



Seguimiento de *Algyroides marchi*



Seguimiento de *Algyroides marchi* : Informe final

PROGRAMA SARE

Seguimiento de la herpetofauna española: desarrollo del programa de seguimiento general y seguimientos singulares



Asociación Herpetológica Española
Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL Y MARINO

SECRETARÍA DE ESTADO DE
MEDIO RURAL Y AGUA
SECRETARÍA GENERAL DE
MEDIO RURAL
DIRECCIÓN GENERAL DE MEDIO
NATURAL Y POLÍTICA FORESTAL

PROGRAMA SARE

Seguimiento de la herpetofauna española: desarrollo del programa de seguimiento general y seguimientos singulares.

Serie:

Monografías SARE

Título:

Seguimiento de *Algyroides marchi*. Informe final.

Autores:

Miguel A. Carretero, Francisco Ceacero, Enrique García-Muñoz, Nefalí Sillero, María Inés Olmedo, Pedro Luis Hernández-Sastre, José Luis Rubio.

Colaboradores:

Enrique Ayllón, Jesús Bastida, Peter Brakels, Jorge Escudero, Marta Escudero, D. James Harris, Antonio Manzanares, Juan M. Pleguezuelos, Luis Pedrajas, Ana Perera, Catarina Rato, Juan F. Zamora.

Coordinación desde el ministerio:

Ricardo Gómez Calmaestra
Subdirección General de Biodiversidad.
Dirección General de Medio Natural y Política Forestal
Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

Citar esta publicación como “Carretero, M.A., Ceacero, F., García-Muñoz, E., Sillero, N., Olmedo, M.I., Hernández-Sastre, P.L. & Rubio, J.L. 2010. *Seguimiento de Algyroides marchi. Informe final*. Monografías SARE. Asociación Herpetológica Española - Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.”

Editan:



Asociación Herpetológica Española
Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

ISBN: 84-921999-5-4 - Depósito legal: B-38.463-2010

INDICE

Prólogo .....	.09
Resumen	10
Summary .....	.11
Introducción .....	.13
Metodología general .....	.17
Distribución .....	.19
Abundancia .....	.27
Variabilidad genética .....	.29
Factores de amenaza .....	.36
Conclusiones de conservación .....	.39
Propuesta de plan de seguimiento .....	.40
Actualización de la categoría de conservación .....	.44
Equipo de trabajo .....	.46
Agradecimientos .....	.47
Bibliografía .....	.48

PRÓLOGO

Ve la luz la primera monografía fruto del programa de seguimiento de los anfibios y reptiles en España (Programa SARE), dedicada a la Lagartija de Valverde. A pesar de tratarse de una especie endémica de nuestra Península Ibérica, este interesante lacértido no había recibido demasiada atención en los últimos tiempos. Por ello, esta revisión y actualización de la información referente a su distribución, abundancia y amenazas resulta muy oportuna. Además, el trabajo incluye información, muy relevante y novedosa, sobre su variabilidad genética –siempre un factor a tener muy en cuenta en especies con distribuciones restringidas- y modela con gran precisión su hábitat potencial. Por último, hay que destacar la agradable sorpresa de que la Lagartija de Valverde se cita en nuevas localidades, y que a pesar de lo reducido de su distribución, está presente en tres comunidades autónomas.

Todo ello resulta de gran importancia y no me cabe duda de que servirá para fundamentar su gestión y conservación futura. Aunque los reptiles no cuentan con especies emblemáticas, debemos tener muy en cuenta su conservación, especialmente cuando estudios recientes han señalado que son más vulnerables de lo que se pensaba ante el cambio climático.

El proyecto SARE, que pretende conocer las tendencias en general de los reptiles y anfibios y, al tiempo, centrarse periódicamente en especies concretas, comienza a ofrecer resultados. Los datos que ya se están generando ayudarán a que España cumpla sus obligaciones comunitarias de informar sobre el estado de conservación de esta importante parte de su biodiversidad. Estos trabajos también ofrecerán información para algunos de los instrumentos creados por la Ley 42/2007, como el Inventario del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, su sistema de indicadores y el Catálogo Español de Especies Amenazadas.

Desde el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino queremos dar continuidad y potenciar el conocimiento sobre nuestros anfibios y reptiles, apoyando el excelente trabajo realizado por la Asociación Herpetológica Española. Esta monografía es fruto de esta colaboración, y esperamos que sea la primera de una larga lista.

José Jiménez García-Herrera
Director General de Medio Natural
y Política Forestal (MARM)

RESUMEN

Se exponen los resultados del proyecto de seguimiento de la lagartija de Valverde (*Algyroides marchi*) llevado a cabo por la Asociación Herpetológica Española (AHE) en 2009. Esta especie constituye un endemismo ibérico restringido a las Sierras Penibéticas de Alcaraz, Segura y Cazorra. Pertenece a un género que evolucionó en ambientes forestales húmedos y cuyos miembros ocupan áreas igualmente relictas a lo largo de la Cuenca Mediterránea. Los objetivos del proyecto eran actualizar el conocimiento del área de distribución, elaborar modelos de distribución potencial, estimar la abundancia de las poblaciones, evaluar el grado de diversidad genética, determinar las principales amenazas y con esa información elaborar unas conclusiones de conservación.

El muestreo de campo, realizado de abril a septiembre, junto con una revisión bibliográfica exhaustiva, permitió obtener 559 registros en 45 cuadrículas UTM 10x10, con 224 localidades precisas, 162 de ellas con índice de abundancia y 84 con muestra de tejidos. Se registra un considerable progreso corológico no sólo por localidades nuevas dentro del ámbito ya conocido sino también por la detección de poblaciones periféricas, especialmente en la parte oriental. Los modelos de distribución potencial indican que, a gran escala, la especie depende del relieve, bajas temperaturas estivales, alta precipitación y buena cobertura vegetal mientras que, a pequeña escala, se ve limitada por la rugosidad y grado de encajonamiento del terreno que minimiza la radiación y la evaporación. Las estimas cualitativas de abundancia poblacional indican que las poblaciones periféricas en ambientes subóptimos son las menos abundantes.

El estudio de los marcadores mitocondriales muestra la elevada diversidad genética que se estructura en tres linajes separados al inicio del Pleistoceno. El primero, altamente diverso y estable, se extiende por el eje central de la distribución. El segundo, muy pequeño, ocupa la zona noroccidental y se ha expandido recientemente. El tercero se extiende por la periferia oriental en núcleos separados y es el resultado de una retracción histórica más reciente. Por otro lado, los marcadores nucleares indican que, pese a todo, existe o ha existido hasta tiempos recientes un fuerte flujo entre estos linajes.

La información, recogida durante los muestreos o tomada de la literatura, indica que alteraciones directas del hábitat a nivel local (incendios, pistas forestales, canalizaciones, infraestructuras turísticas y energéticas) y el cambio climático (aumento de temperatura y descenso de la precipitación) a nivel general son las amenazas para la especie. Aunque gran parte del rango de distribución se halla dentro de áreas protegidas ello no ha impedido la incidencia de los factores locales antes mencionados ni tampoco evita los riesgos derivados del cambio climático a la especie. Ulteriores estudios intensivos de demografía y genética poblacional podrán aportar evidencias más firmes sobre el tamaño real del área de ocupación, su fragmentación y el declive de las poblaciones.

Palabras clave: *Algyroides marchi*, Lagartija de Valverde, Lacertidae, distribución, abundancia, diversidad genética, conservación.

SUMMARY

The results of a monitoring Project on the Spanish *Algyroides* (*Algyroides marchi*) carried out by the *Asociación Herpetológica Española* (AHE, Spanish Herpetological Society) in 2009 are exposed. This species is an Iberian endemism restricted to the Prebetic Mountains (Alcaraz, Segura and Cazorla). It belongs to a genus evolved in humid forest environments whose members occupy relictual areas across the Mediterranean Basin. The aims of the project were updating the knowledge on the distribution range, producing models of potential distribution, estimating the population abundance, evaluating the degree of genetic diversity, determining the main menaces and extracting conclusions for conservation from such information.

The field sampling carried out between April and September, together with an exhaustive literature review, provided 559 records for 45 UTM 10x10 squares, with 224 exact localities, 162 of them with abundance index and 84 with tissue samples. Considerable progress in the chorological knowledge is observed not only due to new localities within range previously known but also to the detection of peripheral populations, especially in the east. The distribution models indicate that, at large scale, the species depends on mountains, low temperatures, high precipitation and good forest cover, whereas, at small scale, it is constrained by terrain roughness and closure minimising radiation and evaporation.

The analysis of the mitochondrial markers show a high genetic diversity structured into three lineages separated since the Early Pleistocene. The first one is highly diverse and stable being distributed along the main axis of the range. The second one occupies a small area in the North western border of the range and has recently expanded. The third one extends throughout several isolated nuclei of the eastern border and is the result of a more recent historical retraction. Nevertheless, nuclear markers indicate current or recent gene flow between these lineages.

The information either picked up during the field sampling or from the literature indicate that the menaces for the species are habitat disturbance (forest fires, tracks, stream canalisations, touristic and energetic infrastructures) at local level and climate change (warming and precipitation decrease) at general level. Although most of the species' range falls within protected areas, this has neither prevented the incidence of the factors above mentioned nor released the Spanish *Algyroides* from the risks derived from global warming. Further intensive studies on demography and population genetics will provide stronger evidences on the realistic size of the occupation area, its fragmentation and the declining of the populations.

Keywords: *Algyroides marchi*, Spanish *Algyroides*, Lacertidae, distribution, abundance, genetic diversity, conservation.

INTRODUCCIÓN

La lagartija de Valverde, *Algyroides marchi* Valverde, 1958 constituye uno de los elementos más relevantes de la abundante y variada herpetofauna ibérica. En efecto, no sólo se trata de un endemismo exclusivamente ibérico que ocupa un rango de distribución muy reducido (las Sierras Penibéticas de Alcaraz, Segura y Cazorra y su periferia; Rubio, 2002; Fernández-Cardenete & García-Cardenete, 2009, Figura 1), sino que además pertenece a un género cuyos miembros se hallan esparcidos a lo largo de la Cuenca Mediterránea en áreas muy separadas e igualmente restringidas (Figura 2).

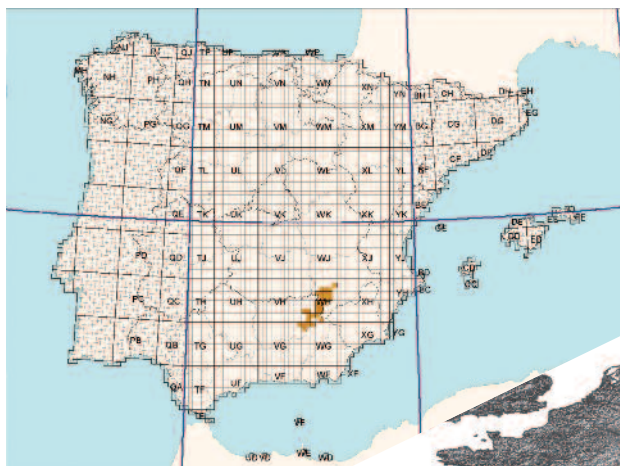
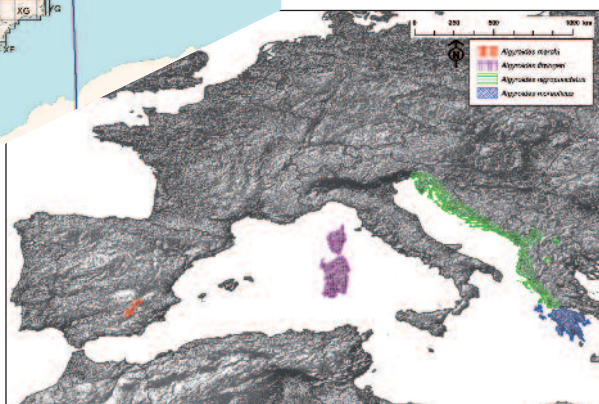


Figura 1: Distribución global de *Algyroides marchi* en UTM 10x10 según aparece en el capítulo correspondiente del actual Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España (Rubio, 2002).

Figura 2: Distribución de las cuatro especies conocidas del género *Algyroides*. Obsérvese el carácter mayoritariamente alopátrico y relicto de las distribuciones.



En su revisión filogenética del género, Harris *et al.* (1999), empleando caracteres tanto moleculares como morfológicos (Figura 3), concluyen que se trata de un grupo de lagartijas poco modificadas (plesiomórficas) con un antecesor único (monofilético). El género se habría originado en el Mediterráneo oriental, donde sobrevive su miembro más basal, y luego habría colonizando el Mediterráneo central y occidental. El parentesco entre las especies ibérica y corso-sarda, las dos más relacionadas, sugiere que tal colonización se habría realizado en época muy temprana (Mioceno) cuando en Europa prevalecían las condiciones de bosque subtropical (Cavazza & Wezel, 2003). Con posterioridad, la progresiva desecación del clima (Cavazza & Wezel, 2003) habría ido substituyendo estos ambientes por otros más abiertos y secos que favorecerían a otros lacér-

tidos (i.e. *Podarcis*, Böhme & Corti, 1993). De este modo, los actuales *Algyroides* serían los linajes sobrevivientes del género que se habrían mantenido en reducidos favorables donde han evolucionado ya por separado.

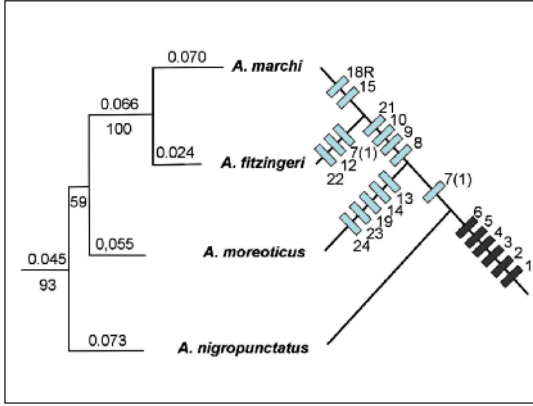


Figura 3: Relaciones filogenéticas entre las especies de *Algyroides* basadas en el ADN mitocondrial (izquierda) y en caracteres morfológicos (derecha). Ambas evidencias son coincidentes e indican un mayor parentesco entre *A. marchi* y *A. fitzingeri*, la especie que habita Córcega y Cerdeña. Izquierda: árbol de máxima verosimilitud para los genes 12S y 16S concatenados (números superiores: longitud de las ramas; números inferiores: porcentajes de bootstrap). Derecha: árbol de máxima parsimonia para 25 caracteres derivados (indicados por números). Modificado de Harris *et al.* (1999).

Ciertamente, características morfológicas del género, como las escamas con marcada microornamentación y carenas, se relacionan con una vida críptica en ambientes húmedos y con vegetación (Figura 4). Aunque inicialmente los *Algyroides* serían robustos trepadores de troncos y ramas bajas (*A. moreoticus*), su tamaño se habría reducido y sus hábitos se habrían desplazado, por un lado hacia la vida en la hojarasca (*A. nigropunctatus* y *A. fitzingeri*), y por otro, hacia un incremento en el uso de fisuras rocosas como refugio, singularidad esta que caracteriza a *A. marchi* (Harris *et al.*, 1999, Figura 5). La consecuencia parece haber sido una reducción secundaria en el carenado dorsal y una pérdida de las carenas laterales, de modo que la lagartija de Valverde es la única especie ibérica viviente con tres tipos que escamas alrededor del cuerpo: grandes y carenadas en el dorso, granulares en los costados y cuadrangulares en el vientre (Pérez-Mellado, 1998, Figuras 6 y 7).

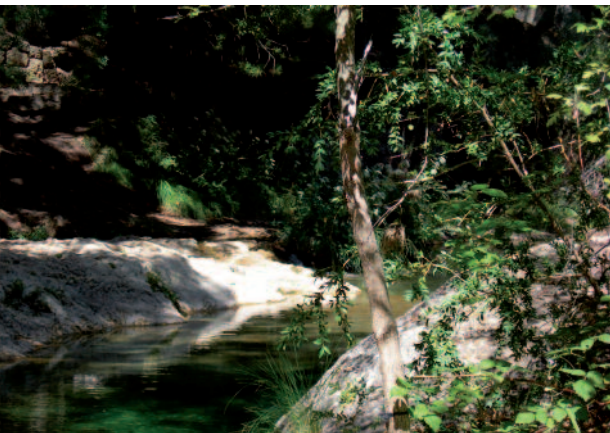


Figura 4: El género *Algyroides* evolucionó en ambientes forestales húmedos. Una localidad típica de *Algyroides marchi*: Puente de Las Herrerías, Cazorla (Jaén). Foto. M.A. Carretero.

Posiblemente fueran estas características (pequeño tamaño, vida críptica, especificidad de hábitat, rango restringido, otros lacértidos presentes) las que hicieron permanecer a la especie desconocida para la ciencia hasta 1958 (Valverde, 1958), si bien es cierto que la presencia el género en la Península ya había sido confusamente descrita por Boscá para la Sierra de Guadarrama (donde nunca se ha confirmado) con el nombre de *Algyroides hidalgoi* Boscá, 1916 basándose en un ejemplar juvenil (Boscá, 1916), actualmente perdido.

Tras su descubrimiento, este lacértido atrajo inicialmente la atención de taxónomos alemanes (Klemmer, 1960; Buchholz, 1964; Eikhorst, 1979) dado el interés que suscitaba la distribución relictiva de los miembros del género en la Cuenca Mediterránea. Sin embargo, poco después y de la mano de investigadores españoles, ya se realizaron estudios intensivos sobre la ecología de la especie (Palacios *et al.*, 1974; Palaus, 1974). Cabe destacar que prospecciones posteriores (Pleguezuelos *et al.*, 1989; Gil-Sánchez, 1992) sugerían que el grado de conocimiento de la distribución de la especie distaba todavía de ser completo. Les siguieron estudios cariológicos (Calera & Cano, 1979), etológicos (in den Bosch, 1990) y parasitológicos (Lafuente & Roca, 1993). Más adelante, una serie de estudios autoecológicos y de historia natural (Rubio & Palacios, 1986; Rubio & Ruiz, 1986; Rubio & Carrascal, 1994) que culminan en la tesis doctoral de José Luís Rubio (Rubio, 1996), así como en un plan de conservación de reptiles amenazados de Castilla-La Mancha que incluye a la especie (Rubio & Palacios, 1998). Sin embargo, con posterioridad la especie sólo ha sido objeto de estudios morfológicos puntuales (Barahona & Barbadillo, 1997, 1998) y entrado en el análisis filogenético del género (Harris *et al.*, 1999).

Contrasta pues, la enorme atención que recibió en las dos primeras décadas de su descubrimiento con la escasez de estudios en esta última década. Recientemente, se han señalado las afinidades atlánticas de *Algyroides marchi* en un entorno mayoritariamente mediterráneo (Sillero, 2006; Sillero *et al.*, 2009) lo cual sugiere vulnerabilidad al cambio climático. Significativamente, Rubio & Carrascal (1994), en un estudio pionero sobre la selección de hábitat a diferentes escalas,



Figura 5: Entre las especies del género *Algyroides*, *A. marchi* es la única de costumbres marcadamente saxícolas y fisurícolas. Ejemplar de La Hueta, Orcera (Jaén). Foto. M. A. Carretero.



Figura 6: En contraste con las otras especies del género, *Algyroides marchi* presenta reducción en el carenado de las escamas dorsales. Adulto, Cazorla (Jaén). Foto: L. García-Cardenete.

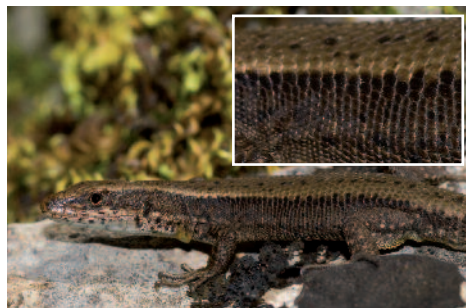


Figura 7: *Algyroides marchi* es el único lacértido ibérico en el que las escamas dorsales y laterales presenta morfologías diferentes. Adulto, Riópar (Albacete). Foto: P. L. Hernández-Sastre.

ya alertaban sobre la extrema vulnerabilidad de la especie debido a su extrema especificidad de hábitat (estenotipia) y requerimientos ecológicos. Dado el tiempo transcurrido desde los primeros estudios, unido a las mejoras tecnológicas actualmente disponibles, consideramos que ha llegado el momento de actualizar el conocimiento sobre su distribución, abundancia y variabilidad genética, criterios estos que son indispensables para la aplicación de las modernas categorías internacionales de conservación (IUCN, 2001). Dichos elementos serán también necesarios a la hora de planificar seguimientos a largo plazo y para diseñar medidas de gestión efectivas. Es por estas razones y porque la especie no ha recibido la atención de otros programas de conservación específicos que la sociación Herpetológica Española, de acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino ha considerado que *Algyroides marchi* sea objeto de un seguimiento específico.

Los objetivos de dicho seguimiento son los siguientes:

1. Elaborar mediante un Sistema de Información Geográfica el análisis de la distribución potencial de *Algyroides marchi* y compararla con la distribución actual existente.
2. Confirmar la distribución de *Algyroides marchi* en especial, delimitar la distribución exacta de la especie en datos de cuadrícula UTM 1x1 KM (o georreferenciada en coordenadas x e y con error de 10 m).
3. Cuantificar los efectivos existentes en dichas poblaciones y valorar el estado real de conservación en que se encuentran.
4. Determinar el grado de pérdida de diversidad genética en las poblaciones fragmentadas y reducidas que puedan estar sometidas a depresión endogámica.
5. Con toda la información anterior, elaborar unas conclusiones que recojan los problemas de conservación y definir las actuaciones a llevar a cabo para la conservación de dicha especie en el territorio.
6. Revisión de su catalogación en el Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España.

Los dos primeros objetivos están abordados conjuntamente en el apartado de Distribución en tanto que los otros cuatro se exponen cada uno en su propio apartado.

METODOLOGÍA GENERAL

La ya mencionada escasez de estudios específicos conlleva, por tanto, la existencia de pocas citas exactas en la bibliografía. Cabe mencionar que muchos de estos trabajos y viajes naturalistas de herpetólogos nacionales y europeos para conocer a la especie se han centrado tradicionalmente en unas pocas localidades clásicas (Río Borosa, Río Aguamulas y nacimientos del Río Mundo y Río Guadalquivir), siendo por tanto muy escasos los datos correspondientes al resto del área de distribución de la especie.

Revisión bibliográfica

En tales circunstancias, se hizo especialmente necesario realizar primero una extensa revisión bibliográfica para obtener el máximo de información sobre la especie previo a iniciar los trabajos de campo. La recogida de información comenzó con la base de datos de la Asociación Herpetológica Española (http://www.herpetologica.org/base_datos.asp) en la que se obtuvieron 87 registros aunque sin localización exacta. La revisión de los trabajos científicos disponibles arrojó otros 21 topónimos, igualmente sin localización exacta (Valverde, 1958; Palacios *et al.*, 1974; Palaus, 1974; Otero *et al.*, 1978; Eikhorst *et al.*, 1979; Pleguezuelos *et al.*, 1989; Pleguezuelos & Moreno, 1990; Gil-Sánchez, 1992; Lafuente & Roca, 1993; Sánchez-Videgaín & Rubio, 1996; Ceacero *et al.*, 2007). Finalmente, se consiguieron las primeras localizaciones exactas con los datos recogidos previamente por los autores de este trabajo, así como mediante comunicaciones personales de otros herpetólogos y naturalistas de la zona de estudio (Jorge Escudero, Peter Brakels, Juan Manuel Pleguezuelos, Jesús Bastida, Juan Zamora, Javier Fuentes, Juan Ramón Fernández-Cardenete, Antonio Manzanares y Manuel Guerrero). En este punto se contaba con un total de 470 registros correspondientes a 43 cuadrículas UTM 10x10 y con 135 localizaciones precisas.

Trabajo de campo

Debido al carácter esquivo de esta especie, al uso restringido que hace del microhábitat y al escaso número de localidades conocidas, era evidente que las escalas habituales usadas en Atlas Herpetológicos, UTM (Universal Transverse Mercator) 10x10 Km y 1x1 Km eran especialmente inadecuadas. Por ello la prospección de campo se orientó a obtener siempre datos con la máxima precisión tomados con GPS. La zona de estudio comprendió el total de las Sierras Penibéticas de Alcaraz, Segura y Cazorla, así como las sierras periféricas adyacentes y también se comprobó cualquier observación dudosa aunque se hallase fuera de este territorio.

A la hora de diseñar los muestreos de campo, conviene indicar que los principales objetivos marcados eran ampliar la distribución conocida para la especie, recoger el máximo de localidades para poder realizar modelos predictivos de distribución detallados y recoger material genético en todo el rango de distribución de la especie. Por tanto, el trabajo de campo se encaminó tanto a visitar localida-

des ya conocidas como a buscar nuevas localidades. Como complemento para la búsqueda de nuevas localidades, se realizaron durante el proceso diversos modelos predictivos preliminares (ver apartado 'Distribución') que ayudaron a detectar zonas de alta probabilidad de aparición de la especie sin registros conocidos.

La lagartija de Valverde es una especie de distribución puntual, muchas veces restringida a pequeños enclaves con unas características muy determinadas entre las que destacan una elevada humedad o cercanía de agua, baja insolación, presencia de piedras (mejor cuanto mayor tamaño) o paredes verticales y encajonamiento (Rubio & Carrascal, 1994; Pérez-Mellado, 1998; Salvador & Pleguezuelos, 2002). Incluso dentro de hábitats favorables con estas características, *Algyroides marchi* suele habitar solo en determinados puntos, siendo con frecuencia rápidamente sustituida por *Podarcis hispanica*.

Dada la posibilidad de que el conocimiento geográfico de la especie fuera incompleto debido a su baja detectabilidad, se decidió elaborar una estrategia de trabajo basada en amplios muestreos dirigidos a zonas de alta probabilidad (conocida o estimada por modelos predictivos provisionales) con muestreos activos en aquellos puntos cuyas características de hábitat resultasen especialmente favorables. Para la detección de la especie se prospectaron en cada localidad los microhábitats más favorables para su observación, a la hora más adecuada en función de la climatología y el comportamiento de la especie, teniendo en cuenta sus exigencias ecológicas. Dado que muchas de estas zonas presentan un alto grado de encajonamiento, en numerosas ocasiones fue necesario repetir los muestreos en horas favorables para cada localidad en función de su orientación.

Finalmente, en cada localidad donde se observó la especie se procedió a recoger información sobre el punto en proyección UTM (utilizando el *datum* ED50 de referencia en la Península Ibérica), se observó la abundancia de la especie de estudio (ver apartado 'Abundancia') y se recogieron una o varias muestras de tejido para análisis genético (extremo de la cola conservado en alcohol puro de 70°) tras la captura con lazo de los ejemplares y utilizando material estéril para su recogida. Este trabajo de campo se realizó durante un total de 35 jornadas comprendidas entre el 25 de marzo y el 13 de septiembre de 2009. En total han participado en las prospecciones 12 investigadores completando unos 5.2 días/investigador, aproximadamente. Las prospecciones se concentraron en dos períodos, mayo-junio (época reproductora) y septiembre (presencia de juveniles).

Cierre de la recogida de datos

El trabajo bibliográfico y de campo descrito permitió cerrar la base de datos para la especie con 559 registros en 45 cuadrículas UTM 10x10, con 224 localidades exactas, 162 de ellas con índice de abundancia y material genético para 84 localidades. La base de datos completa, se incorporará a la base de datos de herpetofauna de la Asociación Herpetológica Española (http://www.herpetologica.org/base_datos.asp).

DISTRIBUCIÓN

Metodología

Base de datos corológicas

Los datos procedentes de las fuentes ya mencionadas están unificados en una base de datos de 559 registros (a 28 de diciembre de 2009) de diferente precisión. Estos registros han servido de base para producir modelos de distribución de la especie a diferentes escalas.

Variables ecogeográficas empleadas en la modelación

Se utilizaron cuatro fuentes de datos: (1) Atlas digital de la Península Ibérica (ADPI; Ninyerola *et al.*, 2005); (2) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM; Farr *et al.*, 2007); y (3) Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM; <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>). El ADPI es un conjunto de mapas climáticos digitales de temperatura media del aire (mínimas, medias y máximas), precipitación y radiación solar, con una resolución espacial de 200 m. El SRTM es un modelo digital del terreno (MDT) de cobertura casi global y gratuita, con una resolución espacial de 81 m. El ASTER GDEM es un proyecto formado por el Mi-

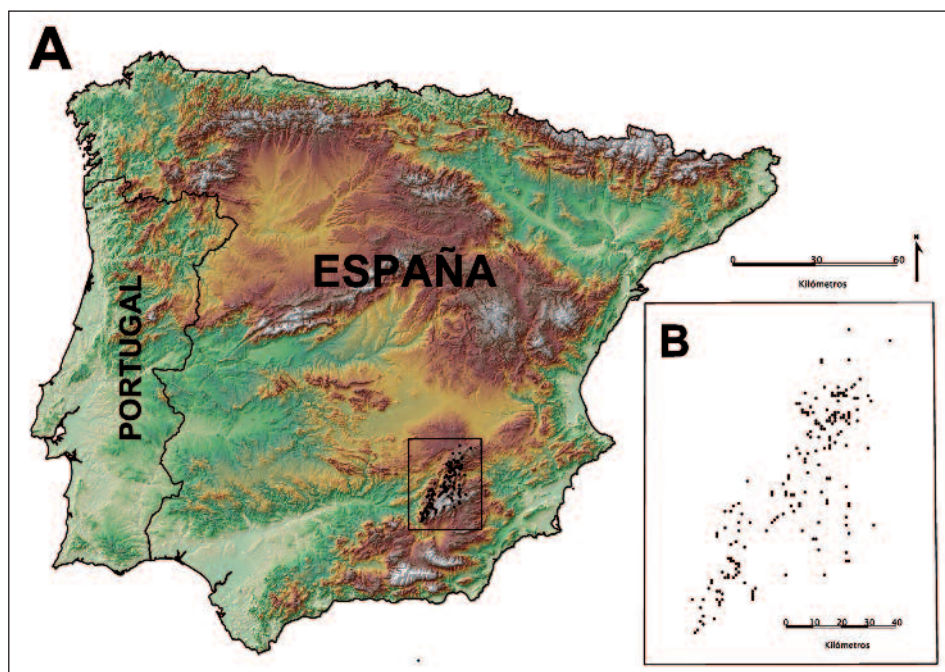


Figura 8: Mapa A: distribución global de *Algyroides marchi* en la Península Ibérica. Mapa B (en recuadro): puntos de presencia de *A. marchi* usados para calcular los modelos ecológicos de nicho.

nisterio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) y la National Aeronautics and Space Administration (NASA) de USA para producir el primer MDT gratuito que cubre todos los continentes (entre las latitudes 83°N y 83°S) con una resolución espacial de 30 m.

De estas cuatro fuentes de datos se obtuvieron varias variables ecogeográficas en tres resoluciones espaciales: (1) 5 variables con 1 km²: temperatura máxima de julio, precipitación media anual y radiación media anual, a partir del ADPI; altitud y pendiente, a partir del SRTM; (2) 5 variables con 200 m²: temperatura máxima de julio, precipitación media anual y radiación media anual, a partir del ADPI; altitud y pendiente, a partir del SRTM; y (3) altitud, obtenida del ASTER GDEM con 30 m², más 5 variables topográficas derivadas de la altitud: pendiente (en porcentaje), orientación cardinal de la superficie, sumatorio del número de horas con luz solar y radiación solar durante 2009 e índice de curvatura de la superficie. La orientación cardinal de la superficie (medida en grados, de 0 a 360) no puede ser utilizada como variable continua porque los valores son circulares (e.g. la orientación norte vale tanto 0° como 360°). Por tanto, fue transformada en una variable categórica, reclasificando los valores en rangos de 40°.

Áreas de estudio

Los modelos fueron calculados en dos áreas de estudio: los modelos de 1 km² y 200 m² fueron aplicados a la totalidad de la Península Ibérica (Figura 8A); el modelo de 30 m² fue aplicado a un área pequeña que incluía todas las citas de la especie (Figura 8B).

Modelos de nicho ecológico

Se modeló el nicho realizado (*sensu* Hutchinson, 1957) de *Algyroides marchi* usando el método de modelación Maximum Entropy models (Phillips *et al.*, 2004; Phillips *et al.*, 2006; Phillips & Dudik, 2008), implementado en el software Maxent 3.3.1: <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent>), para identificar los factores ambientales relacionados con la distribución de la especie e identificar las áreas adecuadas para su presencia. Maxent es un método de “machine-learning” que utiliza datos de sólo presencia, que está particularmente bien adaptado a información ruidosa o escasa, como es típico de datos corológicos, y que es capaz de trabajar al mismo tiempo tanto con variables continuas como categóricas (Phillips *et al.*, 2006). Maxent supera a otros métodos de modelación, ya sean de sólo presencias (BIOCLIM, DOMAIN), como de presencias-ausencias (GAM, GLM), especialmente cuando los tamaños de las muestras son bajas (Elith *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2006).

Maxent busca el modelo estadístico que produce la distribución más uniforme (aquella de máxima entropía), seleccionando al azar datos de ausencia, distribuidos de manera uniforme, a partir de los píxeles del fondo. Para ello, se calcularon diez modelos de forma iterativa para cada uno de los conjuntos de datos, obteniéndose un modelo medio final (Sillero, 2009, 2010). Maxent estima

la distribución de una especie con la restricción de que el valor esperado de cada factor ambiental (o su transformación y/o interacciones) debe coincidir con su promedio empírico, es decir, el valor medio de un conjunto de puntos de muestreo tomados de la distribución de las especies (Phillips *et al.*, 2004; Phillips *et al.*, 2006). Maxent pondera cada variable por una constante y la distribución de la probabilidad estimada es exponencial a la suma de los pesos, dividido por una constante de reducción para garantizar que la probabilidad de valores va de 0.0 a 1.0 y la suma es 1.0. Maxent comienza con una distribución de probabilidad uniforme (ganancia = 0) y altera de forma iterativa un peso a la vez para maximizar la probabilidad de los datos corológicos. El algoritmo converge a la distribución óptima probable; por lo tanto, la ganancia representa cuánto mejor se ajusta la distribución a la muestra en relación a la distribución no uniforme (Phillips *et al.*, 2004, 2006; Phillips & Dudik, 2008).

Maxent se ejecutó con la opción “*autofeatures*” seleccionando el 70% de los datos de presencia para entrenar el modelo y el restante 30% para evaluar el modelo. Los modelos fueron evaluados con los gráficos “*receiver operated characteristics*” (ROC). El área bajo la curva (*area under the curve*, AUC) del gráfico ROC se usó como medida del poder de ajuste de los modelos (Liu *et al.*, 2005). AUC fue seleccionado porque es independiente de la prevalencia (la proporción entre datos de presencia en relación al conjunto total de la muestra), como asegura su definición matemática (Bradley, 1997; Forman & Cohen, 2005; Fawcett, 2006). Por tanto, los valores de ROC son calculados usando proporciones (sensibilidad frente a 1-especificidad), correspondiendo cada uno de ellos a una columna diferente de la matriz de confusión, i.e. ambas proporciones de presencias y ausencias son incluidas en el cómputo de los valores de ROC. La importancia de cada variable para explicar la distribución de la especie fue determinada por: (1) análisis de *jackknife* de la media de AUC con los datos de entrenamiento y validación; y (2) contribución porcentual media de cada variable al modelo. Para esto, cada factor ambiental fue excluido por turnos y se creó un modelo con las variables restantes; luego, se calculó un modelo usando sólo una variable.

El modelo 200 m² fue fusionado al modelo 30 m² siguiendo dos criterios: (1) los modelos fueron sumados aritméticamente, manteniendo la resolución espacial de 30 m²; (2) los dos modelos fueron transformados en modelos de presencia (valor 1) y de ausencia (valor 0) usando un valor umbral que maximiza la especificidad y la sensibilidad (0.148 para el 200 m², 0.348 para el 30 m²), para multiplicarlos a continuación. Así, sólo permanecen los píxeles con un valor de 1 en ambos modelos.

Resultados y discusión

Mejora del conocimiento corológico

En el apartado de esta especie del Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España (Rubio, 2002) se indicaba su presencia en 30 cuadrículas UTM 10x10 Km. Con el aporte de nuevos datos, la distribución actualizada com-

prende ahora 45 cuadrículas UTM 10x10 (Figura 9). De ellos, se dispone de 224 puntos precisos GPS para 42 cuadrículas 10x10 (es decir, quedan 3 cuadrículas sin datos precisos de distribución) y 152 cuadrículas 1x1. Por otro lado se dispone ya de observaciones para 325 datos 1x1 Km, que corresponden a 185 cuadrículas UTM 1x1 diferentes en 45 cuadrículas 10x10 (faltan datos en 2 cuadrículas 10x10).

Una parte importante de este considerable progreso en el conocimiento corresponde a la detección de poblaciones periféricas al eje principal de la distribución, especialmente en la parte oriental (Figura 9). Cabe indicar que una gran mayoría de las poblaciones conocidas históricamente se han revalidado por el muestreo de campo realizado, si bien puntualmente muestran alguna alteración (ver apartado 'Abundancia'). Por otro lado, también han sido realizadas observaciones en localidades completamente nuevas, si bien no demasiado alejadas de las localidades históricas.

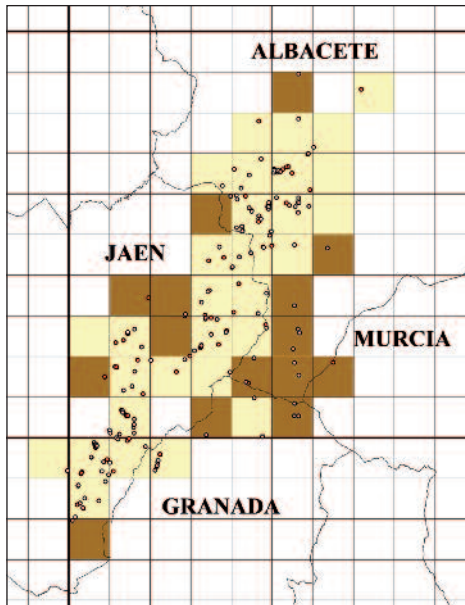


Figura 9: Observaciones de *Algyroides marchi* realizadas hasta la actualidad representadas como puntos GPS y como cuadrículas UTM 10x10 km. Cuadros amarillos: datos del Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España (RUBIO, 2002); cuadros marrones: datos nuevos (bibliografía, no publicados y trabajo de campo); puntos blancos: observaciones exactas GPS; puntos rojos: observaciones con toma de muestras de tejidos.

Finalmente, en términos de límites administrativos cabe destacar el primer registro de la especie para la provincia de Murcia (Rambla de la Rogativa, Moratalla, Brakels *et al.*, 2010). La especie ha sido detectada hasta ahora en los siguientes términos municipales: Alcaraz, Bienservida, Bogarra, Casas de Lázaro, Cotillas, Masegoso, Molinicos, Nerpio, Paterna de Madera, Peñascosa, Riópar, Salobre, Vianos, Villaverde de Guadalimar y Yeste (Albacete); Castril, Huescar y Puebla de Don Fadrique (Granada); Beas de Segura, Cazorla, Hornos, Iznatoraf, La Iruela, Orcera, Peal de Becerro, Quesada, Santiago-Pontones, Segura de la Sierra, Siles, Sorihuela del Guadalimar, Villacarrillo y Villanueva del Arzobispo (Jaén); y Moratalla (Murcia).

Modelos de distribución

Las zonas de hábitat adecuado identificado por los modelos 1 km² y 200 m² para *A. marchi* fueron similares (Figura 10): Sierras de Cazorla, Segura y Alcaraz; Sistema Subbético Oriental; Sistema Ibérico (Serranía de Cuenca); Sistema Central español (Sierras de Gata, Francia y Béjar en Salamanca; y Sierra de Gredos en Ávila); y Sierras de San Pedro y Guadalupe. El modelo 200 m² identifica también algunas áreas del Sistema Central portugués (Serra da Malcata, Estrela y Louçã).

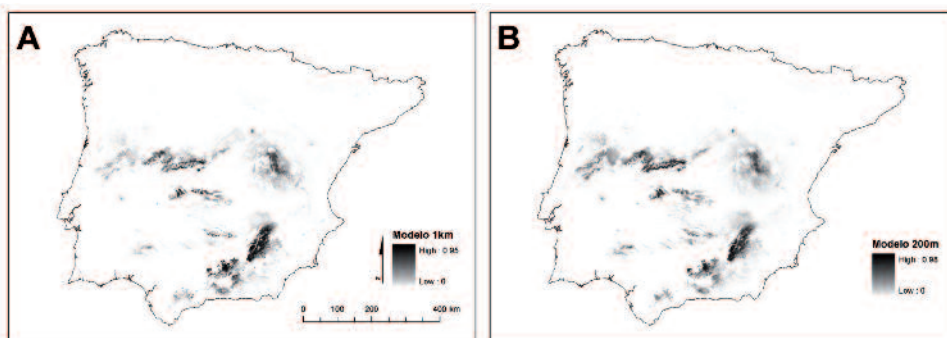


Figura 10: Modelos Maxent de *Algyroides marchi* calculados a dos resoluciones espaciales: 1 km² (A) y 200 m² (B).

Conviene resaltar que ninguno de los modelos predice la presencia de la especie en otras unidades de relieve peninsular de mayor entidad como Sierra Nevada, el Pirineo o el Sistema Cantábrico, posiblemente por las excesivamente bajas temperaturas.

El modelo 30 m² (Figura 11) identifica hábitats idóneos en las Sierras de Cazorla, Segura y Alcaraz, pero con una mayor precisión. Las zonas de mayor idoneidad corresponden a ríos y riachuelos. La suma aritmética de los modelos 200 m² y 30 m² es muy similar a la multiplicación de ambos modelos (Figura 11), aunque el último predice un área más restringida que excluye zonas accidentadas secas de la parte oriental del área de estudio. Dentro de las áreas más favorables aparecen dos

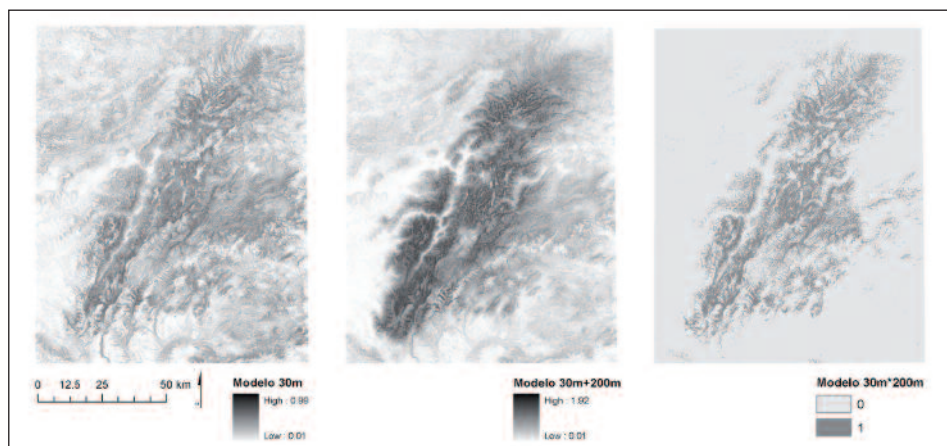


Figura 11: Modelo Maxent de *Algyroides marchi* calculado a 30 m² (izquierda); suma aritmética de los modelos 200 m² y 30 m² (centro); y multiplicación de ambos modelos (derecha).

discontinuidades, especialmente evidentes en el modelo multiplicativo, una que separa el norte del área del resto y otra que corresponde al Pantano del Tranco y separa parcialmente las áreas centro-occidentales. No obstante, gran parte de las zonas de ocupación predichas por el modelo en el eje axial de la distribución se hallan conectadas y tan sólo las zonas periféricas muestran aislamiento.

Todos los modelos obtuvieron valores muy elevados de AUC para los datos de entrenamiento: $1 \text{ km}^2 = 0.994$; $200 \text{ m}^2 = 0.992$; y $30 \text{ m}^2 = 0.895$; lo cual indica un buen ajuste de los mismos. En el caso de los modelos 1 km^2 y 200 m^2 , la altitud fue la variable con la contribución más alta (46.7 y 40.6, respectivamente; Tabla 1); en el caso del modelo 30 m^2 , fue la curvatura (Tabla 2).

Tabla 1: Contribución media de las variables para los modelos 1 km^2 y 200 m^2 .

Variables	1 km ²	200 m ²
Altitud	46.7	40.6
Pendiente	28.7	29.5
Temperatura máxima julio	17.5	26.3
Precipitación media anual	5.5	3.5
Radiación media anual	1.6	0.2

Tabla 2: Contribución media de las variables para el modelo 30 m^2 .

Variables	30 m ²
Curvatura	55.6
Pendiente	13.6
Altitud	12.9
Número de horas	10.6
Radiación	5.0
Aspecto	2.3

De hecho, la curvatura es la variable que más explica el modelo cuando se utiliza en solitario, y que más afecta al modelo cuando es retirada del mismo (Figura 12). Sin embargo, en los modelos 1 km^2 y 200 m^2 , es la radiación la variable que más explica y más afecta a los modelos (Figura 12).

Estos resultados indican pues que, a gran escala, la especie depende de la existencia de unidades de relieve accidentadas que minimizan el estrés térmico estival de las zonas llanas circundantes, que atraen precipitaciones y que permiten mantener una buena cobertura vegetal. A pequeña escala, la especie se ve limitada por la rugosidad y grado de encajonamiento del terreno que minimiza la radiación y la evaporación (Figura 13). Frecuentemente, tales condiciones se producen en los angostos valles fluviales que también garantizan una humedad mayor. Es notable la jerarquización de ambos grupos de variables (ver también Rubio & Carrascal, 1994) que actúan ambas como requisitos necesarios. Así, aunque en las partes más descubiertas de los calares en la Sierra de Alcaraz las condiciones a gran escala serían favorables, *A. marchi* se halla ausente probablemente debido a la falta de agua y paredes verticales (Figura 14). Del mismo modo, la especie se halla ausente de cortados calcáreos de la zona oriental presumiblemente por su elevada exposición y sequedad.

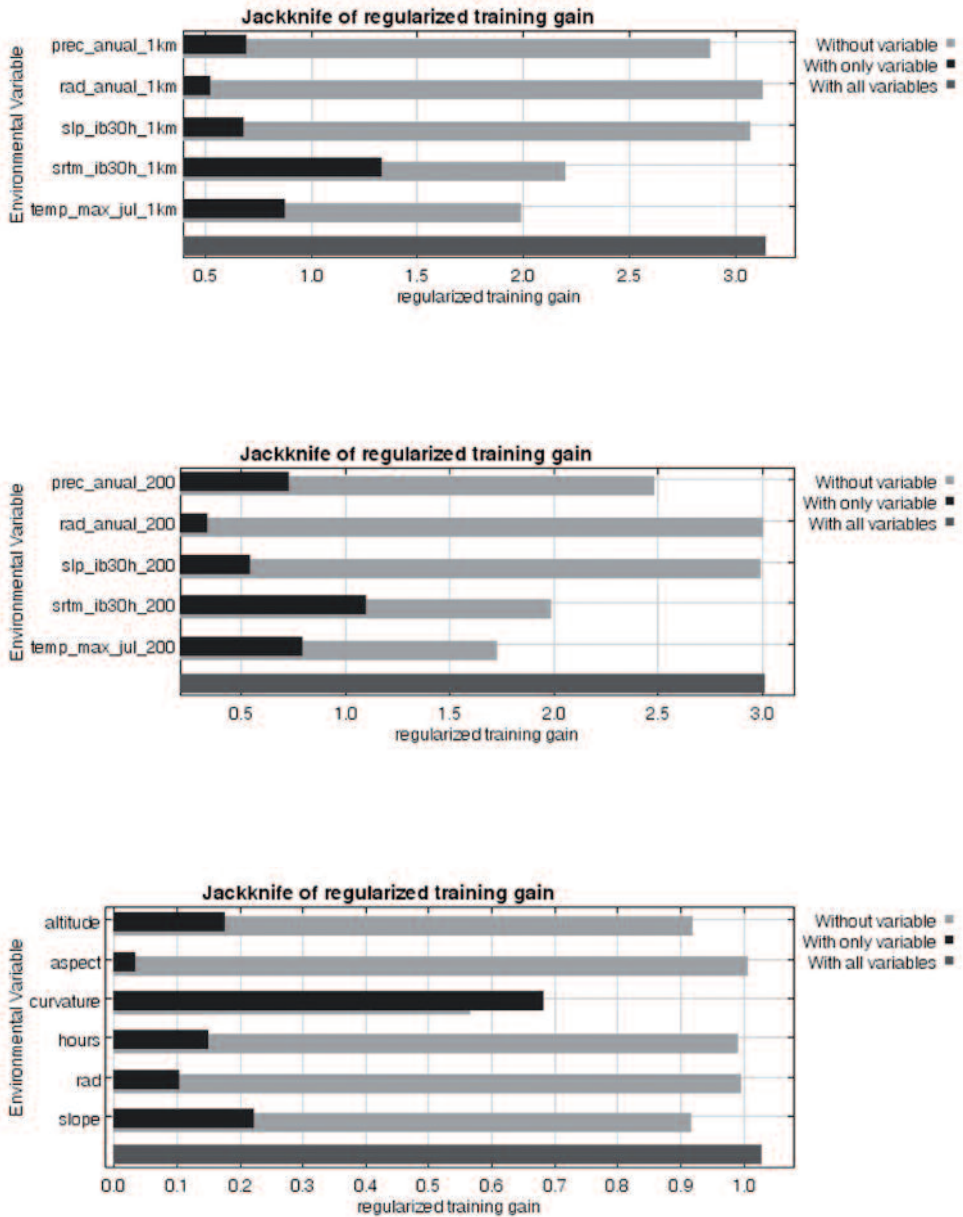


Figura 12: Contribuciones de cada variable cuando se utiliza en solitario para calcular los modelos, y cuando es retirada manteniendo el resto de variables para calcular los modelos. El primer gráfico corresponde al modelo 1 km², el segundo al 200 m², y el tercero al 30 m². Las variables para los modelos 1 km² y 200 m² son, de arriba a abajo: precipitación media anual, radiación media anual, pendiente, altitud y temperatura máxima de julio. Las variables del modelo 30 m² son, de arriba a abajo: altitud, orientación cardinal, índice de curvatura de la superficie, número de horas de sol en 2009, radiación solar durante 2009 y pendiente.



Figura 13: Los terrenos accidentados y encajonados con paredes rocosas de gran pendiente que minimizan la radiación y la evaporación constituyen sustratos favorables para *Algyroides marchi*. Nacimiento del río Mundo, Riópar (Albacete) Foto: M. A. Carretero.



Figura 14: Pese a encontrarse en áreas propicias para la especie a gran escala, *A. marchi* falta en las partes más descubiertas los calares debido falta de agua y paredes verticales. Calar del Mundo, Riópar (Albacete) Foto: M. A. Carretero.

ABUNDANCIA

Metodología

Como se ha comentado anteriormente, la especie presenta una distribución localizada y unos patrones de actividad muy dependientes del microhábitat y la orientación. Estas circunstancias obligan a realizar un enorme trabajo de campo dirigido a recoger un alto número de datos de abundancia que permitan controlar o minimizar los efectos de un elevado número de variables (fecha, hora, orientación, cobertura vegetal, tipo y tamaño de rocas, humedad relativa, temperatura, nubosidad, viento, etc.). Se trata sin duda de un esfuerzo fuera del alcance del presente proyecto, por lo que se decidió utilizar un índice cualitativo en el que cada observador valorase las variables anteriores (por ejemplo, si se realizó el muestreo en las horas y con las condiciones climatológicas óptimas o no) junto con el tiempo hasta el primer contacto, número de observadores, número de ejemplares observados, etc. Así, cada observador valoró cada población como escasa (valor 1), frecuente (valor 2) o abundante (valor 3). Finalmente se asignó a cada población una abundancia consistente en el valor medio dado por todos los observadores que participaron en el muestreo de dicha población. Obviamente, existen registros en los que, por ser históricos o por provenir de la literatura no incluían ninguna idea de abundancia, los cuales quedaron, por tanto, sin información.

Resultados y discusión

Pese a este carácter preliminar y aproximado del estudio poblacional resulta sorprendente la emergencia de un patrón geográfico definido (Figura 15). Efectivamente, las poblaciones catalogadas como 'abundantes' pertenecían todas al eje axial del rango de distribución constituido por las Sierras de Cazorla, Segura y Alcaraz, en tanto que ninguna de las poblaciones periféricas alcanzó un valor superior al de 'frecuente'. Aunque se trata de resultados preliminares, parecen estar de acuerdo con unos mayores efectivos poblacionales en las áreas nucleares de la distribución en correspondencia con las condiciones ambientales más favorables.

Cabe indicar que los resultados son aun insuficientes para determinar si hay diferencias de abundancia entre los diferentes linajes evolutivos de la especie (ver apartado de 'Diversidad Genética'). Asimismo, tampoco se han detectado diferencias entre las poblaciones que se hallan dentro y fuera de áreas protegidas (ver apartado de 'Amenazas').

Por otro lado, a lo largo del estudio (o a través de registros históricos) no se ha conseguido replicar observaciones anteriores en unas pocas localidades, concretamente en la Laguna de Arroyofrío, Cotillas (Albacete) (2009); el Arroyo de la Sarga, Villaverde de Guadalimar (Albacete) (1987); la Peña del Olivar, Siles (Jaén) (2009); el Arroyo de la Celada, Riópar (Albacete) (1996); y el Barranco del Francés, Paterna de Madera (Albacete) (1996). Al menos en dos de

ellas (Arroyofrío y Peña del Olivar) se ha registrado alteración humana con manipulación del sustrato rocoso y desecación del hábitat.

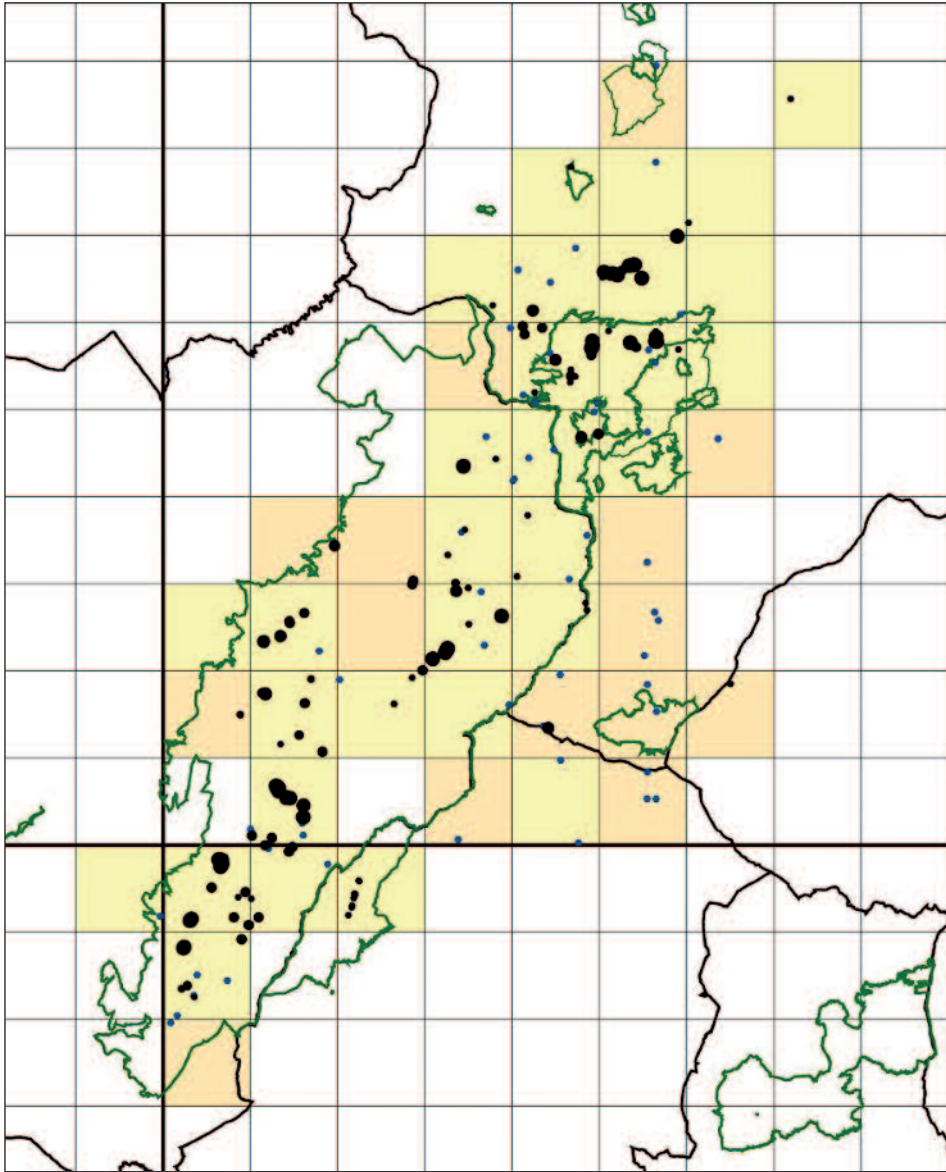


Figura 15: Representación de los valores de abundancia relativa para aquellas localidades de *Algyroides marchi* para las cuales se dispone de información (en negro). Los valores son proporcionales al tamaño de los puntos negros en tres categorías: ● escasa, ● frecuente y ● abundante. En azul los puntos conocidos sin registro de abundancia.

VARIABILIDAD GENÉTICA

Material y métodos

Aparte de la secuenciación de dos genes mitocondriales (12S y 16S rRNA) para un espécimen en el estudio filogenético del género (Harris *et al.*, 1999), la variabilidad genética de la especie era virtualmente desconocida. La ausencia de librerías de microsatélites optimizadas para la especie y la dificultad de obtener un número elevado de muestras individuales por población ha aconsejado realizar un abordaje menos intensivo basado en el uso de marcadores mitocondriales con diferentes tasas de mutación y un muestreo extensivo del área de distribución.

Extracción de DNA, marcadores moleculares, amplificación y secuenciación

Se analizaron muestras pertenecientes a un total de 84 individuos de *Algyroides marchi* de 55 poblaciones para el ADN mitocondrial, y de 15 individuos de 15 poblaciones para el ADN nuclear (Tabla 3) distribuidos entre las provincias de Albacete, Granada, Jaén y Murcia, las cuales comprenden la totalidad del área de distribución de *A. marchi*.

El DNA genómico total, fue extraído a partir de pequeños fragmentos de tejido (extremo de la cola), siguiendo protocolos estándar (Sambrook *et al.*, 1989; Harris *et al.*, 1998). Se amplificaron dos regiones mitocondriales y dos nucleares usando la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). La primera región mitocondrial amplificada fue la perteneciente al gen 16S rRNA, para la cual se usaron los *primers* (cebadores) 16SL y 16SH (Kocher *et al.*, 1989). La segunda región mitocondrial amplificada, fue la correspondiente al gen ND4 rRNA. Los *primers* usados fueron ND4 y LEU (Kocher *et al.*, 1989). Las condiciones de amplificación fueron las propuestas por Harris *et al.* (1998). Las regiones nucleares amplificadas fueron la región MC1R (*primers* MC1R-F y MC1R-R) y PKSQ (*primers* PKSQ-F y PKSQ-R; Pinho *et al.*, 2009). Las condiciones usadas en la PCR fueron las propuestas por Pinho *et al.* (2009). Los fragmentos amplificados fueron secuenciados por la empresa Macrogen.

Las secuencias de los genes fueron revisadas usando el programa Informático CodonCode (versión 3.5) y fueron alineados usando el programa informático MAFFT (versión 6) (Kato *et al.*, 2009), posteriormente todas las secuencias fueron revisadas a mano. Las secuencias resultantes fueron podadas hasta un tamaño de 497 pares de bases (pb) para el fragmento 16S rRNA, 851 pb para el fragmento ND4 rRNA, 643 pb para el fragmento MC1R y 403 pb para el fragmento PKSQ. Las secuencias generadas en este estudio serán depositadas en la base de datos pública on-line GenBank.

Análisis filogenéticos

Las secuencias de ADN mitocondrial para ambos genes concatenados (1348 pb) fueron importados en PAUP*4.0b10 (Swofford, 2002) para su análisis filogenético. Se usaron los análisis de máxima verosimilitud (ML), máxima parsimonia (MP) e inferencia bayesiana. Para cada Gen se calculó, por separado, el mejor modelo

de evolución usando para ello el programa informático Modeltest (Posada, & Crandall, 1998). En el análisis de MP (opciones: “*random sequence addition*”; “*TBR branch swapping*”; “*MulTrees option in effect*”; “*steepest descent off*”; “*MaxTrees set to 10.000 and 1.000 replicates*”) el soporte de los nodos fue estimado (“*non-parametric bootstrap*”) con 1.000 replicas (“*100 random addition*”) y búsqueda heurística.

Los mejores modelos estimados mediante ModelTest (16S rRNA, HKY; ND4 rRNA, TrN+I), se usaron para obtener el árbol de consenso mediante el análisis de ML (opciones: “*random sequence addition*”; “*10 replicate heuristic search*”; “*TBR branch swapping*”; “*MulTrees option in effect*”; “*steepest descent off*”; “*MaxTrees set to 10.000 and 1.000 replicates*”). El soporte de los nodos fue estimado (“*non-parametric bootstrap*”) con 100 replicas (“*random addition*”) y búsqueda heurística.

Para la inferencia Bayesiana se empleó el programa MrBayes 3.1.2 (Ronquist & Huelsenbeck, 2003). Los análisis bayesianos fueron llevados a cabo por muestreo de 1×10^{12} generaciones, y fue recogida una muestra en cada una de las 1000 generaciones (se muestrearon cuatro MCMC; temperatura de la cadena = 0.2; frecuencia de muestreo = 1000; *burnin* = 1000). Se realizaron dos repeticiones independientes y una inspección para comprobar la coherencia para óptimos locales (Huelsenbeck & Bollback, 2001). En ambos análisis, se buscó la convergencia de las cadenas de Markov mediante la representación de los valores log likelihood, frente al número de generaciones hasta que se alcanzó el equilibrio. Los árboles anteriores a la estabilización fueron descartados (“*burnin* = 1000”). Todos los árboles restantes fueron utilizados para calcular el soporte (probabilidad posterior bayesiana, PP) de los nodos en el árbol consenso.

El programa PHASE (versión 2.1) se usó para la reconstrucción de los haplotipos nucleares (Stephens & Donnelly, 2003). Los resultados de este análisis fueron analizados con el programa Network (versión 4.516). Este programa fue usado para determinar una red de haplotipos (“*network median joining*”) tanto para los marcadores mitocondriales como para los nucleares. La información procedente de ambas redes (“*median joining*”), e información de carácter geográfico fue usada para determinar la distribución de los distintos linajes, así como la posible existencia de zonas de contacto entre los diferentes linajes mitocondriales.

Tabla 3: Muestras analizadas en este estudio. Código de muestra corresponde al usado en las figuras 16 y 17.

Código Muestra	UTM 1x1	Localidad	Municipio	Provincia
1768, 1782, 1789, 2797, 1821	WH3443	Cascada de la Hueta	Orcera	Jaén
1829, 1830, 1833, 1831	WH5357	Torca del Espino	Riópar	Albacete
7924, 7925, 7926, 7927	WH3222	Cueva del Agua, Poyotello	Santiago-Pontones	Jaén
1819, 1820, 1812	WH5465	Pino Gordo del Toril	Molinicos	Albacete
1858, 1859, 1860	WH5466	El Toril	Paterna de Madera	Albacete
2528, 2923, 2861	WH3826	Fuente de la Toba	Santiago-Pontones	Jaén
1755, 1908	WG0288	Nacimiento del Guadalquivir	Quesada	Jaén
1882, 1883	WH1934	Área Recreativa Poyo de los Burgos	Beas de Segura	Jaén
1823, 1824	WH4957	Rio Mundo	Riópar	Albacete

Código Muestra	UTM 1x1	Localidad	Municipio	Provincia
1826, 1827	WH5165	Piedra de los Endrinales	Bogarra	Albacete
1844, 1845	WH4947	Molino de Jaray	Yeste	Albacete
7938, 7939	WH4137	La Morilla	Segura de la Sierra	Jaén
7930, 7931	WH4413	Rambla de los Vaquerizos Alrededores Cueva del Agua,	Nerpio	Albacete
7928, 7929	WH3222	Poyotello	Santiago-Pontones	Jaén
2774, 2768	WH3330	Ctra. Siles-Las Juntas	Segura de la Sierra	Jaén
2924, 2905	WH1117	Rio Aguascebas Grande	Iznatoraf	Jaén
2930, 2921	WH1117	Área Recreativa Cueva de Peinero	Villacarrillo	Jaén
1897, 1906	WG1499	Fuente de la Reina	Cazorla	Jaén
7948,7949	WG2192	Rio Castril	Castril	Granada
1770	WH3436	Alrededores Camping Los Negros	Siles	Jaén
1729	WH3425	Venta Benito	Santiago-Pontones	Jaén
1889	WG0595	Puente de las Herrerias	Cazorla	Jaén
1745	WG0698	Arroyo Frio	Cazorla	Jaén
1785	WG0994	Fuente de la Garganta	Cazorla	Jaén
1737	WG1091	Barranco del Guadalentín	Cazorla	Jaén
1870	WG0697	Cerrada del Utrero	Cazorla	Jaén
1872	WH4677	Los Batanes. Rio de la Mesta	Alcaraz	Albacete
1871	WH7185	Sierra del Sabuco. Berro	Casas de Lázaro	Albacete
7947	WH1306	Rio Borosa	Santiago-Pontones	Jaén
1836	WH4555	Fuente de Cueva Ahumada	Villaverde de Guadalimar	Albacete
1835	WH4653	Guitarra de las Raigadas	Villaverde de Guadalimar	Albacete
1849	WH3844	Mirador de la Fresnedilla	Siles	Jaén
1855	WH5065	Cortijo de las Espineras del León	Bogarra	Albacete
7940	WH4827	Venta Ticiano	Santiago-Pontones	Jaén
7975	WH3622	Pista Cañada Hermosa-La Toba Central Hidroeléctrica	Santiago-Pontones	Jaén
7933	WG0698	Guadalquivir	Cazorla	Jaén
7937	WH1810	Rio Aguamulas. El Mulón	Santiago-Pontones	Jaén
7934	WH1405	Rio Borosa	Santiago-Pontones	Jaén
7936	WH1405	Rio Borosa	Santiago-Pontones	Jaén
7932	WG1499	Arroyo Valdeazores	Cazorla	Jaén
7935	WH4359	Arroyo del Tejo	Villaverde de Guadalimar	Albacete
7942	WH2616	Nacimiento del Rio Segura	Santiago-Pontones	Jaén
7941	WH2920	La Paridera	Santiago-Pontones	Jaén
7943	WH5960	Rio Mundo. El Quejigal	Molinicos	Albacete
2858	WH3826	Fuente de la Toba	Santiago-Pontones	Jaén
2509	WH3529	Arroyo de los Anchos	Santiago-Pontones	Jaén
2834	WH4030	Las Gorgoritas	Santiago-Pontones	Jaén
2844	WH1123	Fuente del Agua de los Perros	Villanueva del Arzobispo	Jaén
1904	WG0283		Quesada	Jaén
1903	WG0391	Arroyo de la Tejadilla	Peal de Becerro	Jaén
2909	WH0815	Área Recreativa de Gil Cobo	Villacarrillo	Jaén
2920	WH1323	Área Recreativa de los Cerezos	Villanueva del Arzobispo	Jaén
2865	WH1425	Fuente de Incendios	Villanueva del Arzobispo	Jaén
2887	WH1626	Fuente de los Mansegosos	Sorihuela del Guadalimar	Jaén
3543	WH6518	Rambla de la Rogativa	Moratalla	Murcia

Resultados y discusión

Genes mitocondriales

La variabilidad genética hallada en las 84 muestras analizadas para estos marcadores fue considerable y estructurada geográficamente. De los 1348 caracteres correspondiente a los dos fragmentos mitocondriales, 57 (4.2 %) fueron variables y 47 (3.4 %) parsimoniosos-informativos. En total fueron encontrados 42 haplotipos distintos.

El árbol consenso 50% *majority-rule* procedente del análisis bayesiano junto al análisis de parsimonia y de *neighbour-joining* de los dos marcadores mitocondriales en conjunto, mostró tres linajes mitocondriales (Figuras 16 y 17). Estos tres linajes fueron confirmados posteriormente mediante el análisis de redes haplotípicas. El primer linaje (representado en color azul en las figuras) presentó 12 haplotipos, correspondientes a las poblaciones del sur, la población de Venta Tiziano (DB7940) y la población de la Sierra del Sabuco (DB1871). Este linaje es el más diverso, pero presenta una distribución marginal en las zonas del este. El segundo linaje (representado en rojo en las figuras) presentó 24 haplotipos. Su distribución es la más amplia de los tres, ocupando el centro de la distribución y las zonas óptimas de la distribución de *A. marchi*. El tercer linaje (representado en verde en las figuras) presentó 6 haplotipos, encontrán-

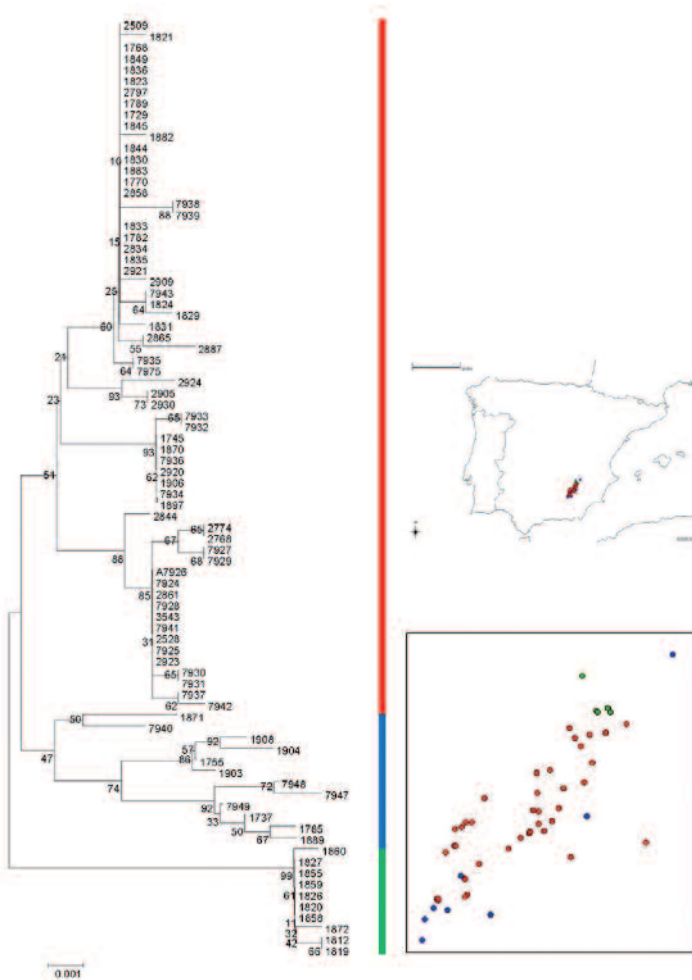


Figura 16: Árbol filogenético obtenido por el método *neighbour-joining*: Los números de la base de la rama indican los porcentajes de *bootstrap*. Los diferentes linajes están representados en diferente color y su distribución geográfica aparece en el mapa de la derecha siguiendo el mismo código.

dose distribuido en la parte noroeste de la distribución.

El escenario biogeográfico para explicar esta variación debe ser aun preliminar (Figura 19). Sin embargo, resulta sorprendente la elevada diversidad genética y estructuración filogeográfica observadas, comparables e incluso superiores a las observadas en otros lacértidos ibéricos con distribuciones más extensas (Pinho *et al.*, 2007b), lo cual apunta hacia una fragmentación antigua de la distribución seguida de una retracción más reciente. Aunque se desconocen los eventos paleogeográficos que originaron la separación de los tres linajes mitocondriales, la comparación con las de otros lacértidos estudiados para los mismos marcadores (Pinho *et al.*, 2007b) sugiere que debieron tener lugar al inicio del Pleistoceno (en torno a 1 ma BP). Las distancias genéticas entre linajes se hallan entre los valores aceptados para la variabilidad intraespecífica dentro de la familia (Pinho *et al.*, 2006). La conformación de las redes haplotípicas de los tres linajes indica, asimismo, patrones filogeográficos divergentes. Mientras que el linaje rojo (eje central) parece haberse mantenido estable y conectado a lo largo del tiempo, el linaje verde (NW) parece el resultado de una expansión reciente a partir de un núcleo residual muy pequeño en una zona cuya calidad haya mejorado desde la última glaciación. Finalmente, el linaje azul sería el resultado de una fuerte pérdida de área de distribución en la zona oriental acaecida más recientemente (posiblemente tras la última glaciación) puesto que agrupa poblaciones no contiguas y aun conserva una elevada diversidad (cada individuo representó un haplotipo diferente), superior incluso a la del linaje rojo central.

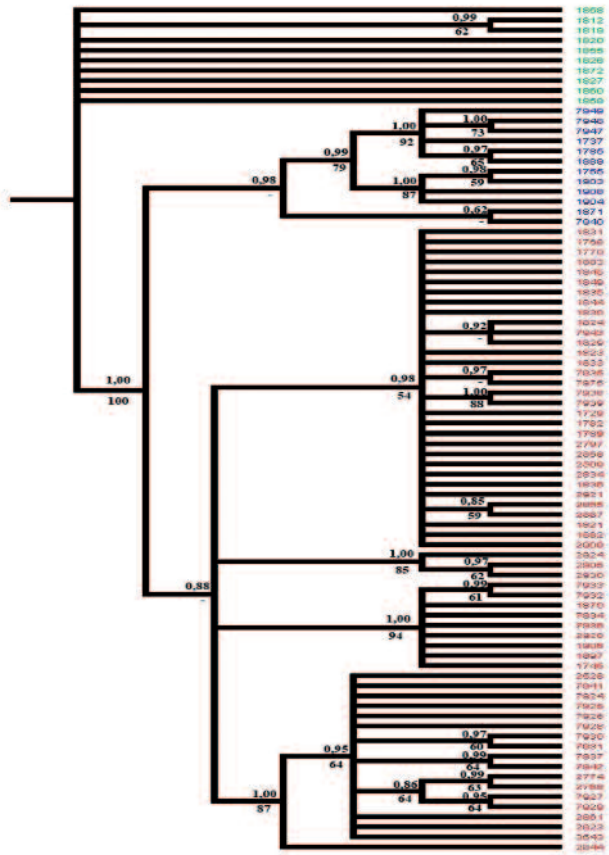


Figura 17: Árbol filogenético de consenso (50% majority-rule) procedente del análisis bayesiano. Los números arriba y abajo de la rama representan la probabilidad posterior bayesiana (PP) y porcentaje bootstrap. Los diferentes linajes están representados en diferente color (ver figura 16 para distribución de los linajes).

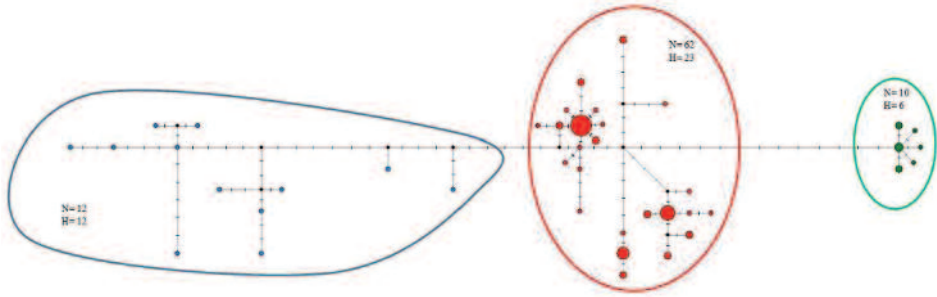


Figura 18: Representación en red de haplotipos (*network median joining*) para los dos genes mitocondriales concatenados (16s rRNA y ND4 rRNA), en el que se detectaron 42 haplotipos. El primer linaje (azul) presentó 12 haplotipos, el segundo linaje (rojo) presentó 24 haplotipos y el tercer linaje (verde) presentó 6 haplotipos. (N = número de individuos; H = número de haplotipos). Los puntos negros simbolizan haplotipos presumiblemente perdidos.

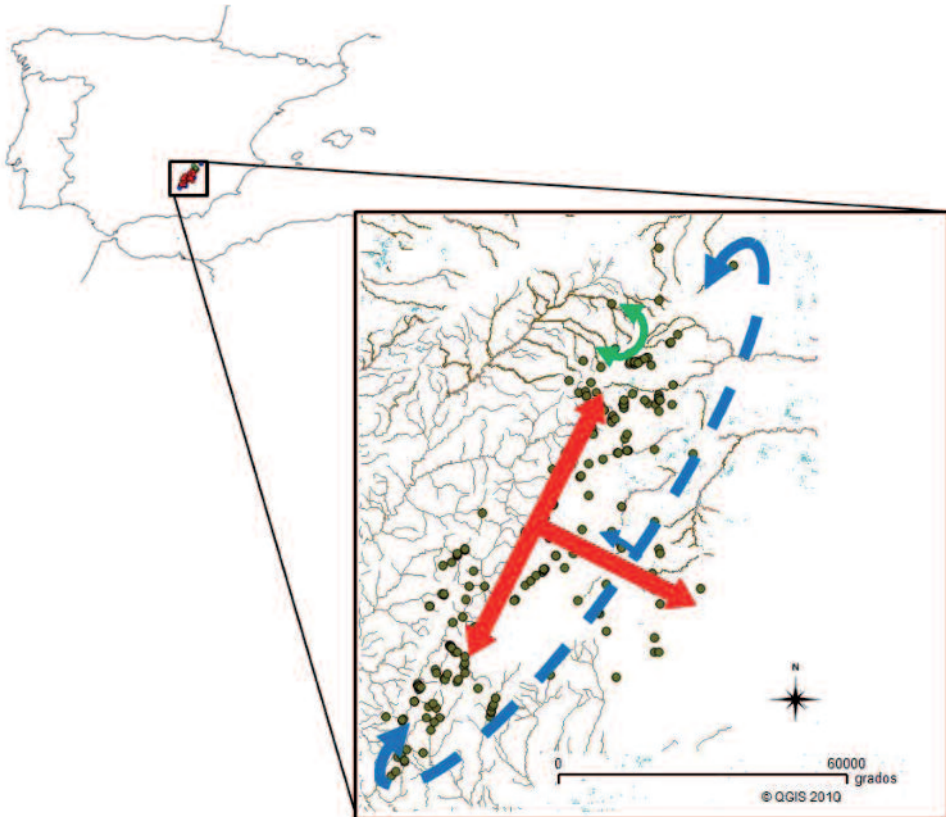


Figura 19: Representación esquemática de la distribución de los tres linajes mitocondriales encontrados en *Algyroides marchi* en el área de estudio (junto a la red hidrográfica). Las líneas continuas representan una distribución continua, mientras que la línea discontinua representa la distribución discontinua perteneciente al linaje azul. Este linaje presenta una distribución que comprende el sur de la distribución, presentando también dos haplotipos (e individuos) en el este y norte.

Marcadores nucleares

De los 1047 caracteres correspondientes a los dos fragmentos nucleares, siete (= 0.66%) presentaron variabilidad y proporcionaron información para el análisis de parsimonia. El análisis de redes haplotípicas para los dos genes nucleares en conjunto (Figura 20), mostró la existencia de 11 haplotipos indicando también para estos marcadores una considerable diversidad genética que, sin embargo, no se estructura geográficamente; en esa red los linajes mitocondriales aparecen mezclados.

Este resultado, en contraposición al obtenido para los marcadores mitocondriales indica que, pese a los eventos de vicarianza, existe o ha existido hasta tiempos recientes un fuerte flujo genético entre los distintos linajes de *A. marchi*, principalmente en el sureste (linajes rojo y azul próximos) y noroeste (linajes rojo y verde) de la distribución. Discordancias semejantes para ambos marcadores se han registrado en otros lacértidos ibéricos (Pinho *et al.*, 2007a).

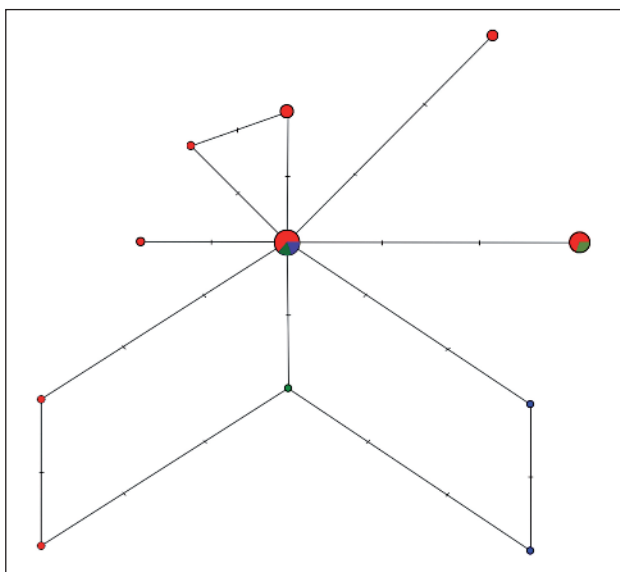


Figura 20: Representación en red de haplotipos (*network median joining*) para los dos genes nucleares concatenados (MC1R y Pksq), en el que se detectaron 11 haplotipos. Los diferentes colores dentro de cada haplotipo, simbolizan el linaje mitocondrial de los individuos dentro de cada haplotipo según el mismo código de las figuras 16-19.

FACTORES DE AMENAZA

Los factores de amenaza que penden sobre la especie han sido revisados por Rubio (2002), Pérez-Mellado *et al.* (2008) y Fernández-Cardenete & García-Cardenete (2009). En general todos ellos derivan de la extrema estenoicidad de la especie en términos de ecología térmica, selección de hábitat y biología reproductora.

Se incluyen las alteraciones directas del hábitat a nivel local y el cambio climático a nivel general. Entre las primeras se citan 1) los incendios forestales con la consiguiente erosión y colmatación de cauces; 2) la construcción o ampliación de pistas forestales; 3) el desbroce de la vegetación, particularmente la de ribera; 4) la depredación por gatos y ratas en zonas humanizadas; 5) la perturbación de los sustratos por hozaduras de jabalí; 6) la canalización de riachuelos para riego o consumo humano y colmatación o cierre de depósitos de agua; 7) el coleccionismo; 8) la construcción de infraestructuras turísticas como merenderos, miradores y campings; y 9) la construcción de otras infraestructuras como parques eólicos, muros de contención de cauces y presas. De ellos, al menos 1), 2), 6), 7) y 8) han sido constatados en el curso de este estudio. Cabe destacar que las modificaciones derivadas del acondicionamiento de infraestructuras para el turismo aparecen asociadas a algunas de las extinciones locales de poblaciones comprobadas (particularmente, las de la

Laguna de Arroyofrío y Peña del Olivar, ver apartado anterior y Figura 21).

Sin embargo, también se ha detectado la presencia de la especie en áreas con construcciones que puede usar como sustrato y refugio (Figura 22). No obstante, la falta de seguimientos a largo



Figura 21: Aspecto de una de las localidades donde presumiblemente se ha producido una extinción local de *Algyroides marchi* asociada a infraestructuras turísticas. Peña del Olivar, Siles (Jaén). Foto: M. A. Carretero.



Figura 22: No faltan localidades donde *Algyroides marchi* convive con construcciones humanas. Las Villas (Jaén) Fotos: L. García-Cardenete.

plazo impide hasta ahora constatar si se han producido en ellas reducciones poblacionales significativas.

Finalmente, la extrapolación de los modelos obtenidos para los diferentes escenarios de cambio climático prevén descensos en las precipitaciones e incrementos térmicos considerables que favo-



Figura 23: Algunas de las poblaciones periféricas se hallan aisladas, extremadamente localizadas y son altamente sensibles a la extinción local. Venta Benito, Santiago-Pontones (Jaén). Foto: M. A. Carretero.

recerán a otras especies pero perjudicarán a la lagartija de Valverde. Es por ello que, si tales predicciones se cumplen, se augura un futuro pesimista para esta especie y en especial para aquellas poblaciones periféricas (Figura 23) que se hallan en ambientes subóptimos y no están conectadas con el núcleo principal.

Por su carácter preliminar, este seguimiento no arroja aún evidencia suficiente sobre el grado de fragmentación contemporáneo de las poblaciones. Tal evidencia podría obtenerse a través de estudios, bien demográficos, bien de genética poblacional, bien de ambos combinados. Si estos no se han realizado, ello se debe a limitaciones técnicas. Por un lado, son los juveniles los que dispersándose a través de microhábitats subóptimos (áreas planas de hojarasca, zonas elevadas entre valles) aseguran el contacto entre las poblaciones (Figura 24). Su detección es difícil



Figura 24: Los juveniles dispersándose a través de microhábitats subóptimos aseguran el contacto entre las poblaciones. Hábitat: Torca del Espino, Riópar (Albacete). Foto: M. A. Carretero. Juvenil: Nerpio (Albacete). Foto: L. García-Cardenete.

y requiere esfuerzos intensivos de captura-marcado-recaptura que es imposible de extender a todas las poblaciones. Por otro lado, los marcadores más empleados en genética de poblaciones (microsatélites, SNPs) todavía no se hallan optimizados para esta especie, por lo que requerirían un mayor número de muestras por población y, por tanto, de recursos humanos y económicos.

Ciertamente, una gran parte del rango de distribución de la especie se halla en áreas protegidas (Tabla 4) generalmente bien conservadas. Significativamente, del total de observaciones con localización precisa, un 79% se hallaron en Espacios Naturales Protegidos (ENPs), un 96% en Lugares de Interés Comunitario (LICs) y un 93% en Zonas de Espacial Protección para Aves (ZEPAs).

Tabla 4: Áreas protegidas donde está presente *Algyroides marchi*.

Protección	Provincia	Áreas
ENP	Jaén	Parque Natural Sierra de Cazorla, Segura y las Villas
ENP	Granada	Parque Natural Sierra de Castril
ENP	Albacete	Reserva Natural Sierra de las Cabras
ENP	Albacete	Parque Natural Los Calares del Mundo y de la Sima
ENP	Albacete	Microreserva la Molata y los Batanes
ENP	Albacete	Monumento Natural Laguna del Arquillo ¹
LIC	Granada	Sierras del Nordeste
LIC	Jaén	Sierras de Cazorla, Segura y las Villas
LIC	Granada	Sierra de Castril
LIC	Albacete	Sierras de Alcaraz y de Segura y Cañones del Segura y del Mundo
LIC	Albacete	Sierra del Relumbrar y Estribaciones de Alcaraz
ZEPA	Jaén	Sierras de Cazorla, Segura y las Villas
ZEPA	Granada	Sierra de Castril
ZEPA	Albacete	Sierras de Alcaraz y de Segura y Cañones del Segura y del Mundo

¹ observaciones en el área periférica de protección pero probablemente también presente en el interior.

No obstante, esto no ha impedido la incidencia de los factores locales de amenaza antes mencionados ni tampoco libra a la especie de los riesgos derivados del cambio climático global. Es por ello que su estatuto de conservación se ha evaluado como 'Vulnerable' para Andalucía (VU 2bcd, González de la Vega *et al.*, 2001), Castilla-La Mancha (VU, López de Carrión *et al.* 2006) y España (VU A1ab+2ab, Rubio, 2002). A nivel internacional, sin embargo, la IUCN la ha catalogado como 'En Peligro' (EN B1ab (iii, iv)+2ab (iii, iv), Pérez-Mellado *et al.*, 2008) atendiendo probablemente a los indicios circunstanciales de baja ocupación del área de distribución, fragmentación y declive poblacional antes citadas. En los años venideros, será la continuación del Proyecto SARE de Seguimiento de la Herpetofauna Española lo que permitirá aportar evidencias más firmes sobre estos aspectos, los cuales resultan vitales para determinar el presente y el futuro de esta especie.

CONCLUSIONES DE CONSERVACIÓN

A partir de los resultados del presente estudio pueden derivarse las siguientes conclusiones aplicadas a la conservación de la especie:

1. El conocimiento que hasta ahora se disponía sobre la distribución de *Algyroides marchi* era incompleto y pasaba por alto áreas significativas de su distribución, principalmente en el este y en otras zonas periféricas.
2. En todo caso, la especie presenta una reducida área de distribución y aún más reducida área de ocupación dentro de la misma.
3. Debido a su extrema especificidad ecológica que le hace seleccionar condiciones considerables como atlánticas en un entorno mediterráneo, la especie es altamente sensible a los incrementos de temperatura y variaciones en el régimen de precipitaciones que se prevén en los escenarios de cambio climático.
4. Del mismo modo, su exigente selección de orografía accidentada, cobertura vegetal y sustrato rocoso le hace también vulnerable a alteraciones locales del hábitat.
5. Entre todas las poblaciones de la especie, las que se hallan en la periferia son las más vulnerables a la extinción local debido a su aislamiento del núcleo principal y a sus escasos efectivos.
6. La especie mantiene todavía una elevada diversidad genética pero la estructura de la misma indica que ésta ha venido sufriendo un histórico proceso de retracción iniciada ya en el Pleistoceno.
7. Una parte importante de dicha diversidad genética puede llegar a desaparecer porque se halla en poblaciones pequeñas, periféricas y aisladas.
8. Aunque gran parte del rango de distribución de la especie se halla en áreas protegidas bien conservadas, se han detectado algunas actuaciones que han provocado o pueden provocar extinciones locales.
9. Debido a cuestiones técnicas y de financiación, queda mucho aún por conocer sobre el grado de contacto y flujo genético contemporáneo entre las poblaciones, aspecto este básico para la conservación y en el que se deberá profundizar en el futuro.

PROPUESTA DE PLAN DE SEGUIMIENTO

En los capítulos anteriores, se ha puesto de manifiesto que el conocimiento sobre esta especie al inicio de este trabajo era incompleto en aquellos aspectos que podían servir de base para la determinación de su estatuto de conservación. Aunque con las nuevas evidencias aquí obtenidas, se ha paliado gran parte de este desconocimiento en cuanto a áreas de distribución y ocupación y singularidad evolutiva, lo cierto es que el esfuerzo para obtener información sobre otros aspectos claves, tales como la abundancia y la fragmentación de las poblaciones, debe aun incrementarse. Es por esto que el plan de seguimiento aquí propuesto es tentativo y deberá adaptarse en función de cualquier nueva información obtenida.

Siendo el seguimiento una herramienta de registro para determinar fluctuaciones en la biodiversidad, detectar o anticipar cambios negativos de origen artificial en la misma junto con las variables ambientales a ellos asociadas, así como, si tal fuese el caso, orientar y evaluar eventuales medidas correctivas, cabe tener

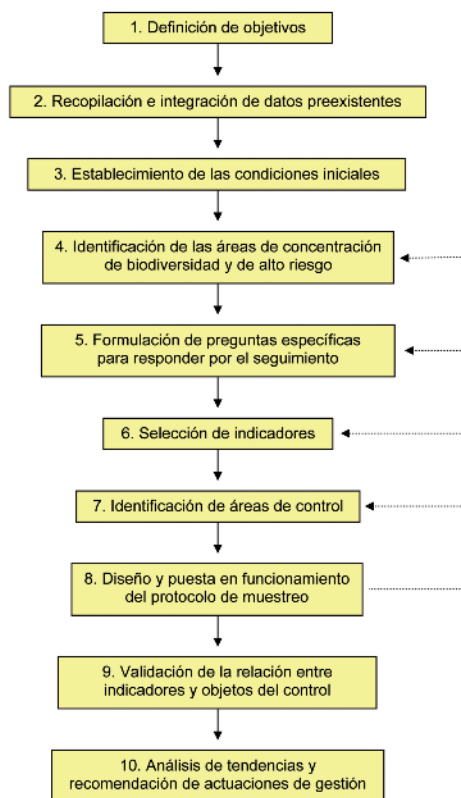


Figura 25: Procedimiento de diseño y puesta en marcha de un programa de seguimiento de biodiversidad (según Noss, 1990, modificado).

estos aspectos en cuenta a la hora de diseñar el plan de seguimiento (Noss, 1990; Pereira & Cooper, 2006). En la Figura 25 se indican, numerados, los pasos recomendados para llegar a tal diseño.

1 - Objetivo: la finalidad del seguimiento debe ser detectar eventuales pérdidas de diversidad a largo plazo en las poblaciones de *Algyroides marchi* considerando diferentes aspectos: distribución y ocupación, abundancia y variabilidad genética.

2 - Información de base (elaborada por la AHE e incluida en este informe): base de datos de distribución, modelos de ocupación, valores de abundancia cualitativa (incompleto) marcadores genéticos de los ejemplares analizados; cabe añadir la cartografía ambiental para las condiciones actuales y también la disponible para los diferentes escenarios de cambio climático.

3 - Condiciones iniciales: la especie es estenotópica con reducida área de distribución y todavía más reducida área de ocupación; probable fragmentación reciente de áreas periféricas donde las poblaciones parecen ser más escasas; diversidad genética elevada con tres linajes mitocondriales antiguos desigualmente distribuidos pero con flujo genético entre ellos, contemporáneo o reciente.

4 - Áreas de concentración de biodiversidad y de alto riesgo: la mayor parte de los efectivos demográficos se distribuyen en el eje central de la distribución; ningún área concentra toda la diversidad genética, contactando como máximo dos de los tres linajes mitocondriales; amenazas locales (destrucción del hábitat) y globales (cambio climático); poblaciones periféricas con riesgo de extinción local debido a la fragmentación, condiciones subóptimas y escasos efectivos; tal extinción podría llevar aparejada la desaparición de una sensible parte de la diversidad genética de la especie (el linaje mitocondrial más diverso).

5 - Preguntas para responder por el seguimiento:

- a) ¿Está la especie perdiendo área de distribución?
- b) ¿Está perdiendo área de ocupación?
- c) ¿Está perdiendo efectivos poblacionales?
- d) ¿Está perdiendo diversidad genética?
- e) ¿Cuáles son las causas (locales, globales)?
- f) ¿Están siendo efectivas las medidas minimizadoras/correctivas?

6 - Indicadores:

- a) Cartografía de distribución de la especie con datos actualizados con precisión GPS y comparación de los resultados con los iniciales.
- b) Nuevos modelos de ocupación con datos de presencia de la especie actualizados y comparación con los iniciales.
- c) Abundancia relativa a nivel extensivo; abundancia absoluta a nivel intensivo (ver protocolo).
- d) Marcadores mitocondriales y genéticos de individuos de todo el ámbito de la distribución con los resultados actuales; diversidad de microsátélites y SNPs para evaluar flujo genético.
- e) Evidencias de perturbación local del hábitat; variables climatológicas actuales y en escenarios de cambio climático.

f) Comprobación de la interrupción de los factores de perturbación e) y determinación de los indicadores a), b), c) y d).

7 - Protocolo de muestreo: se realizarán dos tipos de muestreos, a saber extensivo e intensivo (Figura 26).

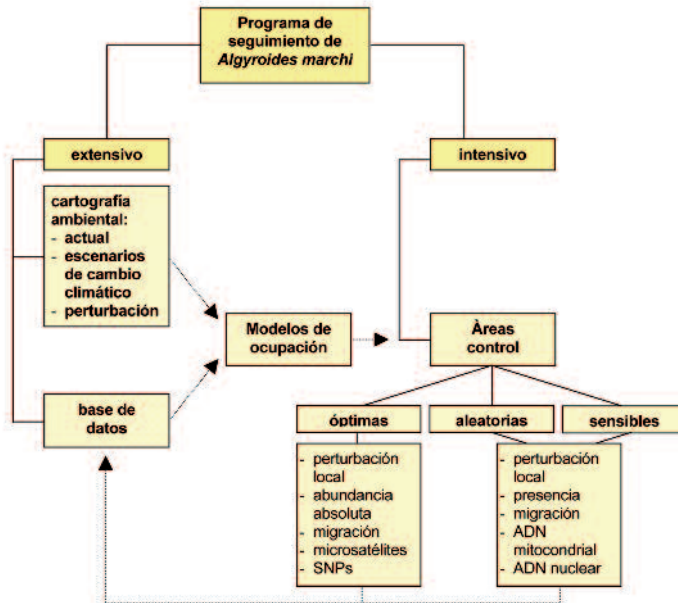


Figura 26: Esquema general del programa de seguimiento de *Algyroides marchi*.

- a) Muestreo extensivo: los datos provendrán de la acumulación de las observaciones de presencia de la especie en todo el ámbito de la distribución actual y alrededores, sobre una base de los tradicionales retículos UTM 10x10 y 1x1 km; las recomendaciones internacionales aconsejan actualizar los atlas de distribución cada 10-20 años.
- b) Muestreo intensivo: se realizará una prospección orientada de la especie en áreas control determinadas a partir de los modelos de ocupación ya disponibles; en áreas óptimas se realizarán transectos normalizados y captura-marcado-recaptura para obtener valores de abundancia absoluta y migración/mortalidad y se obtendrán muestras para determinar parámetros de genética poblacional con marcadores de alta resolución (microsatélites, SNPs); en áreas determinadas aleatoriamente y en áreas subóptimas (periféricas) se realizarán visitas repetidas en periodos óptimos de actividad para determinar la presencia de la especie, abundancia cualitativa y, si ese fuese el caso, tomar muestras para analizar marcadores genéticos nucleares y mitocondriales; orientativamente, se sugieren 5 zonas óptimas, 20 aleatorias y 20 periféricas muestreadas con una periodicidad de 5 años.

Este protocolo es iterativo de modo que los resultados obtenidos en cada muestreo alimentan la base de datos, de la cual pueden generarse nuevos modelos de ocupación y determinarse nuevas áreas control si tal fuera el caso.

8 - Validación: el muestreo extensivo proviene de un análisis del origen de las observaciones, así como a través de métodos estadísticos de remuestreo (*resampling*); el muestreo intensivo se realizará a través de muestreos piloto y de réplicas realizadas con observadores múltiples.

9 - Análisis de tendencias: se realizará un análisis riguroso de series temporales (mínimo 5 muestreos) basado en la determinación del tipo de distribución de la variable dependiente comparada (abundancia, porcentaje de localidades con presencia, diversidad genética) y la aplicación de métodos paramétricos o no paramétricos según sea el caso; se evaluarán las hipótesis de variación temporal, tendencia lineal y efecto puntual del muestreo; se emplearán como variables la presencia de perturbaciones locales, la adecuación de la localidad de muestreo según los modelos de ocupación actuales o futuros, la realización de medidas correctivas, así como cualquier otro factor que se considere oportuno; se recomienda el uso de *software* específico como TRIM (Pannekoek & Van Strien, 2001) u otros similares en combinación con un Sistema de Información Geográfica.

ACTUALIZACIÓN DE LA CATEGORÍA DE CONSERVACIÓN

Los aspectos abordados en los capítulos de distribución y ocupación, abundancia, variabilidad genética y factores de amenaza constituyen, junto con las características biológicas de la especie, la bases objetivas sobre las cuales se atribuyen hoy en día categorías de conservación (IUCN, 2001). Ciertamente, dichos criterios ya se hallaban implícitamente incluidos en la evaluación que la especie recibió en el *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España* (Rubio, 2002). Sin embargo es evidente que, como resultado del trabajo realizado en el presente informe, el conocimiento de la especie se ha incrementado considerablemente en todos los aspectos mencionados. Es por ello que cabe ahora realizar una propuesta de categoría de conservación actualizada basada en los mismos. La disponibilidad de un programa informático *ad hoc* en el cual la información se introduce y trata de un modo sistemático permite la obtención de resultados más objetivos y, en todo caso, falsables en la medida que se aporte nueva información, lo cual aleja la atribución de categorías del tradicional criterio de autor.

Los resultados relevantes de los apartados anteriores y de la biología de la especie se introdujeron en el programa RAMAS Red list v. 2 (2001 © Applied Biomathematics) que implementa las categorías de amenaza de la IUCN (IUCN, 2001). Como es bien sabido, las reglas de la IUCN se basan en:

- a) El declive poblacional.
- b) La extensión del área de ocurrencia, área de ocupación, fragmentación, declive continuo y fluctuación extrema.
- c) La abundancia, declive y fragmentación de la población.
- d) La abundancia, declive y fragmentación de las localizaciones y
- e) El riesgo de extinción.

Las categorías de conservación consideradas son, de mayor a menor, En Peligro Crítico (CE), En Peligro (EN), Vulnerable (VU) y Preocupación Menor (LC). El programa está especialmente diseñado para incluir incertidumbre en los datos que, obviamente, puede propagarse a los resultados. La conclusión puede, por tanto, incluir un rango de categorías y no necesariamente un valor único. A continuación se indican los datos de entrada que, en todo caso, aparecen completos en el anexo 2.

Población (mínimo; mínimo2; maximo1; máximo2): [2000;3000;10000;50000]

Reducción de la población: pasado [0;0;3;5], presente [0;0;3;5] ;futuro [0;0;6;10]

Declive continuo: en 3 [0;0;2;5], 5 [0;0;1.5;3] y 10 años [0;0;2;5].

Extensión y área: ocurrencia [4040;4500] declive [0.6;0.8;0.8;1] fluctuaciones [0;0]; ocupación [60;60], declive [0.4;0.6;0.8], fluctuaciones [0.2;0.4;0.6;0.8], declive continuo? [0.4;0.6;0.8;1].

Fragmentación: subpoblación [3;3;4;6], localidades 37, declive [0.6;0.7;0.8;1], fluctuaciones extremas [0]; tamaño de la subpoblación más grande [1500;3000], fragmentación severa? [0.804;0.903;1;1]

Riesgo: en 10[0], 20[0] y 100 años [0;0.2;0.2;0.4].

Con estos parámetros la categoría de conservación resultante es:

En Peligro (EN) B1ab(i,ii,iii,iv,v)c(ii)+2ab(i,ii,iii,iv,v)c(ii)

El criterio fundamental es pues el criterio B (área de ocurrencia y ocupación). En efecto, la categoría se mantiene cuando todos los otros criterios se dejan de tener en cuenta, pero no cuando este criterio es eliminado.

Es de destacar que en el curso de este estudio el área de ocurrencia conocida se ha incrementado ligeramente pero el área de ocupación derivada de los modelos de 30x30 m es claramente muy reducida. En todo caso, es la restricción geográfica y ecológica de la especie la que la hace acreedora de la categoría de 'En Peligro'. Conviene remarcar que la categorización más reciente, la de IUCN obtenida con la metodología aquí empleada (Pérez-Mellado *et al.*, 2008), aunque con información más reducida, llega a la misma conclusión. En cambio, como ya se ha comentado, los catálogos de Andalucía (González de la Vega *et al.*, 2001), Castilla-La Mancha (López de Carrión *et al.* 2006) y España (Rubio, 2002), todos ellos usando metodologías menos sistemáticas, la consideran vulnerable (VU).

Por tanto, basados en los resultados obtenidos en este estudio y la metodología indicada para su evaluación, se propone que la especie sea considerada como 'En Peligro' (EN), categoría que se propone revisar empleando la misma metodología, con la misma periodicidad con la que los seguimientos de la especie proporcionen nueva información.

EQUIPO DE TRABAJO

Miguel Ángel Carretero Fernández	(1, 2)
Francisco Ceacero Herrador	(1, 2, 3)
Pedro Luis Hernández Sastre	(2)
Enrique Ayllón López	(2)
Juan Manuel Pleguezuelos	(3)
Antonio Manzanares	(3)
José Luis Rubio de Lucas	(2, 3)
Peter Brakels	(2)
María Inés Olmedo Abad	(2)
Marta Escudero Ozores	(2)
Jorge Escudero	(2)
Juan Francisco Zamora Salmerón	(2)
Luis Pedrajas Pulido	(3)
Catarina Rato	(2)
Neftalí Sillero Pablos	(4)
Enrique García-Muñoz	(2, 3, 5)
Jesús Bastida	(3, 5)
Ana Perera Leg	(5)
D. James Harris	(5)

- 1: coordinación
- 2: trabajo de campo
- 3: citas históricas
- 4: modelación en GIS
- 5: análisis genéticos

AGRADECIMIENTOS

A la Junta de Castilla-La Mancha y a la Junta de Andalucía por la concesión de las autorizaciones para el muestreo de campo.

Al Centro de Educación Ambiental La Dehesa (Riópar) por el apoyo logístico.

A Armando Loureiro (ICNB, Portugal) por su ayuda en la utilización del programa RAMAS Red List.

Este trabajo se ha beneficiado, en parte, del Proyecto “Evaluación del estado de poblaciones de *Algyroides marchi* en Castilla La Mancha” concedido por el Organismo Autónomo de Espacios Naturales de Castilla La Mancha, según el nº expediente SCGE000209 de las Subvenciones para la realización de actuaciones de apoyo a la conservación de áreas y recursos naturales protegidos de Castilla La Mancha.

BIBLIOGRAFÍA

- Barahona, F. & Barbadillo, L.J. 1997. Identification of some Iberian lacertids using skull characters. *Revista Española de Herpetología*, 11: 47-62.
- Barahona, F. & Barbadillo, L.J. 1998. Inter- and intraspecific variation in the post-natal skull of some lacertid lizards. *J. Zool. Lond.* 245: 393-405.
- Böhme, W. & Corti, C. 1993. Zoogeography of the lacertid lizards of the western Mediterranean Basin. 13-33. In: Valakos, E., Böhme, W., Pérez-Mellado, V. & Maragou, P. (eds.) *Lacertids of the Mediterranean Region. A Biological approach*. Hellenic Zoological Society. Athens.
- Boscá, E. 1916. Un género nuevo para la fauna herpetológica de España y especie nueva o poco conocida. *Bol. Soc. Española Hist. Nat. Madrid*, 16: 294-297.
- Bradley, A.P. 1997. The use of the area under the ROC curve in the evaluation of machine learning algorithms. *Pattern Recognition*, 30: 1145-1159.
- Brakels, P., Koopman, F. & Rubio, J.L. 2010. First record of the Spanish *Algyroides*, *Algyroides marchi* (Lacertidae) in the Murcia Region, Southeast Spain. *Herpetological Notes*, 3: 49-52.
- Buchholz, K.F. 1964. Zur Kenntnis des Genus *Algyroides* (Reptilia: Lacertidae) in Spanien. *Bonn. Zool. Beitr.* 15: 239-246.
- Calera, A. & Cano, J. 1979. Estudios cariológicos de las especies *Algyroides marchi* Valverde y *Lacerta hispanica vaucheri* Boulenger (Reptilia, Lacertidae). *Doñana. Acta Vertebrata*, 6: 221-225.
- Cavazza, W. & Wezel, F.C. 2003. The Mediterranean region-a geological primer. *Episodes*, 26: 160-168.
- Ceacero, F., García-Muñoz, E., Pedrajas, L., Hidalgo, A. & Guerrero, F. 2007. Actualización herpetológica de la provincia de Jaén. *Munibe*, 25: 130-139.
- Eikhorst, W., Eikhorst, R., Nettmann, H.K. & Rykena, S. 1979. Beobachtungen an der Spanischen Kieledchse. *Algyroides marchi* Valverde, 1958 (Reptilia: Sauria: Lacertidae). *Salamandra*, 15: 254-263.
- Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R., Huettmann, F., Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L., Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J., Townsend Peterson, A., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M. & Zimmermann, N.E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29: 129-151.
- Farr, T.G., Rosen, R.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D. & Alsdorf, D. 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45: RG2004.
- Fawcett, T. 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27: 861-874.
- Fernández-Cardenete, J.R. & García-Cardenete, L. 2009. Lagartija de Valverde – *Algyroides marchi*. In: Salvador, A. & Marco, A. *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles* <<http://www.vertebradosibericos.org/>> Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. [Consulta: 31 enero 2010].
- Forman, G. & Cohen, I. 2005. Beware the Null Hypothesis: Critical Value Tables for Evaluating Classifiers. *ECML Machine Learning*, 133-145.

- Gil-Sánchez, J.M. 1992. Dos nuevas localidades de *Algyroides marchi* (Reptilia, Lacertidae). 94. II Congreso Luso-Español y VI Congreso Español de Herpetología. Granada.
- González de la Vega, J.P., Pérez-Quintero, C. & Pleguezuelos, J.M. 2001. *Algyroides marchi*. 71. In: Franco, A. & Rodríguez de los Santos, M. (coord.). *Libro Rojo de los Vertebrados de Andalucía*. CMA-Junta de Andalucía. Sevilla.
- Harris, D.J., Arnold, E.N. & Thomas, R.H. 1998. Relationships of lacertid lizards (Reptilia: Lacertidae) estimated from mitochondrial DNA sequences and morphology. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 265: 1939-1948.
- Harris, D.J., Arnold, E.N. & Thomas, R.H. 1999. A phylogeny of the European lizard genus *Algyroides* (Reptilia: Lacertidae) based on DNA sequences, with comments on the evolution of the group. *J. Zool. Lond.*, 249: 49-60.
- Hernandez, P.A., Graham, C.H., Master, L.L. & Albert, D.L. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29: 773-785.
- Huelsenbeck, J.P. & Bollback, J.P. 2001. Empirical and hierarchical Bayesian estimation of ancestral states. *Sys. Biol.*, 50 (3): 351-366.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbour symposium on quantitative biology*, 22:415-427.
- in den Bosch, H.A. J. 1990. Voortplantingsgegevens van *Algyroides marchi*, de Spaanse Kielhagedis (vervolg). *Lacerta*, 48: 66-71.
- IUCN. 2001. *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1*. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.
- IUCN. 2010. European Species on the IUCN Red List. Available. <<http://www.iucnredlist.org/europe>>. [Consulta: 31 enero 2010].
- Katoh, K., Asimenos, G. & Toh, H. 2009. Multiple Alignment of DNA Sequences with MAFFT. *Methods in Molecular Biology*, 537: 39-64.
- Klemmer, K. 1960. Zur Kenntnis der Gattung *Algyroides* (Rep. Lacertidae) auf der Iberischen Halbinsel. *Senckembergiana biologica*, 41: 1-6.
- Kocher, T. D., Thomas, W.K., Meyer, A., Edwards, S.V., Pääbo, S., Villablanca, F.X. & Wilson, A.C. 1989. Dynamics of mitochondrial DNA evolution in animals: amplification and sequencing with conserved primers. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 86 (16): 6196-6200.
- Lafuente, M. & Roca, V. 1993. Helmintofauna de *Algyroides marchi* Valverde, 1958 (Sauria, Lacertidae) en las Sierras de Alcaraz y Cazorra. *Miscelanea Zoológica*, 17: 268-271.
- Liu, C., Berry, P.M., Dawson, T.P. & Pearson, R.G. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28: 385-393.
- López de Carrión, M., Díaz, M., Carbonell, R. & Bonal, R. 2006. *Libro Rojo de los Vertebrados de Castilla-La Mancha*. Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Talavera de la Reina.
- Ninyerola, M., Pons, X. & Roure, J.M. 2005. *Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica*. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra.
- Otero, C., Castien, E., Senosiain, R. & Portillo, F. 1978. Fauna de Cazorra. Icona. Monografías, 19. Ministerio de Agricultura. Madrid.

- Palacios, L., Ayarzagüena, J., Ibañez, C. & Escudero, J. 1974. Estudio sobre la lagartija de Valverde *Algyroides marchi* (Reptilia, Lacertidae). *Doñana. Acta Vertebrata*, 1: 5-31.
- Palaus, J. 1974. Nuevos datos sobre la distribución geográfica de los anfibios y reptiles ibéricos. *Doñana. Acta Vertebrata*, 1: 19-27.
- Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M. & Peterson, A.T. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *J. Biogeogr.*, 34: 102-117.
- Pérez-Mellado, V. 1998. *Algyroides marchi* (Valverde, 1958). 176-181. In: Ramos, M.A. et al. (eds.). *Fauna Ibérica, vol. 10: Reptiles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC, Madrid.
- Pérez-Mellado, V., Márquez, R. & Martínez-Solano, I. 2008. *Algyroides marchi*. In: IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.2. <<http://www.iucnredlist.org>>. [Consulta: 31 enero 2010].
- Phillips, S.J. & Dudík, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31: 161-175.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. & Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- Phillips, S.J., Dudík, M. & Schapire, R.E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. 655-662. *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*.
- Pinho, C., Harris, D.J. & Ferrand, N. 2006. Reexamination of the Iberian and North African *Podarcis* (Squamata: Lacertidae) phylogeny based on increased mitochondrial DNA sequencing. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 38: 266-273.
- Pinho, C., Harris, D.J. & Ferrand, N. 2007a. Comparing patterns of nuclear and mitochondrial divergence in a cryptic species complex: the case of Iberian and North African wall lizards (*Podarcis*, Lacertidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 91: 121-133.
- Pinho, C., Harris, D.J. & Ferrand, N. 2007b. Contrasting patterns of population subdivision and historical demography in three western Mediterranean lizard species inferred from mitochondrial DNA variation. *Molecular Ecology*, 16: 1191-1205.
- Pinho, C., Rocha, S., Carvalho, B.M., Lopes, S., Mourão, S., Vallinoto, M., Brunes, T.O., Haddad, C.F.B., Gonçalves, H.A., Sequeira, F. & Ferrand, N. En prensa. New primers for the amplification and sequencing of nuclear loci in a taxonomically wide set of reptiles and amphibians. *Conservation Genetics Resources*, DOI: 10.1007/s12686-009-9126-4.
- Pleguezuelos, J.M. & Moreno, M. 1990. *Atlas Herpetológico de la provincia de Jaén*. Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Pleguezuelos, J.M., Moreno, M. & Ruíz, I. 1989. Nuevas citas de Anfibios y Reptiles para el SE de la Península Ibérica. *Doñana. Acta Vertebrata*, 16: 300-305.
- Posada, D. & Crandall, K.A. 1998. MODELTEST: Testing the model of DNA substitution. *Bioinformatics Applications Notes*, 14: 817-818.
- Ronquist, F. & Huelsenbeck, J.P. 2003. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics*, 19: 1572-1574.
- Rubio, J.L. & Carrascal, L.M. 1994. Habitat selection and conservation of an endemic Spanish lizard *Algyroides marchi* (Reptilia: Lacertidae). *Biological Conservation*, 70: 245-250.

- Rubio, J.L. & Palacios, F. 1986. Reproductive Cycle of *Algyroides marchi* (Reptilia: Lacertidae). 473-478. In: Rocek, Z. (ed.), *Studies in Herpetology*. Praga.
- Rubio, J.L. & Palacios, F. 1998. Distribución, Selección del Hábitat y Conservación de La Lagartija de Valverde (*Algyroides marchi*), el Lagarto Verdinegro (*Lacerta schreiberi*), el Galápago Europeo (*Emys orbicularis*) y el Galápago Leproso (*Mauremys leprosa*). In: *Evaluación de poblaciones de especies amenazadas de Mamíferos, Anfibios y Reptiles de Castilla-La Mancha*. Informe técnico. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.
- Rubio, J.L. & Ruiz, J.P. 1986. Multivariate Analysis of Morphologic and Sexual Features in the Reproductive Cycle of *Algyroides marchi*. 327-330. In: Rocek, Z. (ed.), *Studies in Herpetology*. SEH, Praga.
- Rubio, J.L. 1996. *La lagartija de Valverde. Autoecología de un lacértido de distribución restringida Algyroides marchi Valverde 1958 (Reptilia Lacertidae)*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- Rubio, J.L. 2002. *Algyroides marchi* Valverde, 1958. 193-195 - In: Pleguezuelos, J.M., Márquez, R. & Lizana, M. (eds.). *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Asociación Herpetológica Española.
- Salvador, A. & Pleguezuelos, J.M. 2002. *Reptiles Españoles. Identificación, historia natural y distribución*. Canseco Editores S.L., Talavera de la Reina.
- Sambrook, J., Fritsch, E.F. & Maniatis, T. 1989. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual, 2nd ed.* Cold Spring Harbor Press, New York.
- Sánchez-Videgain, J. & Rubio J.L. 1996. Atlas preliminar de los anfibios y reptiles de las sierras prebéticas albacentenses. *Al-Basit: Revista de estudios albacetenses*. Segunda época, año XXI, 38: 5-30.
- Sillero, N. 2006. *Aplicación de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica en el Análisis de la Biogeografía de Anfibios y Reptiles Ibéricos*. Tesis doctoral. Universidad de León.
- Sillero, N. 2009. Potential distribution of the new populations of *Hyla meridionalis* in Salamanca (Spain). *Acta Herpetologica*, 4: 83-98.
- Sillero, N. 2010. Modelling new suitable areas for *Hyla meridionalis* in a current and future expansion scenario. *Amphibia-Reptilia*, 31: 37-50.
- Sillero, N., Brito, J.C., Skidmore, A.K. & Toxopeus, B. 2009. Biogeographical patterns derived from remote sensing variables: the amphibians and reptiles of the Iberian Peninsula. *Amphibia-Reptilia*, 30: 185-206.
- Stephens, M. & Donnelly, P. 2003. A comparison of Bayesian methods for haplotype reconstruction from population genotype data. *American Journal of Human Genetics*, 73:1162-1169.
- Swofford, D.L. 2002. PAUP* ver 4.0.b10. *Phylogenetic Analysis Using Parsimony and Other Methods*. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Valverde, J.A. 1958. Una nueva lagartija del género *Algyroides* Bibron procedente de la Sierra de Cazorla (Sur de España). *Archivos del Instituto de Aclimatación*, 7: 127-134.

© 2010

Asociación Herpetológica Española.

Primera edición: septiembre de 2010.

Copyright de las fotografías:

M. A. Carretero.: 4, 5, 13, 14, 21, 23, 24 (hábitat).

L. García-Cardenete: Portada, 6, 22, 24 (juvenil).

P. L. Hernández-Sastre: 7.

Imprime: igráfico. [Url: www.igráfico.com]

Diseño y maquetación: Marcos PdT. [Url: www.marcos-pdt.com]

