probabilidad de presencia obtenida sin introducciones y en amarillo con introducciones históricas. La capa de *iNaturalist* se muestra por encima de la de fuentes bibliográficas. Frente al área total, el solapamiento de los datos bibliográficos es de un 57% y el de los datos de *iNaturalist* es de un 89%.

## 6. DISCUSIÓN

El conocimiento de la distribución de una especie y las limitaciones ambientales que presenta, son requisitos básicos para desarrollar estrategias de conservación (Guisan y Thuiller, 2005). Los modelos de distribución de especies son capaces de relacionar datos de presencias de especies en un área determinada y las variables ambientales de dicha zona. En este trabajo se han desarrollado modelos de distribución para la tortuga mora (subespecie *Testudo graeca graeca*) y se han evaluado diferentes fuentes de información: citas bibliográficas, de ciencia ciudadana y de poblaciones introducidas en tiempos históricos. La comparación de los resultados generados por estos modelos permite discutir algunas cuestiones en relación a la conservación de la especie y a la utilización de diferentes fuentes de citas de presencia de especies en el modelado ecológico.

### **6.1. Las variables ambientales que condicionan la distribución de *Testudo graeca graeca***

El modelado de nicho ecológico permite encontrar relaciones entre variables ambientales y la distribución de los organismos en el espacio. En este trabajo se han identificado las variables ambientales (en este caso climáticas) que más influyen en la probabilidad de presencia de *T. g. graeca*: el rango de temperatura media diurna, la precipitación del trimestre más cálido, y la precipitación del trimestre más húmedo. El comportamiento de los modelos frente a estas variables en general es similar, señalando a *T. g. graeca* como una especie característica de climas semiáridos y Mediterráneos. Estos datos concuerdan con los trabajos anteriores de Anadón et al. (2012, 2015), en los que se modeló la distribución de la especie para el norte de África.

### **6.2. Comparación de la distribución potencial de *Testudo graeca graeca* entre datos bibliográficos y de ciencia ciudadana**

Existen posibles errores derivados de los datos públicamente disponibles, relacionados principalmente con la identificación errónea de especies o de sesgos o errores en la localización espacial de las citas (Blanco et al., 2012). Los modelos realizados en este trabajo muestran una clara diferencia en la distribución potencial entre los datos utilizados a partir de información bibliográfica y los de ciencia ciudadana, ampliando estos últimos el área de distribución conocida de la especie (Anadón et al., 2012, 2015). En tanto que no existen otras especies (o linajes) de tortugas de tierra que cohabiten con *T. g. graeca*, este resultado parece deberse a un déficit de citas (54 citas de *iNaturalist* frente a 189 citas bibliográficas). En este sentido cabe apuntar que en dicha plataforma no aparecen registradas las citas de la especie en la Península Ibérica y que presenta importantes sesgos en el norte de África, con citas agregadas (e.g., en tono a Argel; Figura 3).

Nuestros resultados concuerdan con que MaxEnt trabaja bien con pocos datos de presencia (en este trabajo en torno a 100) pero precisos y sin sesgos en la representación de la variabilidad ambiental de la especie estudiada. Además, los ejercicios de calibración permiten optimizar el uso de esta herramienta. Entendemos calibración como el ajuste de los parámetros del modelo para mejorar la relación entre los datos de entrada y los resultados (Rykiel, 1996). En este sentido, es posible influir en la calibración de los distintos modelos desde los datos de entrada, preparando convenientemente las localizaciones de la especie y seleccionando cuidadosamente las variables ambientales.

Las plataformas de ciencia ciudadana son un poderoso instrumento para obtener datos de campo de forma sencilla, rápida y barata. Pero como nuestros resultados apuntan, pueden mostrar problemas de muestreo que podrían evitarse fomentando su uso. Además, deberían ser revisadas cuidadosamente con regularidad por expertos, evitando así incluir datos erróneos (Sillero et al., 2014).

### **6.3. Comparación de la distribución potencial de *Testudo graeca* entre datos de poblaciones naturales e introducidas históricamente.**

Desde hace años, el transporte de animales ha facilitado la introducción de especies no nativas en diferentes áreas del mundo. Esto puede influir en la colecta de datos de campo, porque a veces no se está seguro de que las citas representen poblaciones viables y además, la introducción de especies alóctonas puede provocar el desplazamiento de especies autóctonas. Nuestros resultados exponen que la consideración de citas de poblaciones introducidas históricamente influye poco en los modelos de distribución, tratándose de modelos bien extendidos y sin sesgos.

La proyección de la distribución potencial de la especie identifica el PN de Doñana como un área adecuada para la especie, pero no las Islas Baleares. El sur de la Península Ibérica tampoco se muestra como un hábitat óptimo. Recientes estudios genéticos han caracterizado el origen de la especie en Doñana, localizándolo en el sureste Ibérico en torno a 1.000 años atrás. Además, recientes introducciones desde Marruecos promovieron la hibridación entre *T. g. graeca* y *T. g. marokkensis* (Graciá et al., 2017b). Estos resultados genéticos y los apuntados por este trabajo descartan que existiera una población antigua en el sur de la Península Ibérica uniendo estas dos poblaciones, tal y como sugirieron Báez et al. (2012). Por su parte, la población de Mallorca parece localizarse en una zona no potencial para la especie. Este resultado también concuerda con recientes estudios genéticos que sugieren un origen muy reciente para esta población, que podría estar en torno a unos cien años (Graciá et al., 2017a). A pesar de esto, esta población es la única que posee un Plan de Conservación aprobado (BOIB núm. 112 de 1 de agosto de 2009). Las medidas de conservación de esta especie deberían ir especialmente dirigidas a garantizar la conservación de la población del sureste Ibérico, la única considerada autóctona hasta este momento (Graciá y Giménez, 2015).

## 7. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA

Los programas de modelado de distribución como MaxEnt producen mejores resultados cuando los datos de presencia son precisos y no presentan sesgos. Los resultados de este Trabajo de Final de Grado ponen de manifiesto que los modelos de distribución potencial de especies son sensibles a las diferentes fuentes de datos de partida. Por ello, para obtener unos buenos resultados, hay que ser cuidadoso a la hora de recoger los datos de presencias y seleccionar adecuadamente las variables ambientales.

- La procedencia de los datos influye en los modelos de distribución potencial de *Testudo graeca graeca*. Los modelos realizados con datos de presencias bibliográficas son más adecuados que los de *iNaturalist*.
- Es necesario revisar, validar y fomentar el uso de las plataformas de ciencia ciudadana para así mejorar su utilidad.
- Los modelos en los que se incluyen las introducciones históricas de *T. g. graeca* son igual de robustos que en aquellos en los que no se incluyen.
- La población introducida en el PN de Doñana se encuentra en una zona potencial para la subespecie, mientras que la población de la isla de Mallorca no.

Para futuros estudios se recomienda comprobar los datos de presencias para que éstos sean precisos y estén bien distribuidos por el área de distribución de la especie, favoreciendo el modelado de MaxEnt. Este problema puede resolverse con la revisión periódica de plataformas de ciencia ciudadana, donde la comunidad científica deberá participar activamente para formar parte de esta potente herramienta actualmente en crecimiento.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Anadón, J. D., E. Graciá, F. Botella, A. Giménez, S. Fahd and U. Fritz. (2015). Individualistic response to past climate changes: niche differentiation promotes diverging Quaternary range dynamics in the subspecies of *Testudo graeca*.
- Anadón, J. D., Giménez, A., Graciá, E., Pérez, I., Ferrández, M., Fahd, S. & Rouag, R. (2012). Distribution of *Testudo graeca* in the western Mediterranean according to climatic factors. *Amphibia-Reptilia*, 33(2), 285-296.
- Anadón JD, Giménez A, Ballestar R (2010) Linking local ecological knowledge and habitat modelling to predict absolute species abundance on large scales. *Biodivers Conservation* 19:1443–1454
- Anadón, J. D. (2007). *Distribución y Abundancia de la Tortuga mora (Testudo graeca) en el Sureste ibérico*. Tesis doctoral. Universidad de Murcia.
- Andreu, A.C. (2015). Seguimiento de anfibios y reptiles en Doñana. *Bol. Asoc. Herpetol. Esp.* 25(2).
- Araújo, M.B. y Rahbek, C. (2006). How does climate change affect biodiversity? *Science*, 313(5792): 1396-1397
- Báez, J. C., Estrada, A., Torreblanca, D., & Real, R. (2012). Predicting the distribution of cryptic species: the case of the spur-thighed tortoise in Andalusia (southern Iberian Peninsula). *Biodiversity and Conservation*, 21(1), 65-78.
- Blanco, G., Sergio, F., Sánchez-Zapata, J.A., Pérez-García, J.M., Botella, F., Martínez, F., Zuberogoitia, I., Frías, O., Roviralta, F., Martínez, J.E. & Calvo, J.F. (2012). Safety in numbers? Supplanting data quality with fanciful models in wildlife monitoring and conservation. *Biodiversity & Conservation*, 21: 3269–3276
- Boyce, M.S., Vernier, P.R., Nielsen, S.E. y Schmiegelow, F.K.A. (2002). Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling*, 157: 281-300.
- Busby, J.R. (1986). A biogeoclimatic analysis of *Nothofagus cunninghamii* (Hook). In southeastern Australia. *Australian Journal of Ecology*, (11): 1-7.
- Cumming GS (2000) Using habitat models to map diversity: Pan-African species richness of ticks (Acari: Ixodida). *Journal of Biogeography* 27: 425-440.
- Ferrier, S. y Guisan, A. (2006). Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*, 43: 393-404.

- Giménez Casalduero, A., Esteve Selma, M.A., Pérez Ibarra, I., Anadón Herrera, J.D., Martínez Palao, M., Martínez Fernández, J., Palazón Fernando, J.A. La tortuga mora en la Región de Murcia (2010). Conservación de una especie amenazada.
- Gmira, S. 1993. Nouvelles donns sur les especes actualles de *Testudo* (*Chelonii*, *Testudinidae*). *Bulletin de la Societé Herpétologique de France*, 245:477-480.
- Graciá, E., Vargas-Ramírez, M., Delfino, M., Anadón, J.D., Giménez, A., Fahd, S., Corti, C., Jdeidi, T.B. y Fritz, U. (2017a). Expansion after expansión: dissecting the phylogeography of the widely distributed spur-thighed tortoise, *Testudo graeca* (Testudines: Testudinidae).
- Graciá, E., Rodríguez-Caro, R., Andreu, A., Fritz, Uwe., Giménez, A., Botella, F. (2017b). Human-mediated secondary of two tostoise lineages results in sex-biased introgression.
- Graciá, E. y Giménez, A. (2015). La tortuga mora (*Testudo graeca*) en la península ibérica y en las islas Baleares. *Bol. Asoc. Herpetol. Esp.* 26(2)
- Graciá, E. (2013). Patrones genéticos y cambios en la distribución de especies: filogeografía de la tortuga mora (*Testudo graeca* L.) en el Mediterráneo Occidental (Doctoral dissertation, Tesis doctoral inédita. Universidad Miguel Hernández).
- Graciá E, Giménez A, Anadón JD, Harris JD, Fritz U, Botella F. (2012). Accepted. 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*. 40,12:323-334
- Guisan, A., Thuiller, W. (2005): Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecol. Lett.* 8: 993-1009.
- Hirzel, A.H., Posse, B., Oggier, P.A., Crettenand, Y., Glenz, C. y Arlettaz, R. (2004). Ecological requirements of reintroduced species and the implications for reléase policy: the case of the bearded vulture. *Journal of Applied Ecology*, 41: 1103 – 1116.
- Hortal J, P García-Pereira & E García-Barros (2004) Butterfly species richness in mainland Portugal: Predictive models of geographic distribution patterns. *Ecography* 27: 68-82.
- Jung, M. (2014) QSDM – Species Distribution Modelling for the QGIS Processing Toolbox. <https://conservationecology.wordpress.com/qgis-plugins-and-scripts/qsdm/>
- Lehmann A, JR Leathwick & JM Overton (2002) Assessing New Zealand fern diversity from spatial predictions of species assemblages. *Biodiversity and Conservation* 11: 2217-2238.

- Pech-Cárdenas, F. D., & Espadas-Manrique, C. M. (2014) Una introducción a los modelos de predicción de la distribución de las especies.
- Pérez-García, J.M., DeVault, T., Botella, F. y Sánchez-Zapata, J.A. (2017) Using risk prediction models and species sensitivity maps for large-scale identification of infrastructure-related wildlife protection areas: the case of bird electrocution. *Biological Conservation* 210: 334-342.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. y Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231 – 259.
- Pleguezuelos J. M., R. Márquez Y M. Lizana, (eds.) 2002. Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Asociación Herpetológica Española (2ª impresión), Madrid, 587 pp.
- Real Decreto 439/1990. De 30 de marzo, por el que se regula el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas.
- Resolución del consejero de Medio Ambiente de 14 de Julio de 2009, por el cual se aprueban el Plan de Reintroducción del águila perdicera (*Hieraetus fasciatus*), el Plan de Recuperación de *Euphorbia margalidiana* y los Planes de Conservación de la tortuga mora (*Testudo graeca*) y del alimoche (*Neophron percnopterus*). BOIB núm. 112 de 1 de agosto de 2009.
- Rykiel, E.J., Jr., (1996): Testing ecological models: the meaning of validation, *Ecological Modelling*, 90, pp. 229-244.
- Sillero, N., J. Campos, A. Bonardi, C. Corti, R. Creemers, P.-A. Crochet, J. Crnobrnja Isailovic, M. Denoël, G. F. Ficetola, J. Gonçalves, S. Kuzmin, P. Lymberakis, P. de Pous, A. Rodríguez, R. Sindaco, J. Speybroeck, B. Toxopeus, D.R. Vieites, M. Vences (2014): Updated distribution and biogeography of amphibians and reptiles of Europe. *Amphibia-Reptilia* 35: 1-31.
- Socientize Project (2013-12-01) (2013). "*Green Paper on Citizen Science: Citizen Science for Europe - Towards a better society of empowered citizens and enhanced research*". Socientize consortium.
- Stockwell, D. y Peterson, A. T. (1999). The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International journal of geographical information Science*, 13(2): 143-158.

Swets, J.A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857): 1285-1293.

Wohlgemuth T, MP Nobis, F Kienast & M Plattner (2008) Modelling vascular plant diversity at the landscape scale using systematic samples. *Journal of Biogeography* 35: 1226-1240.

Zavala, M.A., Díaz-Sierra, R., Purves, D., Zea, G.E. y Urbieta I.R. (2006). Modelos espacialmente explícitos. *Ecosistemas*, 15 (3): 88-99.



## 9. ANEXOS

**Tabla 1.** Datos de presencias de *Testudo graeca graeca* de origen bibliográfico, expresadas en coordenadas decimales.

1	0.13,33.35000000000000142	Anadón et al., 2014. Ecography
2	-0.1400000000000001,35.22999999999999687	Anadón et al., 2014. Ecography
3	-0.22,35.77000000000000313	P. Crochet, comunicación personal
4	0.2300000000000001,35.5	Anadón et al., 2014. Ecography
5	0.2899999999999998,35.3999999999999858	Anadón et al., 2014. Ecography
6	-0.5200000000000002,32.4299999999999972	Anadón et al., 2014. Ecography
7	-0.5300000000000003,35.1199999999999744	Anadón et al., 2014. Ecography
8	0.5799999999999996,35.579999999999829	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
9	0.5899999999999997,35.1400000000000057	Anadón et al., 2014. Ecography
10	0.75,35.7100000000000085	Anadón et al., 2014. Ecography
11	-0.8299999999999996,35.6700000000000171	Anadón et al., 2014. Ecography
12	0.88,35.8900000000000057	Anadón et al., 2014. Ecography
13	0.9300000000000005,35.5700000000000028	Anadón et al., 2014. Ecography
14	0.9699999999999997,35.2899999999999915	Anadón et al., 2014. Ecography
15	-1.0300000000000003,35.6599999999999659	P. Crochet, comunicación personal
16	1.1000000000000009,35.0600000000000227	Anadón et al., 2014. Ecography
17	1.1299999999999989,33.4500000000000284	Anadón et al., 2014. Ecography
18	1.1299999999999989,35.7800000000000114	Anadón et al., 2014. Ecography
19	1.1399999999999999,33.6199999999999744	Anadón et al., 2014. Ecography
20	-1.1599999999999992,34.7000000000000284	Anadón et al., 2014. Ecography
21	1.1699999999999993,33.6899999999999773	P. Crochet, comunicación personal
22	-1.20415521696418515,37.6139525358054172	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
23	1.2299999999999998,35.3299999999999829	P. Crochet, comunicación personal
24	-1.23791841991341256,37.62347406174426823	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
25	1.25,35.5099999999999801	Anadón et al., 2014. Ecography
26	-1.26078215443327224,37.61480096164792286	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
27	-1.28343358804496588,37.6151327278608747	Anadón et al., 2014. Ecography

28	-1.30608539072450736,37.61546014852838482	Anadón et al., 2014. Ecography
29	1.3200000000000006,36.5099999999999801	Anadón et al., 2014. Ecography
30	-1.38634284217855064,37.57152221328185959	Anadón et al., 2014. Ecography
31	-1.44275521295073306,37.58129270273563804	Anadón et al., 2014. Ecography
32	-1.4531440433561833,37.62649263251550735	Anadón et al., 2014. Ecography
33	-1.45444937447811462,37.56342101703213388	Anadón et al., 2014. Ecography
34	-1.46410161045143172,37.64466106093411923	Anadón et al., 2014. Ecography
35	-1.47782061141181575,37.52767364381165294	Anadón et al., 2014. Ecography
36	-1.4911289432210868,37.42870277141177837	Anadón et al., 2014. Ecography
37	-1.50098897822769262,37.50093152931401619	Anadón et al., 2014. Ecography
38	-1.51104510281770854,37.564148509108648	Anadón et al., 2014. Ecography
39	-1.52111646664286115,37.6273643391797421	Anadón et al., 2014. Ecography
40	-1.53333050243523528,37.58245310099737679	Anadón et al., 2014. Ecography
41	-1.54500350330116798,37.56457198704761424	Anadón et al., 2014. Ecography
42	-1.54692693859889974,37.46545391687433124	Anadón et al., 2014. Ecography
43	-1.54710132963875791,37.45644309637868474	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
44	-1.5500000000000004,34.2400000000000199	Anadón et al., 2014. Ecography
45	-1.55440527034628695,37.66382778916176477	Anadón et al., 2014. Ecography
46	-1.55857760495210962,37.44757066761031439	Anadón et al., 2014. Ecography
47	-1.56902086219717907,37.49276247021365549	Anadón et al., 2014. Ecography
48	-1.57981764731679974,37.51993158156917474	Anadón et al., 2014. Ecography
49	-1.58067078654214033,37.47487710074822331	Anadón et al., 2014. Ecography
50	-1.58118175911616032,37.44784423897786496	Anadón et al., 2014. Ecography
51	-1.59045225890981023,37.55611059720767742	Anadón et al., 2014. Ecography
52	-1.59096120000025842,37.52907799379733689	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
53	-1.59180792565087326,37.48402336605094831	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
54	-1.60193918731652785,37.54723430671911899	Anadón et al., 2014. Ecography
55	-1.60244382011778241,37.52020152946449372	Anadón et al., 2014. Ecography
56	-1.60361867826281945,37.45712454437533978	Anadón et al., 2014. Ecography
57	-1.60395367998261751,37.43910241887642343	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia

58	-1.61325646809900203,37.54736778532018349	Anadón et al., 2014. Ecography
59	-1.61425690184020532,37.49330184211969907	Anadón et al., 2014. Ecography
60	-1.61458978619559979,37.47527974574917664	Anadón et al., 2014. Ecography
61	-1.6244081860780184,37.55651116252629862	Anadón et al., 2014. Ecography
62	-1.62457382323930055,37.54750017962530961	Anadón et al., 2014. Ecography
63	-1.62490487634106273,37.52947817059554581	Anadón et al., 2014. Ecography
64	-1.62622614421927847,37.45738955832354833	Anadón et al., 2014. Ecography
65	-1.63589125213143083,37.54763148961251318	Anadón et al., 2014. Ecography
66	-1.63605545426813848,37.53862044983389268	Anadón et al., 2014. Ecography
67	-1.63769346017551687,37.44850926038996874	Anadón et al., 2014. Ecography
68	-1.63802018703920327,37.430486849852727	Anadón et al., 2014. Ecography
69	-1.64737159499892227,37.53875063336414541	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
70	-1.64834711855082516,37.48468383988721087	Anadón et al., 2014. Ecography
71	1.6499999999999991,35.8599999999999943	Anadón et al., 2014. Ecography
72	-1.65901055154610799,37.52085744242480558	Anadón et al., 2014. Ecography
73	-1.66500711278204805,37.8183471772864479	Anadón et al., 2014. Ecography
74	-1.68337786641301879,37.4219876938069973	Anadón et al., 2014. Ecography
75	-1.70613056695527487,37.41322576429708135	Anadón et al., 2014. Ecography
76	-1.70628556201700077,37.40421426213130474	Anadón et al., 2014. Ecography
77	-1.71850219929947001,37.35026778955402449	Anadón et al., 2014. Ecography
78	-1.71926734087000344,37.30520943575333348	Anadón et al., 2014. Ecography
79	-1.72211271832304713,37.80095538476184203	Anadón et al., 2014. Ecography
80	-1.7291824405652807,37.38643613738069149	Anadón et al., 2014. Ecography
81	-1.74062682629015031,37.3775453177451098	Anadón et al., 2014. Ecography
82	-1.74122910036257772,37.34149852050632745	Anadón et al., 2014. Ecography
83	-1.74168010268911022,37.31446327263448381	Anadón et al., 2014. Ecography
84	-1.75236694969516371,37.35062985184340079	Anadón et al., 2014. Ecography
85	-1.75266512264336405,37.33260631858677669	Anadón et al., 2014. Ecography
86	-1.75693705635024688,37.75626450739989792	Anadón et al., 2014. Ecography
87	-1.76395081022627043,37.33272477552549873	Anadón et al., 2014. Ecography

88	-1.76409845001558918,37.32371294909955139	Anadón et al., 2014. Ecography
89	-1.77538285613097746,37.32383029181981016	Anadón et al., 2014. Ecography
90	-1.77582134339840914,37.29679461291569709	Anadón et al., 2014. Ecography
91	-1.78331720326484833,37.53121670267633192	Anadón et al., 2014. Ecography
92	-1.78637737210099923,37.34197034878513932	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
93	-1.78710177651765134,37.29691076675722883	Anadón et al., 2014. Ecography
94	-1.79521253733094621,37.49528616513832446	Anadón et al., 2014. Ecography
95	-1.79809539726336998,37.3150497959617411	Anadón et al., 2014. Ecography
96	-1.79823886757943652,37.30603782798576162	Anadón et al., 2014. Ecography
97	-1.81598095089973888,37.61266626698216697	Anadón et al., 2014. Ecography
98	-1.81825912515094523,37.46847940789833586	Anadón et al., 2014. Ecography
99	-1.82038022214964101,37.3333009172237027	Anadón et al., 2014. Ecography
100	-1.82178643872107471,37.243180146116174	Anadón et al., 2014. Ecography
101	-1.82206693178571322,37.22515582142451507	Anadón et al., 2014. Ecography
102	-1.82489398849828355,37.76597455702305695	Anadón et al., 2014. Ecography
103	1.83000000000000007,35.35999999999999943	Anadón et al., 2014. Ecography
104	-1.83110744895761335,37.36946097258733346	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
105	-1.83264188484251123,37.27032827231521139	Anadón et al., 2014. Ecography
106	-1.83444565052259301,37.15316923001095972	Anadón et al., 2014. Ecography
107	-1.83947713692464365,37.55882135710914582	Anadón et al., 2014. Ecography
108	-1.84474435469235476,37.2163656227399926	Anadón et al., 2014. Ecography
109	-1.84611572098372401,37.12624228607478472	Anadón et al., 2014. Ecography
110	-1.85314154004835352,37.40573014431476651	Anadón et al., 2014. Ecography
111	-1.85355340558057535,37.3786940793606135	Anadón et al., 2014. Ecography
112	-1.85369057189422337,37.36968202931164029	Anadón et al., 2014. Ecography
113	-1.86060597858583332,37.65817062728731912	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
114	-1.87640834459428274, 37.36088664068461185	Anadón et al., 2014. Ecography
115	-1.88028019681158876,37.09952857899789791	Anadón et al., 2014. Ecography
116	-1.88529467862579514,37.52321023609790984	Anadón et al., 2014. Ecography
117	-1.88995167649221862,37.20778432140632219	Anadón et al., 2014. Ecography

<b>118</b>	-1.89113751001081032,37.12667199704723231	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>119</b>	-1.8915317337605686,37.09963430113062799	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>120</b>	-1.89607813487142463,37.55936420539786269	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>121</b>	-1.90108858953772231,37.21690182870474928	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>122</b>	-1.90148055387138171,37.18986445466919832	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>123</b>	-1.90161109240952686,37.18085196838360673	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>124</b>	-1.91339098844438049,37.14490563774209164	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>125</b>	-1.91403498233910185,37.09984254337229004	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>126</b>	-1.91570787438314949,37.76684522046016923	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>127</b>	-1.91675870782636171,37.6947516471409898	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>128</b>	-1.91936946259637597,37.51451374038250464	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>129</b>	-1.91999999999999993,34.49000000000000199	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>130</b>	-1.92861824736361998,37.6588080311642841	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>131</b>	-1.93603404798902368,37.13609728509361929	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>132</b>	-1.93641244104990751,37.10905922952602509	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>133</b>	-6.3701,36.8413	Graciá E., comunicación personal
<b>134</b>	-6.44444, 36.969	Graciá E., comunicación personal
<b>135</b>	-1.94999999999999996,34.20000000000000284	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>136</b>	-1.94629038194560899,37.20829892316876908	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>137</b>	-1.95867193686269214,37.12728451189066448	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>138</b>	-1.95904216162732681,37.10024621928487676	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>139</b>	-1.95755829273733317,37.20839862882842652	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>140</b>	-1.95941189257100512,37.07320779992824811	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>141</b>	-1.96224869402535385,37.68614779310598806	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>142</b>	-1.96870358483740682,37.21750990408067139	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>143</b>	-1.98142539507907878,37.10945449448673372	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>144</b>	-1.97948706923062101,37.25365804877100828	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>145</b>	-1.98554195769815722,37.64128521252560944	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>146</b>	-1.99267876934036781,37.10955064122951086	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>147</b>	-1.99339410317655363,37.05547319215371971	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia

148	2.50999997,39.600000001	Fritz et al., 2006. The Norwegian Academy of Science and Letters
149	2.0099999999999979,35.8900000000000057	Anadón et al., 2014. Ecography
150	-2.04995883703282766,37.02889763634783549	Anadón et al., 2014. Ecography
151	-2.0800000000000007,34.9799999999999687	Anadón et al., 2014. Ecography
152	2.1299999999999989,33.9600000000000085	P. Crochet, comunicación personal
153	-2.2299999999999998,34.5099999999999801	Anadón et al., 2014. Ecography
154	-2.2299999999999998,35.0600000000000227	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
155	-2.3700000000000011,34.0799999999999829	Anadón et al., 2014. Ecography
156	-2.3999999999999991,34.8200000000000028	Anadón et al., 2014. Ecography
157	-2.5499999999999982,34.8800000000000256	Anadón et al., 2014. Ecography
158	-2.7299999999999998,34.9500000000000284	Anadón et al., 2014. Ecography
159	-2.9300000000000016,35.1799999999999972	Anadón et al., 2014. Ecography
160	-2.9700000000000002,34.8699999999999744	Anadón et al., 2014. Ecography
161	-3.0200000000000002,34.3800000000000256	Anadón et al., 2014. Ecography
162	3.0400000000000004,36.4299999999999972	Anadón et al., 2014. Ecography
163	-3.0499999999999982,33.9799999999999687	Anadón et al., 2014. Ecography
164	3.0899999999999986,34.2599999999999801	Anadón et al., 2014. Ecography
165	-3.0899999999999986,34.5300000000000114	Anadón et al., 2014. Ecography
166	-3.1099999999999988,32.6199999999999744	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
167	-3.1299999999999989,33.1300000000000256	Anadón et al., 2014. Ecography
168	3.2000000000000018,33.4399999999999773	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
169	3.2599999999999979,36.6099999999999943	P. Crochet, comunicación personal
170	3.2700000000000002,34.6199999999999744	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
171	-3.3700000000000011,34.2299999999999687	Anadón et al., 2014. Ecography
172	3.3900000000000012,36.3100000000000227	Anadón et al., 2014. Ecography
173	3.4100000000000014,34.4600000000000085	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
174	3.4100000000000014,34.5700000000000028	Anadón et al., 2014. Ecography
175	3.5099999999999979,34.3500000000000142	Anadón et al., 2014. Ecography
176	-3.5400000000000004,35.1300000000000256	P. Crochet, comunicación personal
177	3.6000000000000009,36.8100000000000227	P. Crochet, comunicación personal

<b>178</b>	3.9100000000000014,34.409999999999659	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>179</b>	3.939999999999995,35.259999999999801	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>180</b>	3.970000000000002,35.630000000000256	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>181</b>	4.099999999999964,35.329999999999829	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>182</b>	4.620000000000011,35.259999999999801	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>183</b>	5.379999999999989,34.75	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>184</b>	6.009999999999979,35.350000000000142	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>185</b>	6.169999999999993,35.509999999999801	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>186</b>	-6.37017621535770484,36.8413391486478261	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
<b>187</b>	-6.4444022012210338,36.96912772553586279	Fritz et al., 2007. Amphibia- Reptilia
<b>188</b>	6.490000000000021,34.549999999999716	Anadón et al., 2014. Ecography
<b>189</b>	6.769999999999957,35.25	Anadón et al., 2014. Ecography



**Tabla 2.** Datos de presencias de *Testudo graeca graeca* procedentes de *iNaturalist*, expresadas en coordenadas decimales.

1	0.1599999999999992,35.20000000000000284
2	0.50594504299999998,35.76118816000000322
3	0.66941150299999996,35.7302999999999973
4	1.23998554400000005,35.20711971000000062
5	-1.38734650600000009,34.8561687799999973
6	-1.4785972140000001,37.67967224000000215
7	1.8591339870000001,34.37348865999999958
8	-1.94946776299999991,37.7497681899999975
9	-1.96405066599999989,37.57542621000000338
10	2.05307612799999983,35.90982851999999781
11	-2.38726147099999997,35.04026266999999706
12	2.5099999999999979,39.60000000000000142
13	-2.74415310799999999,34.01102027999999677
14	2.88557248899999985,36.30320607000000166
15	-3.06328454699999986,33.94796476999999868
16	3.08235321899999981,36.63317784000000188
17	3.16687473899999983,36.66836945000000014
18	3.40858392099999996,36.59784745000000328
19	3.51290780199999997,34.59398457000000349
20	3.58768533199999995,34.12648680000000212
21	3.62271802900000006,36.41358533999999736
22	-3.75544325599999995,33.24118032999999883
23	3.79103083700000001,36.61538738000000137
24	3.96382492299999978,34.21574090000000012
25	6.06727287499999957,34.61399656999999763
26	7.08096636400000001,35.41235123999999956
27	7.43009501399999994,36.55940822000000168
28	7.7199999999999975,36.7199999999999886

29	-3.06328455,33.94796477
30	3.587685332,34.1264868
31	3.96382492,34.2157409
32	1.85913399,34.37348866
33	3.5129078,34.59398457
34	6.606727288,34.61399657
35	-1.38734651,34.85616878
36	-2.38726147,35.04026267
37	1.23998554,35.20711971
38	7.08096636,35.41235124,
39	0.6694115,35.7303
40	0.50594504,35.76118816
41	2.05307613,35.90982852
42	2.88557249,36.30320607
43	3.62271803,36.41358534
44	7.43009501,36.55940822
45	3.40858392,36.59784745
46	3.79103084,36.61538738
47	3.08235322,36.63317784
48	3.16687474,36.66836945
49	6.84760471,36.86349654
50	7.60502884,36.92324405
51	-1.54674724,37.55619093
52	-1.96405067,37.57542621
53	-1.47859721,37.67967224
54	-1.94946776,37.74976819