

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
Departamento de Zoología y Antropología Física



**TESIS DOCTORAL**

**Dinámica poblacional, taxonomía y conservación de algunas especies  
del género "Iberus"**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

**Ignacio Polo Roldán**

Directores

**Benito Muñoz Araújo**  
**José Ramón Arrébola Burgos**

**Madrid, 2016**

# DINÁMICA POBLACIONAL, TAXONOMÍA Y CONSERVACION, DE ALGUNAS ESPECIES DEL GÉNERO *Iberus*



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGÍA Y ANTROPOLOGÍA FÍSICA



TESIS DOCTORAL  
Ignacio Polo Roldán  
Octubre 2015

Dirigida por:  
Benito Muñoz Araújo  
Jose Ramón Arrébola Burgos

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGÍA Y ANTROPOLOGÍA FÍSICA**



**UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE  
MADRID**

**DINÁMICA POBLACIONAL, TAXONOMÍA Y CONSERVACIÓN DE ALGUNAS  
ESPECIES DEL GÉNERO *Iberus***

**IGNACIO POLO ROLDÁN  
OCTUBRE 2015**

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGÍA Y ANTROPOLOGÍA FÍSICA**



**UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE**  
MADRID

**DINÁMICA POBLACIONAL, TAXONOMÍA Y CONSERVACIÓN DE ALGUNAS  
ESPECIES DEL GÉNERO *Iberus***

Tesis doctoral presentada por Don Ignacio Polo Roldán

Fdo.: Ignacio Polo Roldán

Vº Bº de los Directores:

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la de José Ramón Arrébola Burgos, escrita sobre una línea horizontal.

Benito Muñoz Araújo

José Ramón Arrébola Burgos

DON **BENITO MUÑOZ ARAÚJO**, PROFESOR CONTRATADO DOCTOR DEL DEPARTAMENTO DE ZOOLOGÍA Y ANTROPOLOGÍA FÍSICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Y

DON **JOSÉ RAMÓN ARRÉBOLA BURGOS** PROFESOR CONTRATADO DOCTOR DEL DEPARTAMENTO DE FISIOLÓGÍA Y ZOOLOGÍA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA,

HACEN CONSTAR:

Que la presente Tesis Doctoral titulada “DINÁMICA POBLACIONAL, TAXONOMÍA Y CONSERVACIÓN DE ALGUNAS ESPECIES DEL GÉNERO *Iberus*.”, presentada por Don Ignacio Polo Roldán, ha sido realizada en el Departamento de Zoología y Antropología Física de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Complutense de Madrid bajo nuestra dirección. Consideramos que representa el trabajo de una tesis doctoral, por lo que autorizamos su presentación a la Comisión de Doctorado de la Universidad Complutense de Madrid.

Y para que así conste firmamos el presente en Madrid a 27 de octubre de 2015.



Benito Muñoz Araújo

José Ramón Arrébola Burgos

*A mis diamantes que me habéis regalado tanto tiempo*

## AGRADECIMIENTOS

... Después de tantos años de encuentros y desencuentros, por fin ha llegado el momento, y qué menos que agradecer a los que habéis estado a mi lado todo vuestro apoyo.

En primer lugar a mis directores, Tito y Jose, la ayuda recibida en forma de aportaciones y correcciones en todo el proceso. Y por el tiempo dedicado, pese a carecer de él. Una mención especial a Tito por haberme ayudado a cerrar el ciclo ¡gracias maestro!

A Antonio y Ángel por su ayuda de campo, y concretamente a Antonio por sus fotos y el incalculable tiempo dedicado en la clasificación de los ejemplares

A Gregorio por las aportaciones realizadas al conocimiento de *I. g. gualtieranus*.

A Nacho y Chusma, por su apoyo y ayuda a la hora de fotografiar las colecciones conquiológicas y “*in the main*” por su compañía en los comienzos, durante los cursos de Doctorado.

A mis compañeros: Cristina, por sus traducciones, correcciones y consejos. Al Dr. Refoyo por las críticas y por la ayuda con los mapas. Y no me puedo olvidar de Ignacio, por sus buenos consejos y correcciones, y que sepas que al final termino yo antes que tú El Libro.

A Chechu, por sus buenas sugerencias. A Anabel, por sus clases particulares. A Pedro, por su capacidad de síntesis. A Mariano por sus críticas.

A mis amigos por haber aguantado las charlas de estos seres entrañables.

A mi hermano Alberto, sin el cual no hubiera sido posible que la IberusTAXA(C) haya visto la luz y que ha sido capaz de entender lo que quería hacer, plasmándolo en forma de programa informático.

A mi familia por haberme aguantado todos estos años. A mis padres, Vicky y Julio, porque gracias a su esfuerzo me han brindado la oportunidad de haber llegado hasta aquí.

Como me iba a olvidar de mis diamantes, Elisa y Lidia, por todo el tiempo que os he robado, sé que no es recuperable pero intentaré cambiar cantidad por calidad.

Y en especial a ti, Carmen, por haberme regalado todo el tiempo que he dedicado a realizar este trabajo, esta Tesis es tan tuya como mía. Por tu apoyo incondicional y por haber creído más en mí, incluso que yo mismo. Puedes estar orgullosa porque la he terminado gracias a ti. Te quiero.

Espero que no se me haya olvidado nadie, pero por si fuera así, gracias también.

## INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	6
1. INTRODUCCIÓN	11
2. TAXONOMÍA	22
INTRODUCCIÓN	23
MATERIAL Y MÉTODOS	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
1. Análisis morfométrico clásico	41
1.1 <i>Iberus gualtieranus</i> complex	41
1.2 <i>Iberus marmoratus</i> complex	45
2. Análisis morfogeométricos de contornos	49
1.1 <i>Iberus gualtieranus</i> complex	49
1.2 <i>Iberus marmoratus</i> complex	51
3. IBERUSTAXA©	56
INTRODUCCIÓN	57
MATERIAL Y MÉTODOS	61
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4. BIOLOGÍA	71
INTRODUCCIÓN	72
Zona de estudio	73
Localización de la zona de estudio IG	73
Características de la zona de estudio IG	75
Localización zona de estudio IA	78
Características de la zona de estudio IA	80
MATERIAL Y MÉTODOS	84
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	97
RESULTADOS Y DISCUSIÓN <i>I. g. gualtieranus</i> (IG)	97
Actividad IG	97
Condiciones determinantes de la estivación, hibernación y actividad IG	100

Crecimiento, estructura y dinámica poblacional IG	105
Mortalidad IG	110
RESULTADOS Y DISCUSIÓN <i>I. alonensis-like02</i> (IA)	117
Actividad IA	117
Condiciones determinantes de la estivación, hibernación y actividad IA	120
Crecimiento, estructura y dinámica poblacional IA	129
Mortalidad IA	136
5. CONCLUSIONES, APORTACIONES Y LÍNEAS FUTURAS	142
CONCLUSIONES	143
APORTACIONES	146
LINEAS FUTURAS	146
6. BIBLIOGRAFÍA	147
7. ANEXOS	164

**ABSTRACT**

**ABSTRACT**

The genus *Iberus* is an Iberian endemism of great importance in the terrestrial malacological fauna of the Iberian peninsula. It belongs to the *Helicidae* family (*Mollusca*, *Gastropoda*, *Pulmonata*) and was described by Monfort in 1810. The species type is *Iberus gualtieranus* which was described by Linnaeus in 1758 as *Helix gualtierana* and was discovered in 1717 by Gualtieri, in whose honour receives the specific name.

Regarding systematic authors' interpretations, the genus can be generally grouped into: (1) those that consider it as a monotypic genus whose only species is polytypic, (2) a polytypic genus that encompasses a large number of species, (3) a polytypic genus with few species, (4) a monotypic genus whose only species is polytypic or, finally, (5) a monotypic genus with a single polymorphic species. But the results obtained by molecular studies conclude that is a polytypic genus with few species, separating it into two large groups: small or medium shells called *I. marmoratus* complex, and large snails called *I. gualtieranus* complex. This is the interpretation that we followed with our work. In this study, it is reviewed the morphology of the shells of the mostly accepted morphospecies that have been defined with the molecular techniques.

*I. alonenesis-like01* and *I. alonenesis-like02* are also conchologically described.

The main problem of the species classification using molecular tools is that they cannot be directly applied in the field by Environmental Technicians what makes really difficult to implement policy measures resulting in its conservation. Furthermore, biopsies in wildlife, for subsequent molecular analysis, imply a high risk of infection and, therefore, high mortality in the populations studied making the technique inappropriate; although on occasions is essential, especially because of the species in this group that are listed from vulnerables to critically endangered by the IUCN.

So, it is necessary to find an alternative technique to minimize the handling for the *in situ* recognition and thus, improve the population management of these species. In order to overcome the aforementioned deficiency, as far as possible,

---

in this study is developed a morphometric method that allows differentiating with high reliability the species *in situ*. Accordingly, it is a very useful and specific identification tool for Environmental Technicians to assign the corresponding species to each specimen found in the field, and therefore, to generate important derived information such as to identify geographically different populations.

Given that the genus is an endemism, it is considered as threatened and the taxa, that comprise it, are also consequently threatened. We highlight that among the 16 species, 10 have a very localised distribution, 5 have a slightly greater distribution than the previous ones but still limited; and only one species with a wide distribution. Despite the limited distribution of most of the species, we find that there are only 8 of them listed with any criteria of the IUCN. It should be pointed out that the most widely distributed species of the genus is listed as near threatened and the rest are not included in the Red List.

To conserve the species of molluscs, it is ideal to have some knowledge about their biology (life cycle, structure and population dynamics, ...) not only of the conservation related to the delimitation of the distribution of their populations and, on occasions, it is also important to apply captive breeding techniques to make reinforcements and repopulations in areas where the situation is critical.

Published data on the biology of the species of this genus are scarce so, this study focuses on the two taxa of the genus with greater economic interest as they are consumed as food, besides being the only ones with *ex situ* studies on its population dynamics. These are *I. gualtieranus gualtieranus* (Linnaeus, 1758) and *Iberus alonensis sensu lato* (Férussac, 1821), specifically called "like 02", both belonging to the group *I. gualtieranus complex*. The first one is known under the trading name as "chapa" and the second one as "serrano".

*I. g. gualtieranus* or "chapa" shows a very localised distribution: Sierra de Gádor and Cuevas de Almanzora in Almería, Sierra Elvira in Granada and Sierra de Jaén. In all areas, the climate varies from thermomediterranean to xerothermomediterranean, the substrate has limestone and dolomite rocks with karstic erosion and the vegetation matches with a holm-oak wood degradation.

The known populations are small and widely spaced, showing an equivalent distribution to islands because, *a priori*, in the intermediate zones would not occur the favourable conditions required for its development. The main use of this species is the gastronomic, being one of the most popular snails locally requested in Almería and neighboring provinces although its culinary use has been declining with the diminishing of the effectives in nature.

Law 42/2007 shows that the gastronomic use or any kind of exploitation of these species should be classified as poaching and since it is a cultural object, it is advisable to opt for the population management and regularize their catch by applying corrective measures. Poaching is what has contributed to its repeated inclusion on lists of endangered species.

The "serrano" (*I. alonensis s.l.*) has less ecological requirement than the previous species what allows it to live in a greater range of climatic conditions, different kind of soils and vegetation and in this way, to show a wider distribution in Andalusia. Moreover, their populations are more extensive, numerous and interconnected. They do not share habitat with the "chapas" but they do it in the surrounding areas (with contact zones where appear hybrids), living on less warm areas without karstic erosion, with less degraded vegetation and more developed soils. They are in shadier biotopes with higher relative humidity and vegetation that corresponds to an advanced successional stage.

Moreover, a population dynamics study is carried out with these two species and the results consist of several parts: environmental conditions during the work period; cycles of activity and inactivity; environmental conditions determining the aestivation, hibernation and activity; behaviour patterns of young and adults during the activity; mortality; growth, structure and population dynamics.

The knowledge of the biology of these species will also help to the development of the farming snails sector so that, it would be possible to consider their breeding on a larger scale. The heliciculture or snail breeding becomes an important tool for the conservation and sustainable development of the sector that manages the massive collections in their natural habitats; promotes the

---

breeding of species in critical conditions, as well as provides copies for reintroductions and reinforcements that facilitate the recovery of their populations.

The main problem that suffer the gastropod species is the direct impact of human action which causes fragmentation and / or destruction of their habitats for different reasons but, mainly, because of the excessive urban development that the Iberian peninsula has suffered in recent years. We must also bear in mind the advance of intensive agriculture and the pest control, that involve the use of biocide products which mostly affect these animals, or even the massive and irrational collection for food reasons. It should be remembered that snails are one of the few terrestrial animals which still suffer a massive and uncontrolled capture in Spain to be later marketed with gastronomic purposes, while their zootechnic breeding or in heliciculture barely covers 5% of the existing demand in domestic markets, what leads to a drastic reduction of wild individuals.

The species *Iberus gualtierianus* s. str. is listed as endangered species, but was previously classified as "near threatened" category in 2008. After the molecular studies of the genus, it was made a review that concluded in 2013 with the inclusion of several of the species in the IUCN Red List of Threatened Species. Nowadays, it is considered that the mere cataloguing of this (and other endangered species) is not useful in practice for the recovery and conservation, being the rational management the only way to have certain options to "safeguard" the species.

# RESUMEN

## RESUMEN

El género *Iberus* es un endemismo ibérico de gran importancia en la malacología terrestre ibérica. Pertenece a la familia Helicidae (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata) y fue descrito por Monfort en el año 1810. La especie tipo es *Iberus gualtieranus* que fue descrita por Linneo en 1758 como *Helix gualtierana* y fue descubierta en el año 1717 por Gualtieri, de quien recibe el nombre específico.

Las principales interpretaciones sistemáticas de los autores se pueden agrupar en aquellas que lo consideran: un género monotípico cuya única especie es politípica, un género politípico que engloba a un gran número de especies, un género monotípico cuya única especie es politípica, un género monotípico con una única especie polimórfica, y por último la tesis que avalan los estudios moleculares, que han obtenido como resultado concluyente que es un género politípico con pocas especies, separándolo en dos grandes grupos: el de los pequeños o medianos caracoles, denominado *I. marmoratus* complex, y el de los grandes caracoles, denominado *I. gualtieranus* complex. Este estudio sigue esta última interpretación.

En este estudio se revisa la morfología de las conchas de las morfoespecies mayormente aceptadas, y se describen conquiológicamente las especies asignadas con las técnicas moleculares a *I. alonensis-like01* e *I. alonensis-like02*.

El mayor problema que se plantea la clasificación de especies mediante herramientas moleculares es que no pueden ser aplicadas directamente en el campo por los Técnicos Medioambientales lo que hace francamente difícil implementar medidas de actuación que redunden en su conservación. Además, el elevado riesgo de infección y, por lo tanto, de mortalidad que implica la realización de biopsias en animales silvestres para su posterior estudio molecular, hace que sea una técnica poco adecuada, aunque imprescindible en ciertas ocasiones.

Esto nos lleva a buscar una técnica alternativa que permita minimizar la manipulación para el reconocimiento *in situ* y, así, mejorar el manejo de las

poblaciones de estas especies. Con el fin de paliar la deficiencia aludida, este estudio desarrolla un método morfométrico que posibilita diferenciar las especies *in situ* con una elevada fiabilidad. Por tanto, se convierte en una herramienta de identificación específica muy útil para que los Técnicos Medioambientales puedan asignar a cada ejemplar encontrado en el campo la especie a la que corresponde, mejorando la información obtenida, como por ejemplo, delimitar geográficamente las diferentes poblaciones.

Este género endémico se considera amenazado, y por tanto los taxones que lo conforman también lo están. Entre los 16 taxones, hay 10 que presentan una distribución muy localizada, 5 cuentan con una distribución un poco más amplia que los anteriores, no dejando de ser reducida, y sólo una de estas especies presenta una amplia distribución. Pese a la escasa distribución de la mayoría de las especies, encontramos que sólo están catalogados con algún criterio de la IUCN 8 de las especies. Llamando la atención que la especie con mayor distribución esté catalogada como casi amenazada y sin embargo las otras siete restantes no se incluyen ni en esta categoría.

Por tanto, para contribuir a la conservación de las especies de moluscos, no es suficiente con tener en cuenta la delimitación de la distribución de sus poblaciones, es necesario poseer conocimientos sobre su biología (ciclo de vida, estructura y dinámica poblacional,...) y, en ciertas ocasiones, aplicar técnicas de cría en cautividad para efectuar refuerzos y repoblaciones en las áreas donde la situación es crítica.

Los datos publicados sobre la biología de las especies de este género son escasos por lo que este estudio se centra en dos de los taxones con mayor interés económico del género, por ser consumidos como alimento. Además son los únicos sobre los que existen estudios *ex situ* de su dinámica poblacional. Se trata de *I. gualtieranus gualtieranus* (Linnaeus, 1758) e *Iberus alonensis sensu lato* (Férussac, 1821), y más concretamente denominado “like 02”, ambos pertenecientes al grupo de *I. gualtieranus* complex. Al primero se le conoce con el nombre comercial de “chapa” y al segundo como “serrano”

---

*I. g. gualtieranus* o “chapa” presenta una distribución muy localizada: Sierra de Gádor y Cuevas de Almanzora en Almería, Sierra Elvira en Granada y Sierra de Jaén. En todas las zonas, el clima varía de termomediterráneo a xerothermomediterráneo, el sustrato presenta rocas calizas y dolomíticas con erosión de tipo kárstico y la vegetación existente se corresponde con la de un estado de degradación de un encinar. Las poblaciones conocidas son pequeñas y ampliamente separadas entre sí, mostrando una distribución equivalente a islas debido, *a priori*, a que en las zonas intermedias no se darían las condiciones favorables necesarias para su desarrollo. El principal aprovechamiento que se le da a esta especie es el gastronómico, siendo uno de los caracoles más apreciados y solicitados localmente en Almería y provincias colindantes, si bien su uso culinario se ha ido reduciendo a medida que disminuían los efectivos en la naturaleza.

A partir de la Ley 42/2007 se deduce que la utilización gastronómica o de cualquier tipo de estas especies debería catalogarse como furtivismo y dado que se trata de un bien cultural es aconsejable optar por la gestión de las poblaciones y regularizar sus capturas, aplicando medidas correctoras. Esta práctica de furtivismo ha contribuido a la extrema escasez actual en el medio natural, provocando su inclusión repetida en listados de especies amenazadas.

El “serrano” (*I. alonensis s.l.*) posee requerimientos ecológicos menos estrictos, lo que le permite vivir en una mayor amplitud de condiciones climáticas, tipos de suelo y vegetación, y presentar una distribución más amplia en Andalucía. Además sus poblaciones son más extensas, numerosas y comunicadas entre sí. Estas dos especies no comparten hábitats pero sí alrededores cercanos, dándose zonas de contacto donde aparecen híbridos. Estas zonas suelen ser menos cálidas, sin erosión kárstica y con vegetación menos degradada y suelos más desarrollados. Están en biotopos más umbríos, de mayor humedad relativa y vegetación correspondiente a una etapa sucesional avanzada.

En este apartado se realizará un estudio sobre la dinámica poblacional. Los resultados constan de varios apartados: condiciones ambientales durante el periodo de estudio; ciclos de actividad e inactividad; condiciones ambientales

determinantes de la estivación, hibernación y actividad; patrones de comportamiento de adultos y jóvenes durante la fase de actividad; mortalidad; crecimiento, estructura y dinámica poblacional.

El conocimiento de la biología de estas especies ayudará también al desarrollo del sector helicícola, para que puedan plantearse su cría en cautividad a gran escala. La cría de estos caracoles se convierte en una importante herramienta para la conservación y el desarrollo sostenible del sector, gestionando las recolecciones masivas en sus hábitats naturales y fomentando la cría de las especies en estado crítico de conservación, además de ser suministro de ejemplares para reintroducciones y reforzamientos que faciliten la recuperación de sus poblaciones.

El principal problema que sufren las especies de gasterópodos es el impacto directo de la acción humana, fundamentalmente por el desarrollo urbanístico desmesurado que ha sufrido la Península en los últimos años, lo que provoca la fragmentación y/o destrucción de sus hábitats. Otras amenazas importantes han sido también el avance de la agricultura intensiva, el control de plagas, que conlleva el uso de biocidas que afectan en su mayoría a estos animales o la recolección masiva e irracional por motivos alimenticios. Aquí debemos recordar que los caracoles son de los pocos animales terrestres que aún se capturan masiva y descontroladamente en España para luego ser comercializados con fines gastronómicos, ya que su cría zootécnica o helicicultura apenas cubre un 5% de la demanda existente en los mercados nacionales, lo que conlleva una drástica reducción de los efectivos naturales.

La especie *Iberus gualtierianus* s. str. fue catalogada como especie en peligro de extinción, clasificada como “casi amenazada”, categoría que ya fue empleada en 2008. A partir de los estudios moleculares del género se hizo una revisión que concluyó, en 2013 con la inclusión de varias de las especies del género en la lista roja de especies amenazadas de la IUCN. En la actualidad se considera que la sola catalogación de esta (y otras especies en peligro de extinción) no es útil en la práctica para su recuperación y conservación, sólo la gestión racional tendría ciertas opciones de “salvaguardar” la especie.

---

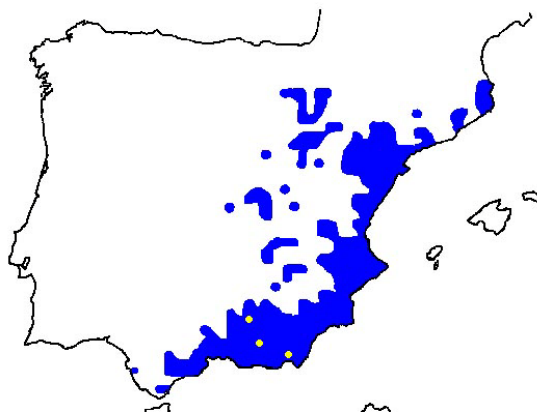
# 1 INTRODUCCIÓN

## **"Dinámica poblacional, taxonomía y conservación de algunas especies del género *Iberus*"**

### **INTRODUCCIÓN**

El género *Iberus* es un endemismo ibérico de gran importancia en la malacología terrestre ibérica. Pertenece a la familia Helicidae (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata) y fue descrito por Monfort en el año 1810. La especie tipo es *Iberus gualtieranus* (Cobos, 1979) que fue descrita por Linneo en 1758 como *Helix gualtierana* y fue descubierta en el año 1717 por Gualtieri, en cuyo honor recibe el nombre específico (García San Nicolás, 1957). Aunque han sido variadas las interpretaciones sistemáticas del género a lo largo de su historia (Puente, 1994), a finales del siglo pasado predominaba la consideración de ser un género constituido por un total de 20 morfoespecies de validez incierta, varias de las cuales ocupaban un área de distribución muy restringida (García San Nicolás, 1957). Estas especies fueron descritas fundamentalmente en base a datos conquiológicos, ya que la morfología del aparato reproductor no ofrece caracteres diagnósticos para cada una de ellas. Recientemente Elejalde y cols. (2005, 2008a y 2008b) ofrecen una nueva interpretación de la controvertida filogenia del género tras aplicar técnicas de sistemática molecular.

Este género es endémico de la Península Ibérica, extendiéndose por la región mediterránea, desde Gerona hasta Cádiz, incluyendo Aragón, Navarra, La Rioja, Madrid, Castilla la Mancha, Valencia, Murcia y todas las provincias de Andalucía a excepción de Sevilla y Huelva (García San Nicolás, 1957; Prieto, 1986; Puente y Prieto, 1992; Puente, 1994; Arrébola, 1995) (Figura 1). Debido a su importancia gastronómica, muchas de las citas en el norte de la Península (Gerona, Álava), habrían sido producto de la introducción por el ser humano para su consumo (Cobos, 1979; Puente y Prieto, 1992



**Figura 1.1.** Mapa de distribución del género *Iberus*

En cuanto a las interpretaciones sistemáticas de los autores, en general, se pueden agrupar en aquellas que lo consideran un género monotípico cuya única especie es politípica (Boettger, 1913), un género politípico que engloba a un gran número de especies (García San Nicolás, 1957), un género politípico con pocas especies (Cobos, 1979), un género monotípico cuya única especie es politípica (López-Alcántara y cols., 1985) o, finalmente, un género monotípico con una única especie polimórfica (Puente, 1994; Arrébola, 1995). Por último, los resultados obtenidos por los estudios moleculares de Elejalde y cols. (2005, 2008a y 2008b) concluyen que es un género politípico con pocas especies, separándolo en dos grandes grupos: el de los pequeños o medianos caracoles, denominado *I. marmoratus* complex, y el de los grandes caracoles, denominado *I. gualtieranus* complex. Esta es la interpretación que seguimos en el presente estudio.

Según los últimos estudios realizados en este género por Elejalde y colaboradores, los taxones nominales de *Iberus* agrupados según su morfología conquiológica son los siguientes (se han suprimido todos aquellos considerados sinónimos de alguno de éstos):

- Conchas globosas y peristoma simple:

*Iberus alonensis* (Férussac, 1821); *Iberus globosus* Boettger, 1913; *Iberus loxanus* (Rossmässler, 1854); *Iberus ornatissimus* Cobos, 1979; *Iberus mariae*

Cobos, 1979; *Iberus alcarazanus* (Guirao in Rossmässler, 1854); *Iberus ortizi* García San Nicolás, 1957; *Iberus carthaginiensis* (Rossmässler, 1854).

- Conchas globosas y peristoma ensanchado:

*Iberus lorcanus* (Rossmässler, 1854); *Iberus campesinus* (Ezquerria in Pfeiffer, 1846); *Iberus millarensis* (Kobelt, 1909); *Iberus pseudocampesinus* (Kobelt, 1909).

- Conchas aplanadas, última vuelta redondeada:

*Iberus marmoratus* (Férussac, 1821); *Iberus guiraoanus* (Rossmässler, 1854); *Iberus angustatus* (Rossmässler, 1854)

- Conchas aplanadas, última vuelta aquillada:

*Iberus gualtierianus* (Linnaeus, 1758); *Iberus laurenti* (Bourguignat, 1870); *Iberus gualtieroloxanus* García San Nicolás, 1949; *Iberus cobosi* Ibañez et Alonso, 1978; *Iberus umbilicatus* (Kobelt, 1909)

En el grupo *I. gualtierianus* complex, se situarían las siguientes subespecies y especies: *I. g. gualtierianus*, *I. g. mariae* e *I. g. ornatissimus*; *I. alonensis*, *I. campesinus*, *I. carthaginensis*, *I. alonensis-like01*, *I. alonensis-like02*. Mientras que el grupo *I. marmoratus* complex incluiría a: *I. angustatus*, *I. guiraoanus*, *I. marmoratus*. *I. ortizi* y una nueva especie pendiente de describir *I. nsp*

Si se contrastan las diferentes opiniones previas basadas en el estudio de las conchas y los resultados obtenidos con las técnicas moleculares, éstos se acercan bastante a la interpretación ofrecida por Cobos (1979), aunque no existe una coincidencia total entre las especies. Cobos citó como subespecies de *I. gualtierianus*: *I. g. laurenti* (Bourguignat, 1870), *I. g. mariae* (Cobos, 1979) e *I. g. ornatissimus* (Cobos, 1979).

Asignar un ejemplar a alguna de estas especies suele ser factible para los especialistas, utilizando caracteres conchológicos. Por el contrario, como se ha explicado, los caracteres anatómicos, difieren mínimamente en todo el género (Puente, 1994; Arrébola, 1995). Por esta razón, hasta la realización de los

estudios moleculares (Elejalde y cols. 2005, 2008a, 2008b), fue tan complejo establecer una sistemática consensuada en el género, ya que los caracteres disponibles impedían establecer relaciones filogenéticas entre todas las especies, bien porque la forma de la concha no permite discriminar los fenómenos de homoplasia (paralelismo, convergencia), bien porque en especies polimórficas se puede llegar a conceder una relevancia taxonómica a variaciones morfológicas que no poseen una base genética.

En este estudio se revisa la morfología de las conchas de las morfoespecies mayormente aceptadas, y se describen conquiológicamente las especies asignadas con las técnicas moleculares a *I. alonensis-like01* e *I. alonensis-like02* por Elejalde y cols. (2008a, 2008b).

El principal problema de la clasificación de especies mediante herramientas moleculares es que no pueden ser aplicadas directamente en el campo por los Técnicos Medioambientales, lo que hace francamente difícil implementar medidas de actuación que redunden en su conservación. Además, la realización de biopsias en animales silvestres para su posterior estudio molecular, implica un elevado riesgo de infección y, por lo tanto, de mortalidad en las poblaciones estudiadas, lo cual hace que sea una técnica poco adecuada, aunque imprescindible en ciertas ocasiones, sobre todo encontrándose en este grupo especies catalogadas por la IUCN desde vulnerables hasta en peligro de extinción ([www.redlist.org](http://www.redlist.org))

Esto hace necesario buscar una técnica alternativa que permita minimizar la manipulación para el reconocimiento *in situ* y, así, mejorar el manejo de las poblaciones de estas especies. Con el fin de paliar la deficiencia aludida, en la medida de lo posible, en este estudio se desarrolla un método morfométrico que posibilita diferenciar las especies *in situ* con una elevada fiabilidad. Por consiguiente, es una herramienta de identificación específica muy útil para que los Técnicos Medioambientales puedan asignar a cada ejemplar encontrado en el campo la especie que corresponde, y en consecuencia generar importante información derivada, como por ejemplo delimitar geográficamente las diferentes poblaciones. Todo ello, teniendo en cuenta que dicha herramienta no

suple los conocimientos de un taxónomo que será el único capaz de catalogar de manera específica cada ejemplar y cartografiar el área de distribución de las poblaciones de las diferentes especies y subespecies.

Por otra parte, la utilización de las variables morfológicas no sustituirá el uso de los estudios moleculares, que se harán imprescindibles en determinadas situaciones, como por ejemplo aquellas en las que no se puedan discriminar las especies con un alto grado de confianza, o cuando el ejemplar a identificar tenga un estado juvenil, ya que esta herramienta sólo es eficaz y fiable cuando se identifican ejemplares adultos. Lo que sí conseguirá este método es una mayor rapidez en la identificación de especies que redundará en beneficio de las poblaciones de estos gasterópodos amenazados.

Debido a que el género es un endemismo, las especies que lo conforman lo son por ende. Podemos destacar que entre las 16 especies, hay 10 que presentan una distribución muy localizada: *I. g. carthaginensis*, *I. campesinus*, *I. g. gualtieranus*, *I. alonensis-like02*, *I. nsp1*, *I. g. ornatissimus*, *I. cobosi*, *I. lorcanus*, *I. ortizi* e *I. g. rositai*. Otras 5 cuentan con una distribución un poco mayor que las anteriores: *I. alonensis-like01*, *I. marmoratus*, *I. angustatus*, *I. guiraoanus* e *I. loxanus*, aunque siguen siendo limitadas. Existiendo sólo una especie con una distribución amplia, como es *I. alonensis*. Pese a la escasa distribución de la mayoría de las especies, encontramos que sólo están catalogados con algún criterio de la IUCN 8 de las especies: *I. alonensis*, *I. campesinus*, *I. ortizi*, *I. carthaginensis*, *I. gualtieranus*, *I. guiraoanus*, *I. marmoratus* e *I. angustatus*. Siendo las 3 últimas de preocupación menor. Llamando la atención que la especie con distribución mayor del género esté catalogada como casi amenazada y no se incluyan todas las restantes.

Las actuaciones habituales para la conservación de especies de moluscos, no sólo están relacionadas con la delimitación de la distribución de sus poblaciones (la IUCN establece como criterios la reducción de las poblaciones, el rango de la distribución de las poblaciones y subpoblaciones, el tamaño de las mismas y la estimación de la probabilidad de extinción de los taxones, basada en el conocimiento de la biología de los mismos), sino que idealmente es necesario poseer conocimientos sobre su biología (ciclo de vida, estructura

---

y dinámica poblacional, ...) y, en ciertas ocasiones, aplicar técnicas de cría en cautividad para efectuar refuerzos y repoblaciones en las áreas donde la situación es crítica.

Los datos publicados sobre la biología de las especies de este género son escasos: se reducen a los realizados por García San Nicolás (1957) y los cultivos *ex situ* realizados por Rodríguez Perochena (2006), concernientes a la dinámica y estructura de la población, la mortalidad y las causas que la provocan, los hábitats donde viven, etc.

El bloque dedicado al estudio de la biología del género, se enfoca en dos de los taxones con mayor interés económico del género, al ser consumidos como alimento, además de ser los únicos sobre los que existen estudios *ex situ* de su dinámica poblacional, realizados por Rodríguez Perochena (2006). Se trata de *I. gualtieranus gualtieranus* (Linnaeus, 1758) e *Iberus alonensis sensu lato* (Férussac, 1821), y más concretamente denominado “like 02” por Elejalde y cols. (2008b), ambos pertenecientes al grupo de *I. gualtieranus* complex. Al primero se le conoce con el nombre comercial de “chapa” y al segundo como “serrano”.

*I. g. gualtieranus* o “chapa” presenta una distribución muy localizada: Sierra de Gádor y Cuevas de Almanzora en Almería, Sierra Elvira en Granada y Sierra de Jaén (Elejalde y cols., 2005). Basándonos en los datos aportados por Alonso y cols. (1985) podemos afirmar que en todas las zonas, el clima varía de termomediterráneo a xerothermomediterráneo, el sustrato presenta rocas calizas y dolomíticas con erosión de tipo kárstico y la vegetación existente se corresponde con la de un estado de degradación de un encinar, en estado subarbusitivo-arbusitivo con comunidades saxícolas (correspondientes a etapas de regresión de bosque climácico) (Rivas-Martínez, 2005). Las poblaciones conocidas son pequeñas y ampliamente separadas entre sí, mostrando una distribución equivalente a islas debido, a priori, a que en las zonas intermedias no se darían las condiciones favorables necesarias para su desarrollo (Moreno-Rueda, 2011). Según Elejalde y cols. (2005) y Moreno-Rueda, (2006c) de estas cuatro ubicaciones sólo la primera correspondería a la población original de

este molusco, siendo las otras tres introducciones antrópicas que perduraron en el tiempo por existir las condiciones necesarias para ello. Como se ha aludido, el principal aprovechamiento que se le da a esta especie es el gastronómico, siendo uno de los caracoles más apreciados y solicitados localmente en Almería y provincias colindantes, si bien su uso culinario se ha ido reduciendo a medida que disminuían los efectivos en la naturaleza (Arrébola & Álvarez, 2001; Arrébola, 2002). Desde el punto de vista de la legislación ambiental, la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, art. 52.3 indica:

“Queda prohibido dar muerte, dañar, molestar o inquietar intencionadamente a los animales silvestres, sea cual fuere el método empleado o la fase de su ciclo biológico.

Esta prohibición incluye su retención y captura en vivo, la destrucción, daño, recolección y retención de sus nidos, de sus crías o de sus huevos, estos últimos aun estando vacíos, así como la posesión, transporte, tráfico y comercio de ejemplares vivos o muertos o de sus restos, incluyendo el comercio exterior.”.

Esto quiere decir que la utilización gastronómica o de cualquier tipo de estas especies, al estar incurriendo en una práctica ilegal, se debería catalogar como furtivismo y dado que se trata de un bien cultural, es aconsejable optar por la gestión de las poblaciones y regularizar sus capturas, aplicando medidas correctoras. Las recolecciones furtivas han contribuido a la extrema escasez actual en el medio natural, hecho que ha contribuido a su inclusión repetida en listados de especies amenazadas.

El serrano (*I. alonensis s.l.*) posee requerimientos ecológicos menos estrictos que la anterior especie, lo que le permite vivir en una mayor amplitud de condiciones climáticas, tipos de suelo y vegetación, y presentar una distribución más amplia en Andalucía. Además sus poblaciones son más extensas, numerosas y comunicadas entre sí. Si nos fijamos en los registros fósiles encontrados (Nerja, Huescar, Guadix y Cuevas de Almanzora) (Cobos, 1979; Vera-Peláez y cols. 2003; de Pablo y cols., 2014) no han variado los límites de

distribución de la especie. Nunca aparecen compartiendo hábitats con las "chapas" pero sí en sus alrededores (con zonas de contacto donde existen híbridos), viviendo en zonas menos cálidas, sin erosión kárstica y con vegetación menos degradada y suelos más desarrollados y continuos a partir de margocalizas y margas (Moreno-Rueda, 2011). Suelen estar en biotopos más umbríos, de mayor humedad relativa y vegetación correspondiente a una etapa sucesional avanzada, próxima al bosque climácico correspondiente (Rivas-Martínez, 2005).

El conocimiento de la biología de estas especies ayudará también al desarrollo del sector helicícola, ya que en la actualidad sólo se han publicado los datos de cría *ex situ* realizados por Rodríguez Perochena (2006), para que puedan plantearse su cría en cautividad a gran escala. La helicultura o cría de estos caracoles se convierte, de esta forma, en una herramienta importante para la conservación y el desarrollo sostenible del sector, gestionando las recolecciones masivas en sus hábitats naturales y fomentando la cría de las especies en estado crítico de conservación, además de ser suministro de ejemplares para reintroducciones y reforzamientos que faciliten la recuperación de sus poblaciones (Suarez-Esteban, 2011).

El principal problema que sufren las especies de gasterópodos es el impacto directo de la acción humana, que provoca la fragmentación y/o destrucción de sus hábitats por diferentes motivos, principalmente, por el desarrollo urbanístico desmesurado que ha sufrido la Península en los últimos años. También el avance de la agricultura intensiva y el control de plagas, que conlleva el uso de biocidas que afectan en su mayoría a estos animales o la recolección masiva e irracional por motivos alimenticios (Moreno-Rueda, 2011). Se debe recordar que los caracoles son de los pocos animales terrestres que aún se capturan masiva y descontroladamente en España para luego ser comercializados con fines gastronómicos, mientras que su cría zotécnica o helicultura apenas cubriría un 5% de la demanda existente en los mercados nacionales. El resultado, tras muchos años de incidir en las poblaciones, es la drástica reducción de los efectivos naturales (Arrébola y cols. 2007).

Tradicionalmente a los caracoles terrestres, a pesar de que forman parte de la fauna silvestre, y representan un patrimonio natural a mantener y conservar, se les ha dedicado poca atención, en general, hasta el punto de que existen pocos inventarios de gasterópodos terrestres en nuestro país. Todo ello, aunque algunas especies se encuentren en condiciones poco recomendables de conservación y hayan sido incluidas en catálogos y/o listas rojas internacionales, nacionales y autonómicas de especies amenazadas a proteger. Arrébola (2002) propuso que la especie *Iberus gualtierianus* s. str. fuera catalogada como especie en peligro de extinción, hasta entonces clasificada como “casi amenazada”, categoría que ya fue empleada en 2008 (Barea-Azcón *et al.* 2008). A raíz de los estudios moleculares del género se hizo una revisión que concluyó en 2013 con la inclusión de varias de las especies del género en la lista roja de especies amenazadas de la IUCN. En la actualidad se considera que la sola catalogación de ésta (y otras especies en peligro de extinción) no es útil en la práctica para su recuperación y conservación, más aún, de acuerdo con Arrébola (*com. pers.*), sólo la gestión racional del recurso “chapa”, potenciando el desarrollo de su helicultura haciendo partícipes tanto a helicultores como a la sociedad que la consume, tendría ciertas opciones de “salvaguardar” la especie.

En resumen, los objetivos del presente trabajo se dividen en tres bloques:

- El primer bloque se dedica a la taxonomía. Los objetivos de este bloque son: describir conquiológicamente las dos nuevas especies del complejo *I. gualtierianus* (*I. alonensis-like01* y *like02*, según Elejalde y cols. 2008b), y conseguir un método de diferenciación de todas las especies y subespecies del género *Iberus*, realizando un estudio morfométrico basado en la conquiología.
- El segundo bloque tiene como objetivo principal diseñar una herramienta que permita el uso *in situ* para el reconocimiento de las especies y subespecies del género *Iberus*, disminuyendo la manipulación de los ejemplares. Para su desarrollo se aplican los resultados obtenidos en el bloque de taxonomía.

- Y el tercer, y último bloque, tiene por objetivo describir la biología de las poblaciones de dos caracoles del género, la subespecie *I. g. gualtieranus* y la especie *I. alonensis-like02*. En ambos casos se aportan nuevos datos para el mejor conocimiento de su biología en base a sus ciclos vitales, dinámica y estructura poblacional, mortalidad y las causas que la provocan.

# 2.TAXONOMÍA

Taxonomía conquiológica aplicada al género *Iberus*

---

## INTRODUCCIÓN

El género *Iberus* ha tenido una elevada controversia en cuanto a la asignación de categorías taxonómicas a los diferentes taxones que lo forman. Para ver las diferencias expresadas por todos los especialistas que han estudiado este género, a continuación se hará un resumen de las diferentes opiniones que han ido dando a lo largo de la historia.

El primero en estudiar el género fue Boettger (1913) que concluyó que era un género monotípico, con una sola especie polítipica. Y esta especie presentaba 11 subespecies con una gran variabilidad morfológica. Las subespecies que consideraba eran: *I. g. alonensis*, *I. g. campesinus*, *I. g. carthaginensis*, *I. g. globulosus*, *I. g. gualtieranus*, *I. g. intermedius*, *I. g. laurenti*, *I. g. lorcanus*, *I. g. pseudocampesinus*, *I. g. loxanus*, *I. g. umbilicatus*. Pudiéndose observar entre ellas distintas formas intermedias que constituyen gradaciones de unas a otras.

En el lado opuesto, García San Nicolás (1957) y Ortiz de Zárate (1991) mantuvieron que era un género polítipico, considerando como especies la mayoría de las formas, más concretamente García San Nicolás considera 17 especies, 6 subespecies y variaciones a las que denomina "modificaciones".

En una posición intermedia, Cobos (1979) considera que el género es polítipico y está comprendido por pocas especies, basándose en el gran número de formas intermedias que encuentra entre *I. gualtieranus* e *I. alonensis*. Además observa varias series morfológicas (alonensis-intermedius-laurenti-gualtieranus; alonensis-lorcanus-campesinus; alonensis-loxanus-rositai) lo que le lleva a pensar que todas estas "formas" deben quedar incluidas en una única especie que debe denominarse *Iberus gualtieranus*.

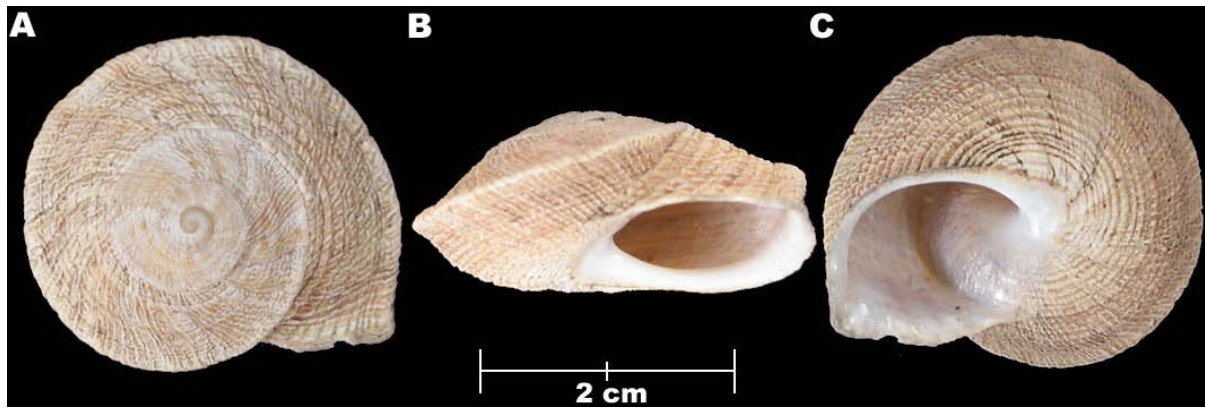
Pero la idea más defendida es la de que está formado por 4 especies, aunque varían según los autores: López Alcántara y cols., (1982, 1983; 1985) y Alonso y cols., (1985) consideran que existen únicamente cuatro especies: *I. gualtieranus*, *I. marmoratus*, *I. guiraoanus* e *I. alcarazanus*. Coinciden con Cobos (1979) en considerar la existencia de dos subespecies o ecotipos dentro de *I. gualtieranus*: *I. gualtieranus gualtieranus* e *I. gualtieranus alonensis*,

habiéndose originado el primero a partir del segundo en tres lugares diferentes, como resultado de adaptaciones a ambientes especiales y semejantes. De la misma opinión son Prieto (1986) y Fechter y Falkner (1993), que consideran que las cuatro especies que presenta el género son: *I. marmoratus*, *I. guiraoanus*, *I. alcarazanus* e *I. gualtieranus*. Por el contrario, Aparicio (1983a y 1983b) y Aparicio y Ramos (1988) consideran que *Iberus gualtieranus* e *Iberus alonensis* son especies bien definidas, además de *I. marmoratus* e *I. guiraoanus*. Puente, en 1994 y Arrébola, en 1995, llegan a la conclusión que el género es monotípico, y que presenta una única especie polimórfica. Conclusión a la que llega Puente (1994) al no encontrar patrones anatómicos claros que se correspondan biunívocamente con patrones conquiológicos y/o corológicos. Para esta autora todos los taxones nominales son sinónimos de *I. gualtieranus*.

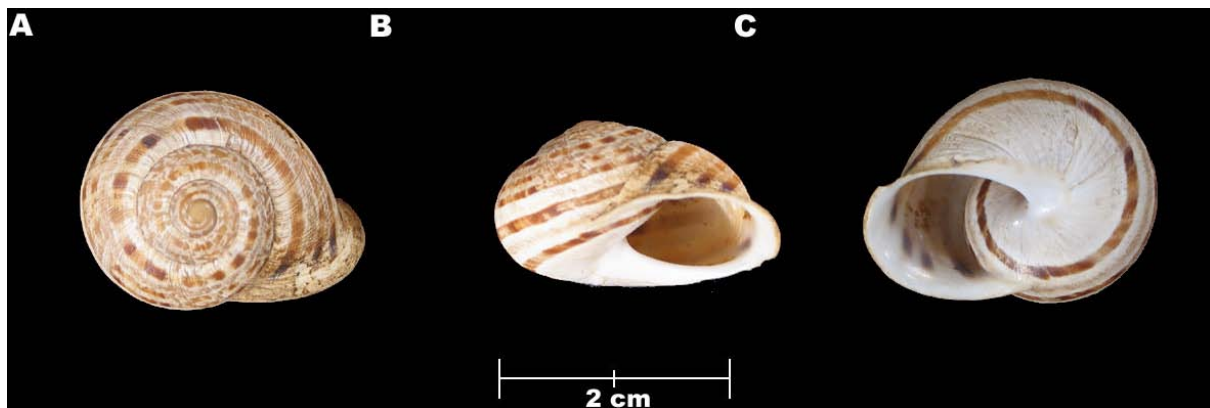
No obstante Puente (1994) indica que se necesita profundizar en el estudio de este género para comprobar la validez de su hipótesis, siendo necesarias otras fuentes de información diferentes al estudio de la concha y de la genitalia.

Así Elejalde y cols. (2005, 2008a y 2008b), analizando dos fragmentos del ADN mitocondrial (COI y 16s RNA) llegan a la conclusión de que el género está formado por 15 especies y 3 subespecies, aunque no descartan la posibilidad de la existencia de nuevas especies, que se separan en dos grandes grupos: el de los pequeños o medianos caracoles, denominado *I. marmoratus* complex, y el de los grandes caracoles, denominado *I. gualtieranus* complex.

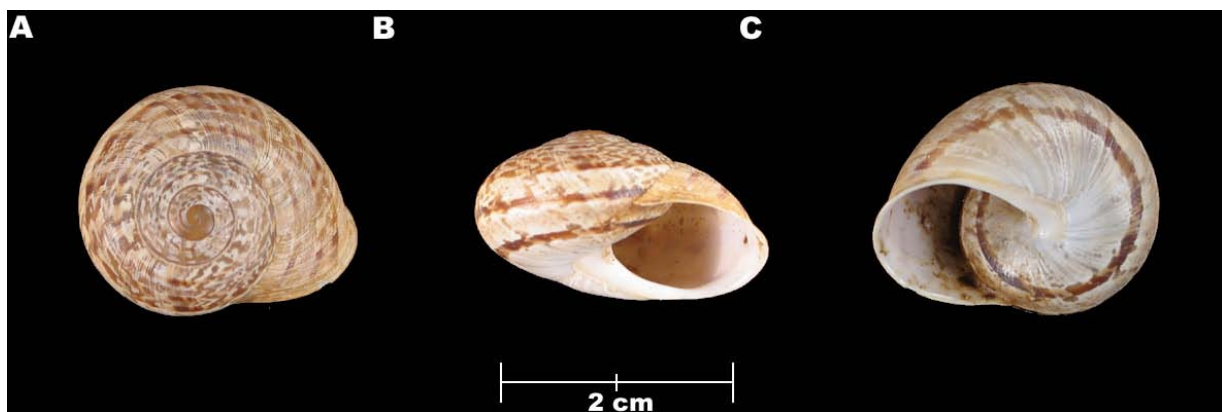
En el grupo *I. gualtieranus* complex, se situarían las especies: *I. gualtieranus*, con las subespecies *I. g. gualtieranus* (Linnaeus, 1758) (Figura 2.1), *I. g. mariae* (Cobos, 1979) (Figura 2.2) e *I. g. ornatissimus* (Cobos, 1979) (Figura 2.3); *I. alonensis* (Férussac, 1821) (Figura 2.4), *I. campesinus* (Ezquerria in Pfeiffer, 1846) (Figura 2.5), *I. carthaginensis* (Rossmässler, 1854) (Figura 2.6), *I. alonensis-like01* (Figura 2.7) e *I. alonensis-like02* (Figura 2.8).



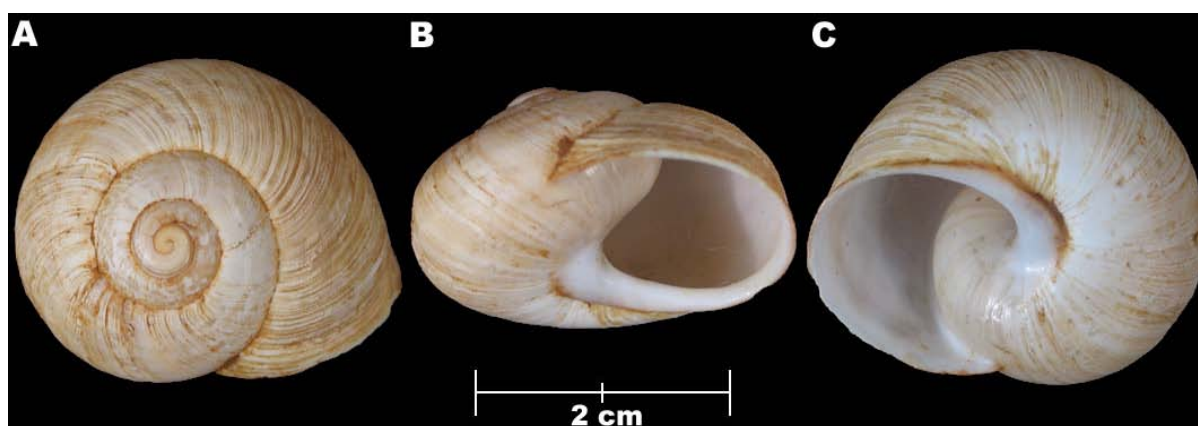
**Figura 2.1.** Concha de *I. g. gualtieranus*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral.



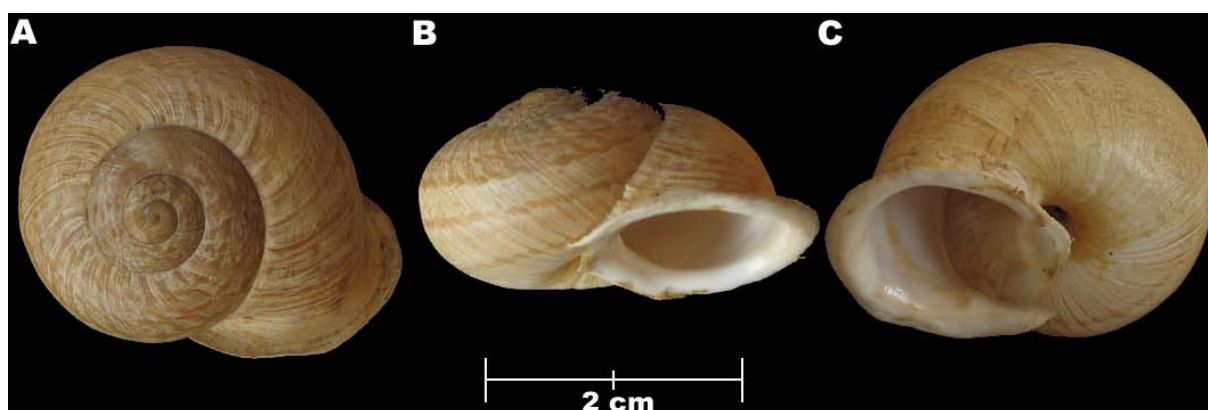
**Figura 2.2.** Concha de *I. g. mariae*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral.



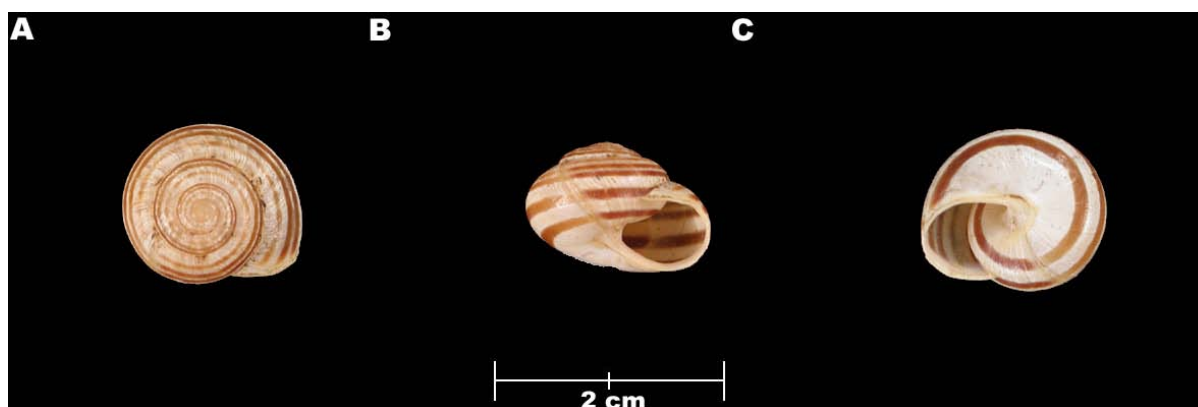
**Figura 2.3.** Concha *I. g. ornatissimus*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral.



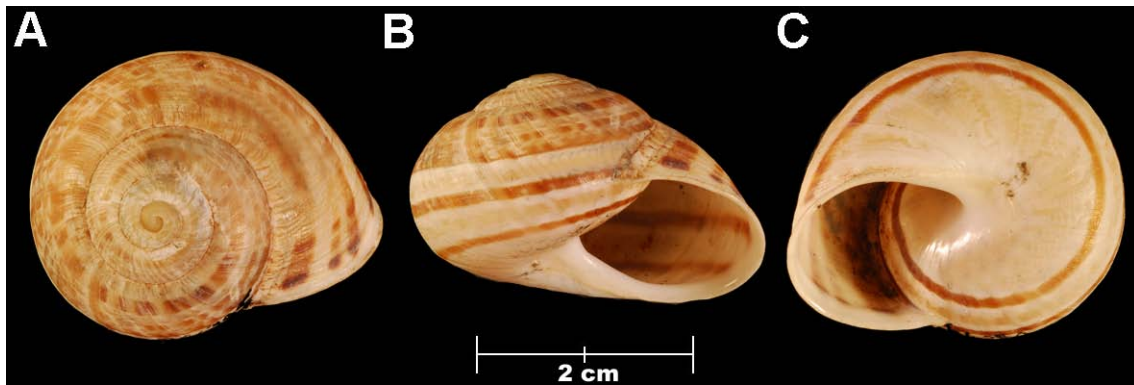
**Figura 2.4.** Concha de *I. alonensis*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral.



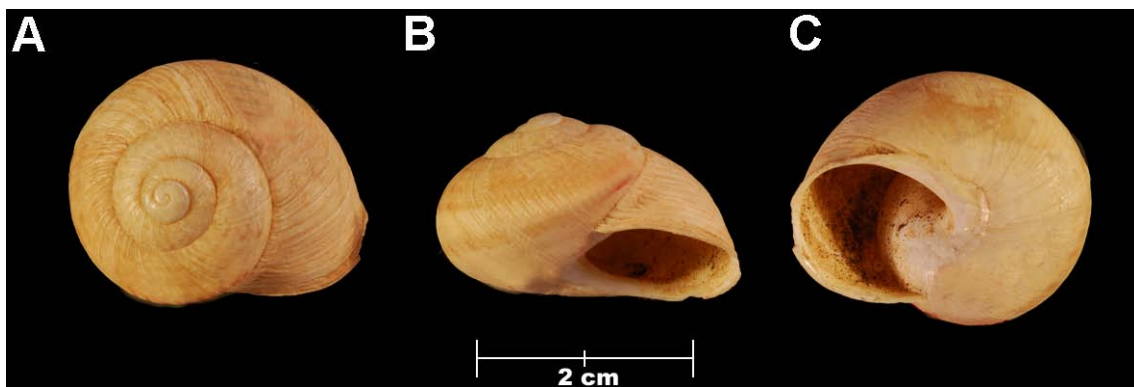
**Figura 2.5.** Concha de *I. campesinus*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral.



**Figura 2.6.** Concha de *I. carthaginiensis*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral.

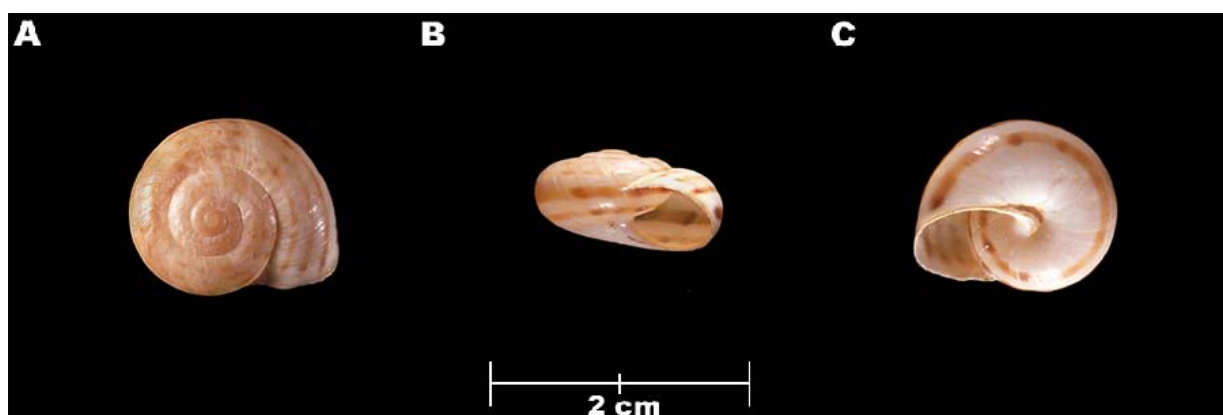


**Figura 2.7.** Concha de *I. alonensis-like01*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral (Foto cedida por Antonio Ruiz).

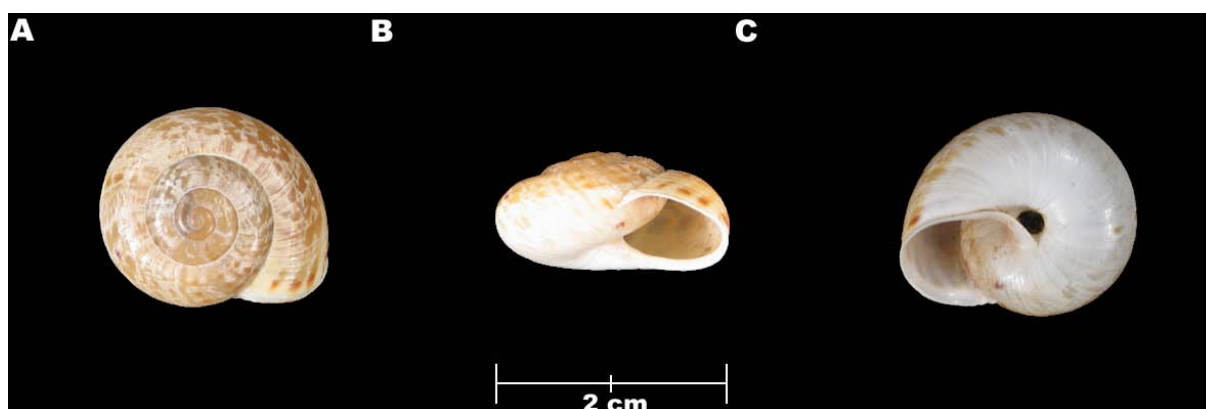


**Figura 2.8.** Concha de *I. alonensis-like02*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral (Foto cedida por Antonio Ruiz).

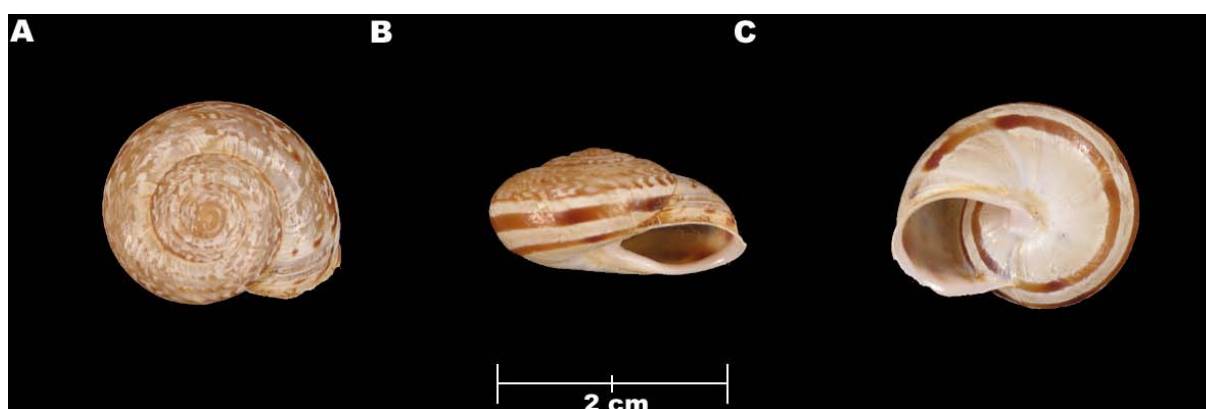
Mientras que el grupo *I. marmoratus* complex incluiría a: *I. angustatus* (Rossmässler, 1854) (Figura 2.9), *I. guiraoanus* (Rossmässler, 1854) (Figura 2.10), *I. cobosi* (Ibañez y Alonso, 1978) (Figura 2.11), *I. loxanus* (Rossmässler, 1854)(Figura 2.12), *I. lorcanus* (Rossmässler, 1854) (Figura 2.13), *I. marmoratus* (Férussac, 1821) (Figura 2.14), *I. rositai* (Fez, 1950) (Figura 2.15), *I. ortizi* (García San Nicolás, 1957) (Figura 2.16) y una nueva especie pendiente de describir *I. nsp1*. No obstante, estos autores no descartan que la especie *I. marmoratus* esté formada por un grupo de especies o subespecies.



**Figura 2.9.** Concha de *I. angustatus*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral (Foto cedida por Antonio Ruiz).



**Figura 2.10.** Concha de *I. guiroanus*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral.



**Figura 2.11.** Concha de *I. loxanus*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral.

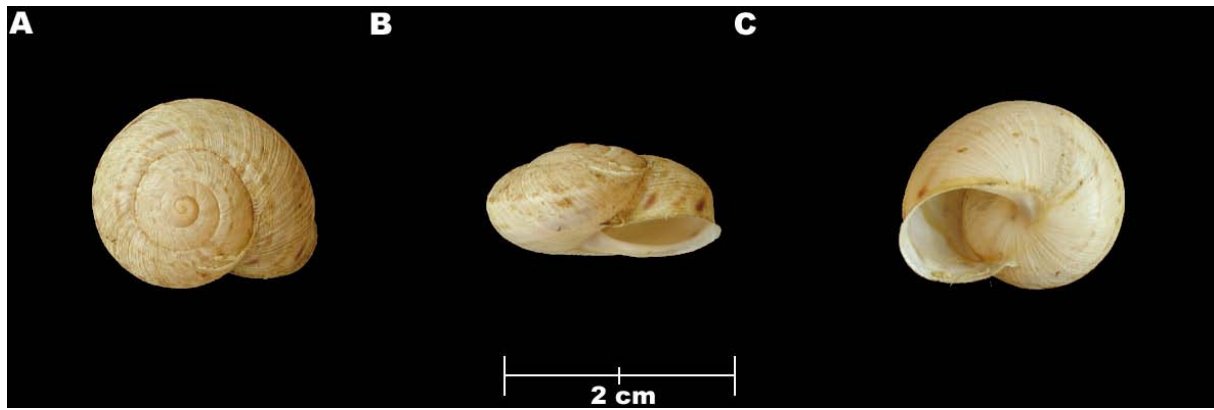


Figura 2.12. Concha de *I. lorcanus*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral.

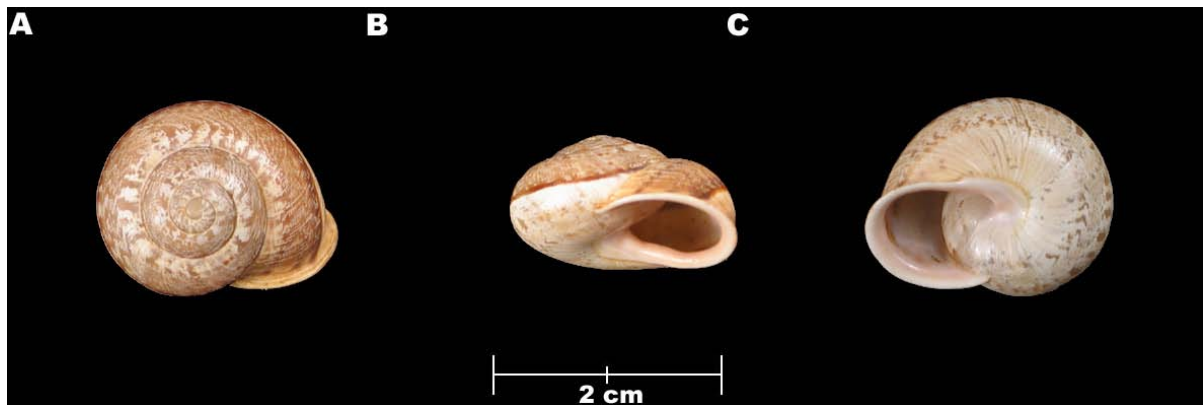


Figura 2.13. Concha de *I. marmoratus*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral.

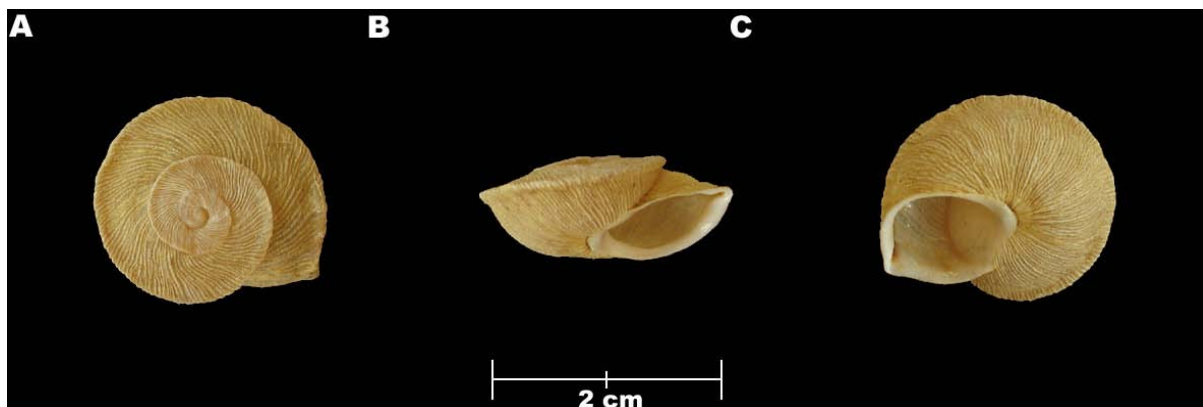
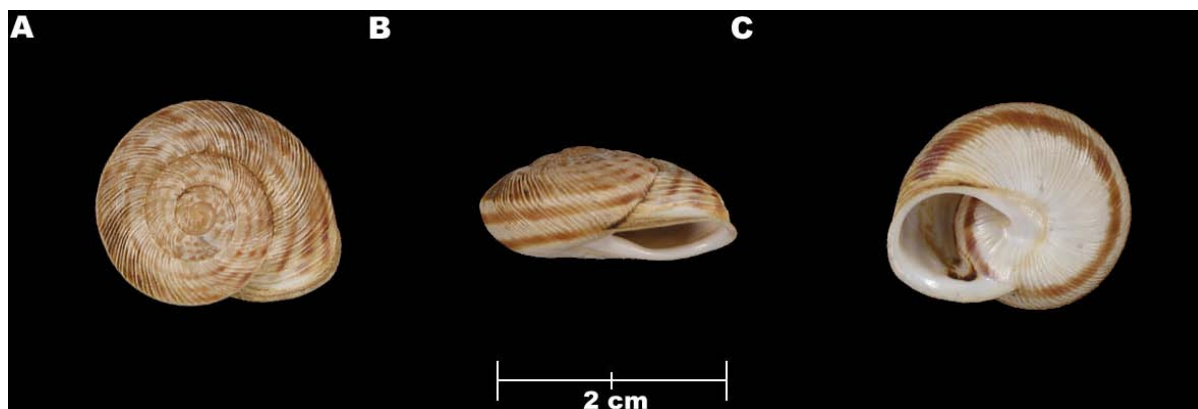
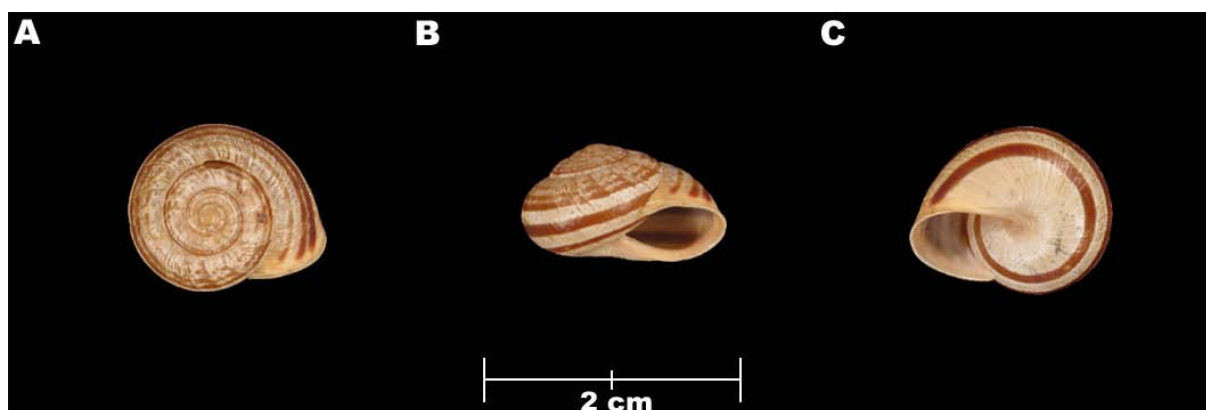


Figura 2.14. Concha de *I. cobosi*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral.



**Figura 2.15.** Concha de *I. rositai*. A) Vista dorsal. B) Vista frontal. C) Vista ventral.



**Figura 2.16.** Concha de *I. ortizi*. A) Vista de la cara superior. B) Vista frontal. C) Vista de la cara inferior.

Debido a que no se ha logrado diferenciar anatómicamente las diferentes especies y subespecies de *Iberus* (Puente, 1994; Arrébola, 1995; y Rodríguez Perochena, 2006), desde los primeros estudios sobre el género, los expertos como García San Nicolás (1957), Cobos (1979), López-Alcántara (1985) entre otros, han conseguido diferenciar los taxones por las diferentes características de sus conchas y, por último, debido a que con los avances de los últimos años la distinción se ha conseguido con complejas técnicas moleculares (Elejalde y cols., 2005), se hace necesaria una herramienta con la que los Técnicos de la Administración puedan identificar los ejemplares *in situ*, sólo por la morfología de su concha y con el menor error posible, sin necesidad de aplicar técnicas moleculares, que conllevan un tiempo y unos recursos económicos que suelen ser más bien escasos.

En este sentido, López Alcántara y cols. (1985) realizaron una investigación sobre la variabilidad conquiológica de *I. gualtieranus*, determinando un modelo evolutivo entre los diferentes morfotipos que conforman esta especie. Basándonos en las variables utilizadas en dicho estudio y en el posterior de Alonso y cols. (2006), en este trabajo se realiza un estudio morfométrico para buscar las funciones discriminantes que permitan diferenciar las distintas especies y subespecies pertenecientes al género *Iberus*, de forma que sólo se realicen análisis genéticos en aquellos grupos en los que no sea posible su caracterización conquiológica.

El desarrollo de esta herramienta surge como un intento de solución a varios problemas que hemos encontrado a la hora de poder delimitar las poblaciones de cada especie y subespecies, como son la imposibilidad de realizar pruebas genéticas en el campo y el elevado coste en tiempo y dinero que conllevan estos análisis, además del elevado riesgo de infección que implica realizar biopsias a los individuos en su hábitat natural, pudiendo conllevar la muerte de los mismos en muchos casos.

Para diferenciar las especies, se van a utilizar dos métodos distintos q, una vez que se hayan realizado los análisis con ambos, se compararan para ver cuál de los dos presenta un mayor porcentaje de identificaciones correctas para el caso concreto del género *Iberus*.

Para el primer método utilizamos el método clásico llamado actualmente morfometría clásica o tradicional (Marcus 1990, Reyment 1991) o morfometría multivariante (Blackith y Reyment, 1971) que consiste en aplicar métodos estadísticos multivariantes a un conjunto de variables morfológicas. En nuestro caso, se utilizan las mismas medidas que utilizaron López Alcántara y cols. (1985), pero las analizamos con un análisis discriminante, en vez de mediante regresiones, para conseguir una herramienta que sea capaz de diferenciar las especies en función de sus diferencias morfométricas.

Existe un nuevo enfoque que surgió a finales de los años 80, que también vamos a utilizar, para comparar los dos métodos. A este nuevo enfoque Rohlf y Marcus (1993) lo llamaron "Morfometría Geométrica", y en vez de centrarse en

---

el análisis multivariante de un conjunto de medidas lineales entre puntos morfométricos, propone estudiar los cambios en el tamaño y la forma a partir del desplazamiento en el plano (2D) o en el espacio (3D) de un conjunto de puntos morfométricos a los que denomina "landmarks". Un landmark es un punto en un espacio bidimensional o tridimensional que corresponde a la posición de un rasgo en particular en un objeto, los landmarks pueden ser puntos precisos en el objeto que muestren algún significado filogenético, estructural, funcional o de desarrollo (Lele y Richtsmeier ,2001). Además, no son dimensiones lineales, sino caracteres basados en coordenadas y a partir de ellos se puede deducir la forma de los organismos para después estudiarla y compararla por medio de los métodos apropiados para describir y analizar las diferencias. La relación espacial en dos o tres dimensiones de estos landmarks siempre se conserva a lo largo de todo el análisis, lo que permite "reconstruir" con tanta precisión como se desee la forma y el tamaño del espécimen estudiado (González-José, 2007).

Según González-José (2007), la morfometría geométrica tiene ventajas e inconvenientes con respecto a la morfometría clásica. La mayor ventaja es que no es necesario decidir de antemano las variables a medir ya que los análisis han sido diseñados para indicar las direcciones de la máxima variación, pudiendo deducir las variables a utilizar para que los resultados que se obtengan sean los más relevantes. Y una limitación muy importante es que en muchas ocasiones no se pueden tomar el número de landmarks suficiente para poder capturar la forma deseada.

Esta limitación se debe a que existen diferentes tipos de landmark y no todos tienen explicación biológica. Todos los autores los clasifican en tres tipos, aunque cada uno de ellos los denomina de diferentes formas. Bookstein (1991) los llama de tipo I, II y III, mientras que para Dryden y Mardia (1998) son anatómicos, matemáticos y pseudolandmark, y para Lele y Richtsmeier (2001) son tradicionales, confusos y construidos.

Los tradicionales, anatómicos o de tipo I, son los que la homología entre individuos se respalda por una sólida evidencia o significación biológica. Los

matemáticos, confusos o de tipo II, son aquellos en los que la homología sólo se respalda por la geometría. Y por último los pseudo-landmarks, construidos o de tipo III, son coincidentes y se refieren a puntos localizados en cualquier lugar a lo largo de un contorno o entre dos landmarks anatómicos o matemáticos.

En el caso de los gasterópodos terrestres, sólo existe un landmark anatómico que es el que está situado en el ápice y por este motivo no se debería utilizar este método de análisis morfométrico (González-José, 2007).

Existe algún estudio de moluscos que se ha realizado con esta técnica, como es el de Camama y cols. (2014) y Solas y cols. (2015), en el que utilizan puntos homólogos pensando que son de tipo I cuando son de tipo III, y pese a ello, consiguen demostrar las hipótesis que se habían planteado. En otros como Morais y cols. (2015) los landmarks seleccionados si son de tipo I.

En aquellos casos en los que es difícil establecer los puntos morfométricos homólogos, se puede estudiar la silueta de una forma capturando la secuencia de puntos que definen su contorno. Dependiendo del tipo de contorno, se estudia de una u otra manera.

Existen dos tipos de contornos: los que se corresponden con curvas abiertas, es decir, curvas a lo largo de dos landmarks de un contorno; y los que comprenden curvas cerradas, en estos el contorno empieza a estudiarse por un landmark homólogo. También, en algunos casos, se usa un landmark adicional como punto de referencia para el origen del sistema de coordenadas (Rohlf, 1990).

En nuestro caso serían del segundo tipo, al ser una curva cerrada y contar con un landmark homólogo, y este otro tipo de análisis es una técnica muy efectiva y que da buenos resultados, en estos casos, como dicen Carvajal-Rodríguez y cols. (2006). Así que, además del análisis discriminante convencional vamos a comprobar cómo de efectivo es en nuestro caso concreto del estudio morfogeométrico del género *Iberus*.

El análisis de contornos utiliza la técnica de Fourier (Rohlf y Archie, 1984; Foote, 1989; Rohlf, 1990; Temple, 1992), que ha demostrado ser altamente efectivo para analizar los contornos de hojas y plantas (Kuhl and Giardina, 1982), ya que la cuantificación de los contornos es un requisito previo para poder evaluar la herencia de los caracteres morfológicos en genética cuantitativa (Iwata y cols., 1998; Iwata y cols., 2000; Iwata y cols., 2002a; Iwata y cols., 2002b; Uga y cols., 2003; Iwata y cols., 2004a; Iwata y cols., 2004b)

Hay que tener en cuenta que estos análisis sólo se pueden realizar utilizando individuos adultos. En ningún caso, los resultados que se obtengan para individuos juveniles serán fiables, debido a su alta variabilidad. Se considera que un individuo ha alcanzado la madurez cuando presenta un peristoma reflejado (Wolda, 1970; Pollard, 1975; Potts, 1975; Williamson, 1976; Oosterhoff, 1977; Crook, 1980; Baur, 1988; Rodríguez Perochena, 2006).

Como decíamos, los individuos que todavía no han alcanzado el estado adulto pueden no haber terminado la formación de su concha, este hecho afectaría a la toma de datos necesarios para la discriminación de dicho ejemplar. Así, en el caso de juveniles, se tendrá que optar por análisis moleculares que son los únicos fiables para estos ejemplares.

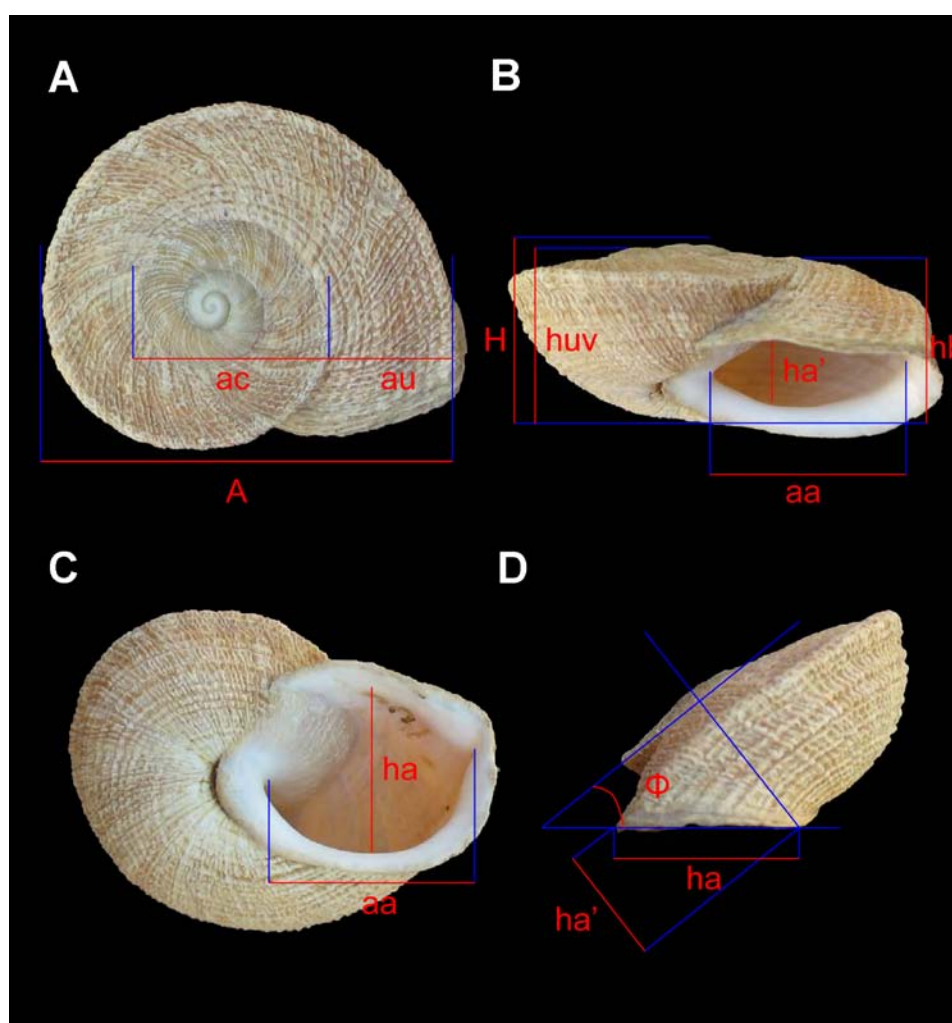
Para conseguir funciones más precisas, se realiza el análisis por separado para cada uno de los complejos. En el caso de las dos nuevas especies del complejo *I. gualtieranus*, se realizará un análisis discriminante sólo de esas dos especies, para obtener las variables que mejor las diferencian.

## **MATERIAL Y METODOS**

Para saber si las distintas especies y subespecies del género *Iberus* son discriminables a partir de las variables medidas se han utilizado los ejemplares de las colecciones de Hidalgo, Paz y Membiela, Azcoitia, Ortiz de Zárate, García San Nicolás y Cobos depositadas en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid, así como los de las colecciones particulares de los Dres. Puente, Arrébola, Gómez Moliner y Muñoz. Además de la colección particular

de D. Antonio Ruiz, el mayor experto actual en el reconocimiento conquiológico de este grupo de moluscos.

En base a los estudios moleculares realizados por Elejalde y cols. (2005) y Elejalde y cols. (2008a y 2008b), se catalogaron todos los ejemplares y se procedió a fotografiarlos y digitalizarlos con una cámara Canon Power Shot Pro I. De cada ejemplar se tomaron cuatro fotografías, correspondientes cada una de ellas a los planos dorsal, ventral, frontal y lateral (Figura 2.17), de todas las conchas a estudiar, a la misma distancia del objetivo de la cámara, y con la misma distancia focal, a fin de no variar la escala preestablecida.



**Figura 2.17:** Diferentes vistas de una concha de *Iberus gualtieranus* A) Vista dorsal; B) Vista frontal; C) Vista basal y D) Vista lateral

Una vez digitalizadas las colecciones se obtuvieron las medidas de las variables propuestas por López Alcántara y cols. (1985), que son (Figura 2.17):

- H: altura total (desde el punto más bajo al ápice)
- hb: altura de la base (desde el punto más bajo al punto de diámetro máximo o quilla).
- huv: altura de la última vuelta de espira.
- A: anchura máxima (diámetro, sin incluir el peristoma)
- au: anchura de la espira al final de la ontogenia (sin incluir el peristoma).
- ac: anchura total de las vueltas centrales (vista dorsalmente).
- ha: altura de la abertura.
- ha': altura aparente de la abertura.
- aa: anchura de la abertura.

Todas las medidas se obtuvieron con el programa analizador de imágenes Sigma Scan Pro Image Análisis (Versión 5.0.0.).

Para el segundo método, que diferencia ejemplares en función del contorno de su concha, se utilizó el paquete informático SHAPE ver 1.3, desarrollado por Iwata y Ukai en 2002, procediendo a analizar los contornos de los ejemplares utilizando la técnica de los descriptores elípticos de Fourier. Este paquete está formado por cuatro programas: ChainCoder, Chc2Nef, PrimComp y PrinPrint.

Para llevar a cabo estos análisis se utilizan las fotografías frontales de cada ejemplar (Figura 2.17 B).

Antes de comenzar a utilizar este paquete, es necesario que las imágenes a analizar estén en formato bitmap con fondo negro e imagen en blanco, para lo cual se utilizó el programa Adobe Photoshop CS4.

---

Una vez que todas las imágenes a analizar están en formato bitmap y en blanco y negro, se procedió a su análisis, usando en primer lugar el programa ChainCoder. Este primer programa, después de analizar una a una cada imagen, es capaz de trazar los contornos de los objetos y los transforma en una cadena lineal, obteniendo un archivo con una matriz formada por dichas cadenas.

A partir de la matriz con los contornos codificados para cada individuo, se calculan los coeficientes de los descriptores de Fourier normalizados, según Kuhl and Giardina (1982). Para ello, se emplea un segundo programa, llamado Chc2Nef. Lo primero es realizar la normalización de los datos aplicando el método basado en el primer armónico y analizando sólo los 7 armónicos principales que describen el contorno de nuestros ejemplares utilizando las series de Fourier (De Azevedo y cols., 2014; Bookstein, 1997). Con este programa conseguimos otro fichero con los resultados de extensión “\*.nef”. Este paso es semiautomático, ya que hay que comprobar que todos los contornos obtenidos del primer análisis estén alineados en el mismo eje y, en caso contrario, se alinea de forma manual. De este análisis obtenemos para cada individuo 25 variables que describen su contorno. Estos coeficientes normalizados de los descriptores de Fourier son los valores que se utilizarán para los análisis estadísticos sucesivos.

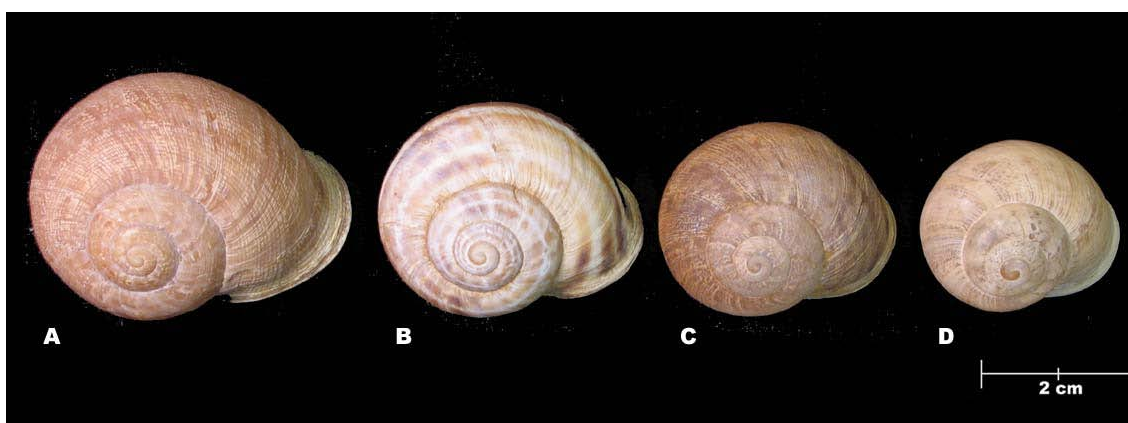
Con ambos métodos se han analizado un total de 427 ejemplares, de los cuales 192 pertenecían al complejo *Iberus gualtieranus* y 235 formaban parte del complejo *Iberus marmoratus*. A continuación indicaremos el número de individuos que se utilizaron de cada taxón: 32 pertenecían a *I. alonensis*, 13 a *I. campesinus*, 14 a *I. carthaginensis*, 16 a *I. gualtieranus gualtieranus*, 21 a *I. g. mariae*, 24 a *I. g. ornatissimus*, 19 a *I. angustatus*, 16 a *I. guiraoanus*, 12 a *I. cobosi*, 67 a *I. lorcanus*, 43 a *I. loxanus*, 35 a *I. marmoratus*, 10 a *I. ortizi*, 15 a *I. rositai*. Aparte de los taxones anteriores también incluimos ejemplares de las especies que se describirán al final de este apartado y que denominamos con los nombres asignados por Elejalde y cols. (2008a; 2008b): 54 a *I. alonensis-like02*, 18 a *I. alonensis-like01* y 18 a *I. nsp1*

Con la matriz de datos obtenida se procedió a realizar el análisis estadístico utilizando el paquete Statgraphics Centurion XVII. En primer lugar, se comprueba la normalidad y homocedasticidad de todas las variables obtenidas. Después se realiza un MANOVA para evidenciar que hay diferencias significativas entre los vectores de medias de las especies consideradas.

Una vez realizadas estas comprobaciones se realiza un análisis discriminante, para cada complejo de especies. Para saber si se puede hacer un análisis discriminante, es necesario saber estadísticamente que las especies que vamos a analizar son diferentes, y eso se consigue realizando, previamente, un MANOVA de nuestras especies y las variables utilizadas. Primero se estudiaron sólo las 9 variables correspondientes al análisis morfométrico (Figura 2.17), después las 25 variables obtenidas en el análisis de contornos y por último realizamos un análisis discriminante con todas las variables, para después proceder a evaluar la efectividad de cada método por separado y conjuntamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con referencia a las nuevas especies, al principio del estudio se consideraron como pertenecientes a *I. alonensis* y por lo tanto, poseerían las características generales descritas para esta especie por Rodríguez Perochena (2006).



**Figura 2.18.** Comparación de distintas formas de *alonensis*. A) *Alonensis* de Castala (Almería). B) *Alonensis* de Charco del Lobo (Albacete). C) *Alonensis* de Lorca (Murcia). D) *Alonensis* de Sierra de Altomira (Cuenca).

Presentan 3 bandas equidistantes y muy claras en la cara superior que en ambos casos están muy disimuladas por la poca pigmentación y por la coloración de la concha, a veces por exceso de coloración y a veces por defecto, haciéndose difícil su apreciación visual directa. Las bandas van desapareciendo según se acercan al núcleo donde ya no se aprecian. En la cara inferior poseen dos bandas más continuas, más separadas que en la otra cara, siendo una de ellas más gruesa, pasando ambas más allá de la abertura y ocurriéndoles lo mismo que a las de la cara superior que son inapreciables por la coloración de la concha. Esta coloración es similar a la de los *I. alonensis* de la zona de Almería (Rodríguez Perochena 2006) (Figura 2.8 A).

Presentan dos caras convexas lo que le confiere una forma globosa. No presentan quilla y la protoconcha es completamente lisa aunque en el resto presenta líneas radiales y longitudinales paralelas desde la segunda vuelta.

Presentan una abertura más ancha que alta y un peristoma blanquecino nacarado y no se observa el ombligo porque el peristoma se prolonga por encima del mismo, ocultándolo.

*Iberus alonensis-like02* presenta una cara superior más plana debido a la menor altura de la espira, lo que le hace más achatado, como los *Iberus alonensis* de la zona del Charco del Lobo, siendo el *Iberus alonensis-like01* similar a los ejemplares de la zona de Cuenca (Figura 2.18 D).

Respecto al tamaño, estarían entre los *I. alonensis* de Cuenca y los de Albacete. A continuación se muestran los valores medios obtenidos de las diferentes medidas para cada una de las nuevas especies (Tabla 2.1).

	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
A	2,98443	0,298118	2,43313	3,54146
	3,2421	0,233536	2,68693	3,74283
Au	0,497835	0,064805	0,363974	0,632333
	0,632446	0,115991	0,421424	0,919108
Ac	1,59245	0,185345	1,29161	1,88085
	1,65964	0,138381	1,42385	2,01471
Ha	1,32322	0,145695	1,18501	1,78582
	1,34936	0,120411	1,05029	1,63196
Aa	1,52728	0,16909	1,25425	1,83579
	1,68167	0,144982	1,38469	1,96491
ha'	0,881522	0,154397	0,663114	1,21285
	0,964124	0,172896	0,435205	1,30364
Hb	1,8501	0,189316	1,49589	2,19809
	1,91972	0,158546	1,56554	2,29787
Huv	1,93924	0,215649	1,5344	2,32304
	1,99459	0,174498	1,64502	2,34538
H	2,03152	0,240238	1,61606	2,46534
	2,11778	0,197039	1,70718	2,51371

**Tabla 2.I.** Estadística descriptiva de las variables medidas. Parte superior de cada resultado *I. alonensis-like01* y parte inferior *I. alonensis-like02*

En el caso de estas nuevas especies, se ha realizado un MANOVA para ver si realmente son diferentes y poder así poder realizar un análisis discriminante con el que conseguir identificar cuáles son las variables que más influyen a la hora de discriminar ambas especies. El estadístico F obtenido en el MANOVA es de 9,05856 con un p-valor asociado de 1,36819E-8, lo que nos indica que son dos especies diferentes con las variables que se han utilizado.

Del análisis discriminante se obtiene la siguiente función:

$$1,42205*A + 0,421471*au + 0,0491166*ac - 0,249493*ha + 0,364702*aa + 0,313619*ha' + 1,34844*hb - 6,87106*huv + 3,87908*H$$

De dicha función se puede deducir que las variables que más peso tienen a la hora de diferenciar estas especies son la altura de la última vuelta de espira

---

(huv), la altura total de los individuos (H) y el diámetro total de los mismos (A). Si a estas variables le sumamos los resultados de las medias obtenidas para cada una de las variables medidas, podemos concluir que, los individuos de la especie *I. alonensis-like02* tienen una concha ligeramente más globosa, y presentan un tamaño ligeramente mayor (aproximadamente un 9%) que los individuos pertenecientes a *I. alonensis-like01* (Figuras 2.7 y 2.8).

A continuación se muestran los resultados obtenidos al aplicar las dos técnicas morfométricas en los dos complejos de taxones. Después se comparan los resultados obtenidos para ver cuál de ambas técnicas es la más adecuada para estos complejos de gasterópodos ya que no siempre funcionan las dos y, en el caso de que funcionen ambas, una será más efectiva que la otra.

### 1. ANALISIS MORFOMÉTRICO CLÁSICO:

En ambos grupos seguiremos el mismo esquema. En primer lugar se hará un resumen de la estadística descriptiva de todas las variables utilizadas, media y desviación típica y el número de ejemplares medidos para cada morfotipo.

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos del análisis discriminante con todas las variables de todos los morfotipos.

#### 1.1. *Iberus gualtieranus* complex:

En la Tabla 2.II, que se muestra a continuación, se puede observar la estadística descriptiva de las variables utilizadas en los análisis sucesivos.

Tal y como se ha comentado en la metodología, el primer análisis estadístico realizado fue un MANOVA, las especies del complejo *I. gualtieranus* y las variables correspondientes, para saber si existen, al menos, dos especies diferentes entre los grupos predeterminados y, en caso afirmativo, poder realizar un análisis discriminante de los mismos. Se obtuvo un valor para el estadístico F de 37,5666, al que le corresponde un p-valor de 2,22045E-16, que es altamente significativo, lo que indica que, al menos, existen dos especies discriminables y, por consiguiente, se puede realizar un análisis discriminante.

Especie	Ejemplares	Variables								
		A	au	ac	ha	aa	ha'	hb	huv	H
<i>I. alonensis</i>	32	3,0714	0,7989	1,6632	1,5676	1,5639	0,8427	1,7239	1,8178	1,9562
		0,3695	0,1251	0,2053	0,2061	0,2267	0,2284	0,2406	0,2666	0,3066
<i>I. campesinus</i>	13	4,1968	1,2868	2,0190	1,9040	1,9763	0,8821	2,0904	2,3463	2,4915
		0,1654	0,1138	0,0923	0,0852	0,1339	0,1628	0,0820	0,1108	0,1299
<i>I. carthaginensis</i>	14	2,6322	0,8672	1,2882	1,2952	1,6076	0,7859	1,2865	1,4692	1,5162
		0,1344	0,0750	0,0643	0,0876	0,1466	0,1066	0,1000	0,0925	0,0890
<i>I. gualtieranus</i>	16	3,7729	1,0181	1,8838	1,5690	1,8226	0,7743	1,6974	1,6599	1,7528
		0,5504	0,1541	0,3038	0,2047	0,2930	0,1735	0,2038	0,1746	0,1902
<i>I. alonensis-like02</i>	54	3,2421	0,6324	1,6596	1,3494	1,6817	0,9641	1,9197	1,9946	2,1178
		0,2335	0,1160	0,1384	0,1204	0,1450	0,1729	0,1585	0,1745	0,1970
<i>I. alonensis-like01</i>	18	2,9844	0,4978	1,5924	1,3232	1,5273	0,8815	1,8501	1,9392	2,0315
		0,2981	0,0648	0,1853	0,1457	0,1691	0,1544	0,1893	0,2156	0,2402
<i>I. g. mariae</i>	21	2,4724	0,7253	1,3698	1,2294	1,5835	0,7643	1,4187	1,4719	1,4585
		0,3705	0,1455	0,2170	0,1653	0,2634	0,1602	0,2031	0,2768	0,3710
<i>I. g. ornatisimus</i>	24	3,0183	0,8279	1,5566	1,5188	1,5967	0,8452	1,6409	1,7424	1,8601
		0,2866	0,0860	0,1653	0,1251	0,2000	0,1539	0,1680	0,1761	0,2171

**Tabla 2.II.** estadística descriptiva de todas las variables utilizadas, media y desviación típica y el número de ejemplares medidos para cada morfotipo del complejo *I. gualtieranus*. En la parte superior de cada celda, la media, y en la parte inferior, el error estándar.

El siguiente paso fue realizar un análisis discriminante, con las 9 variables para todos los ejemplares utilizados, obteniéndose 7 funciones discriminantes (Tabla 2.III).

<i>Función Discriminante</i>	<i>Eigenvalor</i>	<i>Porcentaje de varianza explicada</i>	<i>Correlación Canónica</i>	<i>Varianza acumulada explicada</i>
1	10,4481	51,72	0,95533	51,72 %
2	5,20264	25,75	0,91585	77,47 %
3	2,49841	12,37	0,84508	89,84 %
4	1,67161	8,27	0,79101	98,11 %
5	0,236151	1,17	0,43708	99,28 %
6	0,126072	0,62	0,33460	99,9 %
7	0,0190857	0,09	0,13685	100 %

**Tabla 2.III:** Funciones discriminantes del análisis morfométrico del complejo *Iberus gualtieranus*

Este análisis establece que las tres primeras funciones son capaces de explicar el 89,84% de la variación. Para ver cuántas de estas funciones discriminantes son estadísticamente significativas, procedemos a realizar un test de la Chi-cuadrado, obteniendo los resultados que se pueden observar en la Tabla 2.IV:

<i>Funciones Derivadas</i>	<i>Lambda de Wilks</i>	<i>Chi-Cuadrada</i>	<i>GL</i>	<i>Valor-P</i>
1	0,00106218	1249,6569	63	0,0000
2	0,0121599	804,7538	48	0,0000
3	0,0754236	471,6958	35	0,0000
4	0,263863	243,1493	24	0,0000
5	0,704939	63,8100	15	0,0000
6	0,871411	25,1195	8	0,0015
7	0,981272	3,4503	3	0,3273

**Tabla 2.IV.** Resultados del test de la Chi-cuadrado para saber la significación de las funciones discriminantes para el complejo *Iberus gualtieranus*, con las variables morfométricas

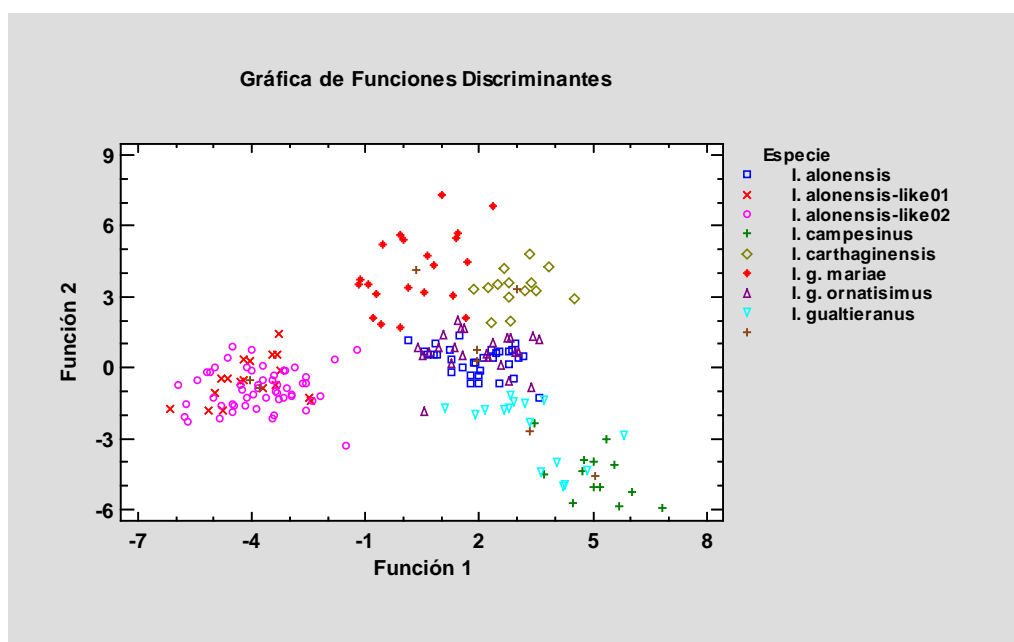
Este test indica que todas las funciones, excepto la última, son estadísticamente significativas al 99% de nivel de confianza. Por lo tanto para este grupo la fiabilidad conseguida con este método es muy elevada, consiguiendo explicar un 99,91% de la varianza de las especies.

Las dos variables que más influyen en la primera función discriminante (columna 1 de la Tabla 2.V), la que explica un poco más de la mitad de la varianza de los individuos de ese grupo (50,71%), son la altura de la base (hb) y altura de la abertura (ha), es decir, nos indican el distinto grado de globosidad en la última vuelta de la concha.

Variable	Función discriminante						
	1	2	3	4	5	6	7
A	-0,271543	-2,59188	-1,16839	1,31907	-1,07463	-1,15647	0,447723
Au	1,03095	0,207157	0,545626	0,0491586	0,257638	0,926357	-0,146121
Ac	0,960864	0,501987	-0,633339	-0,764306	0,966147	-0,10916	-1,64458
Ha	1,19458	0,147213	0,267766	-1,07097	-0,0218471	-0,675037	0,675935
Aa	-0,810089	1,46465	-0,507692	0,806301	0,0580236	0,528323	0,340147
ha'	0,0974781	0,441115	-0,553441	-0,243567	-0,459657	0,0865444	-0,554239
Hb	-2,14975	-0,123034	-0,757798	-1,7431	0,988931	2,1011	1,5992
Huv	0,601651	-0,684652	4,19613	4,53655	1,68424	-3,75391	-0,865288
H	-0,160819	0,52141	-1,32208	-3,16594	-2,33231	2,89296	-0,319727

**Tabla 2.V.** Tabla de coeficientes de las funciones discriminantes del análisis morfométrico clásico del complejo *Iberus gualtieranus* complex. Sombreados los valores más altos de los coeficientes en cada función discriminante

López Alcántara y cols. (1985) concluyen que la variable más importante para discriminar los individuos estudiados por ellos, es la Altura total de la concha (H), lo que parece coherente en el caso de diferenciar entre individuos aplanados, como es el caso de *I. gualtieranus* y los morfotipos globosos. En el caso que nos ocupa, aún habiendo utilizado las mismas variables que en el estudio anteriormente citado, al utilizar mayor número de morfotipos, encontramos más variabilidad de formas. En el presente estudio se encuentra que la diferenciación más concluyente se debe en gran parte a la globosidad de la abertura (ha') y a su tamaño (aa), apareciendo como variable de mayor peso en la segunda función discriminante el diámetro total del individuo (A), lo que nos indica que en este paso se discriminan los individuos según su tamaño total.



**Figura 2.19.** Representación gráfica de las dos primeras funciones discriminantes para las variables morfométricas del complejo *Iberus gualtieranus*

En la representación gráfica de las dos primeras funciones discriminantes obtenidas (Figura 2.19), se observa que hay especies perfectamente diferenciadas: es el caso de *I. carthagenensis*, *I. campesinus*, *I. g. mariae* e *I. g. gualtieranus*. Sin embargo, cuando además se añade la tercera función discriminante, los taxones que antes aparecían solapados ahora, se separan (*I. alonensis-like01* e *I. alonensis-like02*; e, *I. alonensis* e *I. ornatisimus*), siendo las variables que más peso tienen en la función discriminante la altura de la última vuelta (huv) y la altura total del individuo (H), lo que nos indica que se diferencian por la globosidad de la concha.

Del análisis discriminante, y asociado a la tabla de clasificación de los grupos (Ver Anexos – Tabla A.I), se obtiene que el porcentaje de casos correctamente clasificados, que en este caso es del 83,33%.

### 1.2. *Iberus marmoratus* complex:

En la Tabla 2.VI se pueden observar la estadística descriptiva de las variables utilizadas en los análisis posteriores, mostrándose la media y la desviación estándar para cada una de las especies.

Especie	Ejemplares	Variables								
		A	au	ac	ha	aa	ha'	hb	huv	H
<i>I. angustatus</i>	19	2,3902	0,6099	1,2932	1,1414	1,1083	0,6309	1,1694	1,1556	1,2310
		0,1204	0,0396	0,0895	0,0970	0,0783	0,1239	0,0831	0,0944	0,1030
<i>I. giraoanus</i>	16	2,8179	0,6939	1,5284	1,3629	1,3017	0,8730	1,3413	1,3438	1,4511
		0,1347	0,0513	0,0985	0,0684	0,0651	0,0730	0,0738	0,0685	0,0714
<i>I. cobosi</i>	12	2,5341	0,6387	1,3797	1,0424	1,2515	0,5344	1,1875	1,1772	1,2047
		0,0848	0,0476	0,0700	0,0538	0,0435	0,1046	0,0534	0,0912	0,1075
<i>I. lorcanus</i>	67	2,9859	0,8648	1,5701	1,6195	1,8347	1,1072	1,6332	1,8627	1,9091
		0,4596	0,1430	0,2471	0,2203	0,3821	0,2112	0,2443	0,2854	0,3274
<i>I. loxanus</i>	43	2,3172	0,6198	1,2574	1,1233	1,2617	0,6615	1,1820	1,2580	1,3216
		0,1906	0,0830	0,1087	0,1228	0,1785	0,1055	0,1737	0,1643	0,1790
<i>I. marmoratus</i>	35	2,1233	0,5785	1,1590	1,0814	1,1690	0,5680	1,0500	1,1528	1,2043
		0,2134	0,0611	0,1282	0,1211	0,1362	0,1033	0,1383	0,1300	0,1446
<i>I. ortizi</i>	10	2,0412	0,5021	1,1882	0,9216	0,9840	0,4654	0,9745	1,1047	1,2071
		0,1827	0,0574	0,1519	0,0748	0,0961	0,1124	0,0800	0,0981	0,1236
<i>I. rositai</i>	15	2,7435	0,7218	1,4609	1,3970	1,2809	0,5525	1,2962	1,2570	1,2946
		0,0892	0,0360	0,0710	0,0718	0,0558	0,1006	0,0551	0,0622	0,0838
<i>I. nsp1</i>	18	2,1223	0,5077	1,2077	1,0738	1,0324	0,7542	1,1376	1,1976	1,2740
		0,1739	0,0578	0,1108	0,1354	0,0900	0,2028	0,1545	0,1362	0,1622

**Tabla 2.IV.** estadística descriptiva de todas las variables utilizadas, media y desviación típica y el número de ejemplares medidos para cada especie del complejo *I. marmoratus*. En la parte superior de cada celda, la media, y en la parte inferior, el error estándar.

En el caso de las variables morfométricas para este complejo, el MANOVA también nos indica que, al menos, existen dos especies y que podemos realizar un análisis discriminante con nuestros datos. Los valores obtenidos son un F estadístico igual a 18,3757 y un p-valor de 5,55112E-16.

Función Discriminante	Eigenvalor	Porcentaje de varianza explicada	Correlación Canónica	Varianza acumulada explicada
1	6,52015	65,22	0,93114	65,22 %
2	2,22634	22,27	0,83069	87,49 %
3	0,780445	7,81	0,66207	95,30 %
4	0,301602	3,02	0,48137	98,32 %
5	0,0881786	0,88	0,28466	99,20 %
6	0,0517203	0,52	0,22176	99,72 %
7	0,0242901	0,24	0,15399	99,96 %
8	0,00377562	0,04	0,06133	100 %

**Tabla 2.VII:** Funciones discriminantes del análisis morfométrico del complejo *Iberus marmoratus*

Al realizar el análisis discriminante de todas estas variables para todos los taxones, se obtienen 7 funciones discriminantes (Tabla 2.VII), concentrándose en las dos primeras la mayoría de la capacidad discriminante, al explicar el 87,49% de la varianza de este grupo. Para ver cuántas de las 7 funciones obtenidas son estadísticamente significativas, se realizó un test de la Chi-cuadrado.

El test revela que sólo 5 de las 7 funciones son estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 99%. Y estas funciones consiguen explicar un 99,20% de la variación (Tabla 2.VIII).

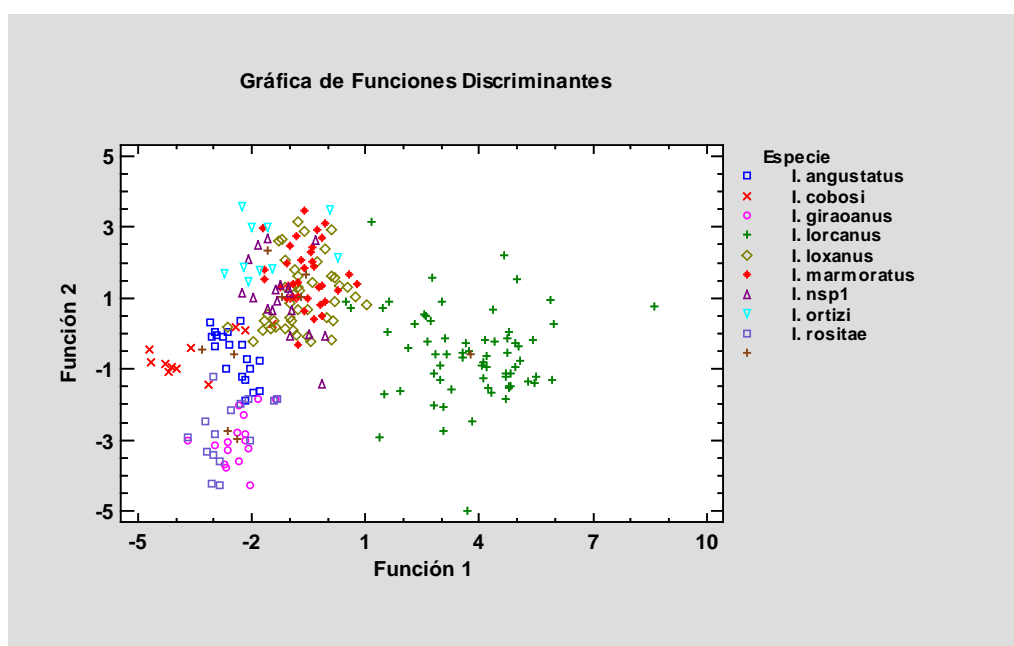
<i>Funciones Derivadas</i>	<i>Lambda de Wilks</i>	<i>Chi-Cuadrada</i>	<i>GL</i>	<i>Valor-P</i>
1	0,0151146	943,2209	72	0,0000
2	0,113664	489,2642	56	0,0000
3	0,366719	225,710	42	0,0000
4	0,652923	95,9167	30	0,0000
5	0,849845	36,6077	20	0,0130
6	0,924784	17,5940	12	0,1286
7	0,972614	6,2479	6	0,3960
8	0,996239	0,8479	2	0,6545

**Tabla 2.VIII.** Resultados del test de la Chi-cuadrado para saber la significación de las funciones discriminantes para el complejo *Iberus marmoratus*, con las variables morfométricas

En este grupo se observa que las variables más características para discriminar cada taxón son la anchura máxima (A) y la altura de la última vuelta de espira (huv) y la altura total (H), que son los coeficientes de las funciones discriminantes de mayor valor. Esto nos indica que los individuos son discriminados en función de su tamaño total, grado de aplanamiento y globosidad de la concha (Tabla 2.IX).<sup>o</sup>

Variable	Función discriminante							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	-2,16586	-1,2375	-0,919045	-1,17579	-0,15967	-1,38614	-0,211466	-1,24698
au	1,16857	-0,0298259	0,476304	0,418969	-0,245689	0,0813879	-0,718462	-0,43453
ac	0,0588626	-0,567835	0,175706	0,12163	-0,995754	1,09152	0,863224	0,929262
ha	0,322558	-0,708979	0,409988	1,48768	0,0697167	0,0258218	0,330748	0,253948
aa	0,144571	0,616531	0,472809	-0,530982	0,70411	-0,755877	0,653646	1,08416
ha'	0,174255	-0,418227	-1,18358	-0,113765	0,130655	-0,322654	0,315281	-0,235786
hb	-0,767821	-0,175957	0,686075	-0,586708	2,07762	0,968626	-0,836974	0,843402
huv	1,70118	0,780347	2,36589	-1,30287	-1,77993	1,46069	1,76606	-1,9995
H	0,321132	0,883221	-2,91515	1,46213	0,211449	-1,26861	-2,28742	1,29403

**Tabla 2.IX.** Tabla de coeficientes de las funciones discriminantes del análisis morfométrico clásico del complejo *Iberus marmoratus* complex. Sombreados los valores más altos de los coeficientes en cada función discriminante



**Figura 2.20.** Representación gráfica de las dos primeras funciones discriminantes para las variables morfométricas del complejo *Iberus marmoratus*

En la Figura 2.20 se representan gráficamente las dos primeras funciones discriminantes de este complejo, destacando que las diferencias entre la gran mayoría de los taxones las aporta la tercera función discriminante ya que en la representación en dos dimensiones sólo aparecen claramente separados *I. cobosi* e *I. lorcanus*, apareciendo el resto muy mezclados. Como la variable con

más peso en la tercera función discriminante es la altura total (H) podemos decir que en este complejo de especies la altura de los individuos es la que afina a la hora de discriminar los taxones, lo mismo que concluían López Alcántara y cols. (1985) en su estudio sobre *I. gualtieranus*.

En este caso el porcentaje de casos correctamente clasificados es del 81,69% (Ver Anexos- Tabla A.II).

## 2. ANÁLISIS MORFOGEOMÉTRICO DE CONTORNOS:

Después de analizar las fotografías de los 427 ejemplares con el programa SHAPE, conseguimos una matriz de 25 variables para cada fotografía que son las que utilizamos para realizar el análisis discriminante y conseguir las funciones que diferencien las especies del género *Iberus*. En este caso, al igual que en el análisis morfométrico clásico, también haremos un análisis para cada grupo de especies, analizando cada uno de ellos por separado para conseguir una mayor efectividad.

### 2.1. *Iberus gualtieranus* complex:

Tras realizar un MANOVA para ver si en este caso existen, al menos, dos especies y así poder continuar con nuestro análisis, obtenemos un F estadístico de 9,12021 y un p-valor significativo de 1,11022E-15, que revela la existencia de al menos, dos especies diferentes.

A continuación se realizó el análisis discriminante de los 192 ejemplares de este grupo, y se obtienen 7 funciones discriminantes, explicando las dos primeras el 76,99% de la variabilidad total del grupo (Tabla 2.X).

<i>Función Discriminante</i>	<i>Eigenvalor</i>	<i>Porcentaje de varianza explicada</i>	<i>Correlación Canónica</i>	<i>Varianza acumulada explicada</i>
1	7,96494	61,08	0,94258	61,08 %
2	2,07452	15,91	0,82143	76,99 %
3	1,26493	9,70	0,74732	86,69 %
4	0,91873	7,05	0,69197	93,74 %
5	0,371001	2,85	0,52020	96,59 %
6	0,341615	2,62	0,50461	99,21 %
7	0,104685	0,80	0,30784	100 %

**Tabla 2.X.** Funciones discriminantes del análisis morfogeométrico del complejo *Iberus gualtieranus*

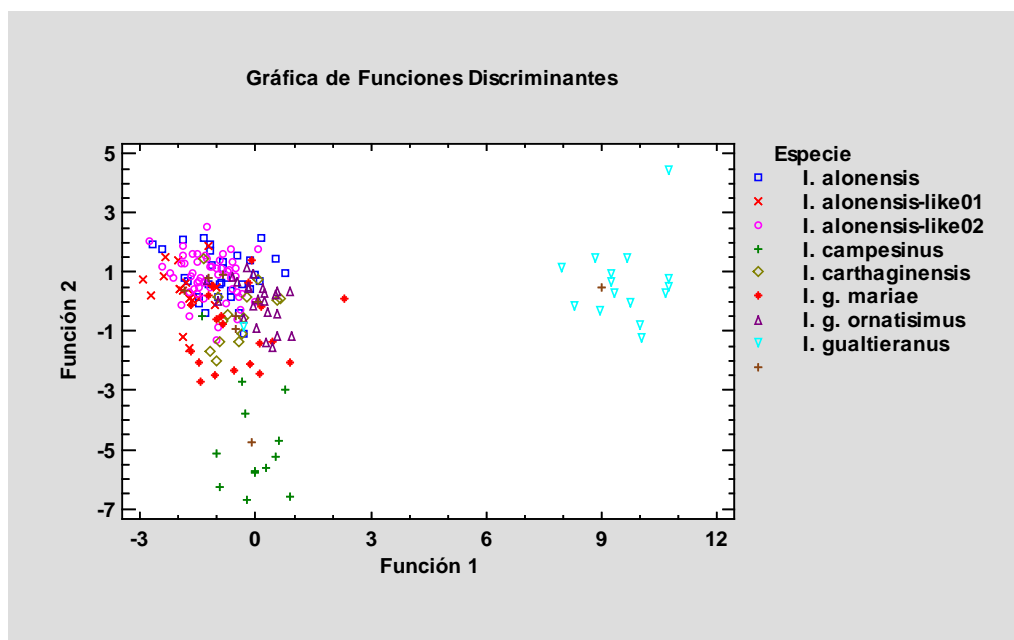
Para saber cuántas de las funciones anteriores son estadísticamente significativas al 95%, se realizó un test de la Chi-cuadrado que indica que seis de esas siete funciones presentan un p-valor menor de 0,01. Estas funciones explican un 99,20% de la variación del modelo (Tabla 2.XI).

<i>Funciones Derivadas</i>	<i>Lambda de Wilks</i>	<i>Chi-Cuadrada</i>	<i>GL</i>	<i>Valor-P</i>
1	0,00410868	958,8172	175	0,0000
2	0,036834	576,0826	144	0,0000
3	0,113247	380,0929	115	0,0000
4	0,256497	237,4315	88	0,0000
5	0,492148	123,7162	63	0,0000
6	0,674736	68,6543	40	0,0032
7	0,905235	17,3733	19	0,5646

**Tabla 2.XI.** Resultados del test de la Chi-cuadrado para saber la significación de las funciones discriminantes para el complejo *Iberus gualtieranus*, en el análisis de contornos

Con estas funciones se clasifican correctamente el 81,77% de los individuos utilizados para realizar el modelo. Y en la tabla de clasificación se pueden observar los porcentajes de casos bien clasificados (Ver Anexos -Tabla A.III).

En el caso de las variables obtenidas mediante el análisis de contornos, y observando el gráfico resultante de las dos primeras funciones discriminantes, se aprecia que se discrimina perfectamente *I. g. gualtieranus* e *I. campesinus*; quedando todos los demás taxones a expensas de las siguientes funciones discriminantes para que se pudieran separar en la representación gráfica (Figura 2.21).



**Figura 2.21.** Representación gráfica de las dos primeras funciones discriminantes

## 2.2. *Iberus marmoratus* complex:

En este caso, el MANOVA nos indica que también existen, al menos, dos especies al ser significativo con un p-valor de 1,11022E-15 y un estadístico F de 9,0948.

Para este grupo de taxones, después de realizar el análisis discriminante se consiguen 8 funciones discriminantes (Tabla 2.XII), de las cuales, tras efectuar un análisis Chi-cuadrado para comprobar cuáles de ellas son estadísticamente significativas, sólo las cinco primeras funciones cumplirían este requisito como se puede observar en la Tabla 2.XIII.

Función Discriminante	Eigenvalor	Porcentaje de varianza explicada	Correlación Canónica	Varianza acumulada explicada
1	7,05625	61,02	0,93588	61,02 %
2	2,53173	21,89	0,84667	82,91 %
3	0,782962	6,77	0,66267	89,68 %
4	0,559355	4,84	0,59892	94,52 %
5	0,305034	2,64	0,48346	97,16 %
6	0,193344	1,67	0,40252	98,83 %
7	0,0818893	0,71	0,27512	99,54 %
8	0,0528447	0,46	0,22404	100 %

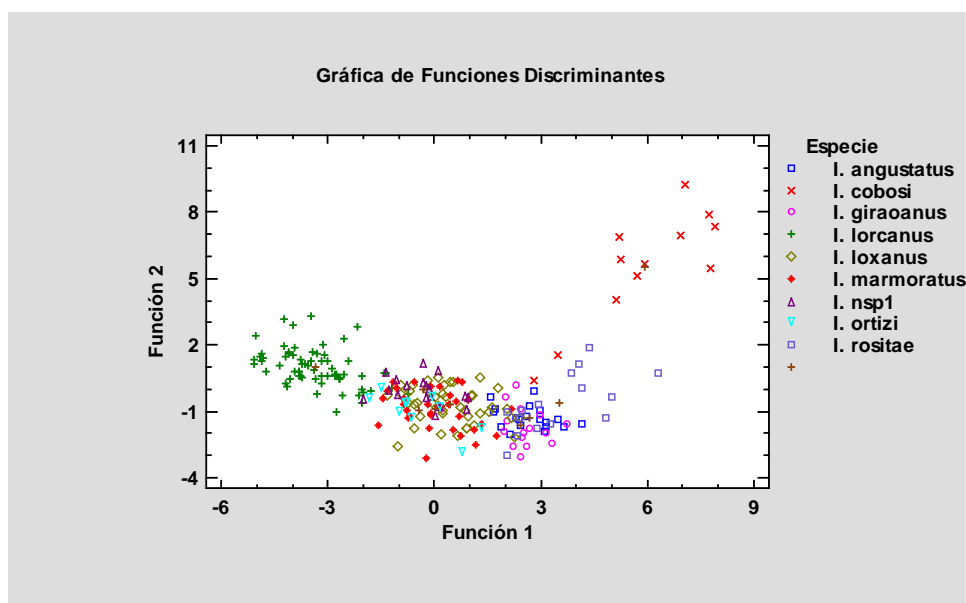
**Tabla 2.XII.** Funciones discriminantes del análisis morfogeométrico del complejo *Iberus marmoratus*

Para saber cuántas de las funciones anteriores son estadísticamente significativas al 95%, se realizó un test de la Chi-cuadrado que indica que cinco de esas ocho funciones presentan un p-valor menor de 0,01. Estas funciones explican un 97,16% de la variación del modelo (Tabla 2.XIII).

Funciones Derivadas	Lambda de Wilks	Chi-Cuadrada	GL	Valor-P
1	0,007126	1072,8431	200	0,0000
2	0,057410	620,0840	168	0,0000
3	0,202758	346,2761	138	0,0000
4	0,36151	220,7902	110	0,0000
5	0,563722	124,3830	84	0,0028
6	0,735677	66,6113	60	0,2601
7	0,877916	28,2544	38	0,8755
8	0,949808	11,1746	18	0,8868

**Tabla 9.** Resultados del test de la Chi-cuadrado para saber la significación de las funciones discriminantes para el complejo *Iberus marmoratus*, en el análisis de contornos

En este complejo, la representación gráfica de las dos primeras funciones discriminantes (Figura 2.22), muestra que las variables de la morfogeometría consiguen separar claramente *I. cobosi* e *I. lorcanus* como ocurría en el otro método.



**Figura 2.22.** Representación gráfica de las dos primeras funciones discriminantes

En este caso, el porcentaje de individuos correctamente clasificados por las funciones discriminantes es de, 79,15% (Ver Anexos- Tabla A.IV).

Revisando la bibliografía sobre morfogeometría de los últimos años se concluye que es una técnica en auge que se está aplicando en muchos campos de la biología. Se comenzaron a utilizar estas técnicas en el campo de la morfología (Stone, 1998; Nehm, 2001; Hollander y cols., 2006a; Queiroga y cols. 2011), pero se han ido ampliando los campos en los que se ha demostrado su utilidad como en taxonomía (Urta y cols., 2007; Cunha y cols., 2008; Pérez, 2011; Moneva y cols., 2012), en ecología (Carvajal-Rodríguez, 2005; Conde-Padín y cols., 2007; Torres y cols., 2011) y en el campo de la evolución (Hollander y cols., 2006b; Guerra-Varela y cols., 2009; Sepúlveda e Ibañez, 2012). Centrándonos en taxonomía, Urta y cols. (2007) comparan dos métodos morfogeométricos, aunque en su caso utilizan los landmarks para analizar diferencias en la rádula y en la concha de *Adelomelon ancilla* (Lightfoot, 1786) y *Odontocymbiola magellanica* (Gmelin, 1791), encontrando que no existen tales diferencias. Sin embargo, al realizar un análisis de contornos de las conchas, si obtuvieron diferencias significativas, concluyendo que en ese caso el mejor método era el último.

Pérez (2011), también utiliza la técnica del análisis de contornos, en este caso no comparó con otros métodos, pero encontró diferencias significativas entre los contornos de las conchas de diferentes subespecies del género *Praticoaella*.

Los resultados de los diferentes análisis demuestran que tanto el estudio morfométrico clásico (con unos porcentajes de casos correctamente clasificados del 83,33% para el complejo *I. gualtieranus*, y del 81,69% para el complejo *I. marmoratus*), como el estudio morfogeométrico (en este caso los porcentajes de casos correctamente clasificados son del 81,77% para el complejo *I. gualtieranus*, y del 79,15% para el complejo *I. marmoratus*), consiguen unos resultados muy buenos para nuestro grupo de especies. Comparando los dos métodos, los resultados obtenidos en el caso de la morfometría clásica son ligeramente superiores (en torno a un 2%) a los

conseguidos para el análisis de los contornos. Con estos resultados se corroboran las conclusiones a las que llegaron Alonso y cols. (2006), en las que analizar las medidas conquiológicas con las nuevas técnicas informatizadas es muy útil a la hora de diferenciar conchas de gasterópodos.

Una de las ventajas que aporta la aplicación de estos análisis es evitar la subjetividad de las variables cualitativas, sobre todo de las relacionadas con la ornamentación de las conchas, que muchas veces pueden llevar a error a la hora de identificar a qué especie corresponde un determinado individuo. Precisamente este tipo de dificultad condujo a los malacólogos de mediados del siglo pasado a utilizar la anatomía de la genitalia para discriminar las especies y evitar el problema de la diversidad de especies cripticas encontrada en la bibliografía. En el caso concreto de nuestro país, cabe destacar los estudios realizados por Ortiz de Zárate que fueron continuados por diferentes malacólogos terrestres, como es el caso de Aparicio, Cobos, Prieto, Gómez-Moliner, Muñoz, Arrébola y Puente. A finales del siglo XX y principios de este siglo, ha cobrado gran importancia la taxonomía molecular, que ha llevado a dilucidar gran número de incógnitas propuestas por la taxonomía clásica. En nuestro caso cabe destacar el trabajo llevado a cabo en el género *Iberus* por Elejalde y cols. (2005, 2008a, 2008b), que han arrojado luz a los problemas taxonómicos planteados en este grupo.

Los estudios taxonómicos realizados en este grupo, empezaron basándose sólo en la morfología de la concha (Ortiz de Zárate, 1943; García San Nicolás, 1957), continuaron con los análisis de la genitalia para ver si existían diferencias (Puente, 1994), no pudiendo solucionar mucho debido a que las diferencias son casi inexistentes entre los diferentes taxones del grupo. El siguiente paso que se llevó a cabo fue la utilización de técnicas moleculares realizado por Elejalde y cols. (2005, 2008a y 2008b), que estableció las filogenia actual de las especies y subespecies del grupo. Y para terminar, con el aporte de este estudio se puede demostrar que las diferencias conquiológicas sirven para discriminar los taxones del grupo *Iberus*.

# **3.IberusTAXA©**

**Herramienta taxonómica aplicada a la gestión**

Existe una falta de conocimiento sobre las poblaciones del género *Iberus*, y no existen datos claros o estimaciones actuales sobre el número de individuos que pueden formar estas poblaciones. Aún así, distintos autores alertan de la posibilidad de que algunas de las especies o subespecies de este género se encuentren en un estado de regresión (Arrébola, 2006; Moreno Rueda, 2011)

Dentro del grupo de los grandes caracoles, *I. g. gualtieranus* está siendo sometida a una fuerte presión humana, debido principalmente a su alto valor gastronómico en la región donde habita y a su alto valor en el mercado, por la difícil obtención de individuos, cada vez más escasos (Arrébola y Álvarez, 2001). De hecho, Cobos en su trabajo de 1979 comenta que hasta hacía pocos decenios se vendía regularmente en los mercados locales, pero que ya en ese año, empezaban a escasear debido a las recolecciones indiscriminadas.

Además, el cambio de los usos del suelo en las comarcas que habita debido al elevado uso agrario en las proximidades de las poblaciones almerienses, fenómeno que en la actualidad conocemos como “mares de plástico”, y la gran presión urbanística producida en los últimos años, está reduciendo el hábitat natural de todos los tipos de grandes *Iberus*, y sobre todo, de *I. g. gualtieranus*, que hace temer, principalmente, por las poblaciones almerienses de Sierra de Gádor.

En 1999 la Sociedad Española de Malacología elabora una lista provisional de moluscos de España protegidos o a proteger, en la que se encuentra *I. gualtieranus*. Posteriormente fue propuesta como especie en peligro de extinción por Gómez-Moliner y col. en el 2001.

En 2005, fue propuesta en el Libro Rojo de Invertebrados de España como taxón de "preocupación menor", por tratarse, entre otros factores, de un taxón con rango subespecífico y siguiendo los criterios utilizados para los Invertebrados, únicamente en situaciones muy especiales se han encontrado casos reales de amenaza para la especie, como es el caso de Andalucía en cuyo Libro Rojo de Invertebrados (2008) está catalogado como “en peligro”.

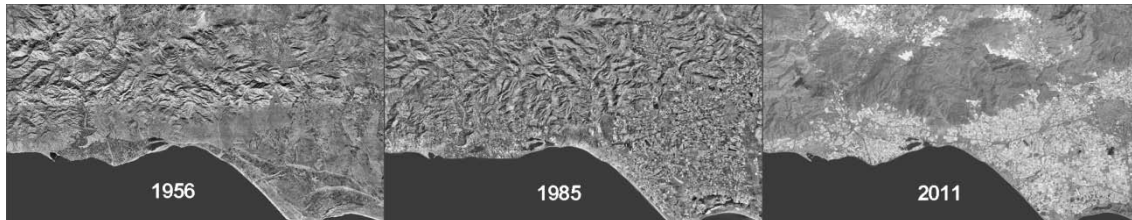
En la actualidad existen varias especies que cuentan con una figura de protección, según la IUCN y sus categorías y criterios de 2001, encontrando como especies de Preocupación menor a *Iberus angustatus*, *Iberus guiraoanus* e *Iberus marmoratus*; como especies casi amenazadas a *Iberus alonensis* e *Iberus carthaginensis*; como especies vulnerables a *Iberus ortizi* (D2) e *Iberus campesinus* (B1ab(iii)); y, como especie en peligro, *Iberus gualtieranus* (B1ab(iii,v)+2ab(iii,v)).

Otras especies, como es el caso de las nuevas descritas por Elejalde y col (2005, 2008a y 2008b), *I. alonensis-like01* e *I. alonensis-like02* han pasado de tener una distribución mediterránea, a una distribución puntual, por lo que deberían ser incluidas en esta Lista Roja. Siguiendo los criterios de la IUCN se deberían catalogar al menos como casi amenazadas, aunque en el caso de *I. alonensis-like02*, casi debería optarse porque fuera vulnerable atendiendo al criterio D2 (que indica que las poblaciones de dicha especie presentan un área de distribución muy restringida, menos de 20 km<sup>2</sup>).

El Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, desarrolla el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas, especificando las especies, subespecies o poblaciones que los integran. En el Listado se pueden encontrar 889 taxones, 120 de los mismos están incluidos en la categoría “Vulnerable” y 176 en la categoría “En peligro de extinción”. Y llama muchísimo la atención, que pese a que según la IUCN hay dos especies catalogadas como Vulnerables y una como En peligro de extinción, ninguna de las tres aparezca en dicho listado, que en principio debería ser más restrictivo que el listado de la IUCN y presentar más especies que las consideradas por el anterior organismo. Esto nos indica que la política medioambiental en nuestro país, en la actualidad, deja mucho que desear y es muy mejorable, al menos en lo concerniente a la protección de las especies.

La distribución de las especies del género parecen haberse retraído en los últimos 100 años, y actualmente algunas de las especies del género presentan distribuciones muy restringidas, lo que incrementa el riesgo de extinción (Schwartz, 1997). Sus principales amenazas son: (1) La destrucción de su

hábitat por la acción de las canteras, los incendios y la construcción de invernaderos (Figura 3.1). (2) El calentamiento global, que puede modificar sus ciclos de actividad e incrementar la mortandad de ejemplares inmaduros. Y (3) la acción directa del ser humano, mediante la recolección de ejemplares con fines gastronómicos y ornamentales.



**Figura 3.1.** Evolución del “mar de plásticos” en la costa de Almería durante 55 años.

Sería de gran interés la creación de microrreservas, con el fin de proteger su hábitat de la destrucción humana, y sus poblaciones de la recolección de ejemplares, similares a las microrreservas botánicas que ya se desarrollan en diferentes comunidades autónomas como es el caso de la Comunidad Valenciana, la Comunidad Autónoma de Andalucía, Región de Murcia, ..., pero en este caso además de proteger el sustrato y las especies botánicas, también se protegería la fauna. A esto contribuiría la restauración de sus hábitats previamente destruidos (p. e. antiguas canteras). Para ello sería necesario crear en las zonas destruidas un hábitat heterogéneo con zonas de tierra con vegetación (no excesiva) donde se alimente este caracol, y zonas rocosas con grietas donde pueda refugiarse en el caso de las especies aquilladas del género (Moreno-Rueda, 2006a, 2006b).

IberusTAXA© surge como herramienta para ayudar a gestionar las poblaciones de las especies de este género, teniendo por objetivo aplicar los resultados científicos a través de las nuevas tecnologías, más concretamente a los trabajos de campo para la identificación *in situ* de las especies del género *Iberus*.

En este capítulo se desarrolla una herramienta capaz de asignar un individuo adulto a su especie con una fiabilidad muy elevada, basada en los resultados moleculares más recientes realizados por Elejalde y cols. (2005, 2008a y 2008b), que utiliza varias medidas de sus conchas.

En la actualidad las nuevas tecnologías no se utilizan todo lo que se podría, principalmente por la falta de conocimientos en los grupos de investigación, problema que se podría resolver haciendo los grupos interdisciplinarios, haciendo formar parte de ellos a otros profesionales, como los informáticos, que pudieran aportar, además de sus conocimientos, diferentes puntos de vista (Gibaja, 2005). Las nuevas tecnologías pueden mejorar los resultados científicos que se obtienen en los diferentes campos de la ciencia y, para demostrarlo, surge esta herramienta que servirá para gestionar las poblaciones de las especies de este género. En este caso a través de 3 fotografías de un ejemplar adulto, y sabiendo la localización del mismo, se podrá saber la especie a la que corresponde de manera muy certera.

La aplicación sólo es fiable para individuos adultos porque en los juveniles no se consiguen los resultados deseados, al no haber completado todo su desarrollo. Para saber si un individuo es adulto, sólo hay que fijarse en que presente el peristoma reflejado, característica utilizada por Wolda (1970), Potts (1975), Pollard (1975), Williamson (1976), Oosterhoff (1977), Crook (1980), Baur (1988) o Rodríguez Perochena (2006) para asegurarse de que un individuo ya ha alcanzado el estadio adulto.

En el caso de ejemplares juveniles, habrá que recurrir a análisis genéticos para determinar a qué especie pertenecen.

Esta herramienta, ni quiere ni puede suplir el trabajo de los taxónomos especialistas, es más, son sus conocimientos los que se han utilizado para conseguir un elevado porcentaje de clasificaciones positivas. En ningún caso, la fiabilidad de la herramienta podrá alcanzar el 100% debido a que siempre existirá un porcentaje debido a errores, bien de tipo I o de tipo II. Las ventajas de esta herramienta son que está basada en una técnica no intrusiva, ya que sólo hay que hacerle 3 fotos al ejemplar que queramos clasificar, no teniendo que hacer una biopsia que puede conllevar la muerte del ejemplar por diferentes infecciones. Además, se puede realizar *in situ*, no teniendo que esperar a realizar los análisis genéticos en un laboratorio y así, se pueden tomar decisiones en el momento.

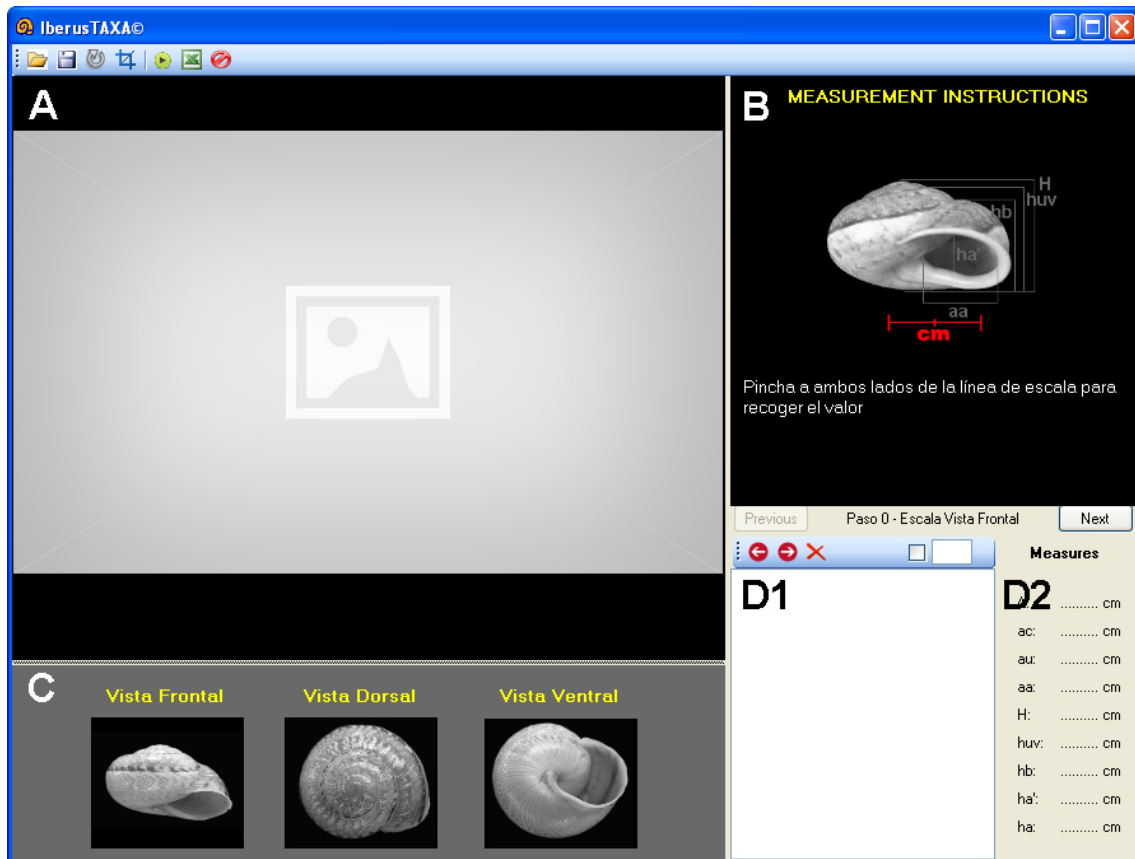
Esta herramienta podrá ser utilizada por los Técnicos de Medio Ambiente que estén trabajando en la caracterización y conservación de las especies del género *Iberus*, aumentando la efectividad del trabajo que realizan. Aunque el desarrollo de la herramienta se ha hecho para que pueda ser utilizada por cualquier persona interesada en identificar ejemplares de este grupo de gasterópodos terrestres.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

La aplicación ha sido desarrollada utilizando el Framework 2.0 de .NET para que sea compatible e instalable en equipos con sistema operativo Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8, etc. La aplicación está íntegramente desarrollada utilizando el lenguaje de programación C#, lo que permitiría una rápida migración a sistemas mobile como Windows Phone o a otras plataformas como Android o iOS (Sistema Operativo de Apple).

Para la realización de los cálculos, así como los algoritmos y el tratamiento de las imágenes se ha utilizado la librería aForge para .NET, que entre otras funcionalidades incorpora diversos algoritmos de cálculo complejos, así como otros destinados al tratamiento digital de las imágenes. Gracias a estas librerías se pueden realizar mejoras o utilizar diferentes tratamientos de las imágenes de una forma más rápida y efectiva. La aplicación permite la exportación de datos a XML y Excel, para su posterior análisis fuera de la herramienta, lo cual permitiría una interoperabilidad con nuevas aplicaciones que quiera utilizar dichos datos.

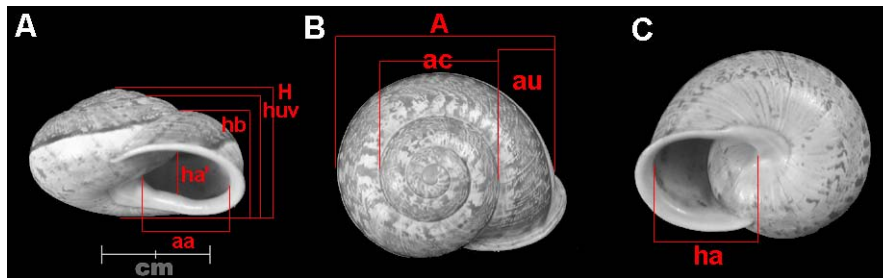
En el desarrollo de la aplicación se ha tenido en cuenta que su interfaz sea sencilla e intuitiva para favorecer el manejo de la misma. (Figura 3.2)



**Figura 3.2.** Interfaz de IberusTAXA© A) Ventana de medición B) Ventana de instrucciones; C) Ventana de carga de imágenes; y, D) Ventana de resultados: D1) Zona de resultados, y D2) Zona de medidas recogidas.

Para saber la especie a la que pertenece un ejemplar, son necesarias tres fotografías del animal: una fotografía de la vista frontal, otra de la vista dorsal y, por último, otra de la vista ventral (Figura 3.3). Para conseguir la escala, es imprescindible que al hacer cada fotografía de las conchas se sitúe una porción de papel milimetrado a la misma distancia focal para así poder cuantificar cada una de las variables objeto de estudio.

El programa informático, en su ventana de instrucciones (ver figura 1 B) nos irá pidiendo que vayamos cargando las fotos en su interfaz, y a su vez, nos irá requiriendo que marquemos unos puntos en las mismas para ir obteniendo las medidas características de esa concha.



**Figura 3.3.** Vista frontal, dorsal y ventral con las diferentes medidas que se tienen en cuenta para realizar la discriminación de los ejemplares

Las variables que se miden para caracterizar la concha a identificar, son las siguientes

Vista frontal (Figura 3.3 A):

- H: altura total (desde el punto más bajo al ápice)
- hb: altura de la base (desde el punto más bajo al punto de diámetro máximo o quilla).
- huv: altura de la última vuelta de espira.
- ha': altura aparente de la abertura.
- aa: anchura de la abertura.


Vista dorsal (Figura 3.3 B):

- A: anchura máxima (diámetro, sin incluir el peristoma)
- au: anchura de la espira al final de la ontogenia (sin incluir el peristoma).
- ac: anchura total de las vueltas centrales (vista dorsalmente).

Vista ventral (Figura 3.3 C):

- ha: altura de la abertura.

El primer valor requerido en cada fotografía será la escala, para ello marcaremos los extremos de la escala y en una ventana emergente nos pedirá la equivalencia de esos puntos en centímetros, para transformar todas las medidas de esa fotografía en base a esa escala.

Una vez introducida la escala, el programa nos irá indicando en la ventana de instrucciones (Figura 3.2 B), las medidas que se tienen que ir introduciendo, con una explicación gráfica de cómo se realiza. Una vez marcados los puntos de cada medida, para validarlos, es necesario pulsar el botón “Next” de la ventana de instrucciones (Figura 3.2 B) para que el programa almacene los datos y cargue las instrucciones para recoger la siguiente medida. Los valores de las variables irán guardándose en la ventana de recogida de datos (Figura 3.2 D2). En el caso que nos equivoquemos a la hora de marcar un punto, podremos seleccionarlo en la ventana de recogida de datos y pulsando el botón , se borrará de la lista y se puede volver a introducir. Y se repite el proceso hasta recoger todas las medidas necesarias para cada fotografía. Al introducir los puntos de la última medida de cada fotografía, nos pedirá que carguemos la foto siguiente, para ello sólo hay que pulsar en la ventana de carga de imágenes (Figura 3.2 C) sobre la foto de la vista que deseamos medir y aparecerá la siguiente fotografía en la ventana de mediciones (Figura 3.2 A), en la que seguiremos el mismo procedimiento.

Al igual que si nos hemos equivocado en una medida anterior, podremos regresar a ella pulsando el botón “Previous” de la ventana de instrucciones (Figura 3.2 C), pudiendo borrar los datos correspondientes a esa medida y procediendo a su nuevo registro.

Cuando se han recogido todas las medidas necesarias, sus valores son introducidos en las fórmulas obtenidas tras realizar un análisis discriminante en el que se han utilizado todos los ejemplares analizados en el capítulo de taxonomía de este trabajo. Al utilizar todas las especies, el porcentaje de acierto a la hora de discriminarlas disminuye, pasando de ser un 83,33% para el grupo *gualtieranus* y de un 81,69% para el grupo *marmoratus*, a un 76,35% para todos en conjunto. Para aumentar la fiabilidad de identificación, al final del análisis, el programa nos dará dos opciones con un porcentaje para cada una de ellas, y se ha añadido un mapa de distribución de la especie a la que ha asignado el individuo analizado, para, de esta manera, conseguir que el porcentaje de acierto aumente hasta el 95% una vez que sabemos la localización exacta del individuo.

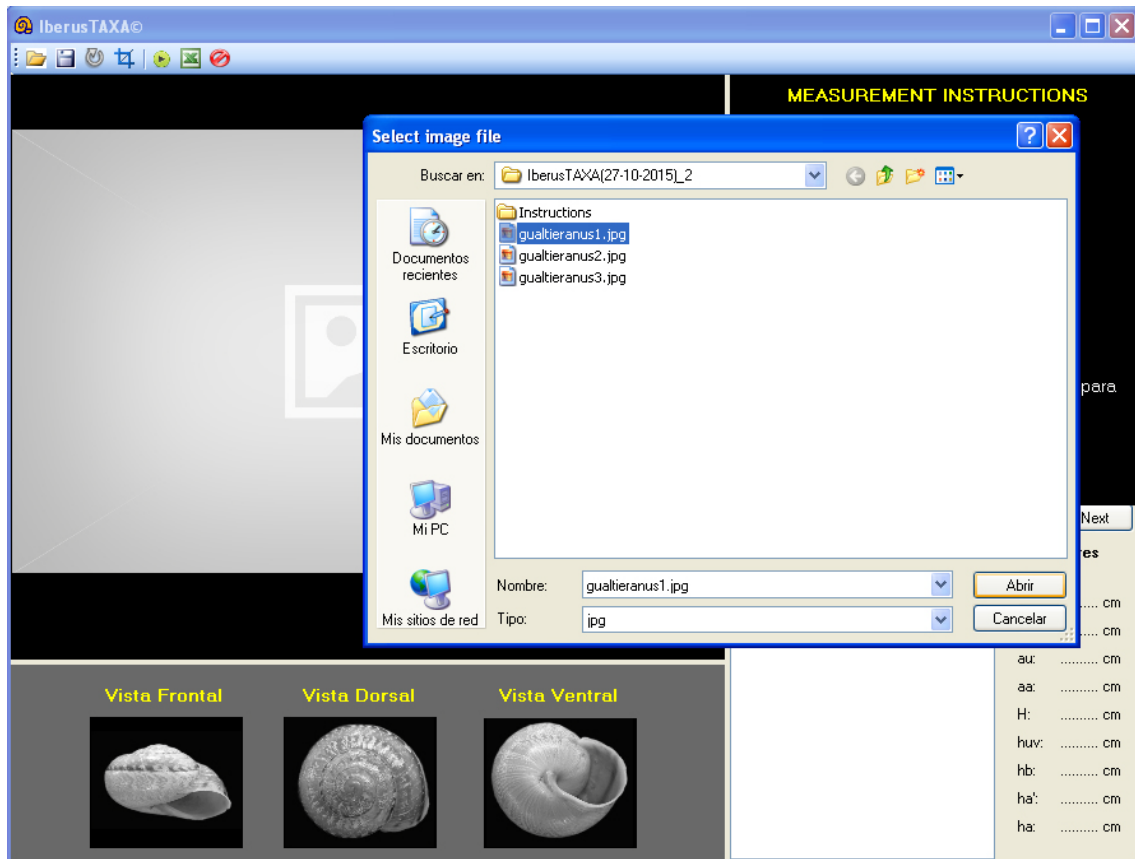
Para la realización de los mapas de distribución se ha utilizado los datos bibliográficos obtenidos de Cobos (1979), López Alcántara y cols. (1985), Puente (1995), Arrebola (1996), Ruiz y cols. (2008)

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para demostrar que la herramienta es eficaz, se ha validado utilizando conchas pertenecientes a las colecciones de Hidalgo, Paz y Membiela, Azcoitia, Ortiz de Zárate, García San Nicolás y Cobos depositadas en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid, así como los de las colecciones particulares de los Dres. Puente, Arrébola, Gómez Moliner, Muñoz y Ruiz.

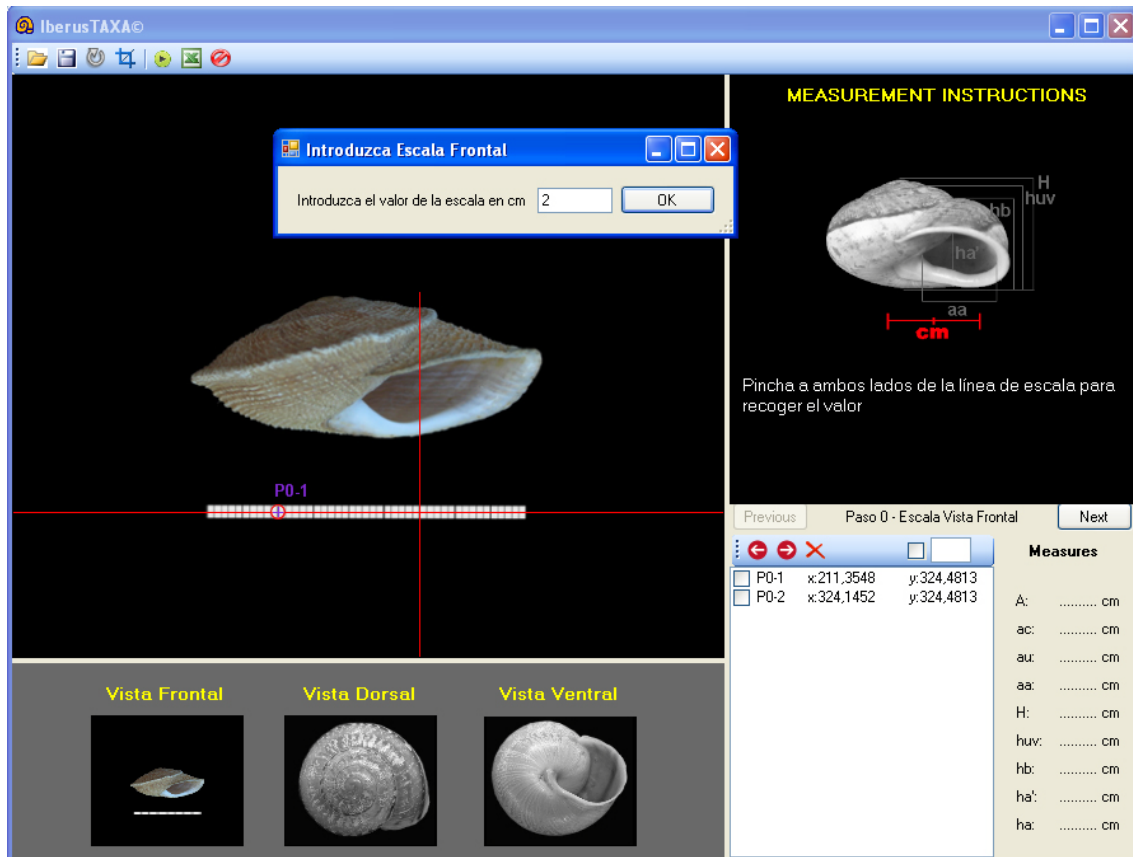
Para mostrar los resultados conseguidos, se explicará el funcionamiento de la herramienta con un ejemplo

Lo primero que tenemos que hacer es cargar la fotografía de la vista frontal en la zona de medición (ventana A Figura 3.2), y se hace pulsando en la foto en miniatura de la izquierda donde pone vista frontal (ventana C Figura 3.2). Aparece una ventana emergente para poder seleccionar la imagen del directorio donde se encuentre (Figura 3.4) A continuación, en la parte superior derecha, podemos observar la zona de instrucciones, donde el programa irá indicando los pasos que tenemos que ir haciendo en la ventana B Figura 3.2.



**Figura 3.4.** Fotografía de la interfaz de la aplicación IberusTAXA©, donde se observa el menú emergente que se muestra una vez que pulsamos cualquiera de las fotografías en miniatura de la zona de carga de imágenes (Figura 3.2 ventana C).

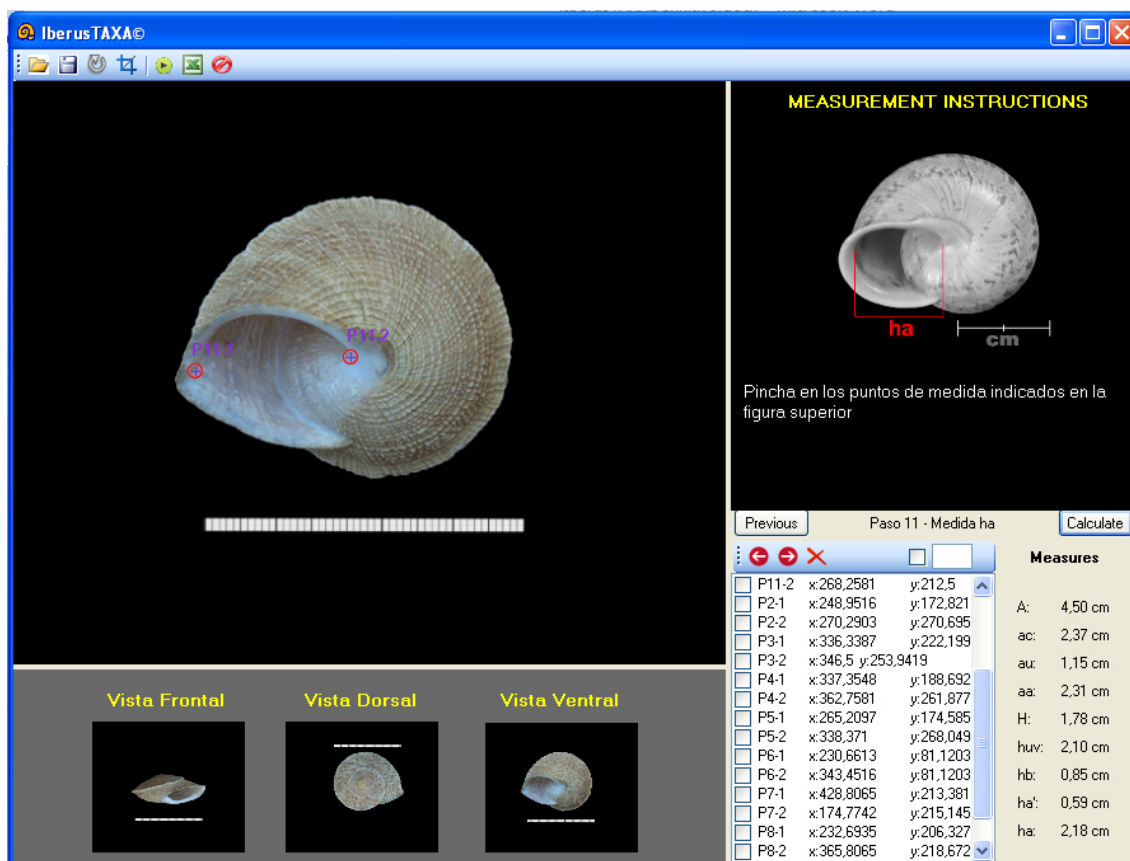
El siguiente paso a realizar es medir la escala a la que está hecha la foto, marcaremos los dos puntos de la misma y se muestra un mensaje en el que nos pide la equivalencia en centímetros de la escala medida (Figura 3.5). Una vez puestos los centímetros, habrá que pulsar el botón “Next” para que se nos indique el siguiente paso a seguir.



**Figura 3.5.** Fotografía de la interfaz de la aplicación IberusTAXA©, donde se observa una fotografía ya cargada en la ventana de mediciones, mientras se requiere la introducción del tamaño de la escala para poder transformar los píxeles a centímetros

En la Ventana de Instrucciones (ventana B Figura 3.2) irán apareciendo fotografías con las diferentes variables que hay que analizar. En la “zona de resultados” se irán guardando los diferentes puntos que vamos marcando para cada medida (ventana D1 Figura 3.2), y la equivalencia de cada medida ya transformada en centímetros aparecerá en la “zona de medidas recogidas” (ventana D2 Figura 3.2).

Para calcular todas las medidas hay que seguir todas las instrucciones a medida que vamos marcando los puntos que nos requiere, y pulsando el botón “Next” hasta que el programa nos pide que carguemos la siguiente fotografía. Cargaremos la fotografía dorsal. Pinchando en la fotografía en miniatura del medio. Repetimos el paso de la escala, y seguimos proporcionando todas las medidas que se requieren. Volvemos a cargar la última fotografía, siguiendo el mismo procedimiento que en los casos anteriores y, cuando tengamos todas las medidas necesarias, pulsamos el botón “Calculate” (Figura 3.6).



**Figura 3.6.** Fotografía de la interfaz de la aplicación IberusTAXA©, donde se observan todas las medidas rellenas (Figura 3.2 ventana D1) y el botón para resolver la especie problema, debajo de la zona de instrucciones (Figura 3.2 ventana B)

Una vez realizados los cálculos para las variables introducidas, la aplicación IberusTAXA© las introducirá en las fórmulas, consiguiendo dos especies a las que con más probabilidad pertenecerá nuestro ejemplar. Sólo nos queda decidir, en función de la localización del ejemplar, a qué especie pertenece el mismo (Figura 3.7).

En la bibliografía revisada se ha encontrado que ya en los años 70 encontramos referencias al uso de ordenadores para apoyar el proceso de identificación de especímenes biológicos (Morse, 1971; Pankuhurst, 1970; Dallwitz, 1974).



**Figura 3.7.** Fotografía de la interfaz de la aplicación IberusTAXA©, donde se muestran los mapas que dan la solución a los datos de la concha problema.

Lo que más hemos encontrado, son claves dicotómicas virtuales, con fines divulgativos, en las que el usuario en cada una de las pantallas va eligiendo entre dos características la que más se aproxima a su ejemplar-problema, llegando a una identificación a nivel específico (como p. e. Ebener y cols., 2006). El principal problema que presenta este tipo de claves es que son totalmente subjetivas, dependiendo de los conocimientos del usuario a la hora de interpretar la clave utilizada, y dicha clave te asigna directamente una especie determinada por las características especificadas en la base de datos predeterminada en el programa. Sin embargo, nuestra herramienta es totalmente objetiva y discrimina a una especie con un porcentaje de acierto para que el usuario pueda asignarla a la que mejor se adapta según la información adicional suministrada mediante mapa de distribución.

Se puede decir que de todo lo que hemos revisado, uno de los campos en el que más se ha avanzado desde finales del siglo pasado es el campo de la taxonomía, más concretamente en la taxonomía botánica y en los sistemas que

utilizan claves dicotómicas, encontrándose diferentes sistemas como son Meka (Duncan y Meacham, 1986); Pankey (Pankhurst, 1991); Linnaeus II (Schalk y Troost, 1999); Navikey ([www.navikey.net](http://www.navikey.net));

Otro tipo de aplicaciones encontradas son los sistemas expertos diseñados para el diagnóstico y tratamiento de plagas en cultivos y granjas de animales (Mahaman y cols., 2002; Mahaman y cols. 2003; Daoliang y cols. 2002) y el asesoramiento en la gestión de recursos naturales (Li y cols., 2001).

La herramienta más similar a IberusTAXA, por tener una finalidad taxonómica que se ha encontrado es GREEN, que sirve para la determinación botánica de especies y está basada en sistemas de conocimiento y claves de identificación generadas por el propio sistema mediante Inteligencia Artificial mediante la herramienta XKey, fue desarrollado Gibaja (2005). IberusTAXA© es mucho más simple respecto al funcionamiento y no genera datos nuevos, sino que compara con datos de una base de datos previamente confeccionada con los datos de todos los individuos sobre los que se realiza el análisis discriminante para obtener las fórmulas correspondientes.

Una de las características que hacen de IberusTAXA© una herramienta pionera respecto a todas las aplicaciones que hemos mencionado con anterioridad, es que funciona *off line*, es decir, no necesita de conexión a internet para poder conseguir una solución a la concha que queremos clasificar y no ocupa mucho espacio ya que no necesita tener guardada una base de datos con infinidad de registros, sino que una vez que los datos han sido analizados y se han conseguido las diferentes funciones discriminantes, sólo es necesario guardar estas para una correcta identificación de los ejemplares.

Además el tiempo de ejecución de la aplicación, establecido como tiempo medio de identificación de un ejemplar, es de no más de 5 minutos, aunque una vez que estás familiarizado con el interfaz, se puede reducir el tiempo a unos 3 minutos. Tiempo que consideramos más que razonable para conseguir asignar una concha a una especie con la fiabilidad que lo hace IberusTAXA©.

# 4. BIOLOGÍA

Estudio de la biología de una población de *I. g. gualtieranus* en Sierra Elvira, e  
*I. alonensis-like02* en Lanjarón

## BIOLOGÍA

Como se comentó en la introducción, para llevar a cabo el estudio de la biología del género *Iberus*, se han elegido dos de las especies más representativas como son, *I. gualtieranus gualtieranus* e *I. alonensis-like02*. En primer lugar se consideran estas dos especies por existir trabajos previos en condiciones de laboratorio con los que comparar (García San Nicolás, 1957; Rodríguez Perochena, 2006), y en segundo lugar, por ser las especies más conocidas del grupo, al ser las de mayor valor culinario (Arrébola, 2002; Arrébola y col, 2006). Este capítulo consta de partes comunes para ambos diseños experimentales y partes concretas para cada uno de ellos, para poder diferenciar entre ambas especies se utilizan los acrónimos de las mismas IG e IA.

Una vez seleccionadas las especies objeto de estudio, se procedió a buscar una zona con características adecuadas donde ubicar las parcelas de estudio. *Iberus gualtieranus gualtieranus* sólo vive en cuatro enclaves muy localizados: Sierra de Jaén, Sierra Elvira, Sierra de Gádor y Cuevas de Almanzora (Elejalde y cols., 2005; Arrébola y cols., 2006), de ahí que las posibilidades de selección de la zona fueran limitadas. Se visitaron diferentes enclaves para comprobar cuál era más idóneo para el estudio, es decir, presentaba una elevada densidad de individuos, tenía fácil acceso, posibilidad de delimitar parcelas e introducir marcas de referencia, etc. Una vez elegida la zona más adecuada, se procedió a averiguar la titularidad de los terrenos para solicitar los permisos pertinentes que nos permitiesen desarrollar el estudio completo. Esto obstaculizó y retrasó el proceso ya que no resultó sencillo localizar a los propietarios. Se optó finalmente por elegir la parcela en Sierra Elvira, en el municipio de Atarfe (Provincia de Granada). La titularidad municipal facilitó enormemente los procesos burocráticos, contando con la ayuda inestimable de D. Manuel Chiroso y D. Borja Nebot, de la Delegación de Medio Ambiente de Granada. Posteriormente a los estudios de campo, se publicó un artículo científico sobre la filogenia del género *Iberus* (Elejalde y cols., 2005) en el que

---

se concluyó que la población de Sierra de Gádor es la original para la subespecie, siendo las otras poblaciones introducciones antrópicas. En concreto, la población que estudiamos en Sierra Elvira se piensa que fue introducida en época romana y, por tanto, el éxito de esta introducción, tras casi veinte siglos de historia, hace pensar que las condiciones son muy semejantes, aunque no idénticas, a las del foco de origen. Esto hace que los resultados y conclusiones que se obtengan sobre la biología de la subespecie sean muy valiosos tanto por su extrapolación como por su contraste respecto a futuros estudios en la Sierra de Gádor.

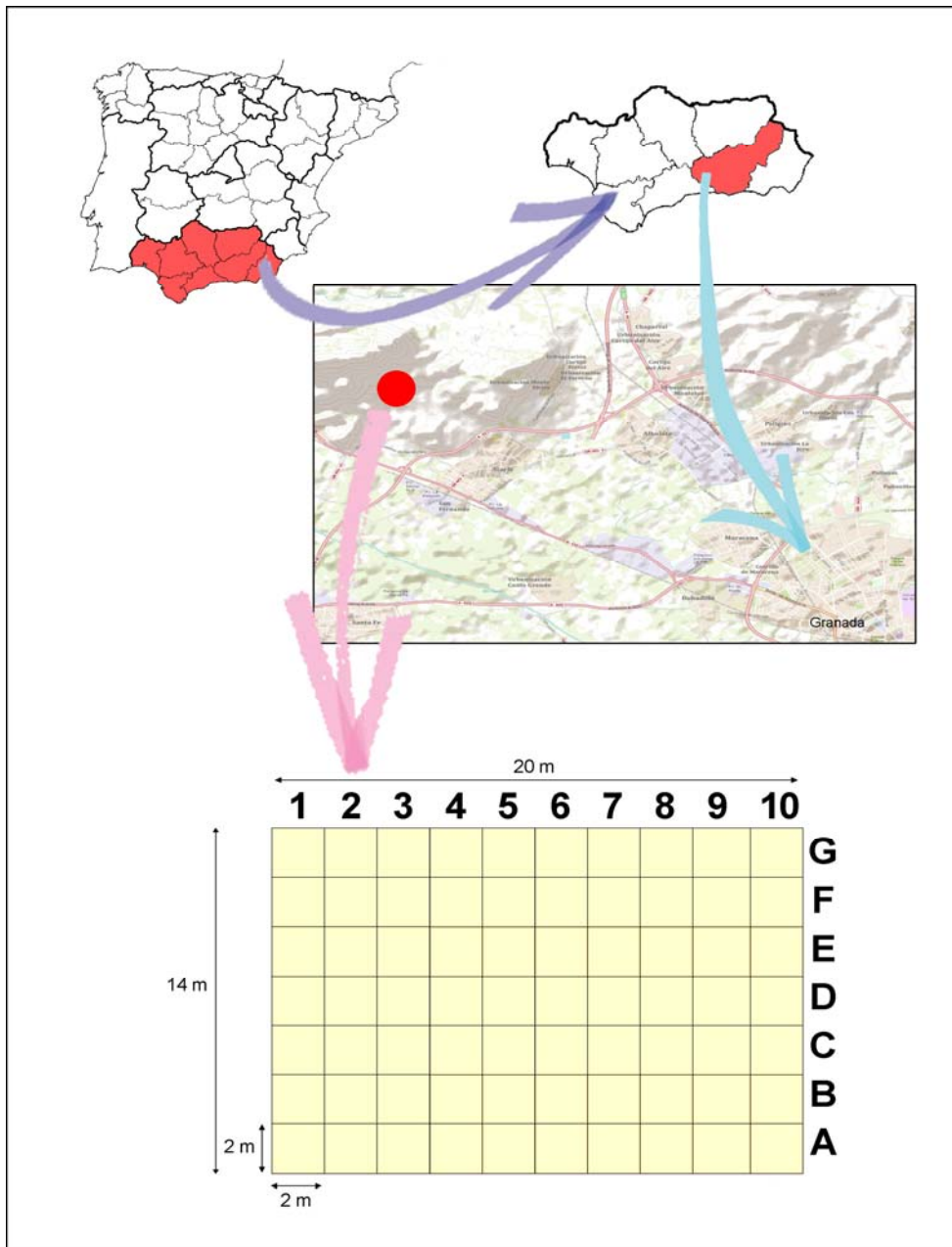
*Iberus alonensis* s. l., al poseer requerimientos ecológicos menos estrictos que *I. g. gualtieranus* (Moreno-Rueda, 2002), vive en una mayor amplitud de condiciones climáticas, tipos de suelo y vegetación, comprendiendo su rango de distribución la mayoría de provincias de la mitad Este peninsular. La ubicación final de la zona de estudio se localizó, en un área de afloramientos de calizas pertenecientes al término municipal de Lanjarón. Esta zona cumplía adecuadamente las características exigidas, especialmente en cuanto a que la densidad de individuos era la mayor encontrada entre el elenco disponible, y resultó ser la más próxima al área seleccionada para *I. g. gualtieranus*, de entre todas las que se visitaron, lo que facilitaba los trabajos de campo. También resultó que la especie elegida era *I. alonensis-like02*, que posee una distribución más reducida que *I. alonensis*. Además, el titular de la propiedad no puso ningún impedimento para que se llevase a cabo el estudio, ofreciendo todo tipo de colaboración gracias de nuevo a la ayuda inestimable de D. Manuel Chiroso y D. Borja Nebot, de la Delegación de Medio Ambiente de Granada.

## ZONA DE ESTUDIO

Es importante comenzar aclarando que con el término “zona de estudio” nos referimos a toda la superficie en la que se han verificado observaciones sobre el ciclo biológico tanto de *I. g. gualtieranus* en Sierra Elvira como de *I. alonensis-like02* en Lanjarón.

*Localización de la zona de estudio IG*

La zona elegida para llevar a cabo el estudio de esta especie se sitúa en Sierra Elvira, Granada, una de las cuatro zonas exclusivas donde está presente este endemismo. La Sierra Elvira ocupa parte de los términos municipales de Albolote, Atarfe y Pinos Puente, todos ellos de la comarca agraria “De La Vega”. Esta sierra está situada a 10 km de Granada capital y presenta una superficie de 18 km<sup>2</sup> (Figura 4.1).



**Figura 4.1.** Ubicación de la zona de estudio y localización de Sierra Elvira. Representación esquemática de la parcela de estudio de *I. gualtieranus*, sus dimensiones y las cuadrículas que conforman cada una de las calles definidas.

---

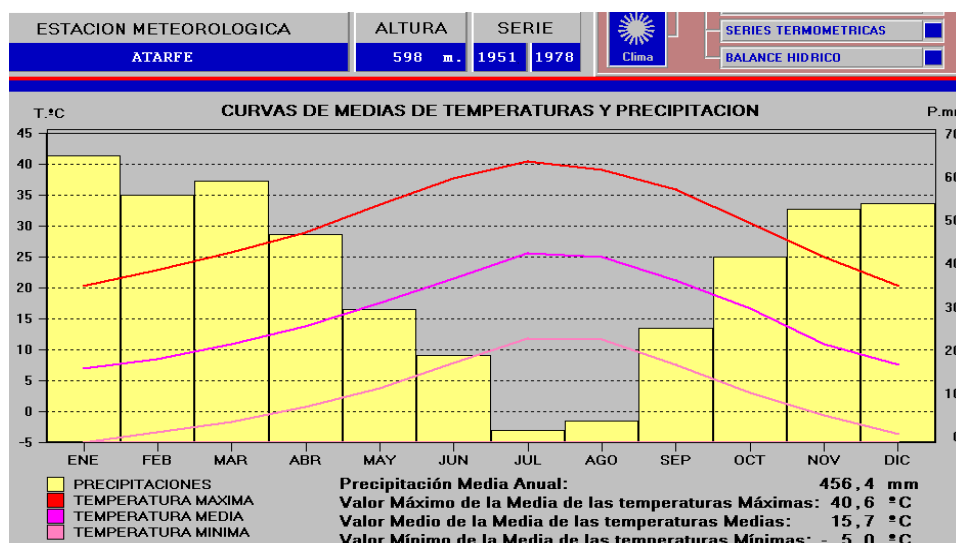
### *Características de la zona de estudio IG*

Sierra Elvira es un pequeño macizo calcáreo que, como el resto de la comarca “De La Vega”, está encuadrado en la ecoprovincia mediterránea Continental de las Depresiones Terciarias de las cordilleras Béticas (concretamente al subbético medio). Está compuesta por materiales del Triásico, Jurásico y Cretáceo fuertemente plegados, rodeados de materiales neógenos del cuaternario de la Depresión de Granada. Los materiales del Jurásico son los que ocupan la mayor extensión y están formados por calizas y dolomías del Lias medio y bajo, así como margas y calizas del Lias superior, Dogger y Malm. Estas calizas y dolomías han sufrido una erosión kárstica superficial que ha dado lugar a estrechas fisuras (Montes y cols., 1998). Toda la sierra está rodeada por cultivos que penetran en su sector Este, pero el resto ha podido mantener su morfología superficial. En los sedimentos marinos del mesozoico, del tipo calizas y niveles margosos, se pueden reconocer fósiles marinos. La tectónica está representada por un conjunto de fallas de borde, junto a dos fallas normales de gran magnitud, una con dirección NW 30 SE y la otra 110 NNE SSW. Todo el conjunto destaca por ser un horst tectónico y sus correspondientes fosas (Jabaloy y cols., 1993; Calvache, 1997; De Galdeano, 2012).

Sierra Elvira se divide en dos zonas, zona Norte y zona Sur. En la primera es donde todavía queda la vegetación potencial, que es un estado de degradación de los bosques de alcornoque con comunidades saxícolas y se incluye en la Asociación Paeonio-Quercetum rotundifoliae (Rivas Martínez, 2005). Hacia el Sur la vegetación se degrada a matorral, abundando las especies saxícolas por la elevada presencia de áreas rocosas. Precisamente esta zona Sur destaca por ser un área con erosión kárstica evidente, suelos pobremente desarrollados y baja densidad de vegetación, existiendo suelos más ricos en la zona Norte, con una menor insolación y mayor humedad, al igual que una mayor densidad de vegetación. (Moreno-Rueda, 2009).

Esta sierra está formada por tres collados con más de 1000 m cada uno, donde también se encuentra la conocida Raja Santa, sima que forma parte constituyente del Karst (Durán y López, 1999).

Sierra Elvira pertenece al sector malacitano-almijariense y al piso Mesomediterráneo medio/superior (Rivas Martínez, 2005). Su clima es de tipo Continental Mediterráneo (Capel, 1987) o Mesomediterráneo seco (UNESCO, 1963), con cinco meses de sequía (cara Sur) y precipitaciones anuales entre 600 y 1000 mm. Para conocer los valores de las principales variables ambientales se utilizan como referencia los registros de la estación meteorológica de Atarfe, comprendidos entre 1951 y 1978 (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, 1999, 2000). La temperatura media anual es de 15,7 °C, presentando una oscilación térmica bastante acusada, con valores medios mínimos de -5 °C y medios máximos de 40,6 °C. La precipitación media anual es de 456,4 mm, Se puede observar una sequía estival en los meses de Julio y Agosto, llegando la media apenas a 2 mm de precipitación en los mismos, y resultando aún secos los meses de junio y septiembre. Las mayores precipitaciones se alcanzan en los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero. Como se puede observar en la figura resumen con los datos medios correspondiente, la zona está caracterizada por una climatología de altas temperaturas y escasas precipitaciones (Figura 4.2).



**Figura 4.2.** Representación de los datos de temperatura y precipitaciones medias entre los años 1951 y 1978 de la estación meteorológica de Atarfe.

La zona concreta de estudio está situada en la ladera Sur de Sierra Elvira (coordenadas X=43107 e Y=4121877), por lo que se pueden aplicar las peculiaridades descritas anteriormente, destacando los 5 meses de sequía estival. Se seleccionó esta zona por el fácil acceso y la abundante presencia de

---

ejemplares de *I. g. gualtieranus*, cuyas formas y tamaños recuerdan a los de la población original de la Sierra de Gádor, pero con rasgos conculógicos menos desarrollados y de tamaños comparativamente menores (Moreno-Rueda, 2014).

La parcela objeto de estudio se asienta sobre un sustrato de karst desnudo, muy poco desarrollado. Ocupa un área de forma rectangular de 20 por 14 m (Figura 4.1). Presenta una orientación N-S y se sitúa en la cara Sur de la sierra, donde sus lados Norte, Este y Oeste suponen la continuación de las características de la parcela pudiéndose realizar en ellos los recorridos externos, en contraposición del lado Sur que está limitado por un camino que podría ser considerado como una frontera natural, ya que impide que los individuos crucen de forma habitual.

Entre la vegetación presente destacan *Rosmarinus officinalis* L. (Romero), *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss (Escobón), *Rhammus lycoides* L. (Espino negro) y *Stipa tenacissima* L. (Esparto), en el estrato arbustivo, *Rumex bucephalophorus* L., *Genista* sp., *Lavandula* sp. y *Calina* sp. en el estrato herbáceo, así como algunas gramíneas como la *Avena sativa* L. La cobertura ha sido utilizada (según la metodología de Mostacedo, 2000) para medir la abundancia de especies, ya que se usa para determinar la dominancia de especies o formas de vida (Matteucci y Colma, 1982). Se estima que el porcentaje de roca desnuda es del 60% aproximadamente, con pendientes que llegan hasta el 75-80% de desnivel en algunos sitios. En el 40% restante el romero surge en macollas, con las raíces hundidas en las rocas y supone el 90-95% de la cobertura vegetal total. *Rhammus* sp. comparte sitio con el romero, apareciendo individualmente y con tamaños en torno a 70-80 cm, si bien su presencia es rara. Las gramíneas crecen como individuos aislados, suponiendo el 2-3% de la cobertura total. *Rumex bucephalophorus* también crece individual y aisladamente, siendo su porcentaje de cobertura del 1-2%.

En el suelo se hallan cantos angulosos de tamaño variable entre 3 y 10 cm, producto del fraccionamiento de la roca. También existen arenas y arcillas de descalcificación. Por lo tanto el horizonte orgánico es poco relevante (Pérez-Peña, 2015).

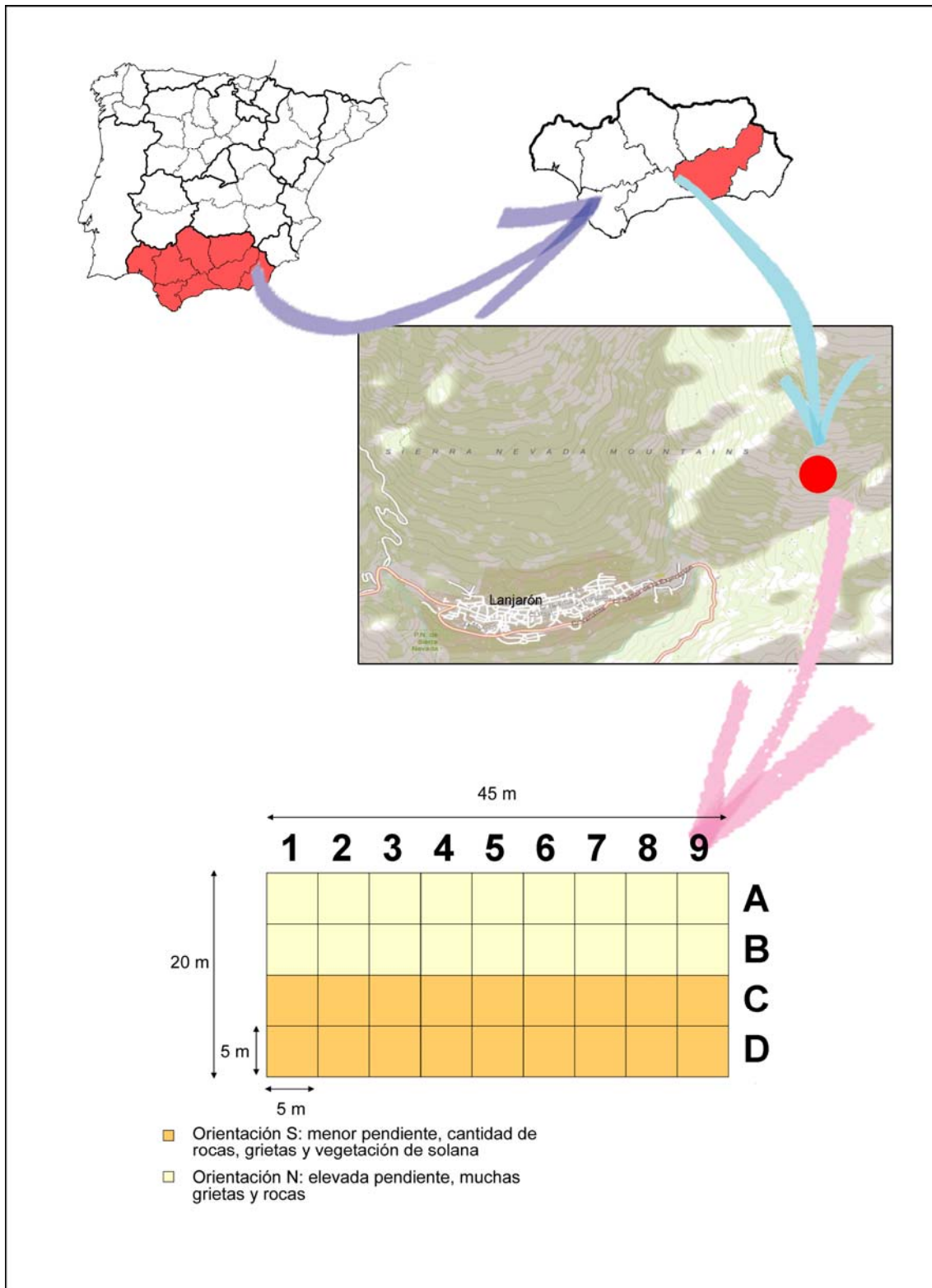
En cuanto a la fauna existente, no se realizó un estudio faunístico en detalle pero si se intentó identificar aquellas especies que pudieran afectar de forma directa a nuestra especie objeto de estudio, bien por alterar su actividad o crecimiento, bien porque fueran capaces de provocarles la muerte. Cabe destacar que no se detectaron topos, erizos, ratas o ratones, conocidos depredadores de moluscos terrestres (Chevallier, 1992; Arrébola y Muñoz, 2007), aunque no se puede descartar su presencia porque, aunque muy escasas, se encontraron algunas conchas que podrían denotarla. Por el contrario, sí que habría habido ataques de aves que ocasionalmente se alimentarían de caracoles, como demuestran las formas en que aparecían rotas algunas conchas. Por último, se encontraron diversos insectos, en especial dípteros (moscas) e himenópteros (avispas) que utilizaron las conchas de *I. g. gualtieranus* para realizar sus puestas. De hecho, se detectaron larvas y pupas de insectos en conchas donde el epifragma estaba completo e intacto, lo que implica que la entrada al interior de la concha se había producido en momentos previos a la estivación del animal, estando éste vivo, esto se conoce como especies parasitoides y en la mayoría de los casos es llevada a cabo por diferentes himenópteros. En algunos casos también se observaron pequeños agujeritos de origen desconocido, que podrían estar relacionados con algún enemigo capaz de perforar la concha. Finalmente, ciertos miriápodos y arañas (existencia de telas), también estuvieron relacionados con las conchas vacías de este caracol.

Otras especies de moluscos terrestres identificados en el área estudiada son: *Microxeromagna armillata*, *Rumina decollata*, *Sphinterochila candidissima*, *Trochoidea spp.*, *Helicella huidobroi*, *Ferussacia follicula*, *Xerosecta promissa*, *Xerosecta reboudiana*, *Chondrina granatensis*, *Pyramidula rupestris*, *Jaminia quadridens*, *Caracollina lenticula*, *Candidula gigaxii*, *Granopupa granum*, *Iberus alonensis-like02*.

#### *Localización de la zona de estudio IA*

Para el estudio de *Iberus alonensis-like02* se ha elegido una zona situada en la vertiente Sur de Sierra Nevada, en el término municipal de Lanjarón, provincia de Granada. La zona está limitada por el río Lanjarón y la localidad del mismo nombre por su parte Oeste, por la carretera autonómica A-348 por el Sur, con

el término municipal de Órgiva por el Este y por las cumbres de Sierra Nevada por el Norte (Figura 4.3).



**Figura 4.3.** Ubicación de la zona de estudio y representación esquemática de la parcela de estudio de *I. alonensis*, sus dimensiones y las cuadrículas que conforman cada una de las calles definidas.

### *Características de la zona de estudio IA*

Tanto Lanjarón, como los términos municipales limítrofes (Órgiva, Cáñar...) pertenecen a la comarca agraria de "Las Alpujarras" y se encuadra en la Ecoprovincia Mediterránea Continental de las Depresiones Terciarias de las cordilleras Béticas, región de las Cordilleras Béticas con rocas metamórficas y graníticas (Montes y cols., 1998). Esta comarca se extiende entre la vertiente Sur de Sierra Nevada y la vertiente Norte de las Sierras de Lújar y Contraviesa. Está caracterizada por paisajes de tipo granítico que se prolongan en altura, hasta el Norte (Sierra Nevada), y afloramientos de calizas al Este, atravesada por la cabecera y el tramo medio del río Guadalfeo, dicho río corta la plataforma entre las sierras. En el entorno de Lanjarón se encuentran rendzinas muy desmanteladas en los afloramientos de calizas, de origen lacustre. Los suelos son pardos sobre granitos. El intenso uso de la agricultura de montaña, característico de la zona desde la época andalusí, queda patente en el sistema de aterrazamiento (bancales y balates) de las laderas de todos los sistemas montañosos, sobre todo en las vertientes meridionales (zonas de solana), que es donde se concentran los núcleos de población: Lanjarón, Laroles, Válór, Mecina Alfahar y Mecina Bombarón.(Cano y cols., 1998)

Centrándonos en la vegetación, en el Este tenemos una serie termomediterránea semiárida de *Pistacia* sp. con *Bupleurum* sp., pasando a un mesomediterráneo cálido de *Quercus coccifera* L. y *Ephedra* sp., que es mayoritario. Esta serie presenta algunas facies típicas con *Rhamnus* sp. y *Pinus* sp., mientras que sobre suelos ácidos estas series pasan a mesomediterráneo hiperhúmedo de *Quercus ruber* L. Hacia el Oeste, los afloramientos de calizas determinan la presencia de las series meso y supramediterráneo basófilas de *Quercus ilex subsp. ballota* (Desf.) Samp. La sierra de Lújar presenta parches oromediterráneos de *Juniperus* sp. En el Norte, ocupando parte de Sierra Nevada, la serie silicícola anterior pasaría de *Quercus ilex subsp. ballota* al supramediterráneo de *Quercus pirenaica* Willd., y al oromediterráneo de *Juniperus nana* Willd., terminando en el crioromediterráneo de *Festuca* sp. (Rivas Martínez, 2005)

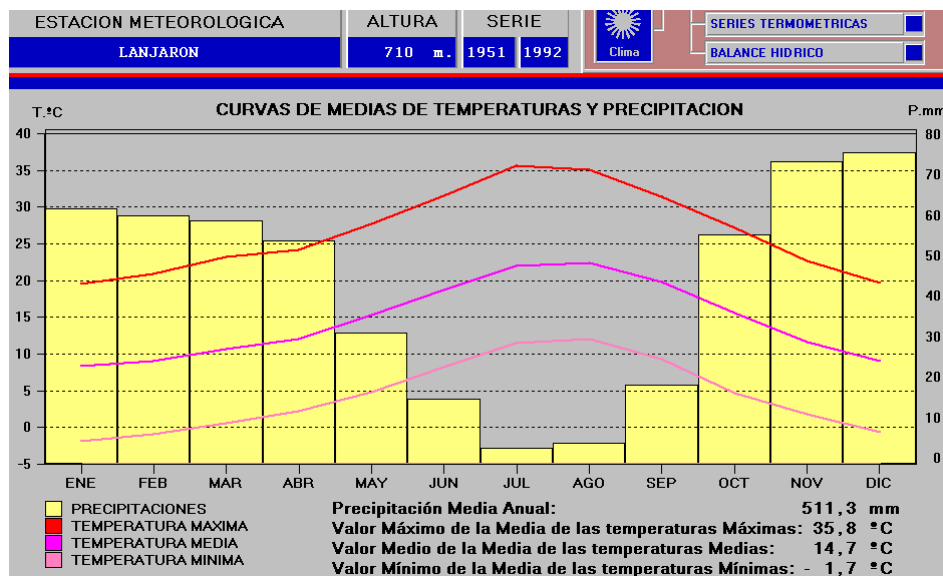
El término municipal de Lanjarón presenta caudales permanentes, abundantes fuentes y clima suave a lo largo de sus casi 60 km<sup>2</sup> de extensión. Coincide con

---

la mayoría de la cuenca del río homónimo, cuyo principal tributario es el arroyo Salado. Al igual que los otros cursos principales de la vertiente Suroeste de Sierra Nevada (Izbor, Chico, Poqueira y Trévez), el régimen hidrológico se caracteriza por la influencia significativa del proceso de fusión nival en las cumbres de Sierra Nevada, originándose caudales máximos a comienzos de verano. El agua tiene una baja salinidad debido a que la cuenca está ocupada en gran parte por materiales silíceos: esquistos y cuarcitas de macizo de Sierra Nevada (Complejo Nevado-Filábride, según la terminología geológica regional). La ubicación exacta de la localidad, con una altitud aproximada de 600 m, está condicionada por la existencia de numerosos manantiales de pequeño caudal, pero permanentes. En términos geológicos, esta ubicación corresponde al contacto tectónico entre los materiales del Complejo Nevado-Filábride y los del denominado Complejo Alpujárride (Jabaloy y cols., 1993). Estos últimos aparecen al Sur del núcleo urbano y están integrados por filitas y materiales carbonatados. Este importante contacto está oculto bajo un recubrimiento de travertinos cuaternarios, depósitos formados por las descargas de los manantiales, por precipitación del carbonato cálcico disuelto en sus aguas. Los materiales esquistosos son poco permeables, aunque al estar fracturados y alterados, permiten el flujo subterráneo en su seno. El agua circulante procede de la infiltración del deshielo, las precipitaciones y de las aguas superficiales. El flujo subterráneo progresa hacia el Sur y aflora en forma de manantiales al encontrarse los materiales arcillosos sobre los que asienta el núcleo urbano (De Galdeano, 2012).

El clima en la zona es de tipo mediterráneo continental que pasa de las condiciones semiáridas del litoral a las condiciones de media-alta montaña casi sin situaciones intermedias. Presenta veranos cálidos poco secos e inviernos suaves sobre todo en la vertiente meridional de Sierra Nevada (Capel, 1987). El conjunto de las precipitaciones acumula 600 mm anuales en la comarca, exceptuando los puntos altos de la Contraviesa, Sierra de Lújar, Sierra Nevada y las estribaciones de la Almirajara. Para considerar las variables ambientales utilizamos la estación meteorológica de Lanjarón, por ser la más próxima a la zona de estudio y similar altitud, usando los registros correspondientes entre 1951 y 1992 (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, 1999, 2000).

En la Figura 4.4 se puede observar que la temperatura media anual es de 14,7 °C con una oscilación térmica anual bastante acusada, variando entre -1,7 °C y 35,8 °C. La precipitación media anual es de 511,3 mm, existiendo una sequía estival en los meses de julio y agosto, con una media de apenas 4 mm. Las mayores precipitaciones se dan entre noviembre y diciembre.



**Figura 4.4.** Representación de los datos de temperatura y precipitaciones medias entre los años 1951 y 1992 de la estación meteorológica de Lanjarón.

La zona concreta de estudio está constituida por una parcela vallada y terrenos circundantes donde se efectuaron cuatro recorridos externos. La parcela presenta un área rectangular de 20 y 45 m de lado (Figura 4.3). La selección de esta parcela se debe a que la densidad de ejemplares de la especie objeto de estudio era la más elevada entre las zonas prospectadas, además el tamaño medio de los especímenes recolectados era significativamente mayor, lo que parece indicar unas mejores condiciones para el desarrollo de estos gasterópodos. El único problema que plantea esta parcela es la titularidad privada de la misma pero se contó con la total colaboración por parte del dueño D. Antonio Ruiz Rosillo, lo que aseguraba que el acceso a la misma durante el periodo de estudio iba a estar completamente controlado.

En la zona se dan tres plataformas de calizas que levantan verticalmente tres horizontes más duros de arcillas, con niveles de margas carbonatadas que son las que dan lugar a las rendzinas poco evolucionadas (o suelos pardos sobre pedregal) (Rivas Martínez, 2005). La parcela se ubica en la cima de una de las plataformas de calizas, entre dos torrenteras, una de ellas seca que deja

---

depósitos de dos pequeñas terrazas, una de las cuales está utilizada para cultivo, a modo de bancale. La otra aún tiene agua procedente de una surgencia, arranque del travertino, y que se aprovecha para el riego de los bancales. Estas plataformas conjugan las margas evaporíticas y afloramientos de caliza que han sufrido importantes procesos de karstificación formando un conjunto de plataformas travertínicas sobre las que se asienta el propio pueblo de Lanjarón. Esta morfología de fondo de acumulación tiene una cronología terciaria o pliopleistocena, momento en que la cuenca se abre hacia el Mediterráneo a través de lo que hoy se conoce como pasillo de Vélez de Benaudalla (encajamiento del río Guadalfeo) que provoca el drenaje de la antigua cuenca lacustre y da lugar a las morfologías travertínicas actuales (Durán y López, 1999).

El entorno vegetal es de almendros y olivos en el fondo del valle. Aparecen zarzas y vegetación higrófila muy cerca de la torrentera y de las terrazas. Parte de los olivos están sobre la marga y sobre la terraza. En la parcela de estudio destacan *Ulex parviflorus* Pourret, *Lamium maculatum* L., *Stipa tenacissima* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Thymus* sp. en el estrato arbustivo, así como *Lavandula* sp., *Phlomis* sp., y diferentes especies de Compuestas y Gramíneas en el estrato herbáceo. Al igual que en la otra parcela, se siguió la metodología de Mostacedo (2000), para estimar la cobertura de las diferentes especies y conseguir la composición de la parcela, concluyendo que el porcentaje de roca desnuda es del 45% aproximadamente con pendientes que llegan hasta el 75-80% en algunos sitios, y paredes totalmente verticales en otros. En el estrato vegetal, existe un predominio absoluto de las labiadas, que empiezan a entrar en competencia con el esparto. El orden de dominancia de especies es: *Rosmarinus officinalis* (80%), *Thymus* sp. (15%) y *Lavandula* sp. (5%). En torno al afloramiento de la caliza, *Stipa tenacissima* L. empieza a dominar formando una orla a su alrededor. El suelo es permeable, rico y de color pardo, sobre material de calizas tipo margas, que están rodeadas de facies conglomeráticas. Tiene unos 60 cm de desarrollo, con un tapiz de musgos muy potente (6-8 cm) con herbáceas y arbustos, en cubierta muy densa. Este tipo de suelo, que se corresponde con los cartografiados como Tipo 4 en Rivas Martínez (2005), se conserva bien, distinguiéndose tres horizontes sobre la desagregación de la

caliza del sustrato. El tapiz de musgos, tan denso, protege efectivamente el suelo de la escorrentía, permitiendo una infiltración importante.

Al igual que ocurrió en la parcela de IG tampoco se realizó un estudio faunístico exhaustivo, pero se tuvieron en cuenta las especies que pudieran afectar de forma directa a *I. alonensis-like02* que seguramente fueron las responsables de las pocas conchas que se encontraron depredadas. Se reconocieron distintas especies de insectos parasitoides, en especial de himenópteros que utilizaron las conchas de *I. alonensis-like02* para depositar su puesta. También se detectaron larvas y pupas de insectos en conchas donde el epifragma estaba completo e intacto, por lo que la entrada en la misma tuvo que producirse en momentos previos a la estivación del animal, estando éste vivo. En la zona se han detectado excrementos que podrían estar relacionados con algún tipo de depredador, posiblemente jabalíes. Finalmente, ciertos miriápodos y arañas, también estuvieron relacionados con las conchas vacías de este caracol.

Otras especies de moluscos terrestres identificados han sido: *Xerosecta reboudiana*, *Cochlicella barbara*, *Ferussacia follicula*, *Xerotricha conspurcata*, *Caracollina lenticula*, *Candidula gigaxii*, *Granopupa granum*, *Iberus loxanus*, *Microxeromagna armillata*, *Rumina decollata*, *Hypnophila malagana*, *Vallonia costata* y *Xerocrassa* sp.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Como se ha explicado en la introducción, en el caso de *I. g. gualtieranus*, se optó por una parcela de forma rectangular de 280 m<sup>2</sup> (14 x 20 m), superficie que comprobamos *in situ* mediante prospecciones previas y que contrastamos con Moreno-Rueda (*com. pers.*). Posteriormente, Moreno-Rueda (2006), estableció que la densidad de *I. g. gualtieranus* en esa zona, es de 0,16 individuos/m<sup>2</sup>, y Moreno-Rueda y Pizarro (2007) confirmaron que es un tamaño de parcela suficiente para estudiar esta especie. Se estableció el tamaño de cuadrícula en 4 m<sup>2</sup>, unidad que se adoptó como la superficie de referencia durante los muestreos. De este modo, la parcela se subdividió en 10 calles verticales, con orientación Norte-Sur, a las que se nombró con números que iban del 1 al 10 y 7 calles horizontales, desde la A hasta la G. Se obtuvieron 70 cuadrículas de 4 m<sup>2</sup>, cuyos 4 vértices se señalaron con varas de hierro y una

---

pequeña bandera plastificada o bien con manchas de pintura blanca y una marca (letra + número) establecidas sobre las abundantes rocas existentes. Siempre que se detectaron anomalías en las señalizaciones durante los muestreos sucesivos, se corrigieron convenientemente, para que todos los hallazgos y observaciones realizados pudieran vincularse a la cuadrícula donde se produjeron (ver Figura 4.1).

Para *I. alonensis-like02* se pensó, en un principio, que la parcela tuviese las mismas dimensiones que la anterior para seguir la misma metodología de trabajo, teniendo en cuenta que en este caso no se disponía de referencias sobre la densidad de esta especie en la zona de estudio elegida. No obstante, las prospecciones preliminares permitieron observar que dicha densidad era apreciablemente menor que para *I.g.gualtieranus* en Sierra Elvira, razón por lo que se modificó tanto el tamaño de la parcela como el de la cuadrícula de referencia, teniendo en cuenta las curvas de acumulación de las prospecciones realizadas anteriormente para establecer el área mínima de la zona de estudio. Se definió una parcela rectangular de 900 m<sup>2</sup> de 45 x 20 m, que se subdividió en 9 calles verticales, con orientación Norte-Sur, que se enumeraron del 1 al 9, y 4 calles horizontales desde la A hasta la D. Se obtuvieron un total de 36 cuadrículas de 5 m de lado, señalizadas de igual forma que en la parcela de *I. g. gualtieranus* (ver Figura 4.2).

Se intentó que fuese una zona representativa del área que la comprendía, presentando su orientación Sur menor pendiente, menor cantidad de rocas y grietas y con exposición de solana, mientras que en la parte Norte, había mayor pendiente, más grietas y rocas. Se procedió al vallado para impedir la captura de individuos adultos por parte de helicocoletores furtivos, ya que es conocido el alto valor gastronómico y económico de este caracol (Arrebola y Álvarez, 2001).

Para ambas especies se realizaron 24 muestreos, el primero tuvo lugar en agosto de 2003 y el último en julio de 2005, 24 meses después. Y seguimos una metodología similar a la llevada a cabo por Bailey (1975), Iglesias y Castillejo (1999) y Arrébola (*en prensa*).

Las parcelas se visitaron regularmente una vez al mes, con una separación temporal entre muestreos consecutivos, de un mínimo de 22 días y un máximo de 41, aunque se procuró que transcurrieran 30 días de media, durante 24 meses de estudio. Durante los trabajos no se pudieron recoger datos del mes de junio de 2005 en IA debido al manejo de la finca por parte del titular, lo que impidió el acceso a la misma en ese periodo.

Antes de iniciarse los muestreos, se efectuó una prolongada y dura labor de limpieza de todas las conchas, antiguas o recientes, que entre cinco personas pudieron localizar en la parcela. Con esta labor se pudo asegurar que todos los ejemplares encontrados muertos a partir de ese momento procedían del stock inicial de la población objeto de estudio.

El trabajo en cada visita consistió en el estudio completo todas las cuadrículas. En cada una de ellas se recolectaron todos los caracoles presentes que, una vez procesados, eran devueltos y depositados en su lugar de origen. Estas tareas se desarrollaron desde el anochecer hasta el amanecer dado el hábito nocturno de actividad que presentan estos moluscos porque se dan las condiciones óptimas de temperatura y humedad (Blinn, 1963; Cameron, 1970; Bailey, 1975). Puesto que, por lo general, los caracoles terrestres despliegan su mayor actividad desde unas horas después de anochecer hasta el amanecer, todos los muestreos se realizaron con la ayuda de linternas frontales. Concretamente los muestreos se iniciaron una hora después del anochecer y se terminaron una vez concluidas las tareas programadas, que por lo general solía coincidir con el amanecer o poco tiempo antes. La realización de este trabajo se llevó a cabo por tres personas, de las cuales dos de ellas, Técnicos de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, estuvieron en todos los muestreos y fueron las que localizaron y procesaron los ejemplares en cada cuadrícula.

El procesado de cada ejemplar consistió, en primer lugar, en la identificación del animal. A todos los individuos capturados, previo limpiado y secado de la concha, se les añadieron dos manchas pequeñas de pintura al clorocaucho blanca, en la parte basal de la concha. Sobre una de ellas o las dos, se escribía un número de identificación con rotulador indeleble que, si era posible, también era inscrito directamente en la concha en otras partes libres; es decir,

---

generalmente los caracoles portaban el número de identificación en más de un sitio. Este procedimiento fue aplicado tanto a individuos activos como inactivos, y teniendo en cuenta que a éstos últimos no se les puede molestar en exceso, la tarea resultó lenta y tediosa, pero se garantizó en un alto porcentaje la perdurabilidad de las marcas. Aun así, siempre que fue necesario y posible (cuando los números eran legibles) tanto las marcas de pintura como las inscripciones a rotulador fueron repasadas al recapturar animales ya marcados. Cabe señalar que no se marcaron los individuos con diámetro inferior a 9 mm, dada su fragilidad y dificultad de manejo, aunque sí se midieron y pesaron.

El marcaje con pinturas ya ha sido utilizado con anterioridad por varios autores en diferentes especies de gasterópodos terrestres, como es el caso de Potts (1972), Dan (1978), Crook (1980) e Iglesias (1995) con *Cornu aspersum* (Müller) y concluyeron que no había evidencias de que el marcaje afectara al crecimiento de los individuos. Baur (1984) marcó con tinta recién nacidos de *Arianta arbustorum* y encontró que el crecimiento de los mismos no se veía afectado ni por el marcaje, ni por la manipulación semanal a la que eran sometidos, al compararlos con individuos sin marcar y no manipulados. Rodríguez Perochena (2006) marcó ejemplares de *I. g. gualtieranus* e *I. alonensis*, con laca de uñas de colores, y concluyó lo mismo que los anteriores autores.

A pesar de todo, en alguna ocasión el número anotado era ilegible por quedar cubierto por el crecimiento de la concha, por el roce con la vegetación de la pintura fresca, o por cualquier otro motivo, con lo que se registraron como marcados sin número y se les asignaba un número nuevo.

Los dos observadores fijos aludidos anteriormente eran siempre los encargados de computar el tamaño de los ejemplares, que era transmitido a un tercero, que lo anotaba en la ficha correspondiente.

Defaye (1945) utilizó el número de vueltas de espira de la concha y el peso fresco del animal como expresión del crecimiento de *C. aspersum*, criterios que fueron abandonados en posteriores trabajos. Por un lado el número de vueltas de espira es poco fiable, como dijo Charrier (1980), por la erosión de la protoconcha que presentan frecuentemente los animales salvajes. Y el peso

fresco se demostró que dependía directamente del grado de hidratación que experimenta ciclos estacionales (Charrier, 1980; Klein-Rollais y Daguzan, 1990) y varía según las condiciones ambientales, la edad y el estado fisiológico del caracol (Klein-Rollais y Daguzan, 1990). En sucesivos trabajos sobre crecimiento se utilizaron otras variables como fueron la altura de la concha (Dan, 1978; Tomiyama, 1993), el diámetro de la concha (Wolda, 1963, 1971; Potts, 1972, 1975; Williamson, 1976, 1979; Oosterhoff, 1977; Charrier y Daguzan, 1978; Charrier, 1980; Crook, 1980, Daguzan, 1982; Lazaridou-Dimitriadou y Kattoulas, 1986, 1991), la relación entre la altura y el diámetro (Cowie 1982, 1984); o el peso y el diámetro que utilizó Rodríguez Perochena (2006) concluyendo que el peso no era relevante para caracterizar el crecimiento. En este estudio se ha empleado el diámetro, pero aún así no existe una única forma de medirlo, se puede medir perpendicular a la columela o como diámetro máximo desde el punto más distal del peristoma hasta el opuesto, pasando por la columela. Y todavía existe otro factor a tener en cuenta en cuanto al criterio morfométrico, algunos autores incluyen el labio de los adultos a la hora de medir el diámetro, y otros como Potts (1972) lo excluyen ya que dice que para formar esa estructura no es necesario un aumento de volumen de la concha. Así que después de esta breve reseña histórica, en este trabajo se optó por medir el diámetro mayor perpendicular a la columela, considerado mejor criterio morfométrico en helícidos por Charrier y Daguzan (1978) y Lazaridou-Dimitriadou (1978), y no se incluyó el labio. Para ello se empleó un calibre milimétrico digital marca Borletti con una exactitud de décima de milímetro. Este valor fue especialmente utilizado para la construcción de histogramas mensuales de frecuencia de tamaños (diámetros máximos).

Durante todo el proceso se procuró alterar lo menos posible a los animales, especialmente cuando éstos se encontraban inactivos. Esto conllevó realizar gran parte de las medidas de diámetro sin despegarlos, incluso cuando frecuentemente se adherían a paredes rocosas (si se podía se anotaba el número de la marca). El medir a los animales sin despegarlos de las superficies implica un error en la medida, para poder cuantificar este error se utilizaron animales criados en cautividad a los que les realizamos la medida del diámetro, primero sin despegar, despegándolos luego (en un periodo que sabíamos que

---

estaban activos para no alterar el metabolismo de los mismos) para conseguir saber cuánto error estábamos cometiendo en las medidas *in situ*. Esto provocó un error de medida de diámetro no muy alto (0,6 mm) pero que ha sido tenido en cuenta en los análisis correspondientes. El hecho de despegar a un caracol adherido a una superficie, cuando estiva o hiberna, puede influir negativamente en su supervivencia e incluso provocar su muerte (Bonnet y cols., 1991). Esta situación es más acusada cuando los caracoles se pegan tan íntimamente que al liberarlos, no sólo se fractura el anillo que los sella, sino también el/los epifragma/s y, por tanto, la protección que éstos le otorgan. Por ese motivo, se prefirió no alterar a los individuos que ofrecían serias dudas de que se encontraran vivos y, por supuesto, no despegarlos. Se optó por dejarlos varios meses sin tocar hasta que se demostrara que no se reactivaban, estando la mayor parte de sus congéneres activos, lo que nos indicaba el final del periodo de estivación o hibernación. En ese momento se procedía a la recogida del ejemplar y se comprobaba su estado, si estaba muerto quedaba registrado como mortalidad de ese mes a pesar de que pudieron morir algún mes antes. En principio esto sólo afectó a los meses de actividad, que al constituir un periodo tan largo, como se verá en la exposición de los resultados, al final todo queda englobado como mortalidad durante la estivación. Por otra parte, se prestó especial atención en devolver a cada individuo al lugar donde fue hallado y depositarlo en una posición lo más similar posible a la observada.

La identificación exacta de cada individuo permite realizar el estudio del crecimiento mediante la selección de todos los registros de individuos jóvenes o inmaduros que, teniendo la misma marca, fueron recogidos dos o más veces durante el tiempo que duraron las prospecciones. Para cada individuo (según su número de marca) se identificaron todos los incrementos de diámetro que experimentó y el espacio temporal al que correspondía cada incremento, es decir, que si un animal fue capturado 8 veces a lo largo del estudio, en meses sucesivos o no, se anotaron 7 incrementos de diámetro, cada uno con los días transcurridos entre que se midieron cada una de la dos anchuras que se comparan.

Una vez tomados los datos morfométricos se procedió al resto de tareas. Estas fueron desarrolladas indistintamente por cualquiera de los miembros del equipo, ya que eran independientes de quien las realizara.

Para estimar el estado de madurez de los ejemplares, se ha utilizado como criterio la formación del labio, como ya hicieron autores como Wolda (1970), Potts (1975), Pollard (1975), Williamson (1976), Oosterhoff (1977), Crook (1980) o Baur (1988). Se han considerado como individuos adultos aquellos que presentaban peristoma reflejado y engrosado, refiriendo a estadios juveniles el resto, es decir, peristoma recto y cortante. Así, cuando un individuo presentaba tamaño adulto pero caracteres juveniles en relación al peristoma, se consideró como inmaduro, incluyéndose en el grupo de juveniles.

Los caracoles terrestres despliegan distintos patrones de actividad a lo largo del año como respuesta a factores externos (ambientales) e internos (ritmos endógenos) (Cook, 2001). El reconocimiento de los factores que intervienen, el papel que representa cada uno de ellos y, muy especialmente, cómo interaccionan entre sí, son cuestiones todavía por dilucidar sobre las que no siempre existen opiniones consensuadas.

Son varios los autores (Iglesias, 1995; Daguzan, 1981; y, Lazaridou y Kattoulas, 1981) que han puesto de manifiesto la influencia de la temperatura, la humedad y el fotoperiodo en los ciclos de actividad de los caracoles, tanto de forma independiente, como por la suma de dos, tres o más factores. Los efectos además suelen repetirse y mantenerse más o menos constantes año tras año en una misma zona, pero varían, hasta muy considerablemente, entre puntos con localizaciones geográficas distintas. En consecuencia, la influencia latitudinal en el patrón de actividad anual de las poblaciones naturales es grande y la importancia relativa de los distintos factores que regulan su ciclo anual de actividad no es la misma en todo su rango de distribución (Arrébola, *en prensa*).

La situación es aún más compleja si se tiene en cuenta que las variaciones en la actividad de los individuos de una misma especie pueden venir provocadas por condicionantes microclimáticos, incluso cuando se trata de áreas geográficamente próximas. Por otra parte, los individuos más jóvenes suelen

distinguirse de los adultos por sus comportamientos de actividad, hasta el punto que se les achaca cierta incapacidad para hibernar (Potts, 1975; Charrier, 1980). Durante los muestreos en las parcelas, según lo explicado en apartados previos, para cada individuo hallado se anotó su tamaño, carácter adulto o juvenil, cuadrícula de procedencia, número de marca, hábitat y tipo de actividad/inactividad presentada.

El análisis de los datos así reunidos permite delimitar períodos de actividad e inactividad según las secuencias mensuales en que los ejemplares de las especies de estudio se encontraban activos e inactivos y confrontarlos con los parámetros ambientales registrados. Así mismo, para períodos de actividad, se puede diferenciar la mayor o menor frecuencia relativa de los comportamientos englobados. La identificación temporal de las pautas reproductoras y la distribución de frecuencias por tallas de los individuos obtenidas mensualmente, junto con otros datos valiosos que se exponen en el apartado de resultados, permiten interpretar la composición de la población en el tiempo y establecer hipótesis futuras. Empleando las cuadrículas en las que los animales eran hallados cada mes de muestreo, se puede establecer la existencia de movimientos, reactivaciones en tiempos no adecuados (estivación), posibilidad de que exista crecimiento o no, etc. Si además añadimos las preferencias y selección de hábitats, tanto de adultos como jóvenes, la mortalidad registrada y sus posibles causas, los crecimientos, etc. se interpreta la dinámica poblacional a lo largo del periodo de estudio.

Para estimar el comportamiento de los caracoles se han considerado como indicativos de actividad los siguientes parámetros:

- **En movimiento:** animales que se desplazaban con el cuerpo extendido.
- **Alimentándose:** animales que, situados sobre diferentes tipos de material vegetal, mostraban ciertos movimientos típicos de la cabeza relacionados con la adquisición e ingestión de alimento (en algunos casos, esta pauta de comportamiento era aún más evidente al transparentarse el cuerpo del animal con la luz de las linternas).

- **Reproduciéndose:** en fase de cortejo, cópula o con la puesta de los huevos.
- **En inactividad puntual:** animales completamente retraídos en sus conchas pero sin haberse iniciado la formación del epifragma (aun cuando sí se diferenciara el velo mucoso, detalle éste que también fue registrado).

Por consiguiente, se calificó de caracol inactivo a todos los individuos que además de estar retraídos en sus conchas, poseían un epifragma en distinto grado de formación: desde mostrar los primeros atisbos de endurecimiento (denotados por poseer manchas blanquecinas y endurecidas) hasta disponer de uno o varios epifragmas totalmente constituidos.

A fin de estudiar la mortalidad de la población se procedió a la recogida de las conchas vacías de la parcela de estudio. Como se indicó al inicio de la metodología, para que los hallazgos de individuos muertos fueran indicativos en el sentido pretendido, antes de iniciar el estudio se extrajeron todas las conchas y fragmentos de las mismas localizadas. Este método es un buen indicador de los períodos y causas de mortalidad de individuos adultos, pero queda la duda de si lo es también para los jóvenes, ya que sus conchas se desintegran fácilmente y además no son fáciles de localizar por su pequeño tamaño. Esta deficiencia metodológica se trató de complementar con estimaciones a partir de la observación de las distribuciones mensuales de frecuencias por tallas de las poblaciones de cada especie.

Siempre que su estado lo permitía, para cada ejemplar muerto hallado se anotó el diámetro de la concha, si se trataba de un individuo adulto o joven, el número de marca (si estaba marcado y era legible), la cuadrícula de procedencia, su ubicación en la misma y la descripción del estado de la concha, según las apreciaciones expuestas a continuación:

- **Estado externo de la concha:** ciertos animales depredan sobre caracoles rompiéndoles la concha de forma determinada para acceder a sus cuerpos; de ahí que con la descripción del estado de la concha se ha tratado de obtener alguna pista sobre la causa que provocó la muerte del individuo. Concretamente, las conchas se encontraron enteras o intactas o rotas de

---

forma característica (sin las primeras vueltas, sin las últimas vueltas, completamente destrozada, con agujeros circulares...).

- **Interior de la concha:** en ocasiones, a partir de ciertos detalles se puede inferir el tiempo que lleva el caracol muerto y la causa que provocó la muerte, por ejemplo por la presencia de tierra, larvas de insectos, vegetación, líquido putrefacto... en su interior o porque se conserve el cuerpo del caracol y la forma/estado en que se encuentra éste (seco, húmedo, retraído totalmente en la concha, con el pie fuera, etc.).

Respecto a los restos de conchas hallados, sólo fueron contabilizados aquellos que contenían el peristoma del animal, lo que permitía reconocer si se trataba de un animal adulto o joven. Es evidente que cabe la posibilidad de que se genere una mortalidad asociada al marcaje, basada en las posibles perturbaciones que se causan a los animales cuando estivan o hibernan y más concretamente por la posibilidad de provocar roturas totales o parciales del epifragma. Como individuos presumiblemente muertos por estos motivos, se han considerado todos aquellos cuyas conchas aparecen, durante los meses siguientes al de su marcaje, en el mismo lugar donde se marcaron y midieron, tras haber sido despegados.

Simultáneamente, en cada una de las visitas a las zonas de estudio se midieron *in situ* la temperatura y la humedad del suelo y del aire, así como la temperatura en el interior de una grieta en las rocas y la velocidad del viento. Para medir la temperatura del suelo y del interior de las grietas se empleó un termómetro electrónico (Hanna instruments mod.: HI-9040) dotado de una sonda (Hanna instruments mod.: HI-765-PBL) que era clavada en los 10 centímetros más superficiales del suelo o introducida en la grieta para efectuar los registros. La temperatura y la humedad del aire se midieron con un termohigrómetro electrónico (Hanna instruments mod.: HI-8564) a 5 cm del suelo. La humedad del suelo se obtuvo como la diferencia de peso entre una muestra de suelo recién extraída y el peso de esta misma muestra tras 24-48 horas de estancia en una estufa a 60-70 °C (Porta Casanellas y cols., 1994). El viento se registró con un anemómetro PCE-Instruments PCER-AM81. Estas mediciones se practicaron con intervalos de una hora desde el momento que

se iniciaban los muestreos en las parcelas hasta que concluían los recorridos externos.

Además de los datos referidos, se dispuso de los valores termométricos y pluviométricos facilitados, para todos los meses que duró el estudio, por el Instituto Nacional de Meteorología. Los registros procedieron de la estación meteorológica de Atarfe Caparacena (código 5548; X=43662, Y=4124607, Altura=613 m) para la parcela IG, y de la estación meteorológica de Lanjarón (código 6258; X=456539, Y=4086113, Altura=710 m), para la parcela IA. Sus ubicaciones, a escasos kilómetros de las zonas de estudio, sus históricos de datos (Figuras 4.2 y 4.4) y el ser las más semejantes en altitud a las parcelas seleccionadas, fue lo que las convirtió en las más apropiadas para los propósitos del estudio.

Por lo tanto, a lo largo del texto se emplearán registros de las variables ambientales registrados por nosotros *in situ* o procedentes de las estaciones del AEMET. Como según Rollo (1982) la actividad de los gasterópodos terrestres se ve afectada no sólo por las condiciones ambientales inmediatas que experimentan en cada momento, sino también por las experimentadas previamente, en nuestro caso vamos a utilizar cuatro referencias de tiempo independientes en los análisis: 30 días antes del día del muestreo, que serán referidos como los datos de cada mes, 15, 10 y 5 días antes correspondientes a esos mismos tiempos previos a los muestreos para averiguar cuál o cuáles de esas variables son la que realmente afectan a la biología de nuestros taxones.

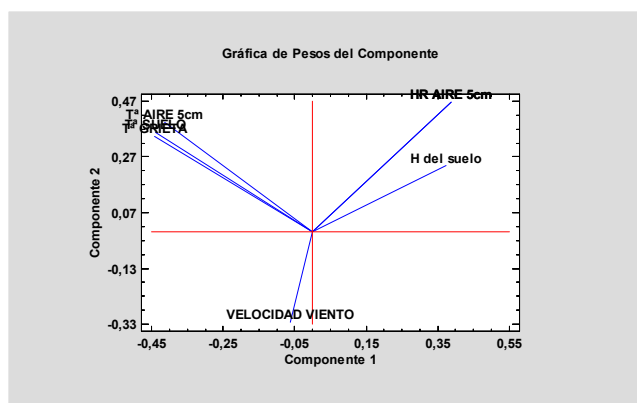
Para el análisis estadístico se comprobó en primer lugar la normalidad y la homocedasticidad de las variables independientes consideradas. En aquellas con distribución normal se procedió a realizar análisis paramétricos y en las que no, se procedió a su transformación logarítmica para conseguir que tuvieran una distribución normal. Cuando las transformaciones no permitieron normalizar las variables se procedió a la realización de pruebas no paramétricas (Siegel y Castellan, 1988). Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el paquete estadístico Statgraphics XVII. En la tabla 4.I se reflejan las transformaciones realizadas.

VARIABLE	NORMALIDAD	PRUEBAS ESTADÍSTICAS
Humedad Relativa del aire a 5 cm	Si	Paramétrica
Humedad del suelo	Si	Paramétrica
Temperatura de la grieta	Si	Paramétrica
Temperatura del aire a 5 cm	Si	Paramétrica
Temperatura del suelo	Si,	Paramétrica
Velocidad del viento	No. Transformación logarítmica	Paramétrica
Adultos vivos	No	No paramétrica
Juveniles vivos	No	No paramétrica
% individuos activos	Si	Paramétrica
% individuos inactivos	Si	Paramétrica
Adultos muertos	No	No paramétrica
Juveniles muertos	No	No paramétrica

**Tabla 4.1.** Se muestran las variables utilizadas en los análisis, si presentaban o no una distribución normal de los datos y el tipo de pruebas que se han realizado con ellas

El Índice de actividad se estableció como número de individuos activos dividido entre el total de individuos vivos (activos + inactivos).

Para establecer las correlaciones entre las variables ambientales se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) (Figura 4.5).



**Figura 4.5.** Representación gráfica del Análisis de Componentes Principales para todas las variables ambientales del estudio en la zona IG.

En la Figura 4.5 se puede observar que las variables de temperatura estaban muy correlacionadas entre sí, al igual que las variables humedad del suelo y

humedad relativa de la zona de estudio. La velocidad del viento resultó ser una variable independiente. En los análisis de los patrones estacionales se utilizan la variable viento y dos índices resultantes de extraer un factor de un PCA para las variables temperatura y otro para las variables humedad, para así simplificar el número de variables.

En la zona IG el resultado de los índices de temperatura y humedad fue:

$$\text{Índice de temperatura} = (0,572387 * T^a \text{ aire a 5 cm}) + (0,578764 * T^a \text{ grieta}) + (0,580866 * T^a \text{ suelo})$$

$$\text{Índice de humedad} = (0,707107 * \text{HR aire a 5 cm}) + (0,707107 * \text{H del suelo})$$

En la zona IA se realizó el mismo procedimiento para extraer los dos índices para simplificar las variables, obteniéndose:

$$\text{Índice de temperatura} = (0,57313 * T^a \text{ aire a 5 cm}) + (0,579351 * T^a \text{ grieta}) + (0,579547 * T^a \text{ suelo})$$

$$\text{Índice de humedad} = (0,707107 * \text{HR aire a 5 cm}) + (0,707107 * \text{H del suelo})$$

La distribución de las variables no difirió significativamente de una normal, por lo que se empleó estadística paramétrica en los análisis. Para comprobar qué factores meteorológicos difieren entre los meses de actividad y aquellos de estivación-hibernación se empleó un ANOVA. Para analizar el efecto de los factores climáticos sobre el porcentaje de ejemplares adultos e inmaduros activos se utilizó un Modelo General Lineal (GLM) de medidas repetidas. En este modelo el componente dentro de sujetos compara la actividad de adultos y de juveniles, que fue la medida repetida. Todos los datos son mostrados como la media  $\pm$  el error estándar.

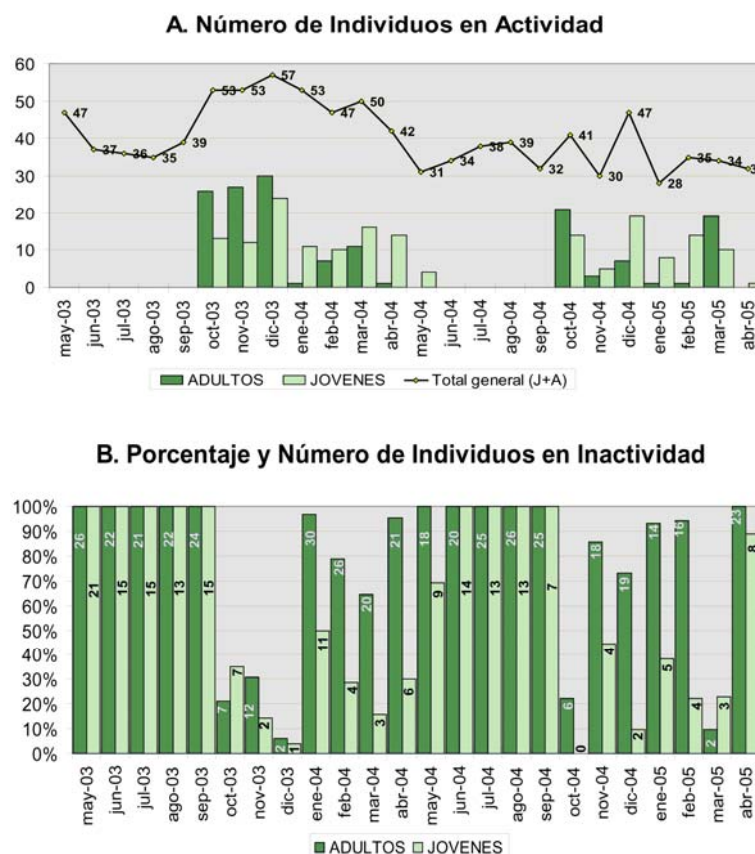
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este apartado se dividirá en subapartados que se centran en los diferentes aspectos de la biología de nuestras especies de estudio.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE *Iberus gualtieranus gualtieranus*

#### Actividad IG

Se ha comprobado que la actividad para adultos y juveniles es significativamente diferente ( $t=2,10731$ ;  $p=0,0405717$ ), para ver si la actividad depende de los factores ambientales, se realiza un modelo de regresión lineal múltiple, determinando que sólo a los juveniles les afectan ( $F=5,85$ ;  $p=0,0243$ ) y no a los adultos ( $F=2,18$ ;  $p=0,1374$ ). De las variables ambientales utilizadas se puede observar que es la temperatura la que afecta a la actividad de los juveniles, explicando un 21% de la varianza.



**Figura 4.6.** A) Número de adultos y jóvenes activos (barras) y número total de individuos (adultos y jóvenes independientemente de su estado de actividad/inactividad) capturados mensualmente a lo largo del periodo de estudio (línea continua). B) Porcentaje y número de individuos adultos y jóvenes observados en inactividad prolongada (estivación o hibernación) en cada uno de los 24 meses de prospección.

Los patrones de actividad de adultos y juveniles a lo largo de los dos años de estudio pueden apreciarse en la Figura 4.6. A lo largo de los meses hubo un mayor porcentaje de ejemplares inmaduros activos que de ejemplares adultos activos (t-test pareado,  $t_{23} = 3.26665$ ;  $p = 0,0034$ ; Figura 4.6). El porcentaje de ejemplares activos se correlacionó negativamente con el índice de temperatura y positivamente con el de humedad, es decir se inactivan con bajas temperaturas y se reactivan con la humedad (Tabla 4.II).

	VELOCIDAD DEL VIENTO	ÍNDICE DE TEMPERATURA	ÍNDICE DE HUMEDAD
<b>Individuos totales</b>	$r = -0.002$ $p = 0.99$	$r = -0.63$ $p = 0.001$	$r = 0.76$ $p < 0.001$
<b>Adultos</b>	$r = -0.20$ $p = 0.35$	$r = -0.39$ $p = 0.06$	$r = 0.71$ $p < 0.001$
<b>Juveniles</b>	$r = 0.15$ $p = 0.48$	$r = -0.79$ $p < 0.001$	$r = 0.72$ $p < 0.001$

**Tabla 4.II:** Matriz de correlaciones entre las variables climáticas y el porcentaje de ejemplares activos. N = 24 meses.

Considerando sólo los adultos, la correlación con el índice de temperatura no llegó a ser significativa ( $p = 0.06$ ). Como era esperable, el índice de temperatura y de humedad estuvieron negativamente correlacionados ( $r = -0.47$ ;  $p = 0.02$ ). El análisis de medidas repetidas mostró que temperatura y humedad afectaron significativamente e independientemente el uno del otro a los patrones de actividad del *Iberus g. gualtieranus* considerando todos los ejemplares. No obstante, el factor dentro de sujetos mostró una interacción significativa entre la clase de edad (como medida repetida) y el viento y el índice de temperatura, pero no con el índice de humedad (Tabla 4.III). Este resultado sugiere que viento y temperatura afectaron de forma distinta a la actividad de adultos y juveniles. Efectivamente, analizando los coeficientes  $\beta$  para adultos y juveniles se puede observar que ambas clases de edad respondieron positivamente a la humedad (Tabla 4.IV). Sin embargo, mientras la actividad de los adultos no varió significativamente con la temperatura ni con la acción del viento, la actividad de los juveniles sí. El porcentaje de ejemplares juveniles activos incrementó con el viento, y disminuyó significativamente con la

temperatura. De hecho, la temperatura tuvo un efecto ligeramente más fuerte que la humedad sobre la actividad de los juveniles.

	g.l.	MS	F	P
<b>Entre sujetos</b>				
Intercepto	1	18924.7	24.77	< 0.001
Velocidad del viento	1	305.0	0.40	0.53
Índice de temperatura	1	5021.4	6.57	< 0.02
Índice de humedad	1	13825.7	18.10	< 0.001
Error	20	764.0		
<b>Dentro de sujetos</b>				
Edad	1	497.1	3.37	0.08
Edad × Velocidad del viento	1	1289.7	8.74	< 0.01
Edad × Índice de temperatura	1	2898.2	19.64	< 0.001
Edad × Índice de humedad	1	33.6	0.23	0.64
Error	20	147.6		

**Tabla 4.III.** Resultados del análisis de medidas repetidas, que muestra el efecto de la velocidad del viento, la temperatura y la humedad sobre el porcentaje de ejemplares activos. Edad es la medida repetida.

	Adultos			Juveniles		
	t	P	$\beta$	t	P	$\beta$
Velocidad del viento	0.53	0.60	-0.09 ± 0.16	2.13	< 0.05	0.21 ± 0.10
Índice de temperatura	0.49	0.63	-0.09 ± 0.18	4.98	< 0.001	-0.55 ± 0.11
Índice de humedad	3.57	< 0.002	0.65 ± 0.18	4.46	< 0.001	0.50 ± 0.11

**Tabla 4.IV:** Relación entre las variables climáticas medidas y el porcentaje de ejemplares adultos e inmaduros activos. Se muestran los valores de Beta.

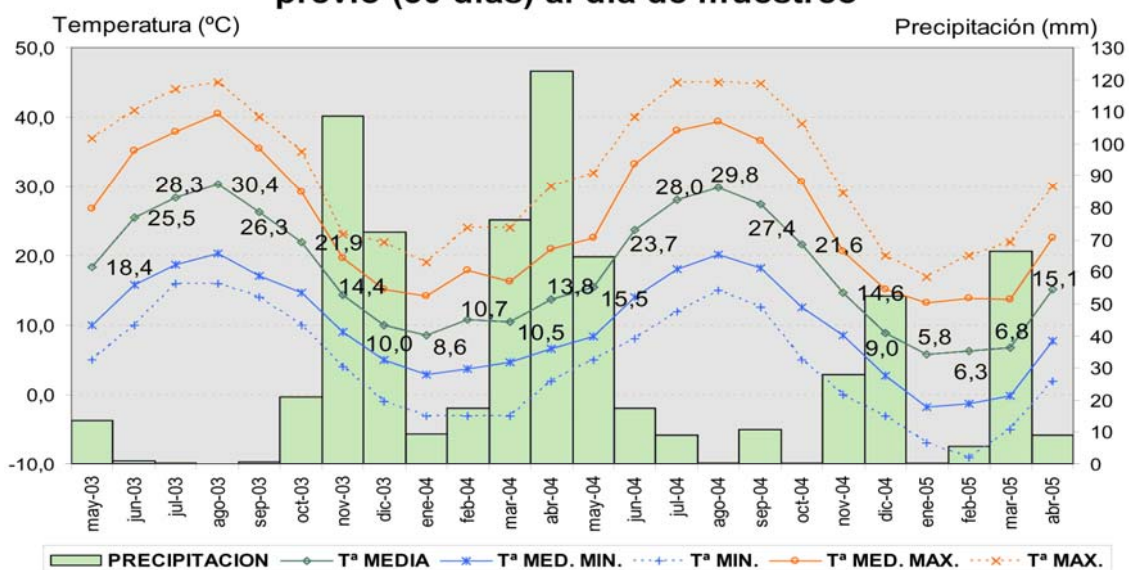
Un total de 12 meses se catalogaron como de estivación, 7 de actividad, y 5 de hibernación. Un mes no es considerado de actividad (estivación o hibernación), cuando el porcentaje de individuos activos está por debajo del 50%. Hubo diferencias entre estos meses para los parámetros climáticos (Figura 4.6). Para la temperatura, ésta fue significativamente mayor en los meses de estivación que en los meses de actividad e hibernación ( $F_{2, 21} = 19.98$ ;  $p < 0.001$ ; LSD post hoc: Estivación vs. Actividad e Hibernación:  $p < 0.001$  para ambos), pero no hubo diferencias significativas entre actividad e hibernación ( $p = 0.17$ ). Respecto a la humedad, también hubo diferencias significativas entre los tres tipos de meses ( $F_{2, 21} = 14.73$ ;  $p < 0.001$ ). En este caso los meses de actividad tuvieron significativamente más humedad que los meses tanto de estivación como de hibernación, entre los que no hubo diferencias significativas (Fisher LSD post hoc: Actividad vs. Estivación e Hibernación:  $p < 0.001$  para ambas comparaciones; Estivación vs. Hibernación:  $p = 0.78$ ).

Por tanto, aunque según Parmelakis y Mylonas (2004) explican que no siempre las primeras lluvias producen la activación en dos especies del género *Mastus*, parece que en el caso de *I. g. gualtieranus*, la humedad, y no la temperatura, determinan los patrones de actividad, estivación e hibernación, conclusión a la que también llegó Moreno-Rueda (2012). Esto mismo ocurre en el caso de *Sphincterochila prophetarum* como apuntaron Steinberger y cols. (1983).

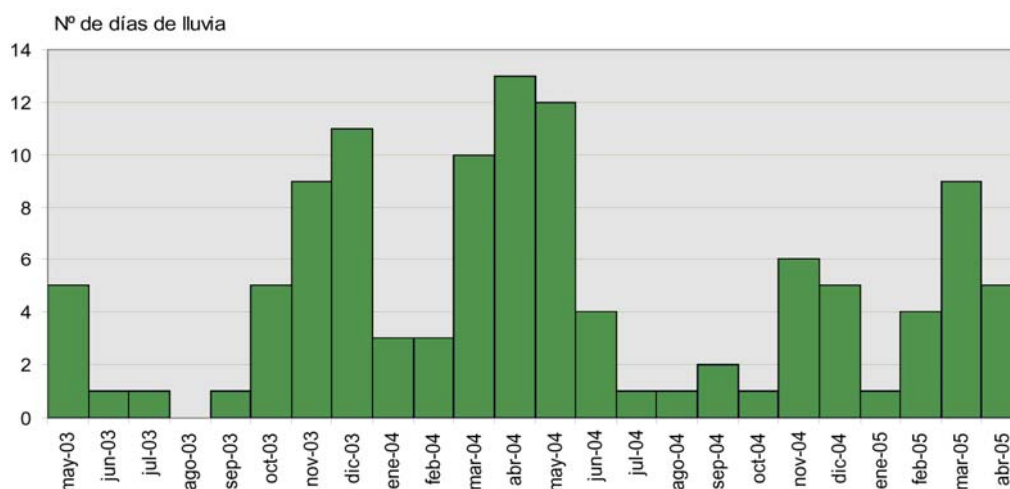
### **Condiciones determinantes de la estivación, hibernación y actividad**

La estivación tiene unos rasgos muy consistentes que se pueden observar en los valores medios de las variables ambientales registradas. Durante este periodo las temperaturas son mucho más elevadas y la precipitación y la humedad relativa más bajas, que en los meses de actividad y de hibernación, tanto si éstos se tratan conjuntamente como por separado (Tabla 4.V y Figura 4.7 A).

**A- Valores de los parámetros ambientales en el mes previo (30 días) al día de muestreo**



**B- Días de lluvia en el mes previo (30 días)**



**Figura 4.7.** A) Precipitación mensual y temperaturas (media, media de las mínimas, mínimas, media de las máximas y máximas) registradas en la zona de estudio entre mayo de 2003 y abril de 2005. B) Número de días de lluvia durante los 30 días antes de cada muestreo. Fuente: estación meteorológica “Atarfe Caparacena” (I.N.M.).

Los adultos estivan en periodos caracterizados por los valores de precipitación media de  $21 \pm 3,7$  mm, temperatura media de  $24 \pm 6$ , humedad relativa media de  $57 \pm 15$  % (Tabla 4.V), mientras que los jóvenes necesitan un ambiente ligeramente más cálido para estivar, con temperaturas aproximadamente  $1$  °C más altas, pero sobre todo más seco: precipitaciones medias de 12 mm, frente a 24 mm (Tabla 4.VI).

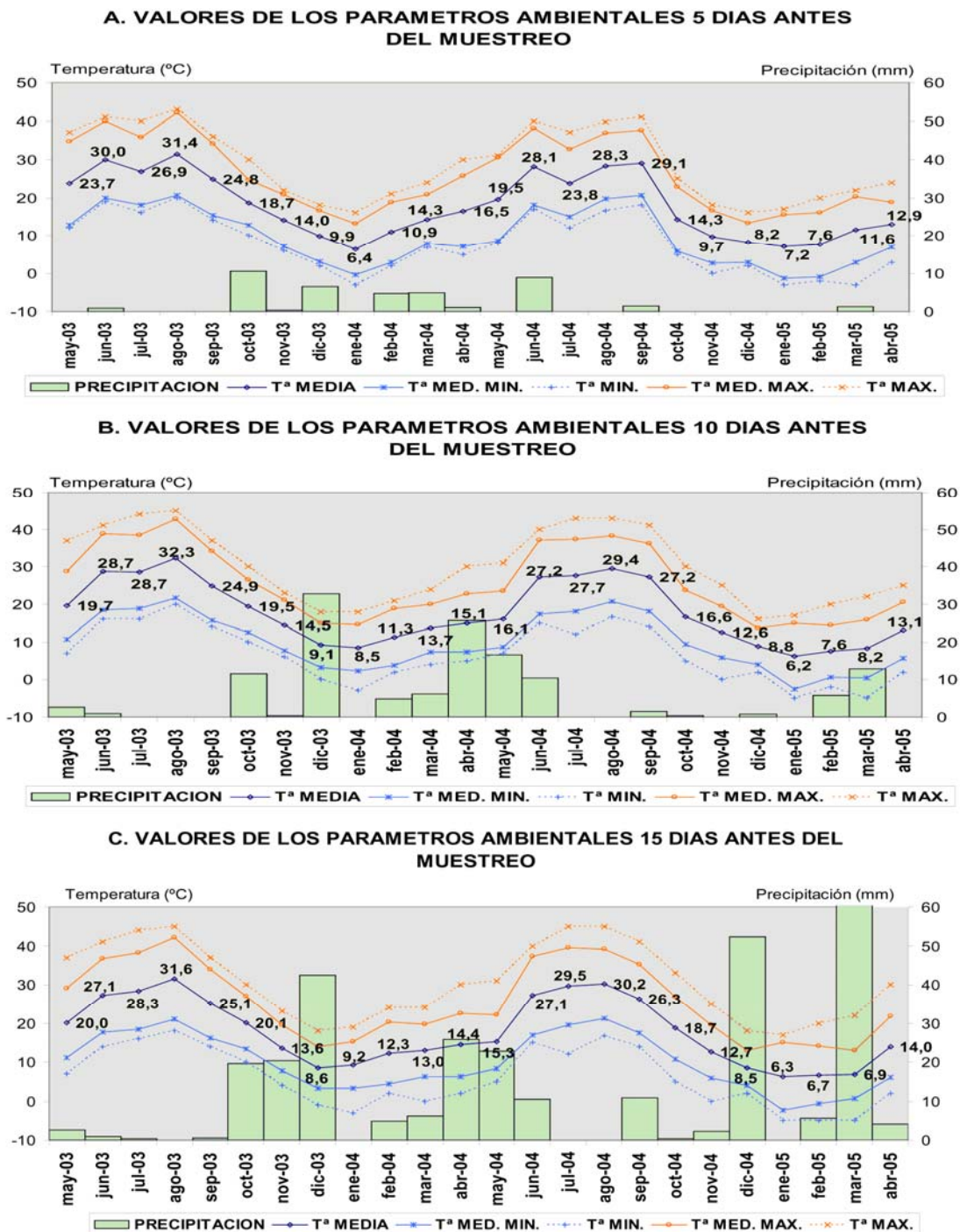
	MESES DE ESTIVACIÓN		RESTO DE MESES		MESES DE ACTIVIDAD		MESES DE HIBERNACION	
	Media	DesVest.	Media	DesVest.	Media	DesVest.	Media	DesVest.
PRECIPITACION	21	3,7	38	3,6	54	4,3	27	2,8
Tª MAX.	39	6	25	7	28	8	22	4
Tª MED. MAX.	32	7	18	6	22	8	16	3
Tª MEDIA	24	6	12	5	15	7	9	3
Tª MED. MIN.	15	5	5	5	8	6	3	1,3
Tª MIN.	10	5	-1	1,5	3	6	-4	3
VEL. VIENTO	1	1	1	1	1	1	1	1
HR AIRE 5cm	57%	15%	72%	19%	82%	12%	65%	20%
H del suelo	5%	3%	10%	5%	13%	5%	7%	5%
Tª AIRE 5cm	19	5	9	4	11	4	6	2
Tª GRIETA	27	4	18	2	19	3	17	1
Tª SUELO	27	5	17	3	18	4	15	1

Tabla 4.V. Valores medios y desviaciones típicas de las distintas variables ambientales registradas durante los meses de estivación, resto de meses, actividad e hibernación de los adultos (ver texto para identificar dichos meses).

	MEDIAS MES - ADULTOS						MEDIAS MES - JOVENES		
	ESTIVACION	ACTIVIDAD	HIBERNACION	E-A	A-H	E-H	ESTIVACION	ACTIVIDAD	E-A
PRECIPITACION	21	54	27	-33	27	-6	12	45	-33
Tª MAX.	39	28	22	11	6	18	40	25	15
Tª MED. MAX.	32	22	16	11	6	17	33	19	15
Tª MEDIA	24	15	9	9	6	14	24	12	13
Tª MED. MIN.	15	8	3	6	5	12	15	5	10
Tª MIN.	10	3	-4	7	7	14	11	-1	12
	MEDIAS 5 DIAS						MEDIAS 5 DIAS - JOVENES		
PRECIPITACION	1	4	1	-3	2	0	1	2	-1
Tª MAX.	37	23	19	13	5	18	37	21	16
Tª MED. MAX.	34	21	16	13	5	18	35	19	16
Tª MEDIA	25	14	9	11	5	15	25	11	14
Tª MED. MIN.	15	6	2	9	4	13	16	4	12
Tª MIN.	13	4	0	9	4	13	14	2	12
	MEDIAS 10 DIAS						MEDIAS 10 DIAS - JOVENES		
PRECIPITACION	5	12	3	-7	9	2	3	8	-5
Tª MAX.	38	25	20	13	4	18	39	23	16
Tª MED. MAX.	33	20	17	13	4	17	34	19	16
Tª MEDIA	24	14	10	11	4	14	25	12	13
Tª MED. MIN.	15	7	3	8	4	12	16	5	11
Tª MIN.	12	3	0	9	3	12	13	1	11
	MEDIAS 15 DIAS						MEDIAS 15 DIAS - JOVENES		
PRECIPITACION	7	30	10	-23	19	-4	5	19	-14
Tª MAX.	39	25	21	14	4	18	40	23	16
Tª MED. MAX.	33	20	17	13	3	16	34	18	16
Tª MEDIA	24	14	10	10	4	14	25	12	13
Tª MED. MIN.	15	7	3	8	4	12	16	5	11
Tª MIN.	11	3	-1	9	4	13	12	0	12

Tabla 4.VI. Valores medios de precipitación y temperaturas obtenidos en los periodos de estivación, actividad e hibernación, tanto para adultos como para jóvenes, referidos a cuatro rangos temporales previos a los días en que se efectuó cada muestreo: mes (30 días), 5 días, 10 días y 15 días. Diferencias de valores entre estivación, actividad e hibernación.

Las diferencias se hacen patentes en todos los intervalos de tiempo considerados: 30 (mes), 15, 10 y 5 días antes del muestreo (Figura 4.7 y Tabla 4.VI).



**Figura 4.7.** Precipitación mensual y temperaturas (media, media de las mínimas, mínimas, máximas y media de las máximas) registradas *in situ* en la zona de estudio entre mayo de 2003 y abril de 2005.

La hibernación no está definida por unos rasgos tan definidos como la estivación, ni se repite de forma invariable de un año a otro. En el caso que nos atañe, coincidió con las temperaturas más bajas del año y con precipitaciones más bien escasas, aunque no tanto como durante los meses de estivación. De acuerdo con los datos obtenidos, *I. g. gualtieranus* hiberna ante temperaturas medias de  $9 \pm 3$  °C, precipitaciones muy variables de  $27 \pm 2,8$  mm y humedad relativa del aire de  $65 \pm 20$  %. Estos valores corresponden sólo a adultos ya que los jóvenes no llegaron a hibernar, lo que significa que requerirían valores aún más extremos que los expuestos. Una de las características más importantes en la hibernación es que la media de las temperaturas mínimas es de 0 °C o inferior. A pesar de eso, en los meses de diciembre de 2003 y marzo de 2005 dichas temperaturas alcanzaron esos valores pero no se dio hibernación, hecho que seguramente se debió a la existencia de abundantes lluvias.

La actividad, en el caso de los individuos juveniles, se puede considerar un periodo definido y constante, ya que no hibernaron. Pero no se puede decir lo mismo para los adultos, aunque los 5 meses que la mayoría de la población estuvo activa (había más del 50% de los individuos activos) se caracterizaron por presentar una mayor humedad relativa ( $82 \pm 11,8$  %) fruto de las frecuentes precipitaciones,  $54 \pm 43$  mm (dos veces las de la hibernación), y las temperaturas moderadas, dándose una temperatura media de  $15 \pm 7$  °C (más próxima a la registrada durante la hibernación que en la estivación).

Se han encontrado diferencias en la actividad de adultos y juveniles, como las obtenidas por diferentes autores en varias especies (Lazaridou-Dimitriadou y Daguzán, 1978; Cowie, 1985; Lind, 1989; Heller y Dolev, 1994; Ansart y cols., 2001), en nuestro caso, los jóvenes de *I. g. gualtieranus* están activos cuando se dan las mayores precipitaciones y existe una alta humedad, siempre que las temperaturas sean suaves o incluso algo bajas. Como las condiciones varían de un año a otro, el periodo activo puede dilatarse o contraerse más o menos en el tiempo para los adultos. Así, cuando baja la temperatura y/o se hacen más escasas las precipitaciones (lo que implica que también desciende la humedad relativa) es cuando la mayoría de los adultos hibernan, pero no así los jóvenes que son más resistentes ante dichas condiciones. Aun así, siempre

---

existen ejemplares adultos activos en este periodo ya que las condiciones ambientales no son lo bastante estrictas. Por otra parte, las características del clima mediterráneo de elevadas temperaturas y la sequía estival y primaveral representan una situación adversa para adultos y jóvenes, provocando su estivación durante largos periodos, reactivándose con las precipitaciones otoñales y el descenso de las temperaturas.

Aunque, según Cook (2001) el comienzo de la inactividad depende de dos tipos de factores endógenos y exógenos, Hommay y cols. (1998) aseguran que la actividad depende sólo de factores endógenos si se mantienen constantes las condiciones ambientales, como no es el caso al estar estudiando la población silvestre, se puede concluir que la inactividad/actividad de *I. g. gualtieranus* se debe a factores ambientales, más concretamente a la variación de la humedad como se ha explicado anteriormente, sin descartar los factores endógenos que no han sido objeto de estudio en el presente trabajo.

### **Crecimiento, estructura y dinámica poblacional**

Según los datos recogidos se observa que los individuos de esta especie, tanto adultos como juveniles, incluso en los periodos más adversos del año (invierno), recuperaron la actividad de forma puntual. Esto se puede afirmar porque durante los 4-6 meses que duró la estivación se registraron cambios de cuadrícula en algunos animales, el 44% (N=54) de los adultos y el 31% (N=41) de juveniles, y durante la hibernación ocurrió lo mismo con el 61% de los adultos (N=41) y la mitad de los juveniles (N=27). Estos desplazamientos en el caso de los juveniles se hicieron siempre que se dieron algún tipo de lluvias entre un muestreo y otro.

Los mayores datos de crecimiento se dieron durante los periodos de mayor actividad, coincidiendo con épocas en las que los factores ambientales eran favorables (otoño). Los juveniles, aunque no hibernan como los adultos, durante esa época al no existir unas condiciones propicias permanecen en inactividad puntual, aprovechando sólo los días más benignos. Por esto los incrementos de diámetro son menores que en los meses más favorables, tanto más cuanto más duro es el ambiente.

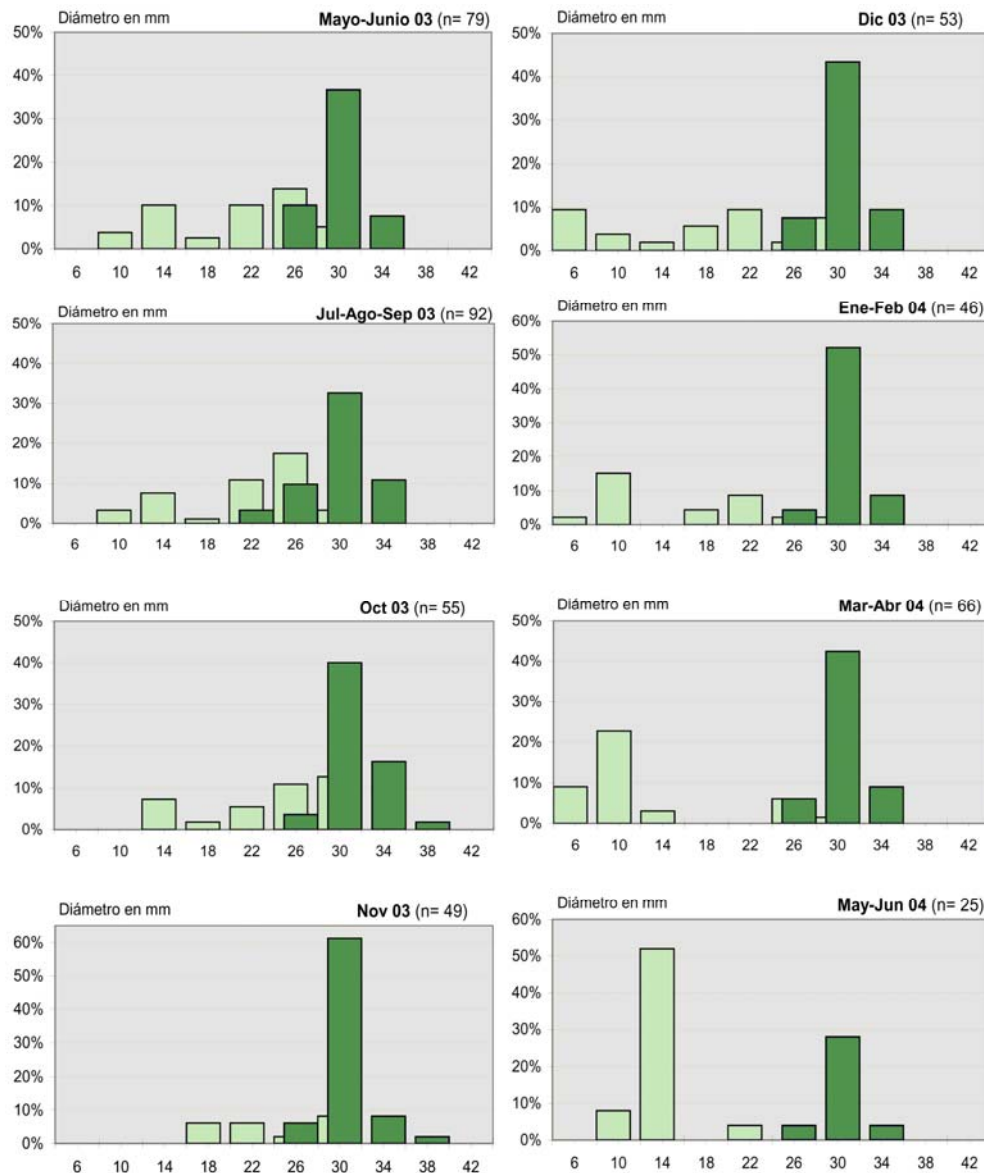
En el gráfico correspondiente a los meses de mayo-junio 03 (Figura 4.8) se pueden observar dos cohortes de juveniles, que corresponden cada una a un año diferente, sería de 2001 la población con un diámetro medio de 25,3 mm y de 2002 la de diámetro medio de 13,2 mm. La estructura no cambia hasta septiembre de 2003, manteniéndose la proporción de adultos/juveniles incluso después del pico de mortalidad que se da entre junio y julio de ese mismo año. Tras las lluvias de octubre de 2003 la población se reactiva y en los 3 meses siguientes se dan los mayores crecimientos recogidos en este estudio. Aumenta el número de adultos porque una de las cohortes alcanza el tamaño y la condición adulta transcurridos 2 años de su nacimiento. Y aunque el número de juveniles también aumentó, no lo hizo en la misma proporción, pasando a ser solo el 27% de la población. Sólo se detectó una nueva cohorte de juveniles en diciembre de 2003 (Figura 4.8 y 4.9).

Entre enero y abril de 2004 la mayoría de los animales se encontraban en la zona de rocas, refugiados en grietas y oquedades lo que les permitía combatir el frío nocturno y aprovechar los días favorables para estar activos. Los jóvenes crecieron alrededor de 5 mm. Todos los nacidos en 2001 pasaron a ser adultos, al igual que algunos de los nacidos en 2002. Se detectan nacimientos hasta el mes de marzo, y en febrero se da un pico de mortalidad juvenil debida al aumento del frío, registrándose en abril el segundo pico más importante de mortalidad del estudio.

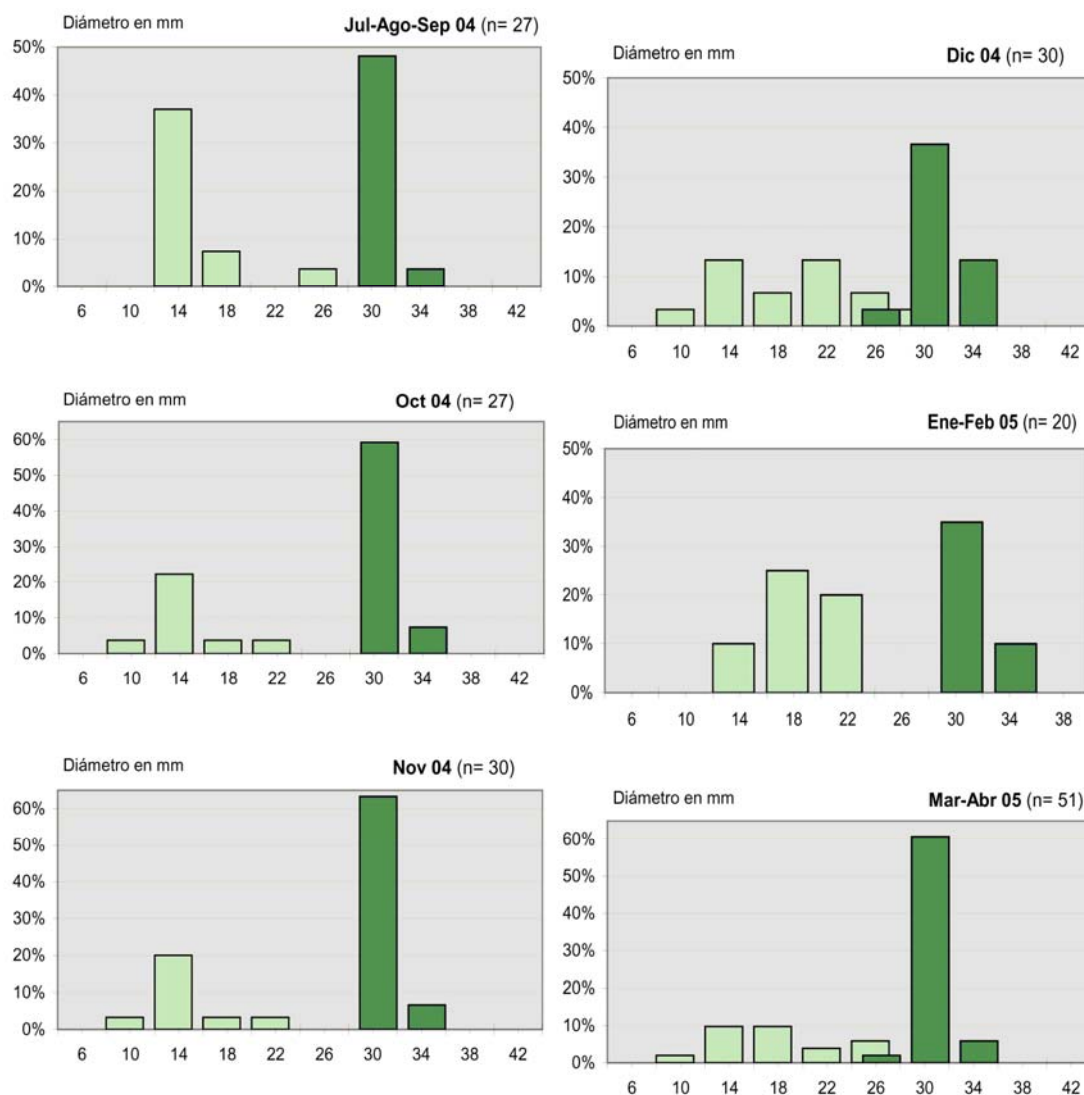
La proporción de adultos, se mantiene alrededor del 60% en enero y marzo, cerca del 70% en febrero y bajó al 53% en abril.

En abril de 2004 comienza una nueva estivación adulta a la que se sumarán la mayoría de los jóvenes al mes siguiente, prolongándose este intervalo hasta septiembre de ese mismo año, terminándose con las lluvias otoñales de octubre, mucho menores que el año anterior. La proporción de adultos fue cercana al 60%, y fue creciendo alcanzando el 80% en septiembre. Al igual que el año anterior se produjo un pico de mortalidad durante el mes de junio y otro descenso de la población juvenil en septiembre. Los individuos de la cohorte de 2002 parece que desaparecen y se podría achacar a los picos de mortalidad, pero se puede observar en la Figura 4.8 que esta mortalidad afecta más a individuos de menor tamaño, por lo que podemos decir que estos individuos

fueron reclutados por la población adulta antes que el año anterior y esto se puede deber a las buenas condiciones registradas el otoño anterior, tardando 18 meses y no 24 en conseguir la condición de adultos.



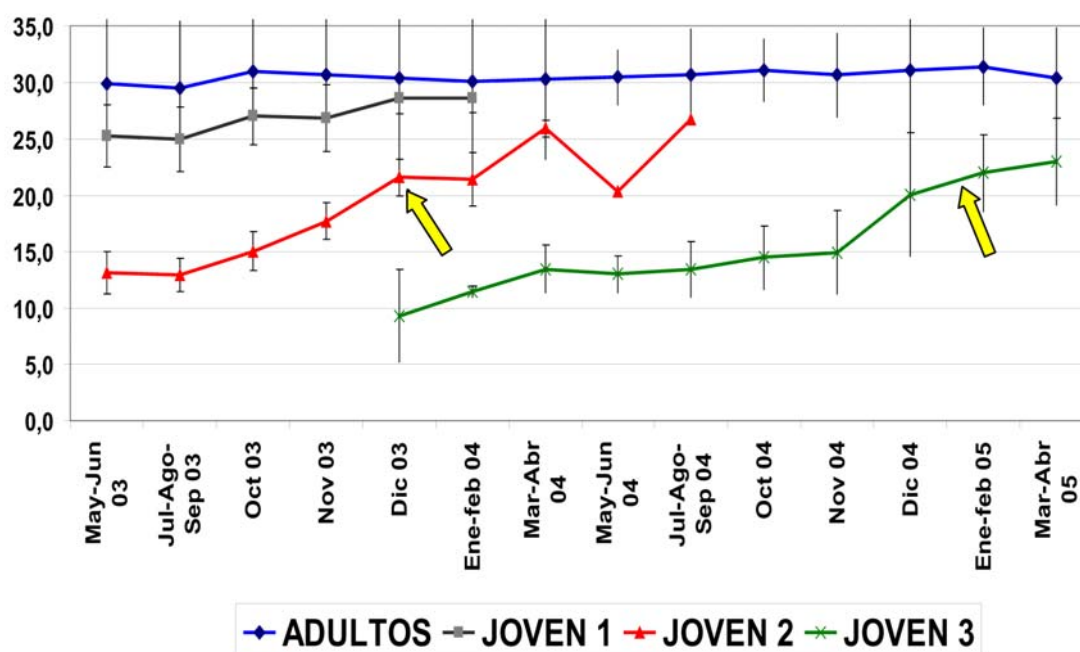
**Figura 4.8.** Distribuciones de frecuencias por talla, en función del diámetro de la concha, de todos los individuos de *I. g. gualtieranus* procesados mensualmente en la zona de estudio. En el eje X se representan las marcas de clase de intervalos de 4 mm de amplitud y en el eje Y el porcentaje de caracoles de cada clase del total hallado (n) (adultos en verde oscuro, jóvenes en verde claro).



**Figura 4.8 (continuación).** Distribuciones de frecuencias por talla, en función del diámetro de la concha, de todos los individuos de *I. g. gualtieranus* procesados mensualmente en la zona de estudio. En el eje X se representan las marcas de clase de intervalos de 4 mm de amplitud y en el eje Y el porcentaje de caracoles de cada clase del total hallado (n) (adultos en verde oscuro, jóvenes en verde claro).

Durante el periodo de octubre a diciembre de 2004, no se registró un aumento de diámetro tan elevado como el año anterior, lo que pudo deberse a las peores condiciones ambientales, ya que los adultos sólo presentaron actividad el mes de octubre. Los jóvenes presentaron actividad los tres meses aunque menos que el año anterior, no presentando crecimiento entre noviembre y diciembre. Además no se notaron en la población los nacimientos de fin de año, no existiendo nueva cohorte durante este año.

Los meses de enero y febrero de 2005 fueron los más fríos del estudio, hibernando todos los adultos y presentando inactividad puntual una gran cantidad de juveniles, aunque aprovechando los días benignos los juveniles consiguieron crecer algo alcanzando un tamaño medio de 23 mm, algo menor que los 25 mm que alcanzaron el año anterior (ver flechas amarillas de la Figura 4.9). En estos meses una gran proporción de las conchas encontradas correspondían a individuos de gran tamaño, lo que puede deberse al elevado coste de intentar reproducirse en esas malas condiciones.



**Figura 4.9.** Diámetro medio en mm de adultos y jóvenes de las distintas cohortes detectadas a lo largo del estudio, clasificados en función de ciertos periodos definidos.

Por lo tanto se puede concluir, viendo que aun en épocas de inactividad son capaces de desplazarse, que los individuos adultos pueden aguantar mejor las condiciones adversas bien sea porque tienen más reservas para reabsorber el epifragma, desplazarse, alimentarse o no y volver a formar el epifragma. Además como durante los periodos de estivación no se ha observado crecimiento alguno en los individuos juveniles, podemos decir que esta población tras despertarse en el periodo de estivación, rápidamente revierte en la recuperación de la inactividad y el desarrollo del epifragma, sin alimentarse, o si lo hacen es lo justo para poder desplazarse y volver a su estado inactivo.

En los gráficos de la dinámica poblacional (Figura 4.8) se puede ver que durante el primer año de los muestreos se dan dos épocas en las que aparecen juveniles, siendo el ciclo biológico igual que el obtenido en los cultivos ex situ de Rodríguez Perochena (2006). Además esta especie tiene un rápido crecimiento para aprovechar los cortos periodos de actividad con los que cuenta, como ocurre con *Sphinterochila boissieri*, según Shachak y cols. (1975) y con *I. g. gualtieranus* en los cultivos realizados en el laboratorio en condiciones controladas (Rodríguez Perochena, 2006). Durante el segundo año del estudio, no se observan incorporaciones de nuevos juveniles durante el otoño, lo que puede deberse a las malas condiciones ambientales.

Además, se puede afirmar que de los individuos estudiados durante los 24 meses, el tamaño máximo encontrado fue de 37,82 mm, no alcanzando los 43 mm establecidos por Serradell (1912), ni mucho menos los 55 mm descritos por García San Nicolás (1957).

## **Mortalidad IG**

A lo largo de todos los meses de muestreo fueron encontradas 564 conchas vacías, 127 correspondieron a individuos adultos y 437 a juveniles. Mediante un test pareado de Wilcoxon, se demuestra que las muertes de adultos son significativamente mucho más bajas que las de individuos juveniles ( $z = 4.20$ ;  $p < 0.001$ ;  $n = 24$  meses). Por el contrario el número de conchas encontradas cada mes, no tiene relación con el número de individuos vivos localizados (adultos:  $r = 0.18$ ;  $p = 0.40$ ; juveniles:  $r = 0.11$ ;  $p = 0.60$ ).

De la Tabla 4.VI se infiere que, a pesar de que podrían haberse dejado de detectar conchas (respecto a etapas de actividad), la estivación aparece como el periodo del año más negativo para la supervivencia de la población, ya que es cuando más adultos y jóvenes mueren (Tabla 4.VI), siendo la hibernación (que también podría haberse subestimado) y la actividad periodos muy similares para los adultos (los jóvenes no hibernaron). Estos números indican fases cuantitativamente sensibles en la vida de la especie en Sierra Elvira, pero no permiten comparar entre periodos que poseen duraciones distintas: es lógico pensar que durante la estivación mueren más adultos ya que es el periodo más dilatado de cada año. Este obstáculo se puede solventar

dividiendo cada periodo por el número de meses que conlleva y extrayendo un “índice” de mortalidad mensual por período. Así, todo se iguala bastante, hasta el punto de que aunque la estivación se mantiene como la fase más sensible, los valores ahora son sólo muy ligeramente superiores a los de los periodos de estivación y de hibernación, los cuales a su vez ofrecen una mortalidad comparativa similar (Figura 10.A y Tabla 4.VI). En cualquier caso son datos que muy probablemente subestimen la mortalidad durante la estivación y la hibernación, como luego se tratará de demostrar. Finalmente, la relación mortalidad juvenil/adulta se mantiene en torno a 3 - 3,5.

<b>Número de Conchas</b>	<b>Estivación (12)</b>	<b>Hibernación (7)</b>	<b>Actividad (5)</b>
<b>Adultos</b>	69	33	25
	<b>Estivación (11)</b>		<b>Actividad (13)</b>
<b>Jóvenes</b>	228		209
<b>Índice de Mortalidad</b>	<b>Estivación (12)</b>	<b>Hibernación (7)</b>	<b>Actividad (5)</b>
Adultos	6	5	5
	<b>Estivación (11)</b>		<b>Actividad (13)</b>
Jóvenes	19		17

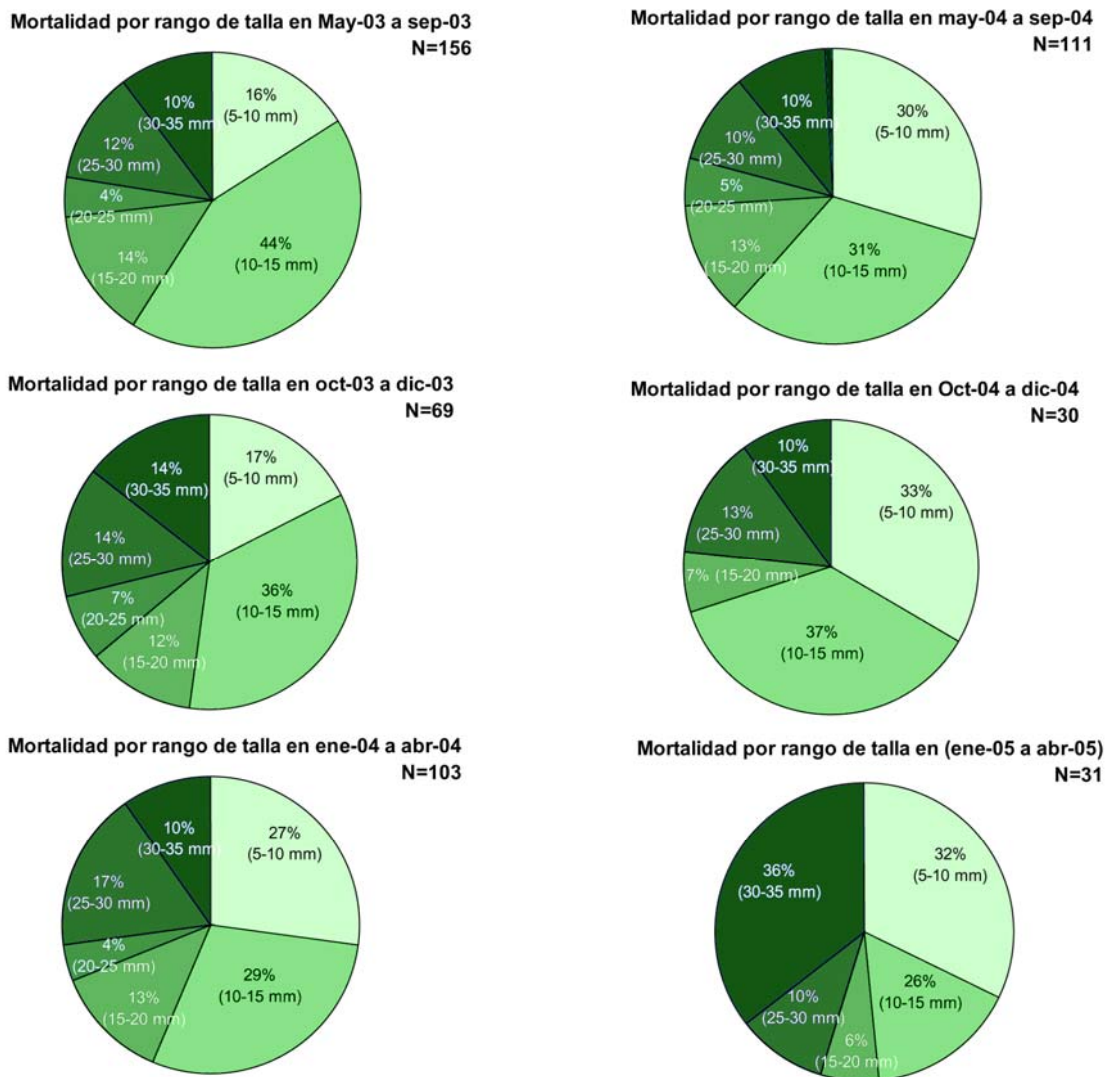
**Tabla 4.VI.** Número de conchas recogidas según la época de actividad/inactividad e índice de mortalidad mensual de *I. g. gualtieranus* en Sierra Elvira durante todo el estudio (entre paréntesis se indican los meses que forman cada periodo).

En la Figura 4.10 se representan los porcentajes de mortalidad hallados en función de clases de edad (basadas en el diámetro máximo de la concha: ver metodología) y periodos definidos que se definen en consonancia con la fase de actividad de los jóvenes, tratando de ser sensibles a posibles cambios en la estructura poblacional (nacimientos, crecimientos, reclutamientos, etc.). Como era de esperar, los individuos que mueren en mayor número son los jóvenes, como demuestran los mayores porcentajes calculados para los rangos de talla más reducidos (5-10 mm y 10-15 mm).

En los dos periodos anuales correspondientes a la estivación juvenil (mayo-septiembre de 2003 y mayo-septiembre de 2004), se observa que tanto en el número de conchas recogidas, como en los porcentajes totales son muy similares. La diferencia es que en 2003 mueren gran cantidad de jóvenes del rango 10-15 mm, mientras que en 2004 éstos se igualan a los más pequeños. Todo indica que jóvenes nacidos a final del año 2003 (detectados en diciembre de 2003: Figura 4.8) se encontraron con meses de frío (de enero a marzo de 2004) e inmediatamente después con meses de calor (a partir de abril de 2004), con lo que parte de ellos murieron (de hecho el incremento de mortalidad de animales pequeños se detecta antes, en el periodo enero-abril de 2004: 27%). Por el contrario, se presupone que la fase de reproducción previa a la estivación del año 2003, tuvo que ocurrir antes en el tiempo (quizás en octubre de 2002, como 2 años después en octubre de 2004), con lo que al periodo mayo-septiembre de 2003 llegaron jóvenes de mayor tamaño medio, que son los que se detectan al estudiar la mortalidad.

En los meses de octubre-diciembre de ambos años, también se dieron diferencias dentro de porcentajes que destacaron la mortalidad de los animales más jóvenes. En 2004 hubo mayor mortalidad de los más pequeños surgidos de la fase reproductora detectada en octubre de 2004, habiendo desaparecido la mayoría de ellos pues apenas se localizaron vivos en el periodo de octubre-diciembre de 2004 y sí unos pocos jóvenes de mayor tamaño que procederían de meses previos, o sea los nacidos a finales de diciembre de 2003 que apenas tuvieron tiempo de crecer y madurar (Figura 4.18). Según parece la muerte masiva de jóvenes recién nacidos se produjo por la mayor adversidad de noviembre y diciembre de 2004 reflejada en el hecho de ser meses de inactividad adulta (lo que no sucedió un año antes).

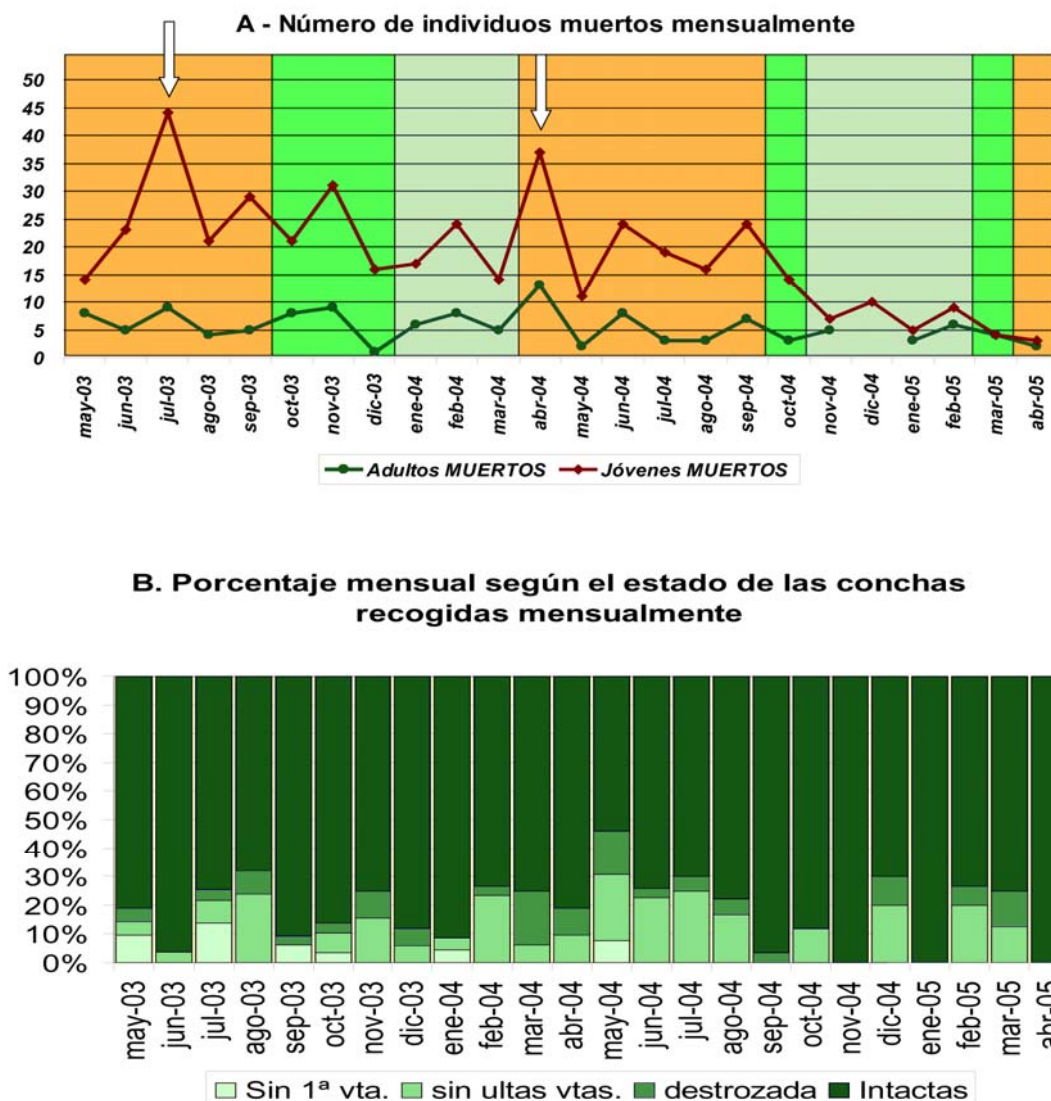
Finalmente, entre enero y abril de 2004 y 2005, aunque los números son muy parecidos para las clases más jóvenes, se observa que el periodo del segundo año presenta unas temperaturas bastante bajas que produjeron una “especial” mortalidad de los adultos de mayor tamaño, debida seguramente a cuestiones naturales (edad) (Figura 4.18).



**Figura 4.10.** Porcentajes de mortalidad de *I. g. gualtieranus* en Sierra Elvira en función de las clases de edad afectadas y de varios periodos definidos en consonancia con la duración (en meses) y los ciclos de actividad de los jóvenes.

En la Figura 4.11 A, se pueden destacar dos “picos de mortalidad” (momentos en que se recogieron más conchas), uno en cada una de las dos fases principales de estivación: junio/julio de 2003 y abril de 2004. Es decir, además de ser el periodo en el que cuantitativa y cualitativamente se producen más muertes (incluso subestimado), todo parece indicar que la estivación, además, suele conllevar la presencia de un lapso de tiempo en el que dichas muertes se acrecientan especialmente. El pico de junio/julio de 2003 puede deberse a un error pues de acuerdo con la Figura 4.6 A, la caída en el número de jóvenes se produjo un mes antes, de mayo a junio de 2003: al ser el inicio del muestreo, la falta de experiencia para reconocer animales vivos o muertos, seguramente

hizo que en junio de 2003 conchas pegadas a las rocas pasaran como individuos vivos, que lógicamente no se despegaron por miedo a dañarles el epifragma, reactivarlos, etc. Por lo tanto, en adelante se analizarán junio/julio de 2003 como el momento donde se produjo el pico de mortalidad estival del año 2003.



**Figura 4.11.** A) Porcentaje mensual de mortalidad juvenil (conchas jóvenes) y adulta (conchas adultas) y mortalidad total (jóvenes + adultas), respecto al global de la población (conchas más vivos capturados mensualmente). La línea negra marca el número de individuos jóvenes vivos capturados cada mes, la clave de colores de fondo destaca las fases de actividad (verde) y estiviación (naranja) mostrada por los jóvenes y las flechas blancas los valores más altos hallados. B y C) Porcentajes mensuales de mortalidad juvenil y adulta respecto a la población juvenil y adulta, respectivamente.

El número de adultos encontrados cada mes (Figura 4.12) no está relacionado con las variables ambientales, pero el número de najas juveniles aumenta significativamente con las variables de temperatura, aunque no tiene relación con la humedad o la precipitación.

---

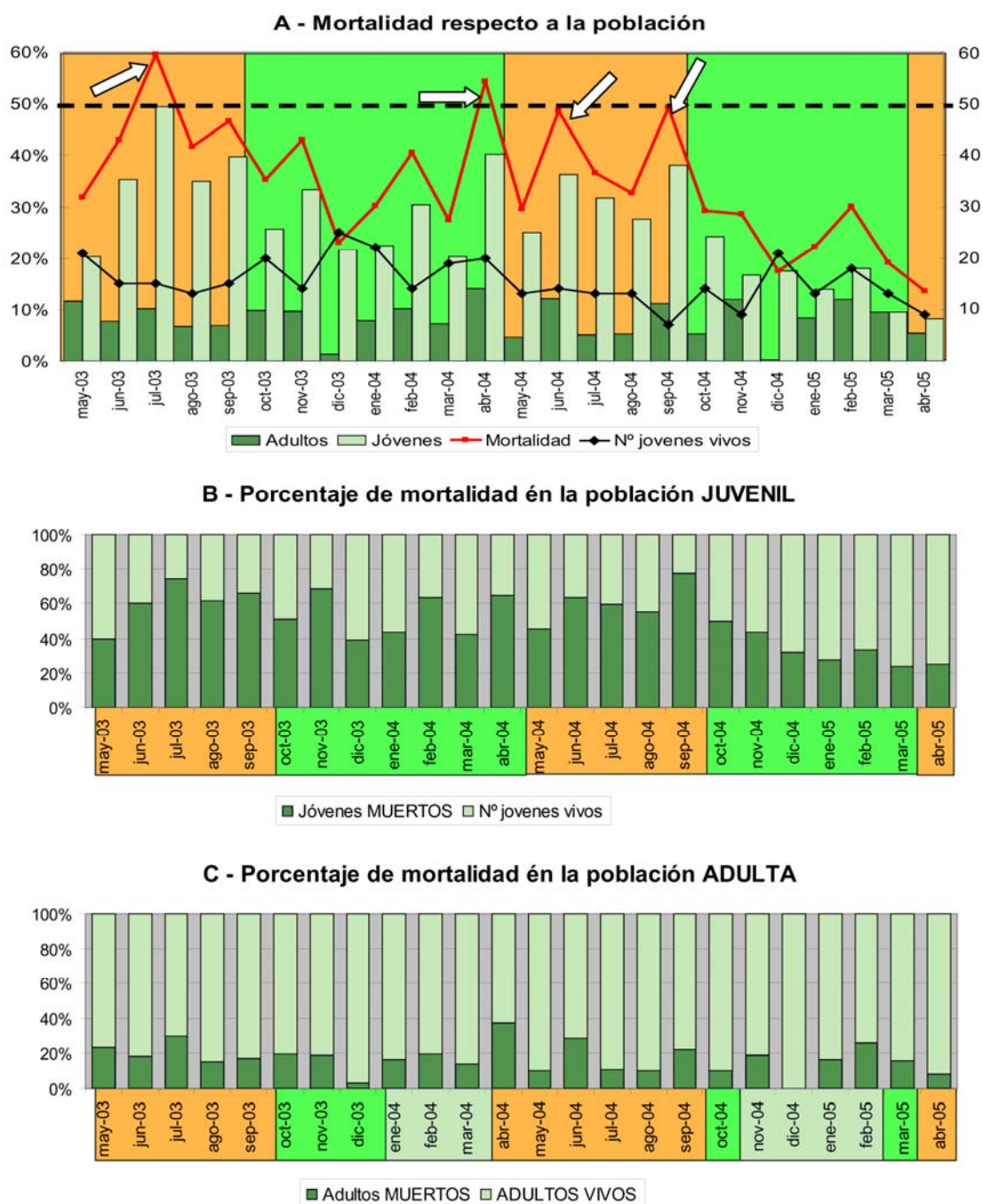
Tras realizar un modelo de regresión múltiple con el índice de temperatura, el Índice de humedad y la velocidad del viento como variables independientes (Full model:  $R^2 = 0.33$ ;  $F_{3, 20} = 3.29$ ;  $p < 0.05$ ;  $\beta = 0.65$ ;  $p < 0.01$ ), podemos observar que la temperatura afecta positivamente a la mortalidad juvenil, pero ese mismo modelo nos indica que no afectan ni la humedad ni la velocidad del viento ( $p > 0.20$ ); sin embargo para los adultos explican muy poca varianza ( $R^2 = 0.05$ ;  $F_{3, 20} = 0.37$ ;  $p = 0.78$ ).

De los 145 individuos juveniles marcados, sólo se encontraron muertos 30 de ellos lo que indica un porcentaje de mortalidad juvenil del 20.7% durante los dos años. Pero si se tiene en cuenta que el primer año fueron marcados 81 juveniles y sólo se encontraron vivos dos de ellos durante los últimos cuatro meses de muestreo, y si suponemos que todos los que no se encontraron es porque murieron, implicaría una mortalidad juvenil bianual del 97.5%. No se puede considerar que los individuos jóvenes se hayan ido de la parcela ya que la media de desplazamiento de los mismos es de 0,81 metros al mes (rango entre 0 y 6 metros y  $n=320$ ), aunque la distancia máxima observada en un individuo fue de 8 metros en varios meses, mientras que en algunos casos, el mismo individuo fue encontrado dentro de un radio de 2 metros durante más de 10 meses.

Al igual que Richardson (1974) en este estudio podemos concluir que la temperatura afecta enormemente a la mortalidad de los individuos juveniles, y suponemos que se debe a que el aumento de temperatura implica una mayor evaporación y su consecuente disminución de la baba, lo que termina conllevando la desecación de los individuos. La mayor mortalidad en individuos juveniles que adultos se puede deber a que el aumento de temperatura induce a los caracoles a estivar, y los juveniles, al tener menos reservas, no son capaces de soportarla.

Algunas extinciones han sido explicadas por un alargamiento del periodo de sequia debido al cambio climático (Pounds y cols., 1999), y los caracoles terrestres pueden ser muy susceptibles a la ampliación del periodo de sequía como consecuencia del calentamiento global (Giokas y cols., 2007). Esto es especialmente acertado para *I. g. gualtieranus* al presentar un periodo de estivación de entre 4 y 6 meses.

El presentar una mortalidad juvenil del 97% sugiere que la tasa de reposición de la población es muy lenta lo que conlleva un declive de la misma.



**Figura 4.12.** A) Número de conchas adultas y juveniles de *I. g. gualtieranus* recogidas mensualmente en la parcela de estudio, con indicación de los periodos principales de la actividad/inactividad adulta (naranja-estivación, verde-actividad, azul-hibernación). B) Conchas de *I. g. gualtieranus* recogidas mensualmente en la parcela durante el período de estudio, clasificadas en función del estado en que fueron halladas (sin primeras vueltas, sin últimas vueltas, destrozadas o intactas).

---

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE *Iberus alonensis-like02*

### **Actividad IA**

En los primeros 12 meses de muestreo, desde agosto de 2003 hasta julio de 2004, se observaron 260 adultos y 131 juveniles, mientras que desde agosto de 2004 hasta finalizar el estudio, las capturas fueron de 364 y 254 individuos respectivamente. De estos datos podemos observar que la relación adultos/juveniles, es de 2,0 y 2,4 para cada periodo, no siendo significativos los cambios poblacionales interanuales.

De los 391 y 518 individuos procesados, el 70,1% y el 67,8% de éstos, estaban activos, lo que demuestra una preponderancia de la actividad en la zona de estudio, no existiendo una diferencia en la actividad interanual, resultado acorde con lo observado en las variables ambientales, ya que las temperaturas medidas en la estación meteorológica y las variables registradas *in situ* apenas se diferenciaron, aunque las precipitaciones fueron más acusadas durante el primer año. Hay que tener en cuenta que la precipitación efectiva es la que se da en los días previos a los muestreos, y pueden concentrarse más en unos meses que en otros. Por esta razón, si analizamos las precipitaciones de 5 y 10 días antes del muestreo, podemos apreciar que las diferencias también son mínimas de un año a otro.

En la Figura 4.13 se representa el número total de individuos capturados en los muestreos (A), el número de adultos y jóvenes hallados activos (A) e inactivos (B) y la proporción de éstos últimos respecto al total observado (B) para cada mes de los muestreos. Pudiéndose observar que la población no sufre ningún descenso de individuos de un año a otro.

A lo largo de los meses hubo un mayor porcentaje de ejemplares inmaduros activos que de ejemplares adultos activos (t-test pareado,  $t_{23} = -14,3415$ ;  $p = 1,20792E-12$ ; Figura 4.13). El porcentaje de ejemplares activos se correlacionó negativamente con el índice de temperatura y con el de humedad, es decir se inactivan con condiciones adversas y se reactivan cuando mejoran. (Tabla 4.VII).

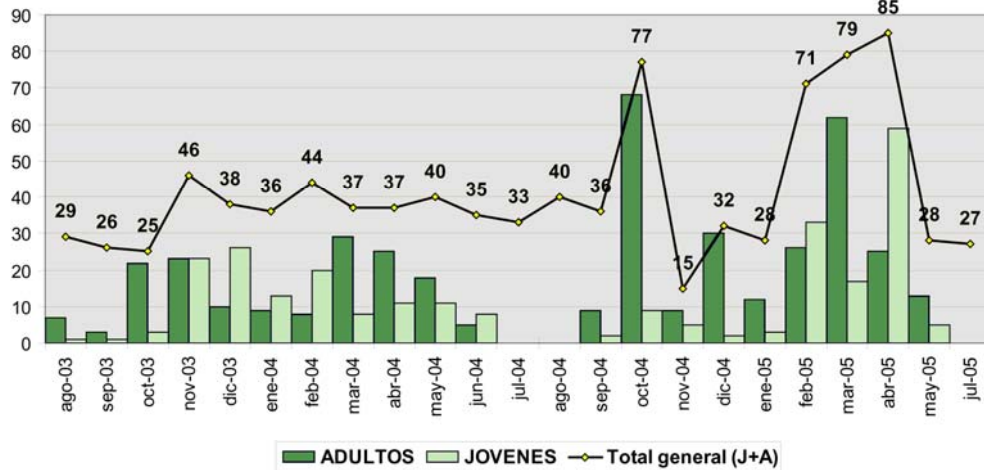
	Velocidad del viento	Índice de temperatura	Índice de humedad
Individuos totales	r = -0,1689 p = 0,5229	r = -0,7746 p = 0,4872	r = -0,9133 p = 0,0586
Adultos	r = -0,4098 p = 0,6373	r = -0,6831 p = 0,0640	r = -0,9327 p = 0,4542
Juveniles	r = -0,1689 p = 0,9491	r = -0,7746 p = 0,0577	r = -0,9133 p = 0,5728

**Tabla 4.VII:** Matriz de correlaciones entre las variables climáticas y el porcentaje de ejemplares activos. N = 24 meses.

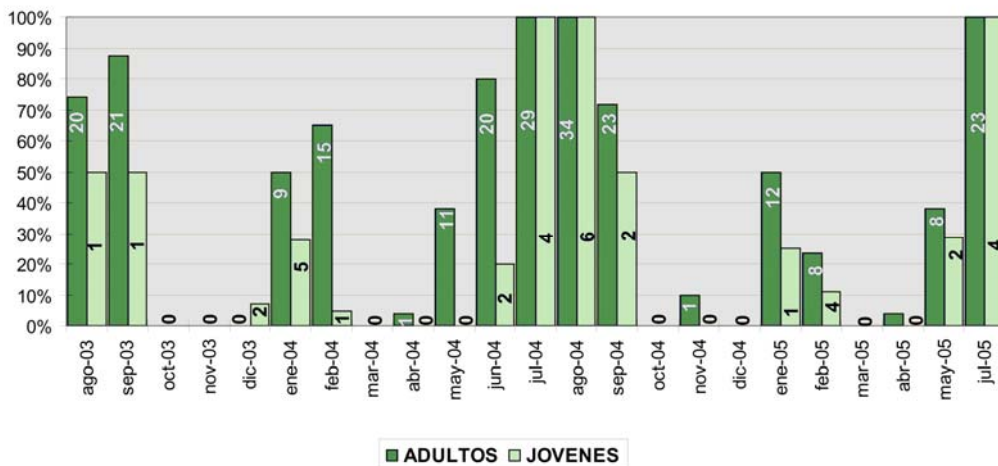
Considerando sólo los adultos, la correlación con el índice de temperatura no llegó a ser significativa ( $p = -0,567801$ ). Como era esperable, y ocurrió en el caso de *I. g. gualtieranus*, el índice de temperatura y de humedad estuvieron negativamente correlacionados ( $r = -0,47$ ;  $p = 0,0047$ ).

Toda la población estuvo activa durante el año, salvo dos periodos, cortos y no muy claros, en los que se puede observar que prácticamente todos los individuos estaban inactivos, existiendo pequeñas diferencias interanuales aunque se distinguen dentro del mismo año para adultos y juveniles. Los individuos adultos llegan al estado de inactividad en algún momento del mes de junio, mientras que la población juvenil se inactiva un poco después, entre finales de junio y principios de julio. La estivación se alarga en ambos casos entre 2 y 3 meses, aunque en el mes de agosto del primer año existe un 25% de la población adulta activa, dato que se debe a las lluvias acaecidas el mismo día del muestreo, que facilitaron la activación de los individuos que estaban fuera de refugios. Dándose la reactivación entre finales de agosto y principios de septiembre, por lo que podemos concluir que la estivación se lleva a cabo en verano cuando las temperaturas son más altas y las precipitaciones más escasas (Figura 4.13 B).

**A. Número de Individuos en Actividad**



**B. Porcentaje y Número de Individuos en Inactividad**



**Figura 4.13.** A) Número total de individuos (adultos + jóvenes), adultos y jóvenes capturados mensualmente a lo largo del periodo de estudio. B) Porcentaje y número de individuos adultos y jóvenes observados en inactividad prolongada (estivación o hibernación) en cada uno de los 23 meses de prospección. Se han tenido en cuenta todos los individuos encontrados en la zona de estudio (parcela y recorridos externos).

En la época más fría del año, los meses de enero y febrero, existe un nuevo aumento de la inactividad, aunque solo en la cohorte de individuos adultos, que no supera el 65%. Lo que nos indica que los adultos presentan una mayor sensibilidad a los factores que provocan la hibernación, de forma similar a cuando las condiciones comienzan a ser adversas, por ejemplo durante mayo de 2004, junio de 2004, mayo de 2005 y seguramente junio de 2005, la inactividad en jóvenes (0%, 20% y 28,6% respectivamente) se diferencia de la

de los adultos (37,9%, 80% y 38,1% de inactividad, respectivamente en esos mismos meses), reafirmando la distinción explicada entre adultos y jóvenes.

Con todo lo comentado anteriormente, se puede estimar que el periodo de estivación tiene una duración que oscila entre 2,5 meses (en el caso de algún juvenil) y 4 meses (en el caso de los individuos adultos), correspondiendo el resto del año al periodo de actividad. Además, se puede concluir que la activación se lleva a cabo cuando aumenta la humedad, como en el caso de *Helix texta* (Heller y Ittiel, 1990), *Cristataria genezarethana* (Heller y Dolev, 1994) o *Albinaria coerulea* (Giokas y Mylonas, 2002).

A continuación se analizan cuáles son las condiciones ambientales determinantes de los periodos de estivación, hibernación y actividad

### **Condiciones determinantes de la estivación, hibernación y actividad de IA**

En los meses de estivación de los adultos, las variables ambientales fueron: temperatura media de  $21,5 \pm 2,3$  °C, precipitaciones mínimas de  $4,4 \pm 0,51$  mm, humedad relativa del aire de  $60 \pm 16,3\%$  y humedad del suelo de  $3,9 \pm 0,55\%$  (Tabla 4.VIII A). En comparación con los adultos, los jóvenes requieren de un ambiente ligeramente más cálido, con temperaturas aproximadamente 1 °C más altas, siendo la temperatura media de  $22,4 \pm 1,5$  °C, y más seco con precipitaciones medias y humedades algo inferiores (Humedad relativa del aire de  $53,3 \pm 17,4\%$  y humedad del suelo de  $1,9 \pm 1,6\%$ ) (Tabla 4.VIII B). Las diferencias, aunque no muy acusadas, se hacen patentes en todas las variables registradas.

Para explicar las diferencias entre los periodos de estivación de cada año, es imprescindible analizar detalladamente las razones que provocaron el inicio, progresión y fin de la estivación de los animales.

	MESES	PRECIPITACION	T° MAX.	T° MED. MAX.	T° MEDIA	T° MED. MIN.	T° MIN.	VELOCIDAD VIENTO	HR AIRE 5cm	H del suelo	T° AIRE 5cm	T° GRIETA	T° SUELO
A	ago-03	0,0	39,2	32,2	24,4	16,6	11,8	1,5	65,9%	4,2%	21,8	25,0	26,3
	sep-03	2,6	34,0	28,7	21,4	14,2	11,8	2,9	65,0%	2,2%	15,6	18,3	21,2
	jun-04	10,9	30,0	22,5	16,9	11,3	7,0	0,3	82,1%	16,1%	13,5	20,8	19,5
	jul-04	12,4	32,8	27,8	21,0	14,2	10,8	0,9	70,1%	2,1%	19,2	28,0	28,5
	ago-04	0,0	35,4	29,2	22,7	16,2	12,0	2,2	34,3%	0,8%	20,8	26,9	27,5
	sep-04	2,8	36,6	29,4	22,7	16,0	13,8	0,4	59,7%	1,4%	18,9	22,3	23,5
	jul-05	2,2	33,8	28,4	21,5	14,6	11,2	1,4	43,0%	0,6%	23,6	27,2	25,7
	Estivación Adultos	4,4	34,5	28,3	21,5	14,7	11,2	1,4	60,0%	3,9%	19,1	24,1	24,6
	Desvest	5,1	2,9	2,9	2,3	1,8	2,1	1,0	16,3%	5,5%	3,5	3,7	3,3
	B	ago-03	0,0	39,2	32,2	24,4	16,6	11,8	1,5	65,9%	4,2%	21,8	25,0
jul-04		12,4	32,8	27,8	21,0	14,2	10,8	0,9	70,1%	2,1%	19,2	28,0	28,5
ago-04		0,0	35,4	29,2	22,7	16,2	12,0	2,2	34,3%	0,8%	20,8	26,9	27,5
jul-05		2,2	33,8	28,4	21,5	14,6	11,2	1,4	43,0%	0,6%	23,6	27,2	25,7
Estivación Jóvenes		3,7	35,3	29,4	22,4	15,4	11,5	1,5	53,3%	1,9%	21,4	26,8	27,0
Desvest		5,9	2,8	2,0	1,5	1,2	0,6	0,5	17,4%	1,6%	1,8	1,3	1,2
C	ene-04	0,9	22,4	15,9	9,5	3,1	-1,2	0,7	76,0%	16,1%	7,0	10,1	9,5
	feb-04	3,0	20,6	16,0	10,2	4,5	-1,2	0,2	88,0%	15,3%	2,0	9,8	8,7
	ene-05	4,0	19,8	14,0	7,9	1,8	-2,5	0,2	92,4%	10,9%	3,6	6,8	6,3
	oct-03	84,5	29,4	23,6	18,1	12,5	9,4	0,3	94,4%	11,4%	13,4	16,1	16,8
	nov-03	88,0	22,4	17,6	13,0	8,5	4,8	1,8	100,9%	27,4%	7,3	10,4	11,4
	dic-03	118,4	20,6	15,1	9,8	4,5	-0,8	0,9	75,7%	19,8%	6,9	9,6	9,0
	mar-04	80,9	23,2	14,3	9,4	4,6	-2,4	0,8	80,7%	21,4%	8,9	13,3	12,8
	abr-04	163,5	24,4	16,1	10,6	5,1	0,0	1,9	56,3%	18,6%	12,1	15,7	14,7
	may-04	99,4	23,8	17,5	12,2	6,9	4,6	1,1	72,6%	18,2%	10,0	17,7	16,9
	oct-04	3,5	30,2	25,0	18,5	11,9	7,2	0,9	87,1%	14,2%	16,2	17,8	17,2
	nov-04	9,7	30,6	20,0	14,2	8,5	1,4	0,8	67,1%	2,9%	2,3	8,0	7,3
	dic-04	84,3	18,8	15,0	9,6	4,3	-0,2	0,6	80,0%	13,0%	5,4	9,3	8,7
	feb-05	34,4	22,2	13,5	7,1	0,7	-6,4	1,2	46,4%	17,5%	1,6	5,4	3,9
	mar-05	91,2	22,2	12,0	6,6	1,1	-2,4	0,3	95,1%	16,8%	7,5	10,9	11,3
	abr-05	8,0	24,4	19,3	13,2	7,2	3,6	1,5	50,7%	8,5%	12,7	16,5	16,5
	may-05	11,4	29,8	23,5	16,9	10,2	5,8	0,5	58,2%	1,3%	14,7	21,6	23,4
	jun-04	10,9	30,0	22,5	16,9	11,3	7,0	0,3	82,1%	16,1%	13,5	20,8	19,5
	Actividad Jóvenes	52,7	24,4	17,7	12,0	6,3	1,6	0,8	76,7%	14,7%	8,5	12,9	12,6
	Desvest	51,2	4,0	4,0	3,8	3,8	4,3	0,5	16,3%	6,4%	4,7	4,9	5,2
	Actividad Adultos	67,5	24,8	17,9	12,3	6,6	1,9	1,0	74,3%	14,7%	9,2	13,2	13,1
	Desvest	49,8	3,9	4,2	3,9	3,7	4,5	0,5	17,7%	7,3%	4,6	4,7	5,2
	Hibernación Adultos	2,6	20,9	15,3	9,2	3,1	-1,6	0,4	85,5%	14,1%	4,2	8,9	8,2
	Desvest	1,6	1,3	1,2	1,2	1,3	0,8	0,3	8,5%	2,8%	2,5	1,9	1,6

**Tabla 4.VIII.** Valores de precipitación y temperaturas medidos en la estación de Lanjarón (I.N.M) y valores de la velocidad del viento, humedad del ambiente, humedad del suelo y temperaturas del suelo, de la grieta y del ambiente a 5 cm del suelo, medidos “in situ”. Se han diferenciado en meses correspondientes a la estivación, actividad o hibernación

En junio de 2005 no se realizó el muestreo de actividad/inactividad en la zona de estudio, pero sí se dispone de los datos ambientales de dicho mes (precipitación y temperatura) registrados en la estación de Lanjarón, que son similares a los de junio de 2004: por lo que se asume que la actividad fue muy parecida ya que fueron meses muy similares. En junio de 2004, ocho de cada 10 adultos y 2 de cada diez jóvenes estaban inactivos, mientras que un mes antes (mayo de 2004), sólo el 38% de los adultos estaban, frente a ninguno de los juveniles.

Comparando entre los dos meses los valores de las variables estudiadas, se observa que las lluvias se redujeron drásticamente y que todas las temperaturas subieron entre 5 y 6 °C respecto al mes anterior (Figura 4.14 A), especialmente la temperatura media máxima (TMmax) que llegó a 22,5 °C (17,5 °C en mayo-04), con una temperatura máxima (Tmax) de 30 °C (23,8 °C en mayo-04), siendo la temperatura media mínima (TMmin) la que menos

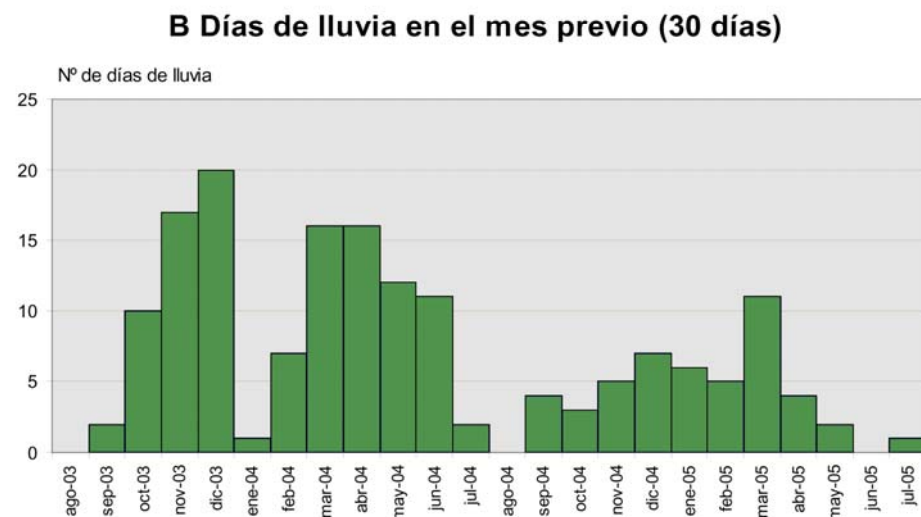
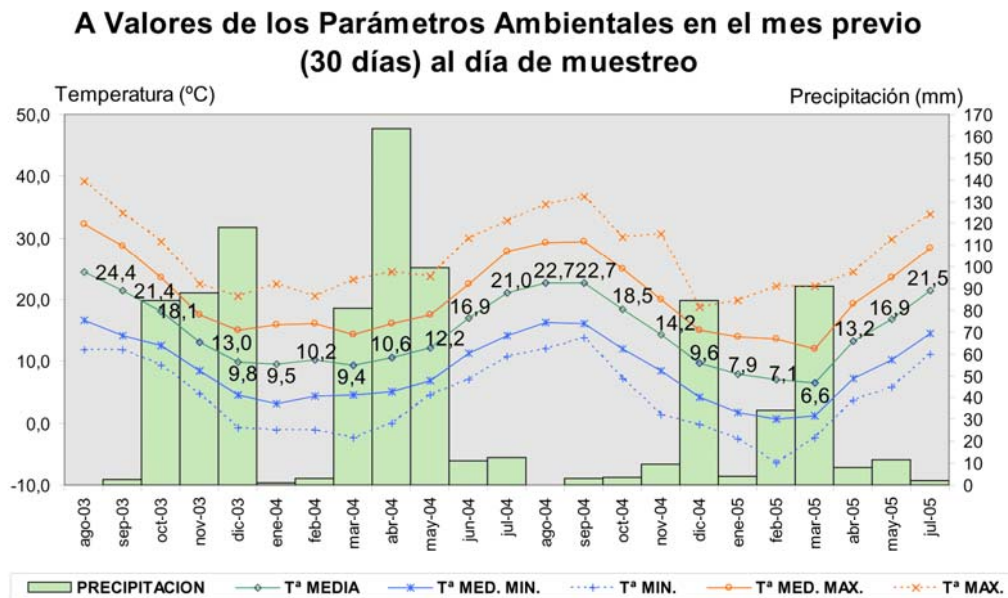
aumentó: 11,3°C (6,9°C en mayo-04). Estos datos señalarían al descenso de las precipitaciones y al aumento de las temperaturas de un mes a otro, en especial al mayor aumento de las temperaturas máximas (Tmax), como responsables de la estivación, (Figura 4.14 A), ocurriendo lo mismo que lo demostrado por Potts (1975) en *C. aspersum*.

Estas diferencias comentadas se hacen patentes en todos los intervalos de tiempo considerados: 30 (mes), 15, 10 y 5 días antes del muestreo (Figura 4.14), excepto para la precipitación, lloviendo algo más en junio que en mayo en los 5 y 10 días previos al muestreo. Las escasas lluvias de junio, no han sido suficientes para que se produzca un aumento de la actividad en la población adulta, que seguramente ya se encuentra en habitats más resguardados (grietas-oquedades), por lo que necesitan una continuidad y mayor abundancia de las precipitaciones para conseguir alcanzar la activación, resultado acorde con la afirmación de varios autores (Bailey, 1975; Pollard, 1975; Heller e Ittiel, 1990) de que la efectividad de las lluvias para que se de la reactivación depende de su abundancia y/o de la frecuencia de las mismas como aseguran Iglesias y cols. (1996) y Arrébola (*en prensa*), en sus estudios de *C. aspersum* y de *O.lactea* respectivamente.

El mantenimiento de estas condiciones hace que los juveniles también se inactiven con un desfase de prácticamente un mes con respecto a los adultos. Ya en julio, el 100% de la población estaba estivando, debido a la continuidad de las condiciones ambientales adversas, concretamente al aumento de las temperaturas, a la escasez de lluvias y a la disminución de la humedad relativa del ambiente y la del suelo. (Figura 4.14 A, 4.15 A y 4.16).

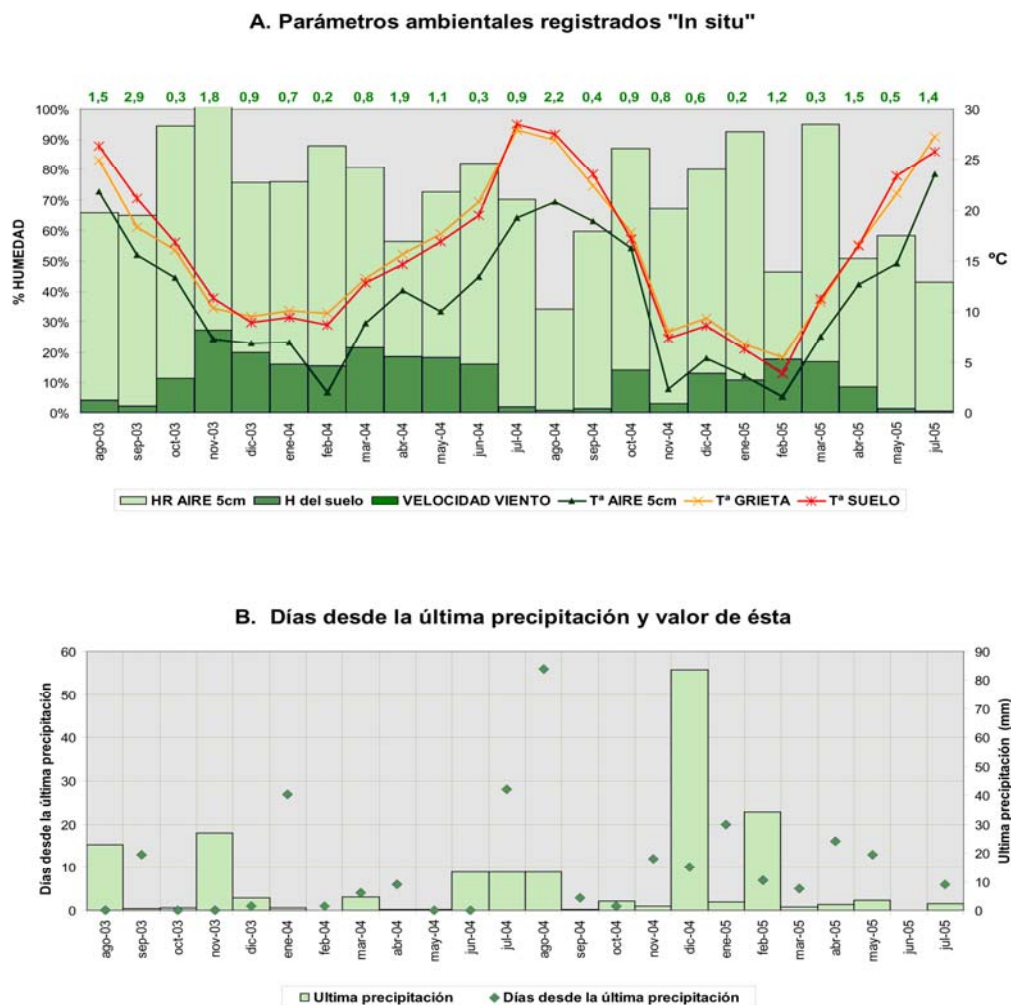
En los dos muestreos efectuados en octubre (2003 y 2004) el 100% de la población estaba activa. Lo que quiere decir que se había reactivado entre estos y los muestreos previos. Durante ambos meses, en los dos años, se produce un claro descenso de todos los valores de temperatura en todos los márgenes de tiempo estudiados, hasta el punto de que las temperaturas medias máximas (TMmax) descendieron por debajo de los 25 °C, llegando en octubre de 2004 a los 23,6°C. Por otro lado hubo un claro aumento de las precipitaciones. Concretamente, en octubre de 2003 llovió el día de muestreo (0,9 mm), además lo hizo abundantemente en los 30 días previos alcanzando

84,5 mm. En octubre de 2004 llovió apreciablemente 1 día antes del muestreo (3,2 mm) y poco más 10-12 días antes (0,3 mm), si bien, hacía 23 días que no lo hacía (Figuras 13 A y 15).



**Figura 4.14 .** A) Precipitación mensual y temperaturas (media, media de las mínimas, mínimas, media de las máximas y máximas) registradas en la zona de estudio entre mayo de 2003 y abril de 2005. B) Número de días de lluvia durante los 30 días antes de cada muestreo. Fuente: estación meteorológicas 5548 “Atarfe Caparacena” (I.N.M.).

El descenso de temperaturas entre agosto y septiembre (menor que entre septiembre y octubre) y las escasas lluvias registradas en septiembre (en septiembre de 2003 llovió 0,6 mm y 2,0 mm 13 y 28 días antes, registrándose en septiembre de 2004 en los días 3, 12, 13 y 15 antes del muestreo 0,3 0,9 1,0 y 0,6 mm respectivamente) no fueron suficientes para que el total de la población se reactivase siendo necesarias unas lluvias más cuantiosas y continuadas, hecho que se asemeja a lo descrito por Parmakelis y Mylonas en el género *Mastus* (2004). En este caso se reactivaron algunos juveniles y muy pocos adultos que se encontraban en hábitat accesibles, mientras que los que se encontraban más escondidos (en grietas, huecos, bajo piedras) siguieron en inactividad prolongada, no detectando estos mínimos cambios ambientales (Figuras 4.14 A y 4.16).



**Figura 4.15.** A) Valores medios de temperatura del suelo, viento y temperatura y humedad relativa del aire a 5 cm medidos "in situ" en la parcela de estudio. B) Número de días desde la última precipitación y valor de ésta para cada muestreo. (Datos de la estación Lanjarón - I.N.M.)

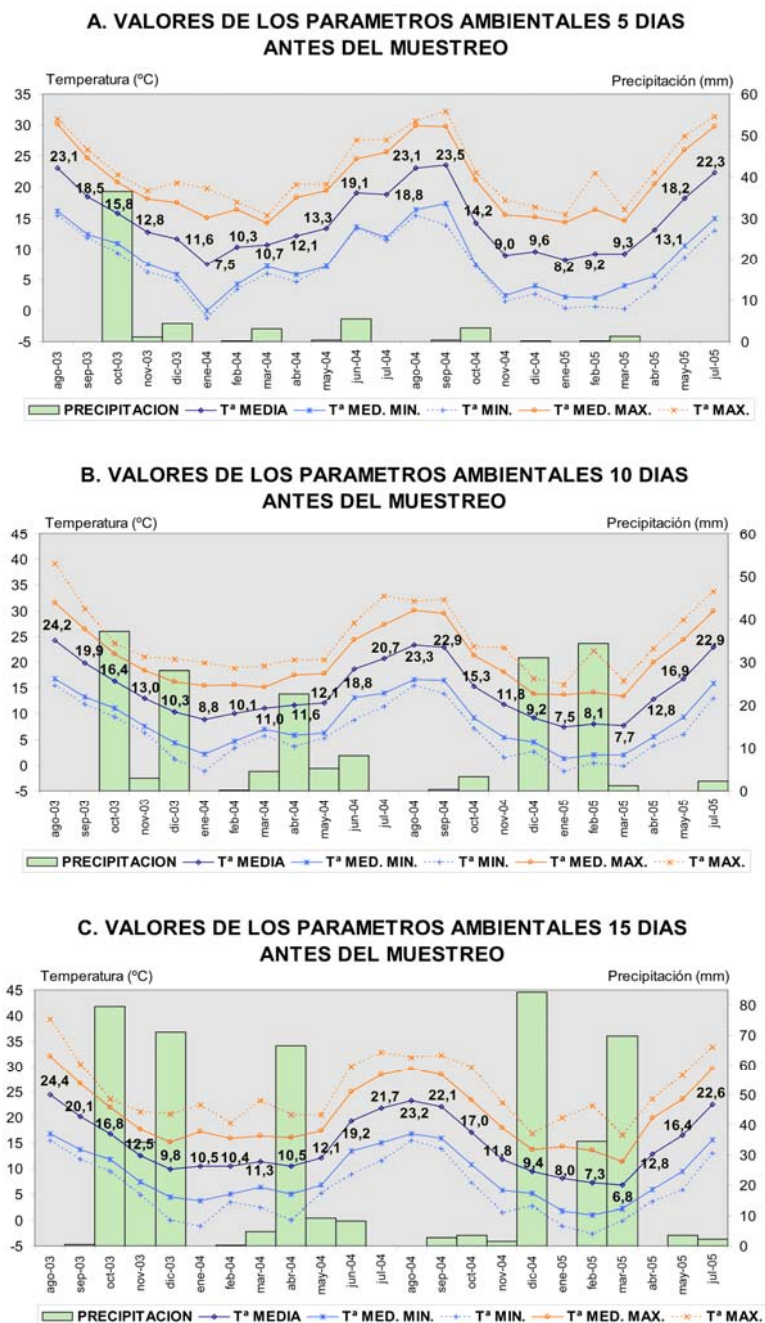
---

Todo indica que la lluvia fue el detonante para la reactivación de los animales en octubre de 2003, tanto adultos como jóvenes, en un ambiente en el que la Humedad Relativa aumentó de 65,9% en agosto de 2003 y 65% en septiembre de 2003 a 94,4% en octubre de 2003 y en el que las temperaturas también descendieron de forma apreciable (Figuras 4.14 A, 4.15 A y 4.16). En 2004, aunque las lluvias no parecieron alcanzar una importancia tan destacada como en octubre de 2003, una lluvia apreciable un día antes del muestreo (3.2 mm) fue suficiente para la reactivación de los animales, habiendo llovido mínimamente 10-12 días antes. También aumentó la humedad relativa (de 59,7% en septiembre de 2004 a 87,1% en octubre de 2004) y la humedad del suelo (de 1,4% en septiembre de 2004 a 14,2% en octubre de 2004).

Todo esto nos indica que la lluvia es el factor limitante para la reactivación, junto a la bajada de las temperaturas y al aumento de la humedad relativa del ambiente. Sin embargo que en octubre de 2004 no se registren unas precipitaciones tan abundantes como en el mismo mes del año anterior, lleva a pensar que puede existir también un componente endógeno, el reloj interno que en este caso actúa favoreciendo la reactivación...(Cook, 2001). En ambientes contrarios y homogéneos, como el verano de Lanjarón, esto es normal que suceda. La historia climatológica de Lanjarón (Figura 4.4) demuestra que octubre sería el mes en el que la población se reactivaría tras la larga estivación estival: por relojes endógenos y sinergia con factores ambientales (temperaturas ni frías ni calurosas, llegada de precipitaciones, alta humedad relativa...) desempeñando generalmente las lluvias la función detonante como demostró Raut (1991) en individuos de *Achatina fúllica*.

A diferencia de lo descrito en los resultados de *I. g. gualtieranus*, se agrupan ambos periodos porque la hibernación casi no se da en esta especie y por lo tanto no hay datos suficientes si se analizan por separado. Como ya se ha comentado, durante el periodo de estudio predomina el estado de actividad frente a la inactividad, siendo la fase mayoritaria para toda la población (100% o cercano) en los meses de octubre, noviembre, diciembre, marzo y abril de ambos años de estudio. La mayoría de los adultos se mostraron activos en los meses de octubre, noviembre, diciembre, marzo, abril, mayo de ambos años y febrero de 2005. En ambos meses de enero, los adultos presentaron el 50% de

actividad. Para el caso de los juveniles, los meses de actividad son aún más, presentando una actividad mayoritaria todos los meses excepto julio de 2004, agosto de 2004 y julio de 2005, mostrando los meses de agosto de 2003, septiembre de 2003 y septiembre de 2004 un 50% de actividad, teniendo en cuenta que se obtuvieron pocos datos.



**Figura 4.16.** Precipitación y temperaturas (media (Tª MEDIA), media de las mínimas (Tª MED. MIN), mínimas (Tª MIN), media de las máximas (Tª MED. MAX) y máximas (Tª MAX)) registradas en la zona de estudio entre agosto de 2003 y julio de 2005. A) Valores 5 días antes del muestreo. B) Valores 10 días antes del muestreo. C) Valores 15 días antes del muestreo.

---

Por las razones antes explicadas, octubre es el mes del despertar de los animales. Noviembre y diciembre supusieron una continuidad de condiciones adecuadas, para los adultos en ambos años de estudio, mientras que enero y febrero (no febrero de 2004) fueron meses de hibernación para los adultos, volviendo a ser meses de clara actividad marzo, abril y mayo (Figura 4.13.B). Tras mayo se cierra el ciclo y llegamos a junio, mes de inactividad para adultos. Durante el periodo de actividad las temperaturas son más suaves y la precipitación y la humedad relativa más altas, que en los meses definidos como de estivación, tanto para adultos como para jóvenes (Figura 4.14 A y Tabla 4.VIII). De este modo, en los adultos, los meses de actividad se caracterizaron por una temperatura media de  $12,3 \pm 3,9$  °C, precipitaciones de  $67,5 \pm 49,8$  mm, humedad relativa del aire de  $74,3 \pm 17,7\%$  y humedad del suelo de  $14,7 \pm 7,3\%$ . En comparación con los adultos, los jóvenes requieren de precipitaciones algo menores  $52,7 \pm 5,12$  mm, siendo similares el resto de variables analizadas (Tabla 4.VIII C). Esta diferencia se manifiesta en que se mantienen activos en meses con escasas precipitaciones, por un lado en meses de hibernación de adultos y por otro en el mes junio de 2004, donde las precipitaciones disminuyen, estando la mayoría de los adultos estivando. Para el cálculo de los valores de las variables ambientales en el periodo de actividad de los jóvenes, no se han tenido en cuenta los meses de septiembre, debido a que en los escasos datos recogidos existe el mismo porcentaje de actividad que de inactividad (Figura 4.14 A y Tabla 4.VIII C).

En el caso de los adultos, los meses en los que apareció la hibernación se caracterizaron por precipitaciones muy escasas, de  $2,6 \pm 1,6$  mm, humedad relativa del aire de  $85,5 \pm 8,5\%$  y por una temperatura media de  $9,2 \pm 1,2$  °C, siendo las medias de las temperaturas mínimas muy bajas. Por otro lado, en los meses de diciembre de 2004, marzo de 2004, febrero de 2005 y marzo de 2005, las temperaturas mínimas alcanzaron valores incluso más bajos. A pesar de esto, en estos meses no hubo hibernación puesto que las precipitaciones fueron abundantes (Figura 4.14 A y Tabla 4.VIII C). Todas estas condiciones adversas para la actividad hacen que se inactiven los adultos principalmente, aunque estas condiciones no llegan a ser lo suficientemente estrictas para que toda la población adulta hiberne, habiendo siempre ejemplares activos. En cambio, los juveniles no llegaron a hibernar, mostrándose mayoritariamente

activos desde octubre hasta mayo en ambos años, incluso en junio de 2004, lo que significa que requerirían valores aún más estrictos. Por lo tanto, la variable “precipitación” presenta mucho más peso que la variable “temperatura” en la hibernación de los individuos, ya que en meses donde la temperatura mínima es inferior a 0°C y la precipitación es mínima (Figura 4.14 A), la inactividad predomina entre los adultos, sin embargo aun manteniendo temperaturas bajas, si se dan precipitaciones abundantes antes del día de muestreo (diciembre de 2004, marzo de 2004, marzo de 2005 y febrero de 2005), los individuos se reactivan al reaccionar ante este cambio meteorológico. Por lo tanto, en el caso de *I. alonensis-like02*, ocurre lo contrario que lo observado por Bailey (1975), Charrier (1980) e Iglesias y cols. (1996) para el caso de *C. aspersum*.

En síntesis, el periodo de actividad es la fase predominante a lo largo del estudio de *I. alonensis-like02* en Lanjarón, aunque existen pequeñas diferencias puntuales dependiendo de las condiciones meteorológicas de cada año. Este periodo no es un tiempo definido y constante de un año a otro en el caso de los adultos, pero sí para los jóvenes, que no hibernan. Los meses de octubre, noviembre, diciembre, marzo, abril, mayo de ambos años y febrero de 2004 en los que la población adulta estuvo mayoritariamente activa (cuando el porcentaje de individuos activos es superior al 50%) se caracterizaron por una mayor humedad relativa, originada por precipitaciones frecuentes, y temperaturas suaves. Concretamente, la temperatura media era de  $12,3 \pm 3,9$  °C (más próxima a la registrada durante la hibernación que en la estivación), precipitaciones de  $67,5 \pm 49,8$  mm (un orden de magnitud mayor que durante la inactividad, tanto en hibernación como en estivación), humedad relativa del aire de  $74,3 \pm 17,7$  % (más alta que durante la estivación pero inferior a la de hibernación). Los jóvenes, por su parte, se encuentran activos ante valores menos “exigentes” que los adultos, con valores de precipitación menores y temperaturas más frescas, ante las cuales muchos adultos hibernan. (Tabla 4.VIII C). Por lo tanto, cuando hay lluvias abundantes, con valores altos de humedad relativa ambiental, y además el frío no es demasiado intenso, entonces existirán meses de actividad, sucediendo la inactividad en caso contrario, teniendo en cuenta que la ocurrencia de lluvia “apreciable” es el factor más importante de todos, pudiendo hacer cambiar el estado de los

---

individuos, aún siendo el resto de variables desfavorables (Figura 4.14 A y 4.13 B). Aún así, las condiciones no llegan a ser lo suficientemente estrictas para que toda la población adulta hiberne, existiendo siempre ejemplares activos.

### **Crecimiento, estructura y dinámica poblacional**

Durante los dos años de estudio, se ha seguido el crecimiento a un total de 27 individuos contabilizados como juveniles (marcados) y que a lo largo del estudio se han vuelto a encontrar, aumentando su diámetro. También se deduce que aquellos jóvenes que se encontraron al principio de la época estival y justo después, no presentaron crecimiento o fue prácticamente inapreciable. Algo similar ocurre en la época de hibernación de adultos, donde las condiciones ambientales más adversas limitarían el crecimiento. Por lo tanto, el aumento de crecimiento se da en los meses de mejores condiciones ambientales.

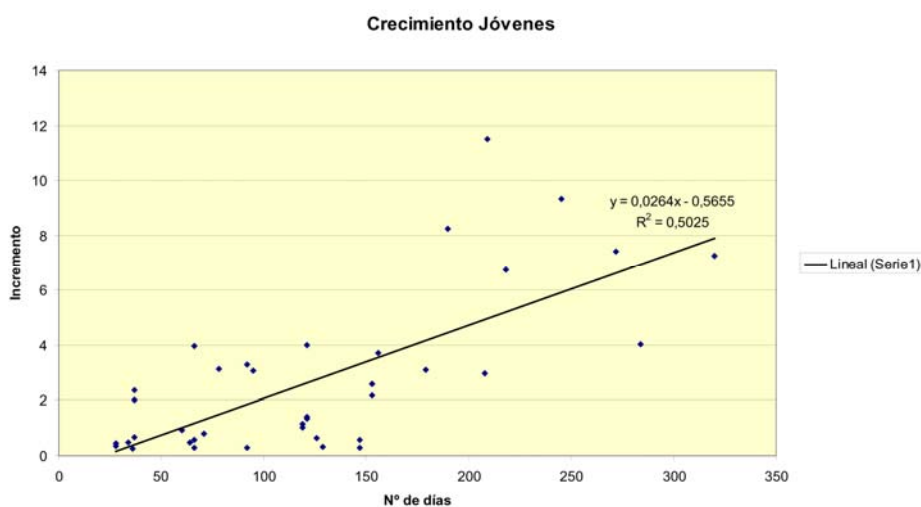
El crecimiento de aquellos individuos con mayores diámetros, se detiene cuando llegan a un tamaño cercano a los 40 mm. En este intervalo se encontraría el límite de crecimiento de jóvenes antes de pasar al estado de madurez. Sin embargo el tamaño en el que un caracol se hace adulto depende de factores como que las condiciones ambientales sean más o menos propicias, la disponibilidad de alimento, competencia intraespecífica..., (Lazaridou-Dimitriadou y cols., 1998; y Lazaridou-Dimitriadou y Kattoulas, 1981) encontrándose a lo largo del estudio el adulto más pequeño con un diámetro de  $33,2 \pm 0,6$  mm, y el mayor con  $44,5 \pm 0,6$  mm.

El crecimiento se suele representar en una curva, que representa las dimensiones medidas en tiempos sucesivos sobre un individuo o, más frecuentemente, medias obtenidas sobre toda la población en estudio o sobre una muestra de ella. Como dijo Margalef (1992) (Figura 4.17), la curva de crecimiento, estrictamente, no es una característica de la especie, sino de la población, y sus variaciones reflejan la compleja interacción del sistema. En la figura 18 se puede observar el incremento de crecimiento por días de los 27 jóvenes marcados que se han encontrado dos o más veces en la zona de estudio. Para el cálculo de este incremento se han desechado aquellos días en los que los jóvenes estaban estivando, al no aumentar su diámetro en este

estado (Arrébola y Ruiz, 2006). Los datos reflejan un crecimiento medio por día de 0,02 mm con una varianza de 0,02 mm. Una vez que se representa la nube de puntos, se observa que el mejor ajuste se obtiene para un crecimiento lineal (conforme aumenta el número de días, también aumenta el incremento de crecimiento). Este crecimiento no es ilimitado, ya que cuando el individuo llega a ser adulto, el crecimiento se detiene. La pequeña pendiente de la recta nos indica un crecimiento lento de los jóvenes de esta población (Figura 4.17).

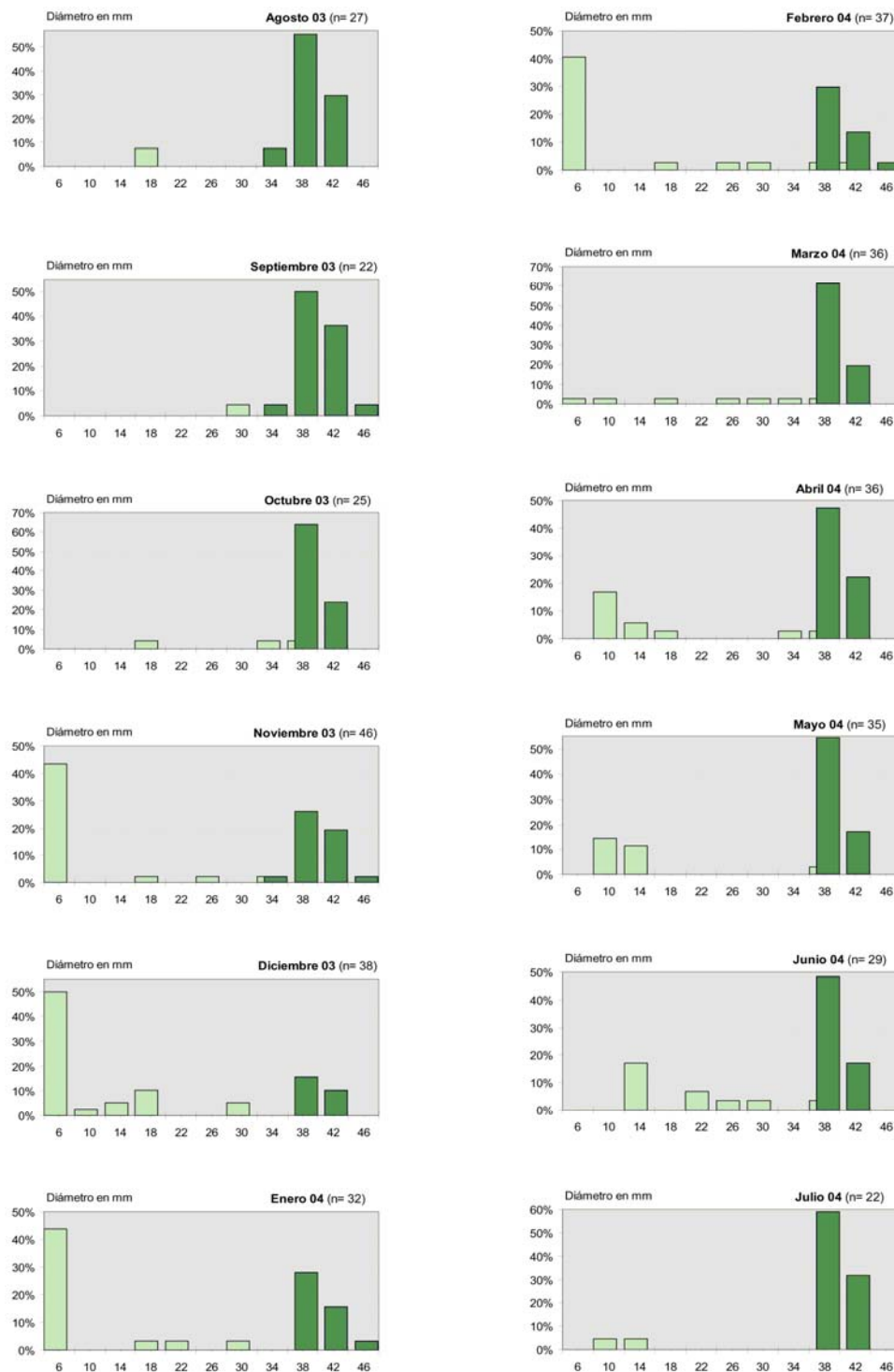
En muchos organismos, el crecimiento y el desarrollo ocurren simultáneamente. Sin embargo, el desarrollo es bastante independiente del crecimiento en el sentido de que una determinada fase de desarrollo puede estar representada por diversos tamaños, y un determinado tamaño puede ser conseguido por individuos en diversas fases de desarrollo (Begon, y cols. 1988). En nuestro caso, la detención del desarrollo (es decir, el letargo) puede ser beneficiosa si el organismo atraviesa un periodo altamente desfavorable durante su ciclo vital.

En el caso de esta especie, y comparando con Rodríguez Perochena (2006), los diámetros máximos obtenidos son mucho mayores, mientras que en laboratorio no superan los 30 mm, en la zona de estudio se encuentran ejemplares con diámetros superiores a los 40 mm, el mayor diámetro obtenido es de 44,51 mm. Esto seguramente se deba a que sus trabajos no fueron con esta misma especie.

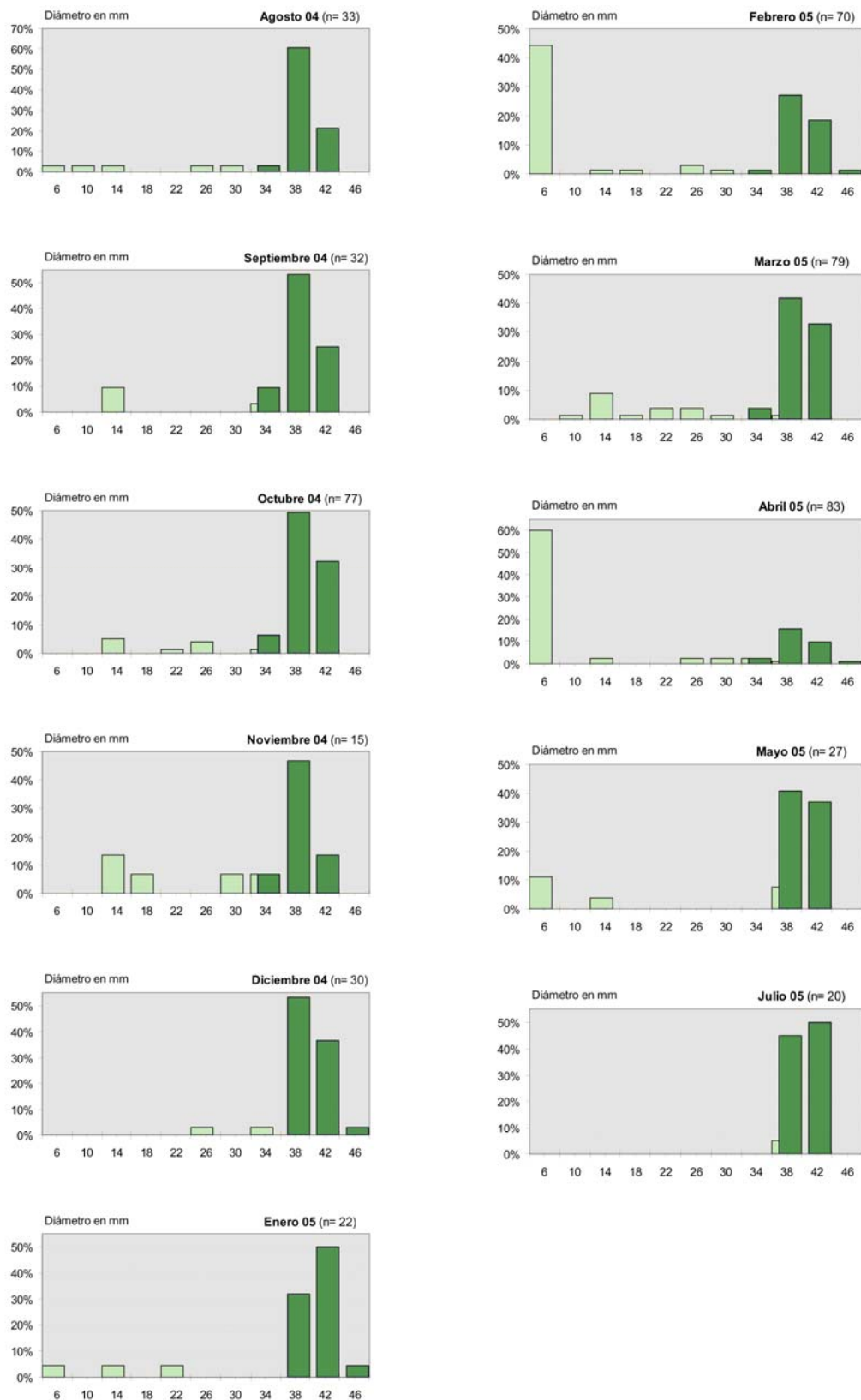


**Figura 4.17.** Incremento de crecimiento (mm) por días de los 27 jóvenes marcados que se han encontrado en la zona de estudio.

Los histogramas que representan mensualmente las distribuciones de frecuencias por tamaños obtenidas para la población estudiada se muestran en la Figura 4.18.



**Figura 4.18.** Histogramas en los 23 meses de estudio. Se diferencia entre adultos (verde oscuro) y jóvenes (verde claro). (Eje X: marca de clase del intervalo correspondiente. Rango 4 mm).



**Figura 4.18 (continuación).** Histogramas en los 23 meses de estudio. Se diferencia entre adultos (verde oscuro) y jóvenes (verde claro), y jóvenes. (Eje X: marca de clase del intervalo correspondiente. Rango 4 mm).

---

*I. alonensis-like02* presenta una baja densidad poblacional por lo que, la proporción de juveniles encontrados cada mes de muestreo ha sido muy baja e insignificante, repuntando en meses donde se registran los nuevos nacimientos (solamente las marcas de clase menores). En los meses restantes, la población estuvo compuesta fundamentalmente por adultos, y sólo en los meses donde aparecen los jóvenes recién nacidos, los porcentajes se equilibran. A pesar de ello se han intentado extraer algunos resultados generales para la especie.

Durante el periodo comprendido entre agosto y octubre de 2003 predominaron claramente los adultos. En noviembre, de ese mismo año, se produjo la incorporación de individuos de pequeño tamaño que habían nacido poco tiempo antes del muestreo de ese mes. Previamente, en octubre de 2003 se había identificado una sola puesta, lo que indica que una vez que finaliza la estivación, los adultos seguidamente se alimentan y se reproducen, apareciendo los primeros nacimientos, aumentando la proporción de jóvenes con tallas pequeñas y bajando la de adultos. El diámetro de estos jóvenes no aumentó hasta febrero del año siguiente, manteniéndose activos durante este tiempo, pero siendo el estado mayoritario la inactividad puntual. Algunos de los jóvenes recién nacidos no soportaron las estrictas condiciones ambientales durante el invierno, registrándose una elevada mortalidad de la marca de clase 6 mm en enero y febrero (Figura 4.18 B); mientras que otros se mantuvieron vivos, la mayoría desapareció en marzo, ya sea por una mortalidad debido a depredadores no registrada (no dejaron rastros...) o por la dispersión y colonización de nuevos habitats. De marzo a enero del último año, los adultos representaron el 70-80% de la población (incluso llegaron a ser el 90% en los meses de estivación e hibernación).

Entre los meses de abril a junio de 2004, se incorporaron a la clase adultos unos escasos jóvenes procedentes de algún ciclo reproductivo anterior (estos jóvenes intentan ser adultos antes de que lleguen las estrictas condiciones del verano), apreciándose además un exiguo crecimiento de los jóvenes con marcas de clase pequeña (aumentaron los porcentajes de las tallas con marca de clase de 10 a 22 mm). En cualquier caso, el porcentaje de nacidos que se incorporaron a la población fue insignificante.

En marzo de 2004, a diferencia con el mismo mes del año siguiente, no se observaron pautas relacionadas con la reproducción y tampoco en meses sucesivos se dieron nacimientos, ya que en ningún momento sobresalieron jóvenes de pequeñas tallas. Por lo tanto, la actividad reproductora en la primavera de 2004 no tuvo repercusión alguna.

En el verano de 2004 la población se inactiva prolongadamente y vuelven a predominar los adultos, recuperando los animales en el mes de octubre el estado de actividad y la reanudación de las pautas reproductoras. En el mes de noviembre la población se encuentra más inaccesible (15 registros) debido al empeoramiento de las condiciones ambientales antes del muestreo (Figura 14 A y 15). En diciembre vuelven a predominar los adultos aunque existió una pequeña incorporación de jóvenes a adultos tanto en este mes como en el anterior. Muchas de las puestas no llegaron a eclosionar, observándose los primeros nacimientos en enero de 2005 que aumentaron de forma considerable en el mes siguiente. En marzo se observó el crecimiento de algunos, desapareciendo una proporción de ellos al igual que ocurría en la misma época del año anterior. Finalmente en abril se produce la última incorporación de recién nacidos pertenecientes al periodo reproductivo de la primavera. Muchos de los recién nacidos desaparecen durante el mes de mayo. Ya en julio, casi el 100% de la población es adulta y se encuentra totalmente inactiva.

Según lo expuesto, a lo largo del estudio, hubo al menos 3 periodos reproductivos; Desde octubre del 2003 hasta enero del año siguiente: en este periodo no se observaron cópulas pero sí puestas recientes la mayoría de las cuales no llegaron a eclosionar y los primeros nacimientos se detectaron en febrero del año siguiente. Desde octubre de 2004 hasta febrero del año siguiente: se observaron cópulas, cortejos y puestas que, al igual que en el periodo anterior, no llegaron a eclosionar la gran mayoría y detectando los primeros nacimientos en enero del año siguiente y sobre todo en el mes de febrero. Entre marzo y abril de 2005: este periodo tuvo muy poca relevancia, en él se registró una cópula, cuyos neonatos fueron detectados al mes siguiente y desapareciendo en junio de 2005.

---

Hacer notar, que tanto en el primer año como en el segundo, entre noviembre y junio, los jóvenes tendrían representantes de dos generaciones: los nacidos en el año en curso y los que provienen del año anterior y que aún no se habrían convertido en adultos. La incorporación de nuevos adultos ocurre principalmente en los meses de actividad (es cuando se alimentan los jóvenes y pueden crecer) pero en muy bajas proporciones, llegando a ser casi inapreciable.

En resumen, a lo largo del estudio no se produce una fuerte modificación de la estructura de la población, predominando los adultos, y sólo cuando se producen nuevos nacimientos, el porcentaje de adultos disminuye, debido al aumento del número de juveniles. En estas épocas favorables, donde nacen nuevos individuos y aumenta el número de animales disponibles al salir de sus refugios, se produce un fuerte incremento en la densidad de la población, prevaleciendo principalmente, tanto los jóvenes de dimensiones pequeñas como los individuos adultos. Pero esta nueva generación de individuos en la población demostró, en la mayoría de las ocasiones, no ser próspera y estable en el tiempo, presentando un fenotipo de crecimiento lento aquellos que sobreviven (sólo si las condiciones ambientales se presentan verdaderamente favorables, aumenta la viabilidad y supervivencia de los jóvenes; fenotipo de crecimiento rápido) e incorporaciones mínimas a nuevos adultos, siendo éstos últimos la población que mayoritariamente sobrevive. Hay que tener en cuenta que estas cuestiones, seguramente dependan de múltiples consideraciones, entre las que destacan las condiciones climáticas, la competencia, la depredación, la distribución de la vegetación, etc.

En los histogramas de frecuencias se puede observar que *I. alonensis-like02* se reproduce principalmente en otoño, que es el periodo típico de reproducción para áreas mediterráneas según Elmslie (1989) y Lazaridou-Dimitriadou y Kattoulas (1981). Aunque si comparamos con el trabajo de Iglesias y cols. (1995), los *H. aspersa* pertenecientes al área mediterránea presentan en su ciclo tanto estivación como hibernación, que no es el caso, se asemejan más a los *H. aspersa* del área Atlántica de ese mismo trabajo que sólo presentan estivación.

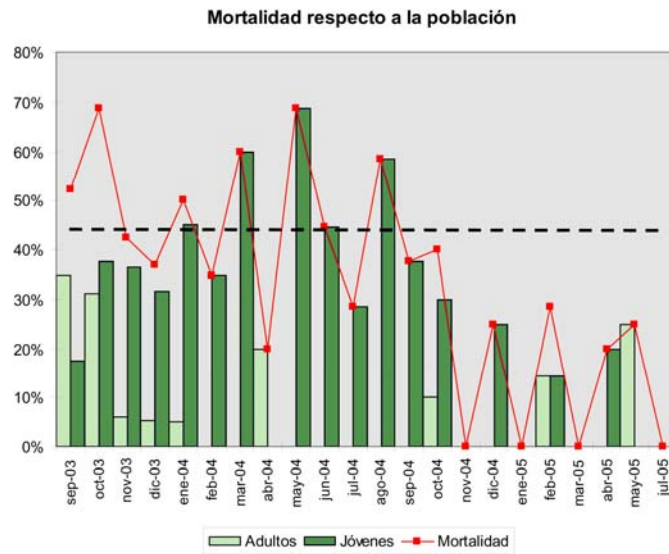
Además se ha podido observar que *I. alonensis-like02* no sufre un alto porcentaje de mortalidad debido al esfuerzo producido en la reproducción, manteniéndose los adultos vivos después de esta fase del ciclo de vida. En el último mes de estudio se han encontrado individuos que ya eran adultos en el primer mes y que se marcaron, lo cual indica que los adultos sobreviven al menos dos años. Por todo lo argumentado, se podría afirmar que *I. alonensis-like02* es una especie iteropara superpuesta, es decir, cada individuo puede presentar numerosas fases reproductoras a lo largo de su vida, invierten más energía en mantenerse vivos (estables y adaptados al medio), y poseen una estación de reproducción específica.

## **La mortalidad**

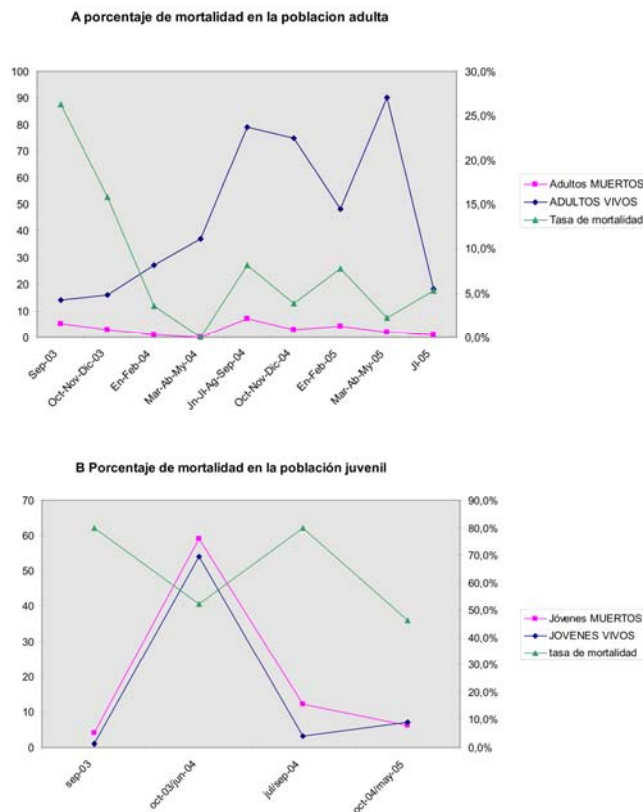
En este apartado se van a analizar los datos obtenidos para establecer los periodos de mortandad que presenta la población de *I. alonensis-like02* en la zona de estudio.

A lo largo del período de estudio se recogieron un total de 102 conchas, 21 de ellas pertenecientes a individuos adultos y 81 a juveniles, lo que supone el 43,4% de todas las capturas, incluyendo ejemplares vivos y conchas. En la Figura 4.19 se puede observar, de forma independiente, el porcentaje de conchas jóvenes y el de adultas de *I. alonensis-like02*, respecto al total de conchas e individuos recogidos cada mes, así como el porcentaje de mortalidad resultante para cada uno de esos meses. En los meses de noviembre de 2004, enero, febrero y marzo de 2005 no se registraron datos de mortalidad tanto para adultos como para jóvenes, aumentando el número de meses a 6 (abril de 2004 y mayo de 2005 junto a los 4 anteriores) si hablamos sólo de juveniles y de hasta 13 meses (febrero, marzo, mayo junio, julio, agosto septiembre, diciembre de 2004 y abril de 2005 además de los 4 anteriores) si nos referimos a los adultos. A estos datos hay que añadir que la población adulta dentro de la parcela, descendió a niveles mínimos a partir de octubre de 2003, quedándose prácticamente sin datos (una media de 3 adultos por muestreo), siendo muy aventurado hacer el seguimiento de la mortalidad de adultos en la parcela. Para solventar este problema y poder estudiar la mortalidad en la población, se decidió agrupar los meses correspondientes a

las diferentes fases de actividad e inactividad de adultos y juveniles respectivamente (Figura 4.20 A y B)



**Figura 4.19.** Porcentajes mensuales de las conchas recogidas de adultos y jóvenes de *I. alonensis-like02*, respecto al total de, respectivamente, adultos observados (conchas + individuos vivos) y jóvenes observados (conchas + individuos vivos). Los números indican el número de conchas recogidas dentro de la parcela.



**Figura 4.20.** A) Número de datos de adultos vivos y muertos marcados en la zona de estudio y tasa de mortalidad de los mismos. Los meses están agrupados en función de la fase de actividad/inactividad en la que se encuentren. B) Número de datos de jóvenes vivos y muertos en la parcela vallada y tasa de mortalidad de los mismos. Los meses están agrupados en función de la fase de actividad/inactividad en la que se encuentren.

Al estudiar más los datos, se observa que entre las visitas efectuadas desde septiembre hasta noviembre de 2003, desaparecen de la parcela, antes de colocar la valla, un total de 10 individuos adultos y que no fueron registrados como concha. Concretamente, a partir del muestreo de octubre de 2003, no se vuelven a encontrar 5 adultos que se marcaron en agosto y septiembre, ocurriendo lo mismo a partir de noviembre de 2003 con 3 adultos marcados en meses anteriores, de manera que en estos meses es cuando ocurren las mayores frecuencias de desaparición de adultos marcados, constituyendo el 50%. Sin embargo, para otros meses del estudio la frecuencia de desaparición de los adultos marcados en la parcela ha sido mínima o inexistente, lo que lleva a pensar que la causa de las desapariciones puede ser la depredación total (sin dejar rastro alguno) por parte de algún depredador natural o la captura por parte del hombre para su consumo. Teniendo en cuenta que sólo desaparecen ejemplares adultos, la primera posibilidad parece menos probable, ya que aún siendo los jóvenes más sensibles ante los depredadores (concha más frágil, más accesibles...), éstos no disminuyeron (incluso aumentaron), unido a la ausencia de restos de conchas que hubiese indicado la posible acción de un depredador. Por otro lado, es sabido que esta especie está muy apreciada y valorada en las áreas que forman parte de su rango natural de distribución (como es el caso de nuestra zona de estudio). La finura de su carne, la menor presencia de baba y el gusto “sabroso a tomillo o romero”, son los factores que actualmente marcan su preferencia frente a otros caracoles que existan en la zona (Arrebola y cols., 2004). Además, los lugareños son conscientes de que con las lluvias los caracoles se reactivan y es mucho más fácil su localización para capturarlos.

También se podría pensar que el método de marcaje no es válido, ya que existe la posibilidad de que las marcas se borren, pero la realidad es que el nº de remarcas efectuadas durante el estudio fueron mínimas, y al final del estudio se encontraron individuos marcados en los primeros muestreos, lo que confirma la validez del modo de marcaje.

En las Figuras 4.20 A y B se puede observar que la estivación es el periodo del año más negativo para la población, ya que es cuando alcanza los porcentajes más altos la tasa de mortalidad tanto en adultos como en juveniles, siendo la

---

hibernación, en el caso de los adultos, un periodo también muy sensible en este sentido (los jóvenes no hibernaron). Además la mortalidad juvenil es netamente superior a la de adultos, llegando hasta el 80% en épocas de estivación. Estos son datos importantes pues nos indican las fases cuantitativamente más sensibles en la vida de esta especie en Lanjarón.

La mortalidad viene definida por las condiciones que rodean a la población. Uno de los motivos más habituales está relacionado con los parámetros ambientales (Heller, 2001) y sus desviaciones de los valores óptimos. Este alejamiento provoca cambios fisiológicos en los caracoles que, bajo ciertas circunstancias, les causan una muerte directa (se congelan, se deshidratan...) o indirecta (los debilita, los somete a un mayor grado de exposición ante depredadores...). Anteriormente se ha explicado la incidencia del ambiente en el estado de actividad de *I. alonensis-like02*, marcando unos ritmos estacionales que implican que toda la población se encuentra inactiva durante los meses estivales (estivación) y gran parte de ella lo esté durante las fases invernales (inactividad prolongada o hibernación en algunos adultos, y puntual en jóvenes y otros adultos). Varios autores como Daguzan (1981) y Lazaridou y Kattoulas (1981), han explicado cómo durante la hibernación y la estivación es usual que los índices de mortalidad de los individuos asciendan. En esos momentos, los caracoles disminuyen su actividad metabólica o minimizan las pérdidas de agua, entre otros cambios. En ese estado, la deshidratación, el agotamiento de reservas y un despertar prematuro, parecen ser los motivos principales que provocan la muerte del animal.

Normalmente la tasa de mortalidad en los adultos es baja, no superando el 10% en la mayoría de las épocas. Los porcentajes más elevados de comportamientos reproductores observados se dan en octubre de 2004, manteniéndose la tasa de mortalidad en esta época muy baja. Se deduce por tanto que, a diferencia de como ocurre en otras especies (caso de *O. lactea* en el Cabo de Gata, Arrébola y cols., *en prensa*), *I. alonensis-like02* no sufre un alto porcentaje de mortalidad debido al esfuerzo producido en la reproducción, manteniéndose los adultos vivos después de esta fase de su ciclo de vida. Cabe señalar el alto porcentaje que alcanza la tasa de mortalidad de los adultos durante los meses de septiembre y octubre de 2003 (26 y 16%

respectivamente), que puede ser debida a la reactivación “prematura” que se produce en ciertos individuos de la población después de las intensas e imprevistas lluvias que se produjeron en el día de muestreo de agosto (22.8 mm, figura 4.14 B), en una época donde predomina la estivación, no resistiendo las condiciones adversas que se produjeron en días posteriores, registrándose esta mortalidad en los meses siguientes. Comparando estas precipitaciones de agosto de 2003 con los datos históricos de la estación de Lanjarón (Figura 4.4), se observa que en este mes apenas se han dado precipitaciones en la serie de años desde 1951-1992, lo que demuestra que estas precipitaciones son un suceso inusual. A todo esto hay que añadirle la mortalidad debida a la estivación. En definitiva, los adultos de esta especie sobrellevan muy bien las condiciones adversas, mantienen una tasa de mortalidad muy baja en todas las épocas del año y sólo si se da un despertar prematuro en épocas donde predominan las condiciones ambientales adversas, aumenta la tasa de mortalidad.

Con los datos manejados hasta ahora es difícil emitir un argumento que explique estos despuntes de mortalidad, pero a grandes rasgos se puede decir que la mortalidad en la época de estivación coincide con el mantenimiento de las condiciones ambientales más estrictas, es decir, temperaturas más altas y escasas precipitaciones, no siendo posible dar una explicación a la mayor mortalidad sufrida por los adultos en enero-febrero de 2005, con respecto a los mismos meses de hibernación en el año anterior, ya que las variables ambientales observadas no han sufrido variaciones considerables de un año a otro (Figura 4.14 A), además de no existir signos de depredación evidentes. Posiblemente, este hecho se deba a la escasez de datos obtenidos durante este periodo.

Algunas explicaciones a la mortalidad en enero-febrero de 2005 pudieron ser las enfermedades parasitarias, provocadas por ácaros, nematodos, trematodos y cestodos, y las bacterianas debidas, por ejemplo, a *Pseudomonas* spp. (Cuellar, 1984; Fontanillas, 1989; Iglesias, 1995). Además los gasterópodos, presentan un gran número de enemigos naturales a los que sirven de alimento (Goodhart, 1962; Potts, 1972, 1975; Pollard, 1975; Reichardt y cols., 1985; Chevallier, 1992; Iglesias, 1995), como son los vertebrados como jabalíes,

erizos, topos, musarañas, ratas, ratones, mirlos, zorzales, salamandras, ranas, sapos, lagartos, culebras, e invertebrados como insectos, miriápodos y otros moluscos terrestres, son algunos de los más importantes, siendo el más importante de todos el hombre (Arrebola, 2002). Evidentemente, la muerte de los caracoles también puede acontecer por motivos naturales como la vejez o tras épocas especialmente sensibles como la de reproducción (Daguzan, 1981; Lazaridou y Kattoulas, 1981).

# **5.CONCLUSIONES, APORTACIONES Y LÍNEAS FUTURAS**

## CONCLUSIONES

Se mostraran las conclusiones alcanzadas según el grado de consecución de los objetivos planteados en cada uno de los bloques en el presente estudio.

En el bloque de Taxonomía los objetivos planteados eran: Describir conquiológicamente las dos nuevas especies del complejo *I. gaultieranus* (*I. alonensis-like01* y *like02*, según Elejalde y cols. 2008b); y, conseguir un método de diferenciación de todas las especies y subespecies del género *Iberus*, realizando un estudio morfométrico basado en la conquiología.

Las conclusiones alcanzadas son:

- Se han descrito ambas especies aportando las medidas medias que tiene cada especie.
- Se han conseguido las funciones discriminantes para este género con métodos morfométricos clásicos y métodos morfogeométricos de análisis de contornos, demostrando que ambos métodos son válidos y fiables para este grupo de gasterópodos.
- Se ha demostrado que las funciones discriminantes conseguidas por el método morfométrico clásico son capaces de conseguir mejores resultados de clasificación.
- En el caso de la morfometría clásica se pueden identificar los pesos de las diferentes variables utilizadas, mientras que en la morfogeometría, las variables no se corresponden con variables biológicas concretas. Siendo más fácil de comprender que se pueden diferenciar especies por distintas medidas tangibles.
- Las especies del complejo *I. gaultieranus* se diferencian por el distinto grado de globosidad de la última vuelta de sus conchas (establecido por la altura de la base y altura de la abertura), y en segundo lugar por el tamaño total de los individuos (establecido por el diámetro total).
- Las especies del complejo *I. marmoratus* se diferencian por las diferencias en el tamaño total (establecido por el diámetro total) y el grado de globosidad/aplanamiento (establecido por la altura de la última

vuelta de espira), y en segundo lugar por el tamaño total de los individuos (establecido por la altura total de los mismos).

El segundo bloque tiene como objetivo principal diseñar una herramienta que permita el uso *in situ* para el reconocimiento de las especies y subespecies del género *Iberus*, disminuyendo la manipulación de los ejemplares. Para su desarrollo se aplican los resultados obtenidos en el bloque de taxonomía. La conclusión que obtenemos de este bloque es:

- IberusTAXA© Se puede utilizar como alternativa al análisis genético con una fiabilidad aceptable; y presenta ventajas como la rapidez y el poder utilizarla *in situ*.

Y el tercer, y último bloque, tiene por objetivo describir la biología de las poblaciones de dos caracoles del género, la subespecie *I. g. gualtieranus* y la especie *I. alonensis-like02*. Y como conclusiones podemos decir:

- La actividad de los adultos de *I. g. gualtieranus* no varió significativamente con la temperatura ni con la acción del viento, la actividad de los juveniles sí. El porcentaje de ejemplares juveniles activos incrementó con el viento, y disminuyó significativamente con la temperatura. De hecho, la temperatura tuvo un efecto ligeramente más fuerte que la humedad sobre la actividad de los juveniles.
- En *I. g. gualtieranus*, la humedad, y no la temperatura, determinan los patrones de actividad, estivación e hibernación. Cuando baja la temperatura y/o se hacen más escasas las precipitaciones (lo que implica que también desciende la humedad relativa) es cuando la mayoría de los adultos hibernan, pero no así los jóvenes que son más resistentes ante dichas condiciones
- Los individuos de *I. g. gualtieranus*, tanto adultos como juveniles, incluso en los periodos más adversos del año (invierno), pueden recuperar la actividad de forma puntual.
- La estivación, es el periodo más largo del ciclo, casi la mitad del mismo y aparece como el periodo del año más negativo para la supervivencia de

- la población de *I. g. gualtieranus*. La temperatura afecta enormemente a la mortalidad de los individuos juveniles
- En *I. g. gualtieranus*, en la zona de estudio, la mortalidad juvenil es del 97% lo que sugiere una tasa de reposición de la población muy lenta lo que conlleva un declive de la misma
  - Para *I. alonensis-like02* el periodo de actividad es la fase predominante a lo largo del estudio en Lanjarón, aunque existen pequeñas diferencias puntuales dependiendo de las condiciones meteorológicas de cada año. Los individuos se reactivan cuando mejoran las condiciones ambientales, llevándose a cabo la estivación en verano, cuando las temperaturas son más altas y las precipitaciones más escasas.
  - Se puede estimar que el periodo de estivación tiene una duración que oscila entre 2,5 meses (en el caso de algún juvenil) y 4 meses (en el caso de los individuos adultos), correspondiendo el resto del año al periodo de actividad. Los juveniles no llegaron a hibernar.
  - La lluvia es el factor limitante para la reactivación, junto a la bajada de las temperaturas y al aumento de la humedad relativa del ambiente
  - La incorporación de nuevos adultos ocurre principalmente en los meses de actividad (es cuando se alimentan los jóvenes y pueden crecer) pero en muy bajas proporciones, llegando a ser casi inapreciable.
  - *I. alonensis-like02* es una especie iteropara superpuesta, es decir, cada individuo puede presentar numerosas fases reproductoras a lo largo de su vida, invierten más energía en mantenerse vivos (estables y adaptados al medio), y poseen una estación de reproducción específica.
  - Los adultos de esta especie sobrellevan muy bien las condiciones adversas, mantienen una tasa de mortalidad muy baja en todas las épocas del año y sólo si se da un despertar prematuro en épocas donde predominan las condiciones ambientales adversas, aumenta la tasa de mortalidad.

## **APORTACIONES**

La principal aportación de este trabajo, además de todas las conclusiones a las que se ha llegado, es la herramienta informática IberusTAXA©. Esta herramienta podrá ser utilizada con cualquier grupo de especies de las que previamente se consigan los datos genéticos suficientes para, mediante un análisis discriminante, conseguir las funciones necesarias para clasificar los ejemplares.

## **LÍNEAS FUTURAS**

En un futuro, se puede realizar un estudio poblacional con los datos de captura/recaptura, ya que en estos momentos existen programas capaces de trabajar con poblaciones abiertas como es el caso de las poblaciones de este estudio.

La herramienta IberusTAXA© podrá ser modificada para utilizarse con cualquier grupo de especies de las que previamente se consigan los datos genéticos suficientes para conseguir un número suficiente de individuos que sirva para, mediante un análisis discriminante, conseguir las funciones necesarias para clasificarlos en los diferentes taxones a los que correspondan.

Basándonos en la utilidad de IberusTAXA©, se están desarrollando otras herramientas para, con el mismo formato, sencillo e intuitivo, conseguir clasificar ejemplares por el método morfogeométrico del análisis de contornos y por el método morfogeométrico de análisis de landmarks, en los que sólo sería necesaria una fotografía de la vista ventral del ejemplar para clasificarlo satisfactoriamente.

# **6.BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA

Alonso, M. R., López-Alcántara, A., Rivas, P. y Ibáñez, M. (1985). A biogeographic study of *Iberus gualtierianus* (L.) (Pulmonata: Helicidae). *Soosiana*, 13, 1-10.

Alonso, M.R., Goodacre, S.L., Emerson, B.C., Ibañez, M., Hutterer, R. y Groh, K. (2006a). Canarian land snail diversity: conflict between anatomical and molecular data on the phylogenetic placement of five new species of *Napaeus* (Gastropoda, Pulmonata, Enidae). *Biological journal of the Linnean society*, 89, 169-187.

Alonso, M.R., Nogales, N. y Ibañez, M. (2006b). The use of the computer-assisted measurements utility. *Journal of Conchology* , 39,41-48.

Ansart, A., Vernon, P. y Daguzan, J. (2001). Photoperiod is the main cue that triggers supercooling ability in the land snail, *Helix aspersa* (Gastropoda: Helicidae). *Cryobiology*, 42: 266-273.

Aparicio, M. T. (1983a). Estudio morfológico y citotaxonómico de algunos helícidos de la fauna española, en especial de la región central. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. España.

Aparicio, M.T. (1983b). The chromosomes of eight species of the subfamily Helicinae (Gastropoda, Pulmonata, Helicidae) from Spain. *Malacological Review*, 16, 71-78.

Aparicio, M.T. y Ramos, M.A. (1988). A comparative study of the morphology of the pulmonate snail *Pseudotachea litturata* (Pfeiffer) and other species of *Pseudotachea*, *Iberus* and *Cepaea*. *Journal of Molluscan Studies*, 54, 287-294..

Arrébola, J.R. (1995). Caracoles terrestres (Gastropoda, Stylommatophora) de Andalucía con especial referencia a las provincias de Sevilla y Cádiz. Tesis Doctoral inédita. Universidad de Sevilla. (pp 589 +66 lám).

---

Arrébola, J. R. (2002). Manuales de conservación de la naturaleza, I. Caracoles terrestres de Andalucía. *Consejería de Medio Ambiente. España*.(pp 64)

Arrébola, J. R. y Álvarez, R. (2001). La explotación de los caracoles terrestres: aspectos ecológicos y socio-culturales. *Temas de Antropología Aragonesa*, 11, 139-172.

Arrébola, J., Porras, A., Cárcaba, A., y Ruiz, A. (2004). Caracterización del sector helicícola andaluz: la captura de caracoles terrestres en Andalucía occidental. *Sociedad Española de Malacología. Iberus (España)*, 22, 31-41.

Arrébola, J. R., Ruiz, A. y Cárcaba, A. (2007). Programa para la conservación y uso sostenible de los caracoles terrestres de Andalucía. IV. Dirección General de Gestión del Medio Natural. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Informe inédito.

Backeljau, T., Baur, A., Baur, B. (2001). Population and consevation genetics. In: *The Biology of Terrestrial Molluscs*. Ed. G. M. Barker, CAB International, Wallingford (pp. 383-412).

Bailey, S.E.R. (1975).The seasonal and daily patterns of locomotor activity in the snail *Helix aspersa* Müller, and their relation to environmental variables. *Proceedings of the Malacological Society of London*, 41, 415-428.

Bailey, S. E. R. (1989). Foraging behaviour of terrestrial gastropods: integrating field and laboratory studies. *Journal of Molluscan Studies*, 55, 263-272.

Baillie, J. E. M., Hilton-Taylor, C., Stuart, S. N. (2004). *2004 IUCN red list of threatened species: A global species assessment*. IUCN, Gland and Cambridge.

Balmford, A., Bruner, A., Cooper, P., Costanza, R., Farber, S., Green, R. E., Jenkins, M., Jefferiss, P., Jessamy, V., Madden, J., Munro, K., Myers, N., Naeem, S., Paavola, J., Rayment, M., Rosendo, S., Roughgarden, J., Trumper, K. y Turner, K. (2002). Economic reasons for conserving wild nature. *Science*, 297, 950-953.

Barea-Azcón, J.M, Ballesteros-Duperon, E, y Moreno D. (coords.) 2008. Libro Rojo de los Invertebrados de Andalucía. 4 Tomos. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.

Baur, B. (1984). Shell size and growth rate differences for alpine populations of *Arianta arbustorum* (L.) (Pulmonata: Helicidae). *Revue Suisse de Zoologie*, 91, 37-46.

Baur, B. (1988). Population regulation in the land snail *Arianta arbustorum*: density effects on adult size, clutch size and incidence of egg cannibalism. *Oecologia*, 77, 390-394.

Blinn, W.C. (1963). Ecology of the land snails *Mesodon thyroidus* and *Allogona profunda*. *Ecology*, 44, 498-505.

Boettger, C.R. (1913). Aus der Schausammlung. Die Veränderlichkeit der Schale von *Iberus gualterianus* L. *Bericht der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft*, 44, 183-197.

Bonnet, J.C., Aupinel, P y Vrillon, J.L. (1991). L'escargot *Helix aspersa*. Biologie-Elevage. INRA. Francia. (pp 125 ).

Camama, C. G., Torres, M. A. J., Manting, M. M. E., Gorospe, J. J. y Demayo, C. G. (2014). Landmark-based geometric analysis in describing the shell of the freshwater gastropod *Vivipara angularis* (Gastropoda: Viviparidae) from Lake Dapao, Pualas, Lanao del Sur, Mindanao, Philippines. *Advances in Environmental Sciences International Journal of the Bioflux Society*, 6(1), 44-54.

Cameron, R.A.D. (1970). The effect of temperatura on the activity of three species of Helicid snail (Mollusca: Gastropoda). *Journal of Zoology*(London), 162, 303-315.

Cano, L., Castillo, A., de la Hoz, F. M., y Cabrera, M. (1998). Ordenación de nueve montes de la zona del marquesado en el parque natural de Sierra Nevada, Granada. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (6).

---

Carvajal-Rodríguez, A., Conde-Padín, P., y Rolán-Alvarez, E. (2005). Decomposing shell form into size and shape by geometric morphometric methods in two sympatric ecotypes of *Littorina saxatilis*. *Journal of Molluscan studies*, 71(4), 313-318.

Carvajal-Rodríguez, A., Guerra-Varela, J., Fernández, B., Rolán, E. y Rolán-Álvarez, E. (2006). An example of the application of geometric morphometric tools to the morphological diagnosis of two sibling species in *Nassarius* (Mollusca, Prosobranchia). *Iberus*, 24(2), 81-88.

Chapin, III F. S., Zavaleta, E. S., Einer, V. T., Naylor, R. L., Vitousek, P. M., Reynolds, H. L., Hooper, D. V., Lavoirel, S., Sala, O. E., Hobbie, S. E., Mack, M. C., Díaz, S., (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405, 234-242.

Charrier, M. (1980). *Contribution a la biologie et a l'ecophysiologie de l'escargot Petit-Gris Helix aspersa Müller (Gasteropode, Pulmone Stylommatophore)*. Tesis Doctoral. Universidad de Rennes I. (pp 330).

Charrier, M. y Daguzan, J.(1978). Etude de la croissance de l'Escargot "Petit-gris" *Helix aspersa* Müller (Mollusque Gastéropode Pulmoné). *Haliotis*, 9, 15-18.

Cobos, A. (1979). Sobre algún *Iberus* Monfort de la provincia de Almería (Gastrop. Pulmon.). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 23, 35-46.

Conde-Padín, P., Carvajal-Rodríguez, A., Carballo, M., Caballero, A., y Rolán-Alvarez, E. (2007). Genetic variation for shell traits in a direct-developing marine snail involved in a putative sympatric ecological speciation process. *Evolutionary Ecology*, 21(5), 635-650.

Consejería de Medio Ambiente, (2003). Suelta de un caracol endémico de Andalucía en un área de la sierra almeriense de Gádor. *Quercus*, 209, 11.

Cook, A. (2001). Behavioural ecology: on doing the right thing, in the right place at the right time. In: *The biology of terrestrial molluscs* Ed. G.M. Baker-Cabi Publishing. Pags. 447-487.

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.

Cowie, R. H. (1982). *Studies on the ecology and ecogenetics of the land snail Theba pisana (Müller)*. Tesis Doctoral. Universidad de Liverpool. (pp 472).

Cowie, R. H. (1984). The life-cycle and productivity of the land snail *Theba pisana* (Mollusca: Helicidae). *Journal of Animal Ecology*, 53, 311-325.

Cowie, R.H. (1985). Microhabitat choice and high temperature tolerance in the land snail *Theba pisana* (Mollusca: Gastropoda). *Journal of Zoology*, London (A), 207: 201-211.

Crook, S. J. (1980). *Studies on the ecological genetics of Helix aspersa (Müller)*. Tesis Doctoral. Universidad de Dundee. (pp 315).

Cunha, R. L., Tenorio, M. J., Afonso, C., Castilho, R., y Zardoya, R. (2008). Replaying the tape: recurring biogeographical patterns in Cape Verde Conus after 12 million years. *Molecular Ecology*, 17(3), 885-901.

Da Xu, L., Liang, N., y Gao, Q. (2001). An integrated knowledge-based system for grasslands ecosystems. *Knowledge-Based Systems*, 14(5), 271-280.

Daguzan, (1982). Contribution a l'étude de la croissance et de la longévité de *Elona quimperiana* (De Férussac) (Gastéropode Pulmone Stylommatophore) vivant en Bretagne occidentale. *Malacologia*, 22, 385-394.

Dallwitz, M. J. (1974). A flexible computer program for generating identification keys. *Systematic Zoology* 1, 50-57

Dan, N.(1978). *Studies on the growth and ecology of Helix aspersa Müller*. Tesis Doctoral. Universidad de Manchester. (pp 270).

De Azevedo, S., Charlin, J. y González-José, R. (2014). Identifying design and reduction effects on lithic projectile point shapes. *Journal of Archaeological Science*, 41, 297-307.

De Bartolomé, J. F. M. (1982). Comments on some mediterranean rockdwelling helicids. *Journal of Conchology*, 31, 1-6.

De Pablo, J. F. L., Badal, E., García, C. F., Martínez-Ortí, A., y Serra, A. S. (2014). Land Snails as a Diet Diversification Proxy during the Early Upper Palaeolithic in Europe.

Defaye, J. (1945). Les phases de croissance chez *Helix aspersa* Müller. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences* (París), serie III, 220, 411-412.

Duncan, T., Meacham, C. A. (1986). Multiple-entry-keys for the identification of angiosperm families using a microcomputer. *Taxon* 35, 492-494

Ebener, M. P., King Jr, E. L., y Edsall, T. A. (2006). Application of a dichotomous key to the classification of sea lamprey marks on Great Lakes fish. *Miscellaneous Publications. Great Lakes Fishery Commission*, (2006), 22.

Elejalde, M. A. (2008). *Sistemática molecular, taxonomía y evolución de los géneros Iberus y Pyrenaearia (Gastropoda, Helicoidea)*. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco. España.

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 y COI gene sequences. *Journal of Molluscan Studies*, 7, 349-355.

Elejalde, M. A., Madeira, M. J., Muñoz, B., Arrébola, J. R. y Gómez Moliner, B. J. (2008a). Mitochondrial DNA diversity and taxa delineation in the land snails of *Iberus gualtieranus* (Pulmonata, Helicidae) complex. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 154:722-737.

---

Elejalde, M. A., Madeira, M. J., Muñoz, B., Arrébola, J. R. y Gómez Moliner, B. J. (2008b). Molecular phylogeny, taxonomy and evolution of the land snail genus *Iberus* (Pulmonata: Helicidae). *Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 46(3), 193-202.

Elmslie, L. J. (1989). Snail farming in field pens in Italy. *Monograph British Crop Protection Council.*, (41), 19-25.

García San Nicolás, E. (1957). Estudios 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 + 29 lám.

Gibaja Galindo, E. L. (2005). Modelos de representación del conocimiento para la identificación taxonómica y aplicaciones.

Gómez-Moliner, B.J., Moreno, D., Rolan, E., Araújo, R. y Álvarez, R.M. (2001). *Protección de moluscos en el catálogo nacional de especies amenazadas*. Reseñas Malacológicas XI. Ed. Sociedad Española de Malacología. (pp 286).

Graells, M. P. (1846). *Catalogo de los molusros terrestres y de agua dulce observados en España...* los señores viuda é hijos de don Antonio Calleja.

Guerra-Varela, J., Colson, I., Backeljau, T., Breugelmans, K., Hughes, R. N., y Rolán-Alvarez, E. (2009). The evolutionary mechanism maintaining shell shape and molecular differentiation between two ecotypes of the dogwhelk *Nucella lapillus*. *Evolutionary Ecology*, 23(2), 261-280.

Hanski, I. (1998). Metapopulation dynamics. *Nature*, 396, 41-49.

Heller, J., e Ittiel, H. (1990). Natural history and population dynamics of the land snail *Helix texta* in Israel (Pulmonata: Helicidae). *Journal of molluscan studies*, 56(2), 189-204.

Heller, J., y Dolev, A. (1994). Biology and population dynamics of a crevice-dwelling landsnail, *Cristataria genezarethana* (Clausiliidae). *Journal of Molluscan Studies*, 60(1), 33-46.

Hollander, J., Adams, D. C., y Johannesson, K. (2006a). Evolution of adaptation through allometric shifts in a marine snail. *Evolution*, 60(12), 2490-2497.

Hollander, J., Collyer, M. L., Adams, D. C., y Johannesson, K. (2006b). Phenotypic plasticity in two marine snails: constraints superseding life history. *The Authors Journal Compilation*, 19, 1861-1872.

Hommay, G., Jacky, F. y Ritz, M.F. 1998. Feeding activity of *Limax valentianus* Férussac: nocturnal rhythm and alimentary competition. *Journal of Molluscan Studies*, 64: 137-146.

Iglesias, J. (1995). Biología del caracol común *Helix* (*Cornu*) *aspersa* (O.F. Müller, 1774) en poblaciones naturales de Galicia. Implicaciones en su conservación y cría zootécnica (Helicicultura). Tesis doctoral. Univ. de Santiago de Compostela. 274 pp.

Iglesias, J., Santos, M., y Castillejo, J. (1996). Annual activity cycles of the land snail *Helix aspersa* Müller in natural populations in North-Western Spain. *Journal of Molluscan studies*, 62(4), 495-505.

Iglesias, J., y Castillejo, J. (1999). Field observations on feeding of the land snail *Helix aspersa* Müller. *Journal of Molluscan Studies*, 65(4), 411-423.

International Panel on Climate Change (IPCC), (2001). *Climate change 2001: The scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge.

Iwata, H., Niikura, S., Matsuura, S., Takano, Y. y Ukai, Y. (1998). Evaluation of variation of root shape of Japanese radish (*Raphanus sativus* L.) based on image analysis using elliptic Fourier descriptors. *Euphytica*, 102, 143-149.

Iwata, H., Niikura, S., Matsuura, S., Takano, Y. y Ukai, Y. Ukai (2000). Diallel analysis of root shape of Japanese radish (*Raphanus sativus* L.) based on elliptic Fourier descriptors. *Breeding Science*, 50, 73-80.

Iwata, H., Nesumi, H., Ninomiya, S., Takano, Y. y Ukai, Y. (2002a). The evaluation of genotype x environment interactions of citrus leaf morphology using image analysis and elliptic Fourier descriptors. *Breeding Science*, 52, 243-251.

Iwata, H., Nesumi, H., Ninomiya, S., Takano, Y. y Ukai, Y. (2002b). Diallel analysis of leaf shape variations of citrus varieties based on elliptic Fourier descriptors. *Breeding Science*, 52, 89-94.

Iwata, H., Niikura, S., Matsuura, S., Takano, Y. y Ukai, Y. (2004a). Interaction between genetic effects and soil type in diallel analysis of root shape and size of Japanese radish (*Raphanus sativus* L.). *Breeding Science*, 54, 313-318.

Iwata, H., Niikura, S., Matsuura, S., Takano, Y. y Ukai, Y. (2004b). Genetic control of root shape at different growth stages in radish (*Raphanus sativus* L.). *Breeding Science*, 54, 117-124.

Klein-Rollais, D y Daguzan, J. (1990). Variation of water content in *Helix aspersa* Müller in a natural environment. *Journal of Molluscan Studies*, 56, 9-15.

Kuhl, F. P., y Giardina, C. R. (1982). Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics and Image Processing*, 18, 236-258

Lawton, J. H. y May, R. M. (1995). *Extinction rates*. Oxford University Press, Oxford, (xii + pp 233).

Lazaridou-Dimitriadou, M. (1978). *Contribution a l'ecophysiologie d'un Gastéropode Pulmoné dunicole. Euparypha pisana (Müller) du littoral armoricain*. Tesis Doctoral. Universidad de Rennes. (pp 330).

Lazaridou-Dimitriadou, M y Daguzan, J. (1978). Étude du bilan hydrique et de son évolution en fonction de la température et de l'humidité relative chez *Euparypha pisana* (Müller) (Gastéropode, Pulmoné, Stylommatophore). *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale*, Paris, 119: 549-564.

Lazaridou-Dimitriadou, M. y Kattoulas, M. E. (1986). Comparison du cycle biologique et de la croissance d'*Eobania vermiculata* (Müller) dans la nature et

---

---

dans des conditions experimentale. *Bulletin de la Societé Zoologique de France*, 111(1-2), 99-104.

Lazaridou-Dimitriadou, M. y Kattoulas, M. E. (1991). Energy flux in a natural population of the land snail *Eobania vermiculata* (Müller) (Gastropoda: Pulmonata: Stylommatophora) in Greece. *Canadian Journal of Zoology*, 69, 881-891.

Li, D., Fu, Z., y Duan, Y. (2002). Fish-Expert: a web-based expert system for fish disease diagnosis. *Expert systems with Applications*, 23(3), 311-320.

Lind, H. (1989). Homing to hibernating sites in *Helix pomatia* involving detailed long term memory. *Ethology*, 81: 221-234.

López-Alcántara, A., Rivas, P., Alonso, M. R. y Ibáñez, M. (1983). Origen de *Iberus gualtierianus*. Modelo evolutivo. *Haliotis*, 13, 145-154.

López-Alcántara, A., Rivas, P., Alonso, M.R. y Ibáñez, M. (1985). Variabilidad de *Iberus gualtierianus* (Linneo, 1758) (Pulmonata, Helicidae ). *Iberus*, 5, 83-112.

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. yThompson, F. G. (2004). The global decline of nonmarine mollusks. *BioScience*, 54, 321-330.

Mahaman, B. D., Harizanis, P., Filis, I., Antonopoulou, E., Yialouris, C. P., Sideridis, A. B. (2002) A diagnostic expert system for honeybee pests. *Computers and electronics in agriculture*, 36: 17-31.

Mahaman, B. D., Passam, H. C., Sideridis, A. B., y Yialouris, C. P. (2003). DIARES-IPM: a diagnostic advisory rule-based expert system for integrated pest management in Solanaceous crop systems. *Agricultural Systems*, 76(3), 1119-1135.

Margules, C. R. y Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, 405, 243-253.

---

Matteucci, S. D., y Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.

Moneva, C. S. O., Torres, M. A. J., & Demayo, C. G. (2012). Applications of geometric morphometric analysis in describing sexual dimorphism in shell shapes in *Vivipara angularis* Muller (Family Viviparidae). *ABAH Bioflux*, 4(1), 14-19.

Moreno-Rueda, G. (2002). Selección de hábitat por *Iberus gualtierianus*, *Rumina decollata* y *Sphincterochila candidissima* (Gastropoda: Pulmonata) en una sierra del sureste español. *Iberus*, 20, 55-62.

Moreno-Rueda, G. (2006a). Habitat use by the arid-dwelling land snail *Iberus g. gualtierianus*. *Journal of Arid Environments*, 67, 336-342.

Moreno-Rueda, G. (2006b). Selección de hábitat por dos subespecies de *Iberus gualtierianus* (Gastropoda, Helicidae) en Sierra Elvira (SE de España). *Zoologica Baetica*, 17, 47-58.

Moreno-Rueda, G. (2006c). Selección de hábitat y conservación del caracol en peligro de extinción *Iberus gualtierianus gualtierianus*. *Acta Granatense*, 4/5, 45-56.

Moreno-Rueda, G. (2007). Refuge selection by two sympatric species of arid-dwelling land snails: Different adaptive strategies to achieve the same objective. *Journal of Arid Environments*, 68, 588-598.

Moreno-Rueda, G. (2011). Revisión del estatus de conservación del caracol amenazado *Iberus gualtierianus gualtierianus*. *Zoologica baetica*, 22, 69-85.

Moreno-Rueda, G. y Cabrera Coronas, P. (2000). *La situación de Iberus gualtierianus ecotipo gualtierianus* (Gastropoda: Stylomathophora: Helicidae) en Sierra Elvira (Granada, España). [Comunicación oral]. I Jornadas de Fauna Andaluza. Víznar (Granada).

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.

Moreno-Rueda, G. y Pizarro, M. (2007). Census method for estimating the population size of the endemic and threatened land snail *Iberus gualtierianus gualtierianus*. *Animal Biodiversity and Conservation*, 30.1.

Morse, L. E. (1971). Specimen identification and key construction with time-sharing computers. *Taxon*, 269-282.

Mostacedo, B., y Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOS).

Nee, S. (2004). More than meets the eyes. Earth's real biodiversity is invisible, whether we like it or not. *Nature*, 429, 804-805.

Oosterhoff, L. M. (1977). Variation in growth rate as an ecological factor in the landsnail *Cepaea nemoralis* (L.). *Netherlands Journal of Zoology*, 27, 1 -132.

Ortiz de Zárate, A. (1991). *Descripción de los moluscos terrestres en el valle de Najerilla*. Gobierno de La Rioja. Consejería de Educación. Logroño, España.

Ortiz de Zárate y López, A. (1943). Observaciones anatómicas y posición sistemática de varios Helicidos españoles. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geológica*, (41), 61-83

Pankhurst, R. J. (1970). A computer program for generating diagnostic keys. *Computer Journal*, 13 (2), 145-151

Pankhurst, R. J. (1991) *Practical taxonomic Computing*. Cambridge University Press.

Parmakelis, A., y Mylonas, M. (2004). Dispersal and population structure of two sympatric species of the mediterranean land snail genus *Mastus* (Gastropoda, Pulmonata, Enidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 83(1), 131-144.

Perez, K. E. (2011). A new species of *Praticolella* (Gastropoda: Polygyridae) from northeastern Mexico and revision of several species of this genus. *The Nautilus*. 125(3), 113-126.

Pollard, E. (1975). Aspects of the ecology of *Helix pomatia* L. *Journal of Animal Ecology*, 44, 305-329.

Ponder, W. F. y Lunney, D. (1999). *The other 99%. The conservation and biodiversity of invertebrates*. Royal Zoological Society of New South Wales, Mosman, Australia.

Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M., y Roquero de Laburu, C. (1994). *Edafología para la agricultura y el medioambiente*. Madrid-Mundiprensa. (pp 832).

Potts, D.C. (1972). *Population ecology of Helix aspersa and the nature of selection in favorable and unfavorable environments*. Tesis doctoral. Universidad de California en Santa Bárbara. (pp 187)..

Potts, D. C. (1975) Persistence and extinction of local populations of the garden snail *Helix aspersa* in un favorable environments. *Oecologia*, 21, 313-334.

Prieto, C.E. (1986). *Estudio sistemático y biogeográfico de los Helicidae sensu Zilch, 1959-60 (Gastropoda: Pulmonata: Stylommatophora) del País Vasco y regiones adyacentes*. Tesis Doctoral inédita. Universidad del País Vasco. (pp 393 +10 lám).

Puente, A. I. (1994). *Estudio taxonómico y biogeográfico de la superfamilia Helicoidea Rafinesque, 1815 (Gastropoda: Pulmonata: Stylommatophora) de la Península Ibérica e islas Baleares*. Tesis Doctoral inédita. Universidad del País Vasco. (pp 970 +192 lám).

- 
- Puente, A.I. y Prieto, C.E. (1992). La superfamilia Helicoidea (Pulmonada: Stylommatophora) en el norte de la Península Ibérica: Corología y Sectorización malacogeográfica. *Graellsia*, 48, 133-169.
- Queiroga, H., Costa, R., Leonardo, N., Soares, D., y Cleary, D. F. (2011). Morphometric variation in two intertidal littorinid gastropods. *Contributions to Zoology*, 80(3), 210-211.
- Rabaneda-Bueno, R., Moreno-Rueda, G., Ruiz-Avilés, F. A. y Márquez-Ferrando, R., (2004). Trio mating formation during copula in the hermaphrodite land snail *Iberus gualtierianus* L. (Gastropoda: Helicidae). *Bulletin of the Malacological Society of London* 43, 10.
- Raut, S. K. (1991). Population dynamics of the pestiferous snail *Achatina fulica* (Gastropoda: Achatinidae). *Malacological review*, 24(1-2), 79-106.
- Rodríguez Perochena, M.R. (2006). *Estudio experimental de la reproducción y el crecimiento de Iberus gualtierianus gualtierianus (Linnaeus) e Iberus gualtierianus alonensis (Férussac) (Gastropoda, Helicidae) en condiciones de laboratorio*. Tesis Doctoral inédita. Universidad Complutense de Madrid. (pp 329).
- Rodríguez-Ochoa, A. (2015). Comparación de la ubicación interna y externa de puntos morfológicos clave para describir la variación morfológica en conchas de Cerion (Pulmonata: Cerionidae)/Comparison of internal and external location of landmarks to describe the morphological. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 4(1), 126-132.
- Rollo, C.D. (1982). The regulation of activity in populations of the terrestrial slug *Limax maximus* (Gastropoda: Limacidae). *Researches on Population Ecology*, 24, 1-32.
- Ruiz Ruiz, A., Cárcaba Pozo, A., PORRAS CRE-VILLEN, A. I., y Arrébola, J. R. (2006). Guía de los caracoles terrestres de Andalucía. *Fundación Gypaetus, Seville*.
-

Schalk, P. H.; Troost, D. G. (1999). Computer tools for accessing biodiversity information. *Nature and Resources*, 35 (3): 31- 38

Schwartz, M. W. (1997). *Conservation in highly fragmented landscapes*. Chapman y Hall, New York. (pp 436).

Sepúlveda, R. D., y Ibáñez, C. M. (2012). Clinal variation in the shell morphology of intertidal snail *Acanthina monodon* in the Southeastern Pacific Ocean. *Marine Biology Research*, 8(4), 363-372.

Serradell, B. 1912. *Helix gualtieri-campesina* Serradell: especie, o mejor dicho, forma nueva, intermedia entre el grupo de la *H. gualtierana* L. y la *H. campesina* Ezq. *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat.*, 12: 377-384.

Shachak, M., Orr, Y. y Steinberger, Y. 1975. Field observations on the natural history of *Sphincterochila (S.) zonata* (Bourguignat, 1853) (= *S. boissieri* Charperntier, 1847). *Argamon: Israel Journal of Malacology*, 5: 20-46.

Solas, M. R., Hughes, R. N., Márquez, F. y Brante, A. (2015). Early plastic responses in the shell morphology of *Acanthina monodon* (Mollusca, Gastropoda) under predation risk and water turbulence. *Marine Ecology Progress Series*, 527, 133-142.

Steinberger, Y., Grossman, S., Dubinsky, Z., y Shachak, M. (1983). Stone microhabitats and the movement and activity of desert snails, *Sphincterochila prophetarum*. *Malacological Review*, 16(1), 63-70.

Stone, J. R. (1998). Landmark based thin plate spline relative warp analysis of gastropod shells. *Systematic Biology*, 47(2), 254-263.

Suárez-Esteban, A., Miján, I., y Rodríguez, N. A. (2011). Orca—*Orcinus orca* (Linnaeus, 1758).

Tomiyama, K. (1993). Growth an maturation pattern in the African giant snail, *Achatina fulica* (Ferussac) (Stylommatophora: Achantinidae). *Venus*, 52, 87-100.

---

Torres, M. A. J., Amarillo, L. R. T., Joshi, R., Sebastian, L., Baoanan, Z., y Demayo, C. G. (2011). Intra-and Inter-population variability in the Golden Apple Snail *Pomacea canaliculata*. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(6), 789-800.

Uga, Y., Fukuta, Y., Cai, H. W., Iwata, H., Ohsawa, R., Morishima, H. y Fujimura, T. (2003). Mapping QTLs influencing rice floral morphology using recombinant inbred lines derived from a cross between *Oryza sativa* L. and *O. rufipogon* Griff. *Theoretical and Applied Genetics*, 107, 218-226.

Urra, A., Oliva, D., y Sepúlveda, M. (2007). Use of a morphometric analysis to differentiate *Adelomelon ancilla* and *Odontocymbiola magellanica* (Caenogastropoda: Volutidae) of Southern Chile. *Zoological studies-Taipei*, 46(3), 253.

Vera-Peláez, J. L., Lozano-Francisco, M.C., Fernández, J.R. y Sánchez, M. C. (2004): Molluscos del Tirreniense (Pleistoceno Superior) de la playa la Araña-Cala de Moral (Málaga). *Revista Española de Paleontología*, 19 (2), 260-262

Williamson, P. (1976). Size-weight relationships and field growth rates of the landsnail *Cepaea nemoralis* L. *Journal of Animal Ecology*, 45, 875-885.

Williamson, P. (1979). Comparison of metal levels in invertebrate detritivores and their natural diets: concentration factors reassessed. *Oecologia*, 44(1), 75-79.

Wolda, H. (1963). Natural populations of the polymorphic landsnail *Cepaea nemoralis* (L.). *Archives Néerlandaise de Zoologie*, 15, 381-471.

Wolda, H. (1970). Variation in growth rate in the landsnail *Cepaea nemoralis*. *Researches on Population Ecology*, 12, 185-204.

Wolda, H. (1971). Ecological variation and its implications for the dynamics of populations of the land snail *Cepea nemoralis*. *Dynamics of numbers* (Ed. P.J. den Boer y G. R. Gradwell), Pudoc, Wageningen, (pp. 98-108),

[www.navikey.net](http://www.navikey.net) (Consultado el 10 de Octubre de 2015)

[www.redlist.org](http://www.redlist.org) (consultado el 10 de Octubre de 2015)

# **7.ANEXOS**

## ANEXOS

Tabla de clasificación									
Actual Especie	Tamaño de Grupo	Predicho Especie							
		<i>I. alonensis</i>	<i>I. alonensis-like01</i>	<i>I. alonensis-like02</i>	<i>I. campesinus</i>	<i>I. carthaginensis</i>	<i>I. g. mariae</i>	<i>I. g. ornatisimus</i>	<i>I. g. gualtieranus</i>
<i>I. alonensis</i>	32	24	0	0	0	0	0	8	0
		-75,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-25,00%	0,00%
<i>I. alonensis-like01</i>	18	0	16	2	0	0	0	0	0
		0,00%	-88,89%	-11,11%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>I. alonensis-like02</i>	54	0	8	45	0	0	0	1	0
		0,00%	-14,81%	-83,33%	0,00%	0,00%	0,00%	-1,85%	0,00%
<i>I. campesinus</i>	13	0	0	0	13	0	0	0	0
		0,00%	0,00%	0,00%	-100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>I. carthaginensis</i>	14	0	0	0	0	14	0	0	0
		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>I. g. mariae</i>	21	0	0	0	0	4	16	1	0
		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-19,05%	76,19%	-4,76%	0,00%
<i>I. g. ornatisimus</i>	24	7	0	0	0	1	0	16	0
		-29,17%	0,00%	0,00%	0,00%	-4,17%	0,00%	-66,67%	0,00%
<i>I. gualtieranus</i>	16	0	0	0	0	0	0	0	16
		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-100,00%

**Tabla A.I.** Tabla de clasificación de las especies del complejo *Iberus gualtieranus*, para el análisis morfométrico clásico

Tabla de Clasificación										
Actual Especie	Tamaño de Grupo	Predicho Especie								
		<i>I. angustatus</i>	<i>I. cobosi</i>	<i>I. giraoanus</i>	<i>I. lorcanus</i>	<i>I. loxanus</i>	<i>I. marmoratus</i>	<i>I. nsp1</i>	<i>I. ortizi</i>	<i>I. rositae</i>
<i>I. angustatus</i>	19	17	1	1	0	0	0	0	0	0
		-89,47%	-5,26%	-5,26%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>I. cobosi</i>	12	0	11	0	0	1	0	0	0	0
		0,00%	-91,67%	0,00%	0,00%	-8,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>I. giraoanus</i>	16	0	0	16	0	0	0	0	0	0
		0,00%	0,00%	-100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>I. lorcanus</i>	67	0	0	0	61	0	5	1	0	0
		0,00%	0,00%	0,00%	-91,04%	0,00%	-7,46%	-1,49%	0,00%	0,00%
<i>I. loxanus</i>	43	2	0	0	0	33	3	3	2	0
		-4,65%	0,00%	0,00%	0,00%	-76,74%	-6,98%	-6,98%	-4,65%	0,00%
<i>I. marmoratus</i>	35	0	0	0	0	7	26	0	2	0
		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-20,00%	-74,29%	0,00%	-5,71%	0,00%
<i>I. nsp1</i>	18	0	0	0	0	0	2	13	3	0
		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-11,11%	-72,22%	-16,67%	0,00%
<i>I. ortizi</i>	10	0	0	0	0	1	0	1	8	0
		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-10,00%	0,00%	-10,00%	-80,00%	0,00%
<i>I. rositae</i>	15	0	0	0	0	0	0	0	0	15
		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-100,00%

**Tabla A.II.** Tabla de clasificación de las especies del complejo *Iberus marmoratus*, para el análisis morfométrico clásico

Tabla de Clasificación									
Actual Especie	Tamaño de Grupo	Predich Especie							
		<i>I. alonensis</i>	<i>I. alonensis-like01</i>	<i>I. alonensis-like02</i>	<i>I. campesinus</i>	<i>I. carthagenensis</i>	<i>I. g. mariae</i>	<i>I. g. ornatisimus</i>	<i>I. g. gualtieranus</i>
<i>I. alonensis</i>	32	20	1	8	0	1	1	1	0
		-62,50%	-3,13%	-25,00%	0,00%	-3,13%	-3,13%	-3,13%	0,00%
<i>I. alonensis-like01</i>	18	0	18	0	0	0	0	0	0
		0,00%	-100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>I. alonensis-like02</i>	54	6	1	45	0	1	0	1	0
		-11,11%	-1,85%	-83,33%	0,00%	-1,85%	0,00%	-1,85%	0,00%
<i>I. campesinus</i>	13	0	0	1	11	1	0	0	0
		0,00%	0,00%	-7,69%	-84,62%	-7,69%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>I. carthagenensis</i>	14	0	0	0	0	11	1	2	0
		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-78,57%	-7,14%	-14,29%	0,00%
<i>I. g. mariae</i>	21	1	1	0	0	2	16	1	0
		-4,76%	-4,76%	0,00%	0,00%	-9,52%	-76,19%	-4,76%	0,00%
<i>I. g. ornatisimus</i>	24	0	1	0	0	1	1	21	0
		0,00%	-4,17%	0,00%	0,00%	-4,17%	-4,17%	-87,50%	0,00%
<i>I. gualtieranus</i>	16	0	0	0	0	0	0	1	15
		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-6,25%	-93,75%

**Tabla A.III.** Tabla de clasificación de las especies del complejo *Iberus gualtieranus*, para el análisis morfogeométrico de contornos.

Tabla de Clasificación										
Actual Especie	Tamaño de Grupo	Predicho Especie								
		<i>I. angustatus</i>	<i>I. cobosi</i>	<i>I. giraoanus</i>	<i>I. lorcanus</i>	<i>I. loxanus</i>	<i>I. marmoratus</i>	<i>I. nsp1</i>	<i>I. ortizi</i>	<i>I. rositae</i>
<i>I. angustatus</i>	19	15	0	3	0	0	0	0	0	1
		-78,95%	0,00%	-15,79%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-5,26%
<i>I. cobosi</i>	12	1	10	0	0	0	0	0	0	1
		-8,33%	-83,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-8,33%
<i>I. giraoanus</i>	16	2	0	14	0	0	0	0	0	0
		-12,50%	0,00%	-87,50%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>I. lorcanus</i>	67	0	0	0	62	2	1	1	1	0
		0,00%	0,00%	0,00%	-92,54%	-2,99%	-1,49%	-1,49%	-1,49%	0,00%
<i>I. loxanus</i>	43	0	0	4	0	25	5	5	3	1
		0,00%	0,00%	-9,30%	0,00%	-58,14%	-11,63%	-11,63%	-6,98%	-2,33%
<i>I. marmoratus</i>	35	0	0	1	0	6	23	2	3	0
		0,00%	0,00%	-2,86%	0,00%	-17,14%	-65,71%	-5,71%	-8,57%	0,00%
<i>I. nsp1</i>	18	0	0	0	0	2	1	15	0	0
		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-11,11%	-5,56%	-83,33%	0,00%	0,00%
<i>I. ortizi</i>	10	0	0	0	0	0	1	0	9	0
		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-10,00%	0,00%	-90,00%	0,00%
<i>I. rositae</i>	15	2	0	0	0	0	0	0	0	13
		-13,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-86,67%

**Tabla A.IV.** Tabla de clasificación de las especies del complejo *Iberus marmoratus*, para el análisis morfogeométrico de contornos.