
Selección de hábitat y conservación del caracol en peligro de extinción *Iberus gualtieranus gualtieranus*

Habitat selection and conservation of the endangered land-snail *Iberus gualtieranus gualtieranus*

G. MORENO-RUEDA

Departamento de Biología Animal y Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. E-18071. Granada (Spain). E-mail: gmr@ugr.es

Palabras clave: conservación, *Iberus g. gualtieranus*, medios semiáridos, selección de hábitat, Sierra Elvira, sudeste ibérico.

Key words: conservation, habitat selection, *Iberus g. gualtieranus*, semi-arid environments, Sierra Elvira, South-eastern Spain.

RESUMEN

Iberus gualtieranus gualtieranus es un caracol endémico del sudeste de España, especialmente adaptado a medios semiáridos con substrato calizo con erosión kárstica. Este caracol ha sido propuesto para su catalogación como en peligro de extinción, ya que las únicas tres poblaciones conocidas están totalmente aisladas entre sí. En el presente trabajo se estudian sus preferencias ecológicas respecto al hábitat en Sierra Elvira. Los resultados muestran que el caracol tiene preferencia por substratos rocosos o pedregosos y con escasa cobertura vegetal. Su distribución está sesgada hacia la parte occidental de la sierra, lo que parece deberse a aspectos de biogeografía histórica, ya que ninguna variable ecológica explicó las causas de este hecho. La densidad de *Iberus g. gualtieranus* fue mayor en zonas de baja altitud y con mayor disponibilidad de suelo rocoso. Estos resultados pueden usarse como un modelo predictivo de la distribución del caracol en otras zonas, y para detectar zonas en las que se ha extinguido. Se proponen también algunas medidas de conservación, especialmente de restauración del hábitat de acuerdo con los parámetros ecológicos encontrados.

ABSTRACT

Iberus gualtieranus gualtieranus is an endemic land snail from Southeastern Spain, especially adapted to semi-arid environments on limestone with karstic erosion. This land-snail has been proposed as endangered, because its only three populations are isolated among themselves. In this work, its ecological preferences for habitat are studied in Sierra Elvira. The results show that this land-snail has preferences for rocky or stony substrate with not much plant covering. Also, it has been found that its distribution is relegated to the East in the mountain, probably due to biogeographic reasons, so no ecological variable explained this result. Snail density was higher in zones with low altitude and with higher availability of rocky substrate. These results may be used as predictive models for the distribution of this snail in other regions, and to detect zones where it has been extinct. Some measures for its conservation are proposed, especially on the restoration of its habitat according to the results.

INTRODUCCIÓN

La tasa actual de extinción de especies es la mayor que ha existido en la historia de la Tierra (Leaky y Levin, 1997). Esta pérdida de diversidad biológica es preocupante ya que la biodiversidad tiene importantes beneficios para la humanidad (Costanza *et al.*,

1997; Daily, 1997; Chapin *et al.*, 2000; Tilman, 2000). Por este motivo se están desarrollando diversas actuaciones encaminadas a evitar la progresiva pérdida de especies (Margules y Pressey, 2000; Delibes, 2001; Primack y Ros, 2002). Sin embargo, la mayor parte de estos esfuerzos de conservación se centran en los vertebrados, a

pesar de que suponen sólo el 1-3% de la diversidad de especies conocidas (Ponder y Lunney, 1999). Esto tampoco tiene en cuenta la enorme importancia de los invertebrados en los ecosistemas, y los beneficios que los invertebrados pueden aportar al ser humano (Nee, 2004). Precisamente, son los moluscos, el segundo filo animal en número de especies, quienes tienen el mayor número de extinciones documentadas (Lydeard *et al.*, 2004). Dentro de estos, los moluscos terrestres son los que presentan el mayor descenso poblacional en los últimos años (Lydeard *et al.*, 2004). Esto es debido, principalmente, a la gran cantidad de endemismos con distribuciones muy concretas, y, por tanto, con un elevado riesgo de extinción. Aún así, la preocupación social, política e incluso científica por el estado de este grupo animal es escasa.

El género *Iberus* es un género de helicidos (Gasterópodos Pulmonados) endémico de la Península Ibérica (García San Nicolás, 1956), cuya especie más representativa es *Iberus gualtieranus*. Esta especie está distribuida por los diferentes ecosistemas mediterráneos de España (Alonso *et al.*, 1985), sin embargo, la subespecie *Iberus gualtieranus gualtieranus* tiene un área de distribución muy restringida en el sureste de España, con una serie de poblaciones en la provincia de Almería y dos poblaciones aisladas en la Sierra de Jaén y en Sierra Elvira (Alonso *et al.*, 1985; Elejalde *et al.*, 2005).

Iberus gualtieranus gualtieranus es un caracol que presenta interesantes adaptaciones a los ambientes en los que vive. Este caracol posee una morfología de la concha aplanada (López-Alcántara *et al.*, 1985), y se ha propuesto que esta morfología le permite sobrevivir en zonas calizas y áridas, al favorecer el uso de las grietas kársticas como refugio (Bartolomé, 1982; López-Alcántara *et al.*, 1983). Debe tenerse en cuenta que los caracoles son muy sensibles a la deshidratación (Prior, 1985; Luchtel y Deyrup-Olsen, 2001). Estudios

empíricos corroboran esta idea, ya que esta subespecie se encuentra únicamente en sierras calizas y áridas (Alonso *et al.*, 1985), dentro de las cuales habita las zonas rocosas (Moreno-Rueda, 2002), donde utiliza las grietas como refugio (Moreno-Rueda, manuscrito sin publicar). Además, los caracoles con conchas más aplanadas tienen un acceso más fácil al interior de las grietas (Moreno-Rueda, manuscrito sin publicar). Por tanto, esta subespecie constituye un elegante ejemplo de adaptación a ambientes semiáridos y calizos que propicia que sea altamente especialista del medio que habita.

Iberus g. gualtieranus está actualmente catalogado como vulnerable, y ha sido recientemente propuesto para su catalogación como "en peligro de extinción" (Arrébola, 2002) por los siguientes motivos. (1) Las tres poblaciones conocidas se encuentran muy aisladas una de otras (Alonso *et al.*, 1985), por lo que la extinción de una población, muy probablemente, sería definitiva. (2) Al tratarse de caracoles propios de zonas áridas se encuentran en una densidad muy baja (Moreno-Rueda y Cabrera Coronas, 2000). (3) Sus poblaciones se encuentran divididas en subpoblaciones situadas en los cortados rocosos (datos sin publicar), lo que hace que tengan una distribución muy parcheada. Las poblaciones con una distribución parcheada tienen mayores probabilidades de extinción (Schwartz, 1997). (4) Al ser caracoles de gran tamaño y muy admirados por su sabor, sufren de una presión colectora con fines gastronómicos que puede poner en peligro su supervivencia (Arrébola, 2002). (5) Como consecuencia de la rareza, tamaño y belleza de su concha, también sufre una presión colectora con fines ornamentales y coleccionistas. (6) Al tratarse de animales especialistas de hábitat, cualquier destrucción de su medio sin la aplicación de medidas de restauración supone una pérdida de población. Esta destrucción de hábitat se está produciendo por la explotación minera (Moreno-Rueda y Ruiz-Avilés, 2005), y por la

conversión del hábitat en zonas de cultivo intensivo en invernaderos (observaciones personales).

La protección de este caracol, por tanto, puede considerarse como un asunto de importancia por varias razones. (1) Este caracol constituye un endemismo del sureste español con una historia evolutiva única. (2) Se trata de un animal con una serie de valores estéticos y gastronómicos para el ser humano. (3) Su función dentro de los ecosistemas semiáridos de las sierras calizas del sureste español puede presumirse importante, ya que dentro de los hábitats pobres donde vive constituye un consumidor primario con una importante biomasa (Moreno-Rueda y Díaz-Fernández, 2003). Probablemente, además, proporciona una importante fuente de abono al sustrato, como ocurre en otros sistemas similares (Shachak *et al.*, 1987). También es consumido por una variedad de organismos, como aves (Yanes *et al.*, 1991), roedores e insectos (datos sin publicar), y sus conchas ya vacías son usadas por varios artrópodos como refugios y/o nidos (datos sin publicar). (4) Como ya se ha dicho, muchos aspectos hacen que su capacidad de supervivencia sea crítica, por lo que medidas para su conservación son necesarias.

Un primer paso para llevar a cabo medidas de conservación constituye el conocimiento de su hábitat. Previamente, Moreno-Rueda (2002) mostró que este animal tiene preferencia por las zonas rocosas, como era de esperar, pero también por las zonas pedregosas, un resultado no predicho. También encontró un rechazo de las zonas con suelo terroso, donde *I. g. gualtieranus*, probablemente, no podía encontrar refugio, y de las zonas situadas en la cara norte de la sierra, por motivos desconocidos. En este trabajo se profundiza en la selección de hábitat de este animal, realizando un muestreo en una de sus poblaciones, Sierra Elvira, en el que se tomaron una serie de variables ambientales y se confirmó la presencia o ausencia de la

subespecie en distintos puntos de muestreo. A partir de estos datos se realizaron una serie de análisis destinados a conocer sus requerimientos ecológicos, en virtud de los cuales se elaboran una serie de sugerencias para la protección de este endemismo.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio se realizó en Sierra Elvira (sudeste de España; 37° 15' N, 3° 40' W), donde se encuentra la segunda población de *Iberus g. gualtieranus* más importante. Sierra Elvira es una pequeña serranía de roca caliza-dolomítica con un rango altitudinal de entre 600 y 1100 m aproximadamente. La sierra posee un clima mesomediterráneo acentuado (UNESCO, 1963). En la zona de estudio se puede encontrar un mosaico de hábitats naturales o naturalizados formado por diferentes zonas arbustivas dominadas por *Quercus coccifera*, *Juniperus oxicedrus*, *Stipa tenacissima*, *Cistus* ssp. o *Rosmarinus officinalis*, según el lugar, que alternan con zonas arboladas de *Pinus* ssp. o *Quercus ilex* y con zonas de pastizal y zonas desnudas de vegetación. Entre estas zonas de hábitat natural o naturalizado hay cultivos de almendros (*Prunus dulcis*) y olivos (*Olea europaea*).

Muestreo

La toma de datos se realizó entre los años 2002-2004. Los datos se recogieron siempre entre los meses de Octubre y Diciembre, cuando el caracol está activo (datos sin publicar). No se muestreó en otras épocas del año, cuando no está activo, ya que este caracol se refugia en las profundidades de las grietas, donde es muy difícil de localizar (Moreno-Rueda, manuscrito no publicado).

Para el estudio de las variables ecológicas que afectan a la distribución de *Iberus g. gualtieranus* se seleccionaron 100 puntos aleatoriamente sobre un mapa de

Sierra Elvira. Aquellos puntos que cayeron sobre cultivos, reforestaciones de pino y bosque de encinar fueron eliminados ya que este caracol no habita en zonas arboladas, como confirmaron prospecciones preliminares. Otros puntos cayeron en zonas de propiedad privada a las cuales no se tuvo acceso, con lo que también fueron retirados. Esto disminuyó el tamaño de muestra a 70 puntos situados sobre zonas de Sierra Elvira con hábitat que, en principio, podría albergar a esta subespecie.

Los puntos seleccionados fueron localizados sobre el terreno con ayuda de un GPS y mapas, y en ellos se estableció una parcela de muestreo de 9 m² (3 × 3 m). Se seleccionó este tamaño de parcela ya que, en una noche de actividad, la distancia máxima que puede recorrer un ejemplar es de aproximadamente dos metros (datos sin publicar). Con el uso del GPS se estimó la altitud de cada parcela. Para estimar la inclinación de la parcela se midió con un clinómetro la pendiente de 16 puntos situados dentro de la parcela, equidistantes y separados un metro entre sí. Con los datos obtenidos se calculó la media de la pendiente de la parcela, así como la varianza de la pendiente. Es presumible que la varianza de la pendiente incrementa conforme más accidentada es la parcela, por lo que se puede considerar un índice de la heterogeneidad de la estructura geológica.

Para medir el tipo de sustrato de la parcela, esta fue subdividida en 225 cuadrantes de 20 × 20 cm. En un dibujo de la parcela subdividida se anotó el tipo de suelo predominante en cada cuadrante, distinguiéndose tres tipos de sustrato: rocoso, cuando el cuadrante estaba predominantemente cubierto por roca caliza desnuda; pedregoso, cuando el cuadrante estaba mayoritariamente cubierto por piedras sueltas; y terroso, cuando el cuadrante estaba formado por tierra no cubierta por piedras. A partir de estos datos pudo calcularse el porcentaje de suelo de la parcela cubierto por cada uno de los tipos de sustrato como la

sumatoria de cuadrantes cubiertos por un determinado sustrato, dividido entre 2,25. Puesto que el porcentaje de suelo cubierto por un tipo de sustrato dado no es independiente del porcentaje cubierto por los demás sustratos, en los análisis de multivariante se utiliza únicamente el porcentaje de suelo cubierto por roca + piedras, ya que el caracol muestra preferencia por las zonas cubiertas por ambos tipos de sustratos (Moreno-Rueda, 2002).

La cobertura vegetal se midió de forma similar. En cada uno de los 225 cuadrantes se anotó el tipo de vegetación predominante, identificándose la especie según Bonnier y de Layens (1993). Posteriormente, la vegetación fue agrupada en tres categorías: (1) herbácea, vegetación anual de porte filamentosos; (2) mata, vegetación de pequeño tamaño, con porte globoso, pero sin dejar espacio bajo su copa que posibilite que sea utilizada como refugio por *Iberus g. gualtieranus*; (3) arbustiva, vegetación de porte globoso, de mayor tamaño que la mata, bajo la cual o en cuyas ramas podría refugiarse el caracol. Cuando un cuadrante estuvo principalmente descubierto de vegetación se consideró vacío. Los cuadrantes en los que la principal o única "vegetación" existente fueron líquenes se agruparon en esta última categoría, debido a que estos organismos no ofrecen cobertura vegetal. Con estos datos se calculó el porcentaje de suelo cubierto por cada tipo vegetal y el descubierto de vegetación.

Por motivos logísticos se perdieron algunos datos de las parcelas. Concretamente, no se pudo medir la pendiente y su varianza en 6 parcelas (el 8,6% del total). Para solventar este problema sin perder tamaño de muestra se estimó un valor para estas parcelas mediante regresiones lineales. La superficie cubierta por suelo rocoso fue la variable más importante en determinar la varianza en la pendiente. La varianza en la pendiente pudo estimarse mediante la siguiente fórmula extraída de la regresión: "Varianza de la

pendiente" = $84,98 (\pm 36,55) + 1,45 (\pm 0,34) \times$ "Superficie de roca". Entre paréntesis se expresa el error estándar asociado con la estima estadística. La regresión fue altamente significativa ($F_{1, 62} = 17,92, p < 0,001, R^2 = 0,22$). La varianza de la pendiente fue el principal predictor de la pendiente media. Los valores para la media de la pendiente que faltaban se estimaron usando la fórmula: "Pendiente media" = $19,97 (\pm 1,17) + 0,01 (\pm 0,00) \times$ "Varianza de la pendiente" ($F_{1, 62} = 4,27, p < 0,05, R^2 = 0,06$).

Una vez tomados los datos de las variables eco-geológicas de la parcela, se prospectó concienzudamente la parcela en busca de conchas vacías y animales vivos de la subespecie de interés, buscando especialmente bajo piedras, entre la vegetación y dentro de las grietas en las rocas. Se anotaron todas las conchas vacías y animales vivos encontrados dentro de los límites de la parcela. Los individuos inmaduros fueron diferenciados ya que carecen de un reborde en el peristoma (Fechner y Falkner, 1993). Se consideró que el animal estaba presente en una parcela cuando se encontraron animales vivos o conchas vacías en ella. Se incluyeron las conchas vacías porque la densidad de este animal es muy baja (Moreno-Rueda y Cabrera Coronas, 2000; datos sin publicar), lo que dificulta que pueda detectarse. Además, puede ser difícil localizar vivo a este caracol si está refugiado profundamente en las grietas (Moreno-Rueda, manuscrito no publicado). Por tanto, la presencia de conchas vacías en una parcela probablemente indica que ese lugar es adecuado para que habite en él la subespecie, como sugiere la existencia de una correlación positiva entre el número de ejemplares vivos y el número de conchas vacías encontradas en las parcelas ($r_s = 0,58; p < 0,001; n = 70$). Puede haber un sesgo asociado a esta asociación si se producen acúmulos de conchas vacías en lugares de baja pendiente al ser arrastradas por la lluvia, pero esto es improbable por varios motivos. En primer lugar, la planitud

de la concha dificulta su movimiento ladera abajo (Baur *et al.*, 1997). En segundo lugar, la mayoría de las conchas fueron encontradas dentro de grietas en las rocas (Moreno-Rueda, 2002), de donde difícilmente podían ser arrastradas por la lluvia u otros medios. Consistente con esta idea, la correlación entre número de conchas vacías y la pendiente de la parcela ($r_s = 0,19; p = 0,12; n = 70$) no fue significativa y fue muy similar a la correlación entre pendiente de la parcela y número de ejemplares vivos encontrados en ella ($r_s = 0,14; p = 0,27; n = 70$).

Análisis estadísticos

Para comprobar el efecto de las distintas variables sobre la presencia o ausencia de *Iberus g. gualtieranus*, primero se realizó un test de la U de Mann-Whitney (Siegel y Castellan, 1988). Para comprobar el efecto independiente de las variables (eliminando efectos correlacionados) sobre la presencia o ausencia del caracol se utilizó un Modelo Generalizado Lineal, con una función logística, y la variable dependiente con distribución binomial de los errores, mediante la técnica de por pasos hacia delante. Cuando se emplea estadística paramétrica se utilizan variables que siguieron una distribución normal según un test de Kolmogorov-Smirnov. Las variables que no siguieron una distribución normal, como es el caso de la cobertura vegetal total, se transformaron mediante el uso de logaritmos (Sokal y Rohlf, 1995).

RESULTADOS

Se consideró presente *Iberus g. gualtieranus* en 29 de las 70 parcelas de estudio (Fig. 1). Sólo tres variables difirieron significativamente entre las parcelas con presencia y las parcelas con ausencia (Tabla 1): la coordenada X (longitud geográfica), la superficie de suelo cubierta por tierra, y la superficie de suelo descubierta de vegetación. El efecto de la superficie de suelo cubierto

por roca se aproximó a la significación, pero fue insignificante (Tabla 1). El modelo por pasos hacia delante incluyó como variables predictoras de la presencia de *Iberus g. gualtieranus* las variables "Coordenada X", "Cobertura vegetal" y "Cobertura de substrato" (Tabla 2). Los resultados, por tanto, sugieren que este caracol se encuentra preferentemente en la zona occidental de la

serranía, en parcelas con escasa cobertura vegetal y poca presencia de suelo terroso (prefiere zonas con suelo rocoso y/o pedregoso). Un Análisis Discriminante con estas tres variables fue altamente significativo (Wilk's Lambda: 0,55; $F_{3, 66} = 17,75$; $p < 0,001$), y la función resultante catalogó correctamente el 81,43% de las parcelas.

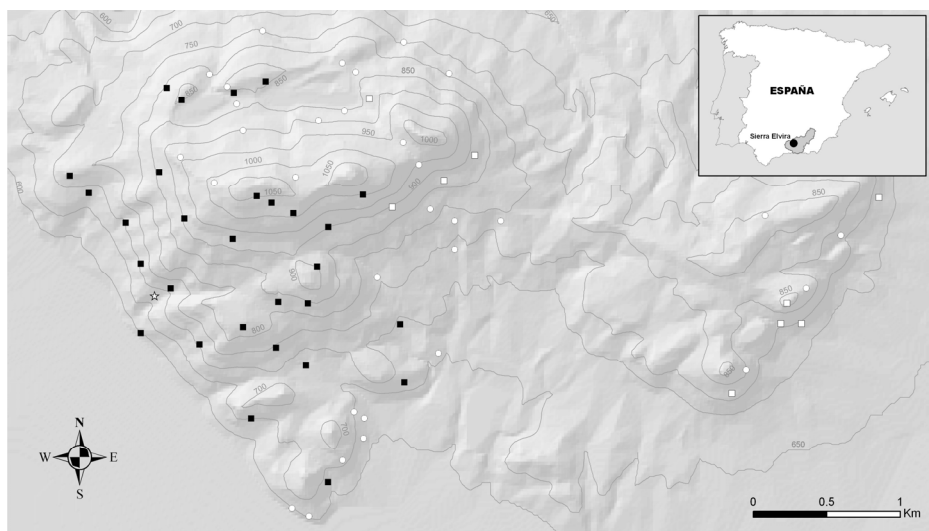


Figura 1. Mapa de Sierra Elvira. Los puntos señalan la situación de las parcelas de muestreo. Cuadrados negros: parcelas donde estuvo presente *Iberus g. gualtieranus*; en blanco: parcelas donde no estuvo presente. Los cuadrados blancos indican las parcelas donde se encontraron ejemplares de la subespecie *Iberus g. alonensis* o híbridos entre ambas subespecies. Los círculos blancos señalan las parcelas donde no se encontró ningún ejemplar de *Iberus gualtieranus*. La estrella indica el lugar donde se encontraron tres subfósiles de *Iberus g. alonensis*.

Figure 1. Map of Sierra Elvira. The points signal the situation of sample parcels. Black squares: parcels where *Iberus g. gualtieranus* was present; white: parcels where *Iberus g. gualtieranus* was absent. White squares indicate the parcels where were found individuals of *Iberus g. alonensis* or hybrids. White circles signal the points where no *Iberus gualtieranus* was found. The star indicates where three sub-fossils of *Iberus g. alonensis* were found.

Dentro de las parcelas con presencia del caracol ($n = 29$), se relacionaron las variables ecológicas y la abundancia de *Iberus g. gualtieranus* mediante correlaciones de Spearman (Tabla 3). La coordenada X no sólo afectó a la presencia o ausencia del caracol (párrafo anterior), sino también a su densidad (Tabla 3). La cobertura vegetal también tuvo un efecto significativo sobre la

abundancia de ejemplares (Tabla 3). La superficie cubierta por tierra no tuvo un efecto significativo sobre la abundancia de caracoles, a pesar de afectar a la probabilidad de su presencia (Tabla 3). Por otro lado, conforme más superficie cubierta por roca hubo en la parcela mayor abundancia de caracoles se encontró. La pendiente promedio de las parcelas se correlacionó

positivamente con la abundancia de *Iberus g. gualtieranus* (Tabla 3). Conforme ascendemos en altitud, la probabilidad de que *Iberus g. gualtieranus* esté presente no varía, pero sí la abundancia del caracol, que disminuye a mayor altitud (Tabla 3).

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que, básicamente, tres variables afectan a la distribución de *Iberus g. gualtieranus* en Sierra Elvira: la longitud geográfica, la cobertura vegetal y el tipo de sustrato. Otras variables afectaron a su abundancia, si bien no tuvieron efecto sobre la presencia o ausencia del caracol. Estas variables son la altitud y la pendiente del terreno. A continuación se discuten en detalle el efecto de estas variables sobre la ecología de este animal.

Distribución de *Iberus g. gualtieranus* en Sierra Elvira

Los resultados muestran que *I. g. gualtieranus* se encuentra preferentemente en la zona occidental de Sierra Elvira (Fig. 1; Tablas 1 y 2). Además, no sólo la presencia de este caracol es más probable en la zona occidental de la sierra, sino que también es más abundante en dicha zona (Tabla 3). Este resultado ya fue encontrado por Alonso *et al.* (1985). La explicación de estos autores fue que la cobertura vegetal afectaría a la distribución de este animal, y que la cobertura vegetal incrementa conforme nos desplazamos desde el Oeste hacia al Este. No obstante, estos autores realizaron simplemente observaciones anecdóticas, y no midieron de forma objetiva la cobertura vegetal en la sierra. Con los datos de este estudio no hay una correlación significativa entre la coordenada X y la cobertura vegetal ($r_s = 0,17$; $p = 0,17$; $n = 70$). Además, en el modelo generalizado lineal realizado, una vez que se controló estadísticamente por la cobertura vegetal, el efecto de la coordenada X continuó siendo significativo, lo que

sugiere que la explicación aportada por Alonso *et al.* (1985) es insuficiente. Utilizando un Modelo General Lineal, las variables ecológicas utilizadas en este estudio no covarían significativamente con la longitud geográfica (Wilks: 0,89; $F_{4,64} = 2,04$; $p = 0,10$; latitud introducida como covariable), lo que sugiere que el hábitat es relativamente homogéneo a lo largo de la coordenada X.

Recientes análisis moleculares sugieren que la población de *Iberus g. gualtieranus* presente en Sierra Elvira puede haber sido introducida por factores antrópicos desde varias poblaciones fuente en Almería (Elejalde *et al.*, 2005). Esta población habría sido introducida en los asentamientos humanos más antiguos presentes en esta serranía, que se encuentran, precisamente, en el extremo occidental de la misma (Fuencisla Moreno, comunicación personal). En base a esto, se sugiere que el caracol se ha extendido hacia oriente desde su punto de introducción, venciendo en competencia e hibridando con la subespecie *Iberus g. alonensis*, también presente en la sierra y relegada a la zona oriental (Fig. 1), lo que explicaría el patrón de distribución encontrado. Esta hipótesis implica que la expansión de *Iberus g. gualtieranus* en Sierra Elvira aún está en proceso. Una expansión tan lenta podría explicarse por los siguientes motivos: (1) la movilidad de los caracoles es muy baja (Denny, 1980); (2) al tratarse de un animal con un hábitat muy concreto, su supervivencia en zonas subóptimas situadas entre los parches adecuados es probablemente muy baja, lo que dificultaría la expansión del caracol; (3) su densidad es baja, lo que disminuye el número de individuos dispersantes; y (4) al tener que desplazar competitivamente a, e hibridar con, la subespecie *Iberus g. alonensis*, su expansión se vería ralentizada. En concordancia con esta hipótesis, durante este estudio se encontraron tres subfósiles de *Iberus g. alonensis* en el extremo occidental de Sierra Elvira (marcados con una estrella en la Fig.

1), lo que sugiere que en tiempos remotos esta subespecie ocupó toda la sierra.

Iberus g. gualtieranus habita preferentemente en las laderas situadas en el sur (Moreno-Rueda, 2002). El presente estudio sugiere que este patrón sí es debido a un motivo ecológico: en las laderas norte la

cobertura vegetal es mayor (hubo una correlación significativa entre latitud y cobertura vegetal: $r = -0,56$; $p < 0,001$; $n = 70$), y la presencia de abundante cobertura vegetal perjudica a este animal (Tabla 2; abajo).

	Presencia (n = 29)	Ausencia (n = 41)	z	p
Longitud (UTM)	435872 ± 595	437284 ± 1363	-5,01	< 0,001
Latitud (UTM)	4122323 ± 686	4122506 ± 907	-1,29	0,20
Altitud (m)	809 ± 127	800 ± 108	0,00	1,00
Superficie Roca (%)	98,7 ± 66,0	72,0 ± 62,0	1,79	0,07
Superficie Tierra (%)	39,8 ± 39,2	71,7 ± 58,4	-2,35	0,02
Superficie Piedra (%)	86,6 ± 67,8	81,3 ± 66,2	0,24	0,81
Pendiente (°)	22,2 ± 6,6	21,4 ± 6,1	0,57	0,57
Varianza Pendiente	204,5 ± 171,6	205,8 ± 205,6	0,55	0,58
Superficie descubierta (%)	95,3 ± 58,2	50,0 ± 59,9	3,14	0,002
Superficie Herbáceas (%)	52,0 ± 57,2	76,6 ± 73,3	-1,03	0,31
Superficie Matas (%)	21,4 ± 38,8	33,4 ± 42,3	0,35	0,73
Superficie Arbustos (%)	46,3 ± 45,9	66,5 ± 69,0	-0,53	0,60

Tabla 1. Valores promedio de las variables medidas en las parcelas donde estuvo presente *Iberus g. gualtieranus* y aquellas en las que fue considerado ausente. Entre paréntesis la unidad de medida para cada variable. Los valores son dados como la media ± la desviación típica. Las comparaciones se realizaron con el test de la U de Mann-Whitney.

Table 1. Average values for ecological variables in the parcels where *Iberus g. gualtieranus* was present and where it was absent. Between brackets the measure unit for each variable. Values are as mean ± standard deviation. Comparations were performed with the Mann-Whitney U-test.

Por último, la coordenada Z (la altitud) no tuvo efecto sobre la presencia o ausencia del caracol, pero sí sobre su abundancia, que fue menor a elevadas altitudes (Tablas 3). La altitud no mostró relación significativa con ninguna otra variable estudiada que afectara a la densidad de este caracol (correlaciones de Pearson, siempre $p > 0,1$; datos no mostrados por simplicidad), por lo que no parece tratarse de un efecto correlacionado. Tampoco debe tratarse de un efecto propiciado por el desplazamiento de las conchas desde las zonas elevadas a las zonas más bajas de la sierra (Baur *et al.*, 1997) por los motivos expuestos en Metodología. Una posibilidad es que a mayor altitud el efecto del viento sea mayor, y el viento perjudique al caracol al aumentar el ritmo de desecación.

Otros estudios han mostrado un efecto negativo del viento sobre la actividad de los caracoles en otras especies (Humphreys, 1976). Es por tanto presumible que el viento pueda tener también un papel en la distribución de las especies de gasterópodos terrestres.

Cobertura vegetal y presencia de *Iberus g. gualtieranus*

Iberus g. gualtieranus evita zonas donde la cobertura vegetal es mayor. Este resultado es contraintuitivo, ya que se trata de un animal herbívoro (Moreno-Rueda y Díaz-Fernández, 2003). Lo más probable es que la vegetación no tenga un efecto directo sobre la presencia de este animal, sino que esté correlacionada con parámetros climáticos,

tales como la temperatura. Las zonas donde la vegetación es mayor son probablemente más frías, lo que permite una menor evapotranspiración, favoreciendo el crecimiento vegetal (Pianka, 2000). Si *Iberus g. gualtieranus* tiene poca tolerancia al frío, en estos lugares, que coinciden con las zonas de mayor vegetación, podría tener dificultades para sobrevivir. Es improbable que la humedad afecte negativamente a este caracol, ya que los gasterópodos terrestres son

animales muy higrófilos (Prior, 1985), y la humedad fuertemente favorece la actividad de esta subespecie (datos sin publicar). También puede descartarse que en las zonas de mayor humedad esta subespecie se vea desplazada por otras especies, ya que en Sierra Elvira apenas se encuentran caracoles en las laderas que caen hacia el norte, que son las de mayor humedad y vegetación (Moreno-Rueda, 2002).

	Estadístico	p	Estima
Variables incluidas en el modelo			
Coordenada X	10,50	0,001	-0,20
Cobertura vegetal	5,15	0,02	0,01
Cobertura de substrato	3,56	0,06	0,01
Variables excluidas del modelo			
Coordenada Y	1,68	0,20	
Altitud	1,26	0,26	
Pendiente	1,00	0,32	
Varianza de la pendiente	0,39	0,53	

Tabla 2. Resultado del Modelo Generalizado Lineal por pasos hacia delante respecto a la presencia-ausencia de *Iberus g. gualtieranus*.

Table 2. Results by the forward stepwise Generalized Linear Model with respect to the present-absent of *Iberus g. gualtieranus*.

	r_s	p
Longitud	-0,36	0,05
Latitud	-0,10	0,59
Altitud	-0,51	0,005
Superficie Roca	0,43	0,02
Superficie Tierra	-0,26	0,17
Superficie Piedra	-0,20	0,31
Pendiente	0,48	0,009
Varianza de la pendiente	0,35	0,06
Superficie descubierta	0,40	0,03
Superficie Herbáceas	-0,04	0,84
Superficie Matas	-0,39	0,04
Superficie Arbustos	0,21	0,27

Tabla 3: Coeficientes de las correlaciones de Spearman entre las variables consideradas y la densidad de *Iberus g. gualtieranus* por parcela.

Table 3: Coefficients of Spearman correlations between ecological variables and *Iberus g. gualtieranus* density by parcel.

Tipo de sustrato y presencia de *Iberus g. gualtieranus*

De acuerdo con la teoría sobre la evolución de esta subespecie (López-Alcántara *et al.*, 1983), debemos esperar que este animal estará asociado a zonas rocosas donde se encuentran las grietas kársticas que utiliza como refugio. Efectivamente, el caracol estuvo presente preferentemente en zonas con rocas o piedras (véase también Moreno-Rueda, 2002). En las zonas pedregosas, esta subespecie, probablemente, puede encontrar un buen refugio bajo las piedras. El efecto del suelo rocoso sobre la presencia o ausencia de *Iberus g. gualtieranus* parece ser más fuerte, ya que las diferencias entre parcelas con y sin presencia del caracol fueron casi significativas en los tests de Mann-Whitney. Además, la abundancia de ejemplares incrementó con la superficie de suelo rocoso, pero no con la superficie de suelo pedregoso. También se encontró que la densidad de ejemplares incrementa con la pendiente del sustrato. Esto puede estar relacionado con el hecho de que los caracoles de esta subespecie tienden a descansar en zonas de mayor pendiente (Moreno-Rueda, manuscrito sin publicar).

APLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN

Como se ha descrito en la Introducción, existen múltiples motivos por los cuales esta subespecie debe ser protegida. Resumiendo, su importancia ecológica en un área semiárida como Sierra Elvira es presumiblemente importante. Se trata, además, de una subespecie endémica de una zona muy restringida (el sureste de España). Y es también un animal utilizado por los seres humanos como alimento y elemento de colección. Por otro lado, se trata de una subespecie en peligro de extinción (Arrébola, 2002), por lo que urge elaborar planes de conservación.

En este trabajo se han reducido a tres las variables necesarias para predecir la presencia de *Iberus g. gualtieranus* en Sierra Elvira, con un 81% de fiabilidad. De estas tres variables, una, la longitud, parece deberse a factores relacionados con la biogeografía histórica del animal en esta sierra, por lo que no podría aplicarse a otras sierras. Pero las otras dos variables, cobertura vegetal y tipo de sustrato, muy probablemente, pueden ser aplicadas en otras poblaciones para predecir la presencia de este caracol (Guisan y Zimmermann, 2000). Esto puede ahorrar tiempo de muestreo en el cartografiado de las poblaciones de esta subespecie. Además, el uso predictivo de estas variables permitiría detectar zonas adecuadas para que este animal habite y donde se haya extinguido por motivos antrópicos, como es el caso de incendios (C.M.A., 2003).

Uno de los mayores peligros para la supervivencia de esta subespecie son las explotaciones mineras (Moreno-Rueda y Ruiz-Avilés, 2005). Conociendo cuáles son los requerimientos ecológicos de este animal, pueden tomarse medidas de regeneración del hábitat una vez que la explotación minera ha terminado. En vistas de los resultados obtenidos en este estudio, se propone que, después de una explotación en una zona donde habite este caracol, se regenere el hábitat aportando cubiertas de canchales a la zona explotada. Ya que este animal puede vivir en las zonas cubiertas de piedras (Moreno-Rueda, 2002; este trabajo), este tratamiento produciría un hábitat adecuado para la subespecie. Posteriormente debería plantarse vegetación típica de la zona que le sirva de alimentación, principalmente herbáceas y pequeños arbustos como romero (Moreno-Rueda y Díaz-Fernández, 2003), aunque la vegetación no debe ser abundante. El último paso sería reintroducir el animal en la zona explotada por la cantera.

No obstante, el mejor hábitat para este animal son las zonas rocosas, que favorecen especialmente su densidad. Los datos

presentados en este trabajo pueden ser usados para predecir zonas de prioridad, donde la abundancia de *Iberus g. gualtieranus* sea especialmente importante. Sería recomendable que en dichas zonas no se permitan explotaciones que puedan dañar este hábitat especialmente bueno para el animal. Por contra, es recomendable que en las zonas donde la abundancia de ejemplares sea baja se prohíba la recolección de este animal con fines gastronómicos y/o coleccionistas, ya que este tipo de explotación, aunque no dañe el hábitat, puede provocar una extinción local que difícilmente sería recuperable de forma natural.

Agradecimientos. Este trabajo es un proyecto de la Sociedad Granatense de Historia Natural, financiado por el Área de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Albolote. En el trabajo de campo colaboraron José Manuel Gómez Ros, José Manuel Herrera Vega, Rocío Márquez Ferrando y Rubén Rabaneda Bueno.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, M.R., LÓPEZ-ALCÁNTARA, A., RIVAS, P. Y IBÁÑEZ, M. 1985. A biogeographic study of *Iberus gualtieranus* (L.) (Pulmonata: Helicidae). *Soosiana*, 13: 1-10.
- ARRÉBOLA, J.R. 2002. *Caracoles terrestres de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente. Cádiz (España).
- DE BARTOLOMÉ, J.F.M. 1982. Comments on some mediterranean rockdwelling helicids. *Journal of Conchology*, 31: 1-6.
- BAUR, B., LEDERGERBER, S. Y KOTHBAUER, H. 1997. Passive dispersal on mountain slopes: shell shape-related differences in downhill rolling in the land snails *Arianta arbustorum* and *Arianta chamaeleon* (Helicidae). *Veliger*, 40: 84-86.
- BONNIER, G. Y DE LAYENS, G. 1993. *Claves para la determinación de plantas vasculares*. Omega. Barcelona (España).
- CHAPIN, III F.S., ZAVALETA, E.S., EINER, V.T., NAYLOR, R.L., VITOUSEK, P.M., REYNOLDS, H.L., HOOPER, D.V., LAVOREL, S., SALA, O.E., HOBBIIE, S.E., MACK, M.C. Y DÍAZ, S. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405: 234-242.
- C.M.A. 2003. Suelta de un caracol endémico de Andalucía en un área de la sierra almeriense de Gádor. *Quercus*, 209: 11.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P. Y VAN DEN BELT, M. 1997. The value of the world's ecosystems services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- DAILY, G.C. (editor) 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island. Washington (EE.UU.).
- DELIBES, M. 2001. *Vida. La naturaleza en peligro*. Ediciones Temas de Hoy. Madrid (España).
- DENNY, M. 1980. Locomotion: the cost of Gastropod crawling. *Science*, 208: 1288-1290.
- ELEJALDE, M.A., MUÑOZ, B., ARRÉBOLA, J.R. Y GÓMEZ-MOLINER, B.J. 2005 Phylogenetic relationships of *Iberus gualtieranus* and *I. alonensis* (Gastropoda: Helicidae) based on partial mitochondrial 16S rRNA and COI gene sequences. *Journal of Molluscan Studies*, 71: 349-355.
- FECHTER, R. Y FALKNER, G. 1993. MOLUSCOS. Blume. Barcelona (España).
- GARCÍA SAN NICOLÁS, E. 1957. Estudio sobre la biología, la anatomía y la sistemática del género *Iberus* Montfort 1810. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 55: 199-390.
- GUISAN, A. Y ZIMMERMANN, N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135: 147-186.
- HUMPHREYS, J. 1976. Field observations on *Theba pisana* (Müller) (Gastropoda: Helicidae) at St. Ives, Cornwall. *Journal of Conchology*, 29: 93-106.
- LEAKEY, R. Y LEWIN, R. 1998. *La sexta extinción. El futuro de la vida y la humanidad*. 2ª edición. Tusquets Metatemás. Barcelona (España).
- LÓPEZ-ALCÁNTARA, A., RIVAS, P., ALONSO, M.R. Y IBÁÑEZ, M. 1983. Origen de *Iberus gualtieranus*. Modelo evolutivo. *Haliotis*, 13: 145-154.
- LÓPEZ-ALCÁNTARA, A., RIVAS, P., ALONSO, M.R. Y IBÁÑEZ, M. 1985. Variabilidad de *Iberus gualtieranus* (Linneo, 1758) (Pulmonata, Helicidae). *Iberus*, 5: 83-112.

- LUCHTEL, D.L. Y DEYRUP-OLSEN, I. 2001. *Body wall: form and function*. Pp. 147-178. En C.M. Barker (editor). *The biology of terrestrial molluscs*. CAB International. Wallingford (Reino Unido).
- LYDEARD, C., COWIE, R.H., PONDER, W.F., BOGAN, A.E., BOUCHET, P., CLARK, S.A., CUMMINGS, K.S., FREST, T.J., GARGOMINY, O., HERBERT, D.G., HERSHLER, R., PEREZ, K.E., ROTH, B., SEDDON, M., STRONG, E.E. Y THOMPSON, F.G. 2004. The global decline of nonmarine mollusks. *BioScience*, 54: 321-330.
- MARGULES, C.R. Y PRESSEY, R.L. 2000. Systematic conservation planning. *Nature*, 405: 243-253.
- MORENO-RUEDA, G. 2002. Selección de hábitat por *Iberus gualtierianus*, *Rumina decollata* y *Sphincterobila candidissima* (Gastropoda: Pulmonata) en una sierra del sureste español. *Iberus*, 20: 55-62.
- MORENO-RUEDA, G. Y CABRERA CORONAS, P. 2000. La situación de *Iberus gualtierianus* morfotipo *gualtierianus* (Gastropoda: Stylomathophora: Helicidae) en Sierra Elvira (Granada, España). *I Jornadas de Fauna Andaluza*. Vízcar (Granada, España).
- MORENO-RUEDA, G. Y DÍAZ-FERNÁNDEZ, D. F. 2003. Notas sobre la alimentación de *Iberus gualtierianus gualtierianus* (Linnaeus, 1758) (Gastropoda: Helicidae). *Acta Granatense*, 2: 89-92.
- MORENO-RUEDA, G. Y RUIZ-AVILÉS, F.A. 2005. Impacto de las canteras en el monte granadino de Sierra Elvira. *Quercus*, 233: 4.
- NEE, S., 2004. More than meets the eye. Earth's real biodiversity is invisible, whether we like it or not. *Nature*, 429: 804-805.
- PIANKA, E.R. 2000. *Evolutionary ecology*. 6ª edición. Benjamin/Cummings. San Francisco (EE.UU.).
- PONDER, W.F. Y LUNNEY, D. (editores) 1999. *The other 99%: The conservation and biodiversity of invertebrates*. Royal Zoological Society of New South Wales. Mosman (Australia).
- PRIMACK, R.B. Y ROS, J. 2002. *Introducción a la Biología de la conservación*. Ariel Ciencia. Barcelona (España).
- PRIOR, D.J. 1985. Water-regulatory behaviour in terrestrial gastropods. *Biological Reviews*, 60: 403-424.
- SCHWARTZ, M.W. (editor) 1997. *Conservation in highly fragmented landscapes*. Chapman y Hall. Nueva York (EE.UU.).
- SHACHAK, M., JONES, C. . Y GRANOT, Y. 1987. Herbivory in rocks and the weathering of a desert. *Science*, 236: 1098-1099.
- SIEGEL, S. Y CASTELLAN, JR. N.J. 1988. *Non-parametric statistics for the behavioral sciences*. 2ª edición. McGraw-Hill. Singapur (Singapur).
- SOKAL, R.R. Y ROHLF, F.J. 1995. *Biometry*. 3ª edición. Freeman. Nueva York (EE.UU.).
- TILMAN, D. 2000. Causes, consequences and ethics of biodiversity. *Nature*, 405: 208-211.
- UNESCO 1963. *Recherches sur la zone aride. Etude écologique de la zone méditerranéenne. Carte bioclimatique de la zone méditerranéenne*. Unesco. París (Francia).
- YANES, M., SUÁREZ, F. Y MANRIQUE, J. 1991. La cogujada montesina, *Galerida theklae*, como depredador del caracol *Otala lactea*: comportamiento alimenticio y selección de presa. *Ardeola*, 38: 297-303.