

# BIODIVERSIDAD VEGETAL DEL PARQUE NACIONAL DE CABRERA: BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN Y DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE ENDEMISMOS VASCULARES INSULARES

MANUEL B. CRESPO<sup>1</sup>, ANA JUAN GALLARDO<sup>1</sup>, M<sup>a</sup> ÁNGELES ALONSO VARGAS<sup>1</sup>, FERNANDO MARTÍNEZ FLORES<sup>1</sup> Y MARIO MARTÍNEZ AZORÍN<sup>1</sup>

## RESUMEN

Se presentan los principales resultados de un proyecto de investigación sobre la biodiversidad vegetal del Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera, particularmente de los endemismos *Medicago citrina* (Font Quer) Greuter (*Fabaceae*) –iberolevantino-baleár– y *Daucus carota* L. subsp. *majoricus* A. Pujadas (*Apiaceae*) –caprariense-mallorquín–. Los trabajos fueron dirigidos principalmente a conocer aspectos necesarios para acometer la conservación y el manejo adecuados de ambos endemismos, en el marco de actuación de la biología de la conservación. En el caso de *M. citrina*, los estudios reproductivos evidencian que las poblaciones caprarienses presentan tasas de reproducción similares a las ibicencas y alicantinas, pero muy distintas a las castellonenses; y ello se debe a las particularidades de las comunidades de insectos polinizadores de cada territorio. Los estudios de variación genética poblacional de esta leguminosa permiten afirmar que existe un flujo génico muy reducido entre las cuatro grandes poblaciones conocidas (Alicante, Columbretes, Ibiza y Cabrera) y que se han establecido procesos activos de microespeciación en cada una. Por ello, deben ser tratadas como ESU (unidades evolutivamente significativas), con las implicaciones que ello tiene en su futuro manejo. En el apartado de relaciones filogenéticas, *M. citrina* y el resto de integrantes de *M. sect. Dendrotelis* forman un grupo monofilético muy consistente, y dicho grupo no puede considerarse basal en el ámbito de *Medicago*, no siendo ancestral el carácter leñoso en el conjunto del género. En el caso de *Daucus carota* subsp. *majoricus*, se abordó un minucioso estudio morfológico de las poblaciones caprarienses, en el marco de un estudio más amplio del agregado "*D. gingidium*" en el litoral peninsular. Los resultados indican que, pese a existir una gran confusión taxonómica en todo el agregado, algunos caracteres morfológicos se revelan como clave para la distinción de las subespecies reconocidas. Así, se propone la nueva combinación *Daucus gingidium* subsp. *majoricus*. Además, se ha detectado la existencia de un nuevo taxon, aún inédito, propio de la costa noreste de Mallorca. Estos resultados son la base de futuros estudios de la biología de la conservación de este interesante y poco conocido endemismo baleár. Finalmente, con toda la información obtenida se presentan propuestas concretas de manejo de las poblaciones de ambos endemismos existentes en el parque. Dichas propuestas suponen la creación de microrreservas de flora, el control de poblaciones invasoras de *Daucus carota* subsp. *carota*, y la recolección periódica de frutos y semillas de ambos y su depósito en bancos de germoplasma de flora endémica, rara o amenazada.

**Palabras clave:** endemismos vegetales, islas mediterráneas, marcadores moleculares, AFLP, secuenciación de ADN, biología de la conservación, conservación ex situ e in situ, propuestas de gestión.

<sup>1</sup>CIBIO, Instituto de la Biodiversidad, Universidad de Alicante, Apdo. 99. E-03080 Alicante, España.

## SUMMARY

Results from a research project on plant biodiversity of Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera (Balearic Islands, Spain) are presented, with a special emphasis on *Medicago citrina* (Font Quer) Greuter (*Fabaceae*) –endemic to eastern Spain and the balearics– and *Daucus carota* L. subsp. *majoricus* A. Pujadas (*Apiaceae*) –endemic to Majorca and Cabrera–. Investigations were addressed to obtain appropriate data for an efficient management and conservation of both endemics. As regards to *Medicago citrina*, reproductive studies evidenced that the Cabrera populations show reproduction rates close to those of the Columbretes and Alicante populations, though they are quite different from the Columbretes population: This is due to the also different communities of pollinators found in each territory. Analyses of population genetics variation in that species showed that a very reduced genetic flow exists among its four main populations (Alicante, Columbretes, Ibiza and Cabrera), and that active microspeciation processes are currently working on each of them. Consequently, they should be treated as real ESU (evolutionary significant units), which has important implications on future management. Phylogenetic relationships were explored for *Medicago* sect. *Dendrotelis*, to which *M. citrina* belongs, and this section appeared as a very consistent monophyletic group that is not basal in the genus. Similarly, the woody habit is not to be regarded as ancestral in the genus. As regards to *Daucus carota* subsp. *majoricus*, a detailed and complete morphological study of the Cabrera populations was undertaken, as a part of a wider analysis of the “*D. gingidium aggregate*” in the Mediterranean coast of Spain. Despite the taxonomic confusion still existing in the whole aggregate, results indicate that some morphological characters are crucial to distinguish the currently accepted subspecies. Thus, a new combination is proposed, *Daucus gingidium* subsp. *majoricus*. Moreover, a new taxon has also been found in the north-eastern coast of Mallorca, which remains still unpublished. Those preliminary results are basic for further studies on the conservation biology of that interesting and still poorly known Balearic endemic. Finally, on the basis of the information generated, proposals for a future management of both endemic plants are presented. They are focused on: i) establishing plant micro-reserves, ii) controlling invasive populations of *Daucus carota* subsp. *carota*, and iii) collecting periodically seeds and fruits of both taxa for conservation in germplasm banks of endemic, rare or endangered plant species.

**Key words:** endemic plants, Mediterranean islands, molecular markers, AFLP, DNA sequencing, conservation biology, ex situ and in situ conservation, management proposals.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la conservación de la biodiversidad ha pasado a ser una línea prioritaria en las políticas de la Unión Europea. En España, como en la mayoría de los países comunitarios, la *Estrategia Española para la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica* (MMA, 1999) preconiza la realización de estudios científicos enfocados al conocimiento de nuestra biodiversidad, como paso previo al establecimiento de programas de conservación eficaces y eficientes. En el caso de las plantas, los estudios clásicos de taxonomía y sistemática se han revitalizado y han experimentado un notable empuje, debido fundamentalmente a la aplicación de modernas técnicas de biología molecular a los estudios taxonómicos y al estableci-

miento de filogenias. Y ello no sólo se refiere a la riqueza en táxones, sino también a los estudios de su variabilidad poblacional, procesos de especiación, relaciones biogeográficas, y hábitat natural, entre otros aspectos (cf. LAGUNA *et al.*, 1998). Con todo, se están adquiriendo conocimientos cada vez más completos sobre nuestros táxones endémicos, raros o amenazados, lo cual permite afrontar con garantías suficientes su conservación y adecuada gestión.

Afortunadamente, son cada vez más las áreas naturales que, bajo diversas figuras de protección, están engrosando la nómina de “espacios naturales protegidos” de España. La Red de Parques Nacionales de nuestro país incluye una amplia gama de ecosistemas de interés, sobre los

que se realizan de forma efectiva tareas de conservación y gestión de la biodiversidad. En el caso del Parque Nal. del Archipiélago de Cabrera (Islas Baleares) se reúnen varios factores casi exclusivos que hacen de este territorio un lugar idóneo para desarrollar estudios integrados de biología de la conservación: se trata de un territorio insular -donde los procesos de especiación son actuales y notorios- y soporta una actividad humana mínima y controlada -lo cual permite que los procesos biológicos de sus ecosistemas se encuentren poco alterados-. En este territorio crece una flora muy notable en el ámbito de las Islas Baleares (cf. RITA & PAYERAS, 2006), con endemismos de características peculiares, que crecen en hábitats únicos y de una gran fragilidad, cuya conservación debe de ser tarea prioritaria para las administraciones competentes.

La “biología de la conservación” es una disciplina en creciente desarrollo, que, en el caso de las plantas, pretende combinar los conocimientos que aportan ciencias básicas como la taxonomía, sistemática y fitosociología, con las modernas técnicas de genética de poblaciones, biología reproductiva o estudios demográficos (cf. IRIONDO, 1996); con todo ello se pretenden establecer las pautas más adecuadas para una correcta conservación y gestión de la biodiversidad. En el “II Congreso Nacional de la SECOF” (Sociedad Española para la Conservación de la Flora), celebrado en Gijón durante septiembre de 2005, se impulsaron, como principales objetivos de los estudios sobre conservación de la flora, los siguientes aspectos: 1) *conocer mejor a las plantas* (biología de la conservación de los táxones) –realizando estudios taxonómicos y filogenéticos, profundizando en el conocimiento de la diversidad genética de los endemismos (variabilidad genética poblacional), analizando su comportamiento demográfico (censos, cálculo del tamaño mínimo de la población, tasa de reclutamiento, etc.)–; y 2) *asegurar la continuidad de los táxones y su ambiente* (ecología de la restauración de los hábitats) –realizando estudios sobre el medio de cada taxon o sintaxon (ecológicos, fitosociológicos, bioclimáticos, biogeográficos, dinámica de la vegetación, etc.), con el fin de favorecer su mantenimiento en el tiempo (lo que puede suponer la

realización de actuaciones para favorecer ciertos hábitats frente a otros, si es necesario).

Aunque en los Parques Nacionales y otras áreas naturales se llevan a cabo importantes tareas de conservación y gestión de la flora y sus hábitats, a nadie escapa que a menudo muchas de las actuaciones se han practicado sin disponer de información suficiente y actual sobre aspectos importantes -p. ej., la biología reproductiva, variabilidad genética de las poblaciones, etc.-, que garantizase el éxito (ANDERSON *et al.*, 2001). La urgencia se imponía; pero hoy, ya se está en condiciones de plantear estudios completos para cada una de nuestras especies endémicas, raras o amenazadas -y también para sus hábitats-, y con ello conocer las actuaciones que deben llevarse a cabo a medio y largo plazo para asegurar su continuidad en el tiempo. Es una obligación ética de los investigadores proporcionar a las administraciones públicas la información adecuada para que las tareas de conservación se lleven a cabo de un modo más eficiente (MEFFE, 2007).

En el caso del Parque Nacional de Cabrera, como en otros ambientes insulares, el problema de la conservación se agudiza, ya que en general la flora de las islas es más sensible a la extinción que la de ambientes continentales, y consecuentemente deben aumentarse los esfuerzos para conocer y conservar su biodiversidad a corto plazo (cf. ANDERSON *et al.*, 2001). En el caso de las plantas, sólo cuando se disponga de datos completos de nuestros endemismos, estaremos en condiciones de presentar a sus gestores las medidas de conservación y manejo más adecuadas –al ser específicas– para cada especie o hábitat endémico, raro o amenazado.

Los estudios que se han realizado sobre la biodiversidad vegetal del Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera (BIBILONI *et al.*, 1993; RITA & BIBILONI, 1993), han destacado a los ecosistemas insulares como motor de los procesos de especiación de la flora vascular o como refugio de plantas que antaño tuvieron una distribución mayor. La flora insular resulta especialmente atractiva para desarrollar estudios integrados, dado que es en las islas donde pueden estudiarse los procesos de microespeciación, vicarianza y, en

definitiva, las relaciones filogenéticas recientes de endemismos de gran interés biológico (cf. ROSSELLÓ *et al.*, 2002; JUAN *et al.*, 2004).

Pero, las floras insulares también son las más propensas a la extinción (ANDERSON *et al.*, 2001). En el caso de las plantas endémicas, en Cabrera se conocen veintiún táxones exclusivos o compartidos con otras áreas vecinas (MUS *et al.*, 1993). Entre ellos existen plantas que, atendiendo a la catalogación de la UICN (2000), se encuentran “en peligro de extinción” (EN) o son “vulnerables” (VU), según los datos más recientes (cf. AIZPURU *et al.*, 2000; SÁEZ & ROSSELLÓ, 2000; BAÑARES *et al.*, 2003).

Los estudios sobre taxonomía y filogenia de plantas baleáricas han sufrido un notable avance en la última década. No sólo se han citado o descrito táxones (p. ej., SÁEZ *et al.*, 1999; TORRES *et al.*, 2000; ROSSELLÓ *et al.*, 2005; FRAGA *et al.*, 2007), sino que se han presentado resultados sobre estudios genéticos poblacionales (p. ej. SALES *et al.*, 2001; ROSSELLÓ *et al.*, 2002; JUAN *et al.*, 2004),

reproductivos (p. ej. ROSSELLÓ & MAYOL, 2002; PÉREZ BAÑÓN *et al.*, 1999, 2004; VICENS *et al.*, 2005) y de conservación (p. ej. SÁEZ & ROSSELLÓ, 2000; CRESPO *et al.*, 2005).

Respecto a los estudios fitosociológicos, los compendios más recientes (cf. RIVAS-MARTÍNEZ *et al.*, 2001, 2002; CRESPO *et al.*, 2003) han clarificado la posición y delimitación de algunos de los sintáxones más interesantes y escasos en las Baleares. Sin embargo, estos trabajos son básicamente descriptivos, sin llegar a ahondar en su aplicación a la conservación in situ de plantas y hábitats.

Sobre dicha base se concibió inicialmente un proyecto coordinado, que se denominó “Biodiversidad vegetal del Parque Nacional de Cabrera: biología de la conservación y diseño de estrategias de gestión de endemismos vasculares insulares”, y en el que participarían tres equipos: dos de la Universidad de Alicante y uno del Jardí Botànic de Sóller. El enfoque inicial era multidisciplinario (Fig. 1), en un intento de combinar diferentes metodologías y estrategias para

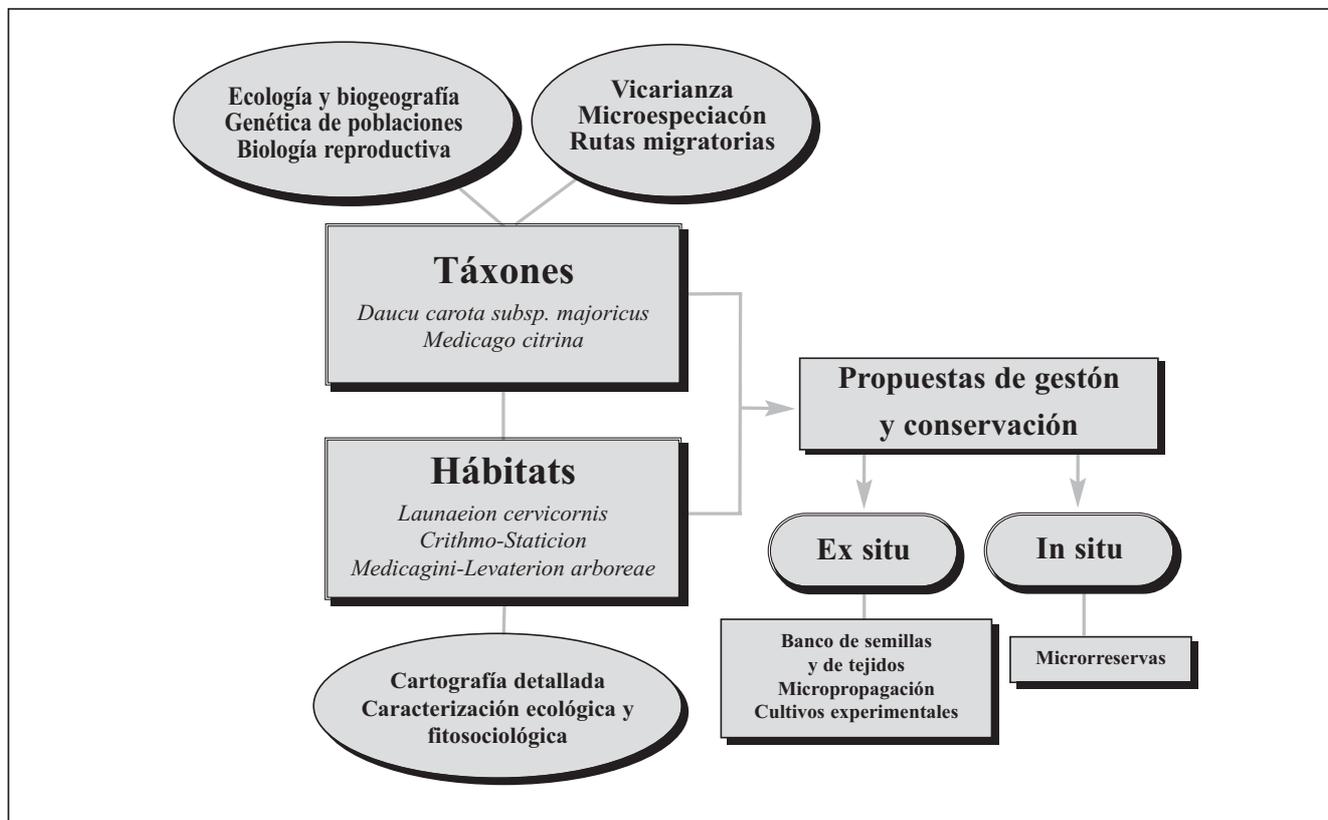


Figura 1. Objetivos iniciales del proyecto.

Figure 1. Initial objectives of the project.

obtener resultados aplicables a la conservación de endemismos ibero-baleáricos insulares.

Sin embargo, la evaluación previa del proyecto supuso una importante reducción en la estructura y objetivos del proyecto. Esto último supuso la participación real de un único equipo, que reunía solamente al personal de la Universidad de Alicante (U.D. Botánica), con el apoyo técnico del Jardí Botànic de Sóller.

La nueva situación aconsejó modificar los objetivos iniciales, readaptándolos a la nueva realidad del grupo de investigación que debía realizar el estudio y al presupuesto disponible. Además, se circunscribió el proyecto solamente a dos de los táxones seleccionados: *Medicago citrina* (Font Quer) Greuter –endemismo iberolevantino-baleár, considerado como una de las cincuenta plantas más amenazadas del Mediterráneo (cf. CRESPO *et al.*, 2005)– y *Daucus carota* L. subsp. *majoricus* A. Pujadas –endemismo exclusivo de Cabrera y sur de Mallorca.

Una vez confirmada la concesión de la subvención (referencia del proyecto: MAM-039/2002), se establecieron unas líneas de trabajo prioritarias que pudiesen ser de utilidad para las actuaciones previstas por la dirección del parque en materia de gestión de endemismos y sus hábitats.

Con todo ello, los objetivos del proyecto se redefinieron como sigue:

- a) Estudios sobre biología de la conservación de dos de los tres endemismos más significativos de la isla –*Medicago citrina* y *Daucus carota* subsp. *majoricus*–. Principalmente, se pretendía caracterizar morfológicamente las poblaciones caprarienses, así como obtener datos sobre censos, preferencia de hábitat y variación genética poblacional (mediante marcadores moleculares del tipo AFLP), así como estudios filogenéticos y filogeográficos que permitieran establecer patrones de microespeciación en sistemas insulares
- b) Inventario florístico de las plantas vasculares del territorio, con especial referencia a los endemismos exclusivos o de área restringida.

Recolección de muestras testigo de las plantas observadas.

- c) Establecimiento de censos preliminares de los endemismos caprarienses, mediante recuento directo o estimación poblacional, según los casos.
- d) Toma de inventarios fitosociológicos como paso previo a la actualización del catálogo sintaxonómico de Cabrera, y como base preliminar para el estudio de los hábitats propios de cada endemismo.
- e) Propuesta de medidas y estrategias de gestión de los táxones endémicos estudiados y sus hábitats.

En la presente contribución se presentan, de modo resumido, los principales resultados obtenidos durante el desarrollo de los objetivos primero y quinto. Los correspondientes a aspectos de flora y vegetación se encuentran en fase de elaboración y publicación en revistas especializadas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Entre enero de 2004 y diciembre de 2006, se realizaron 2-3 campañas de campo por año (dependiendo de las condiciones del mar y de la disponibilidad de espacio en el Parque), cada una de ellas de 3-5 días de duración, tanto en el propio Archipiélago de Cabrera como en las áreas colindantes donde habita igualmente *Daucus carota* subsp. *majoricus* (áreas sudoccidentales de Mallorca). Dado que el objetivo concerniente a este taxon implicaba estudios filogenéticos y de variación genética poblacional, hubo que establecer paralelamente campañas de herborización por la costa de la Península para estudiar in situ y recolectar muestras del resto de táxones del agregado "*Daucus gingidium*", el cual se presenta como un grupo de muy difícil y comprometido tratamiento taxonómico. Y todo ello para poder delimitar con certeza a qué taxon de este grupo debían atribuirse las poblaciones caprarienses.

En cualquier caso, los trabajos consistieron en la recolección de material vegetal y toma de datos de campo para su posterior tratamiento en los laboratorios de la Universidad de Alicante. Las muestras recolectadas se procesaron directamente, incluyendo las extracciones de ADN, o bien se prensaron y conservaron en el herbario ABH (Universidad de Alicante) para su posterior estudio.

Igualmente, se recolectaron frutos de las especies más significativas, por su carácter endémico, raro o amenazado, que pasarían a formar parte de los fondos del banco de germoplasma del CIBIO (Universidad de Alicante) y del Jardí Botànic de Sóller.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Biología de la conservación de especies-modelo endémicas.

Los estudios se dirigieron a conocer mejor algunos aspectos de la biología de la conservación de las dos especies seleccionadas: *Medicago citrina* y *Daucus carota* subsp. *majoricus*. Los datos obtenidos se centran, básicamente, en estudios de la biología reproductiva, aspectos demográficos, variación genética poblacional y relaciones filogenéticas. Sin embargo, el nivel de detalle alcanzado en cada caso ha sido diferente, debido a las dificultades intrínsecas surgidas durante la realización del trabajo, dadas las peculiaridades de cada uno de los táxones. Los resultados más relevantes se presentan brevemente para cada taxon.

#### *El caso de Medicago citrina.*

##### a) Aspectos ecológicos de las poblaciones naturales:

Como ya se ha dicho, *Medicago citrina* se encuentra incluida entre las 50 plantas vasculares más amenazadas de las islas del Mediterráneo (cf. CRESPO *et al.*, 2005). Actualmente se conocen cuatro subpoblaciones con un marcado aislamiento geográfico y un tamaño poblacional muy desigual (cf. JUAN *et al.*, 2002; JUAN, 2002): Archipiélago de las Columbretes (Castellón), Archipiélago de Cabrera (Mallorca), Ses Bledes,

Na Bosc y Els Malvins (Ibiza) y Escull del Cap de Sant Antoni o Illot de la Mona (Alicante). Los núcleos poblacionales naturales correspondientes al Archipiélago de Cabrera están situados en los islotes de Ses Bledes, Estell de Coll y Estell de Fora. Cabe destacar que en todas estas localidades, se han encontrado poblaciones de la cochinitilla *Icerya purchasi* (Maskell 1876) sobre las plantas de *Medicago*, cochinitilla que causó una disminución de más del 40% de las poblaciones de Columbretes (JUAN, 2002); pero, atendiendo a las observaciones realizadas, no se ha registrado una disminución drástica del número de individuos a lo largo del periodo de ejecución del proyecto.

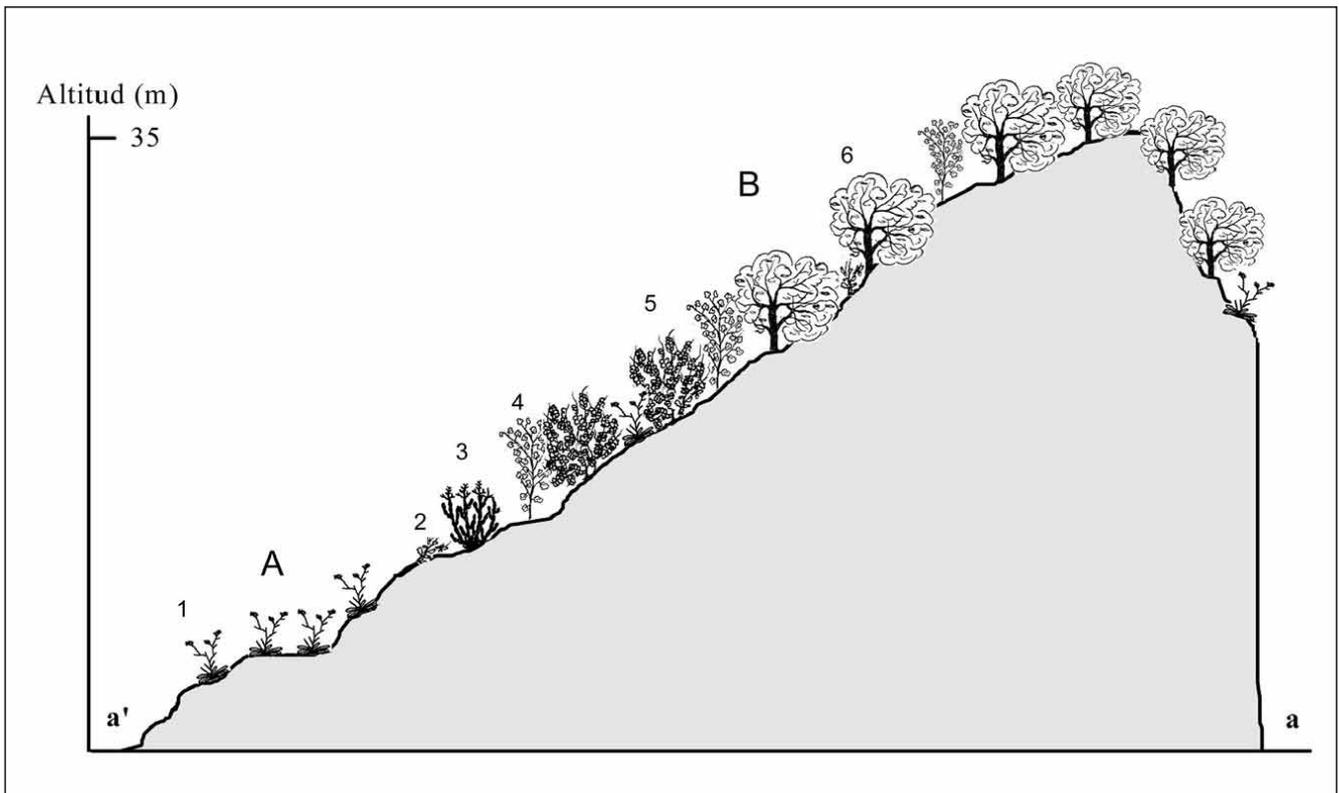
En todos los casos, las poblaciones de *M. citrina* tienden a localizarse fundamentalmente en las zonas culminales de los islotes, con independencia de la altitud máxima que éstos alcancen. Crecen sobre suelos nitrificados fundamentalmente por el guano depositado por las colonias de aves marinas que los habitan. Al mismo tiempo, estas poblaciones resisten perfectamente las brisas marinas altamente salinas (JUAN & CRESPO, 1999).

En todos los islotes, esta planta constituye formaciones vegetales arbustivas de la asociación fitosociológica *Beto marcosii-Medicaginetum citrinae* (Rita & Bibiloni 1993) Juan & M.B. Crespo 1999 subass. *betetosum marcosii*, junto con otras plantas de apetencias halo-nitrófilas, tales como *Beta maritima* L. subsp. *marcosii* (O. Bolòs & Vigo) Juan & M.B. Crespo, *Lavatera arborea* L., *Suaeda vera* Forssk., o incluso *Sarcocornia fruticosa* (L.) A.J. Scott. En la Fig. 2 se muestra la catena de vegetación del islote Estell de Coll, donde se aprecia que la asociación de *M. citrina* es la dominante en las zonas más elevadas.

##### b) Estudios de variación genética poblacional:

Pese a haberse realizado diferentes tareas de conservación, los estudios sobre la variabilidad genética de *Medicago citrina* son muy recientes (JUAN *et al.*, 2004).

Estos autores han demostrado que la máxima diversidad genética de la especie se concentra en la subpoblación de Ibiza, a partir de la cual hubo varios procesos migratorios hacia el resto de las



**Figura 2.** Catena de vegetación del islote Estell de Coll (a'-a). A. *Limonietum caprariensis*. B. *Beto-Medicaginetum citrinae* subass. *betetosum marcosii*. 1. *Limonium caprariense*. 2. *Beta maritima* subsp. *marcosii*. 3. *Sarcocornia fruticosa*. 4. *Lavatera arborea*. 5. *Suaeda vera*. 6. *Medicago citrina*. (Tomado de JUAN, 2002).

**Figure 2.** Distribution of plant communities on Estell de Coll (a'-a). A. *Limonietum caprariensis*. B. *Beto-Medicaginetum citrinae* subass. *betetosum marcosii*. 1. *Limonium caprariense*. 2. *Beta maritima* subsp. *marcosii*. 3. *Sarcocornia fruticosa*. 4. *Lavatera arborea*. 5. *Suaeda vera*. 6. *Medicago citrina*. (After JUAN, 2002).

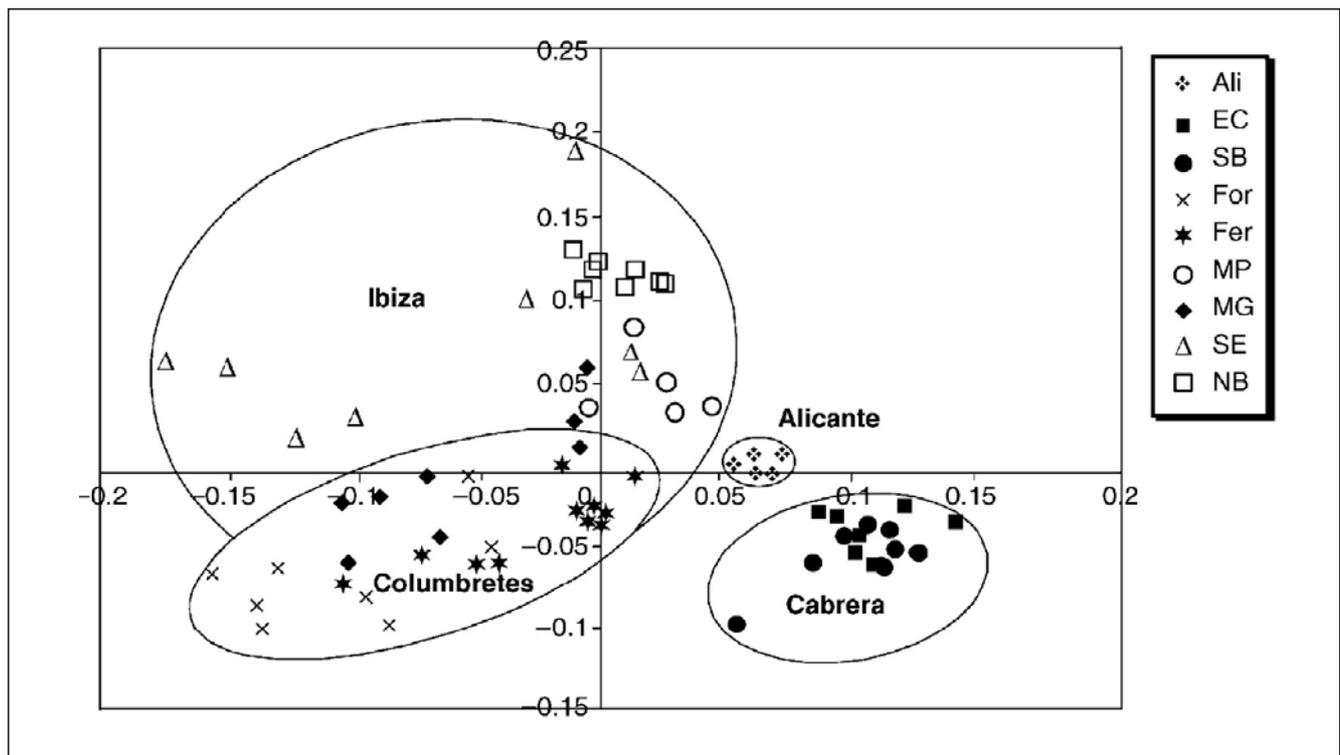
poblaciones naturales, las cuales presentan una diversidad genética significativamente menor. En particular, los núcleos de Cabrera forman un grupo bastante homogéneo y compacto, con altos valores de similitud genética (índice de Nei & Li = 0.864-0.980), bien independizado genéticamente del resto de poblaciones baleáricas, y estrechamente relacionado con la población de l'Escull del Cap de Sant Antoni, Alicante (Fig. 3 y 4)

Atendiendo a los índices de diversidad genética obtenidos por JUAN *et al.* (2004), parece adecuado considerar a las distintas subpoblaciones de *Medicago citrina* como ESU (unidades evolutivamente significativas), entre las que el flujo génico está ausente o es ocasional y muy poco significativo. Ello se traduce en la existencia de una clara estructuración genética en cada una de las cuatro poblaciones territoriales y la existencia de procesos activos de microespeciación (es posible reconocer algunos caracteres morfológicos cuyas

microvariaciones están asociadas a cada territorio). Este último hecho debe ser tenido muy en cuenta ya que tiene implicaciones serias en el manejo futuro de cada una de ellas, en lo tocante a eventuales acciones de refuerzo poblacional, reintroducción o incluso almacenamiento en bancos de germoplasma.

#### c) Estudios filogenéticos:

Con el objetivo de conocer la posición filogenética de *Medicago citrina* y de M. sect. *Dendrotelis* (Valssilcz.) Lassen en el ámbito del género *Medicago*, se procedió a realizar un análisis combinado morfológico-molecular. Se seleccionaron 36 caracteres morfológicos vegetativos (hojas, indumento, estomas, etc.) y reproductivos (frutos, semillas, etc.) y se secuenciaron dos regiones de ADN: los espaciadores génicos ribosómico-nucleares ITS y la región cloroplástica *trnL-trnF* (JUAN *et al.*, 2005).



**Figura 3.** Análisis de componentes principales (ejes 1 y 2), basado en AFLP de las poblaciones de *M. citrina*. El porcentaje de varianza explicado por ambos ejes fue 16,9 y 4,4%, respectivamente (tomado de JUAN *et al.*, 2004).

**Figure 3.** Principal Component Analysis (axes 1 and 2), based on AFLPs of *M. citrina* populations. The percentage of variance explained by both axis was 16.9% and 4.4%, respectively (after JUAN *et al.*, 2004).

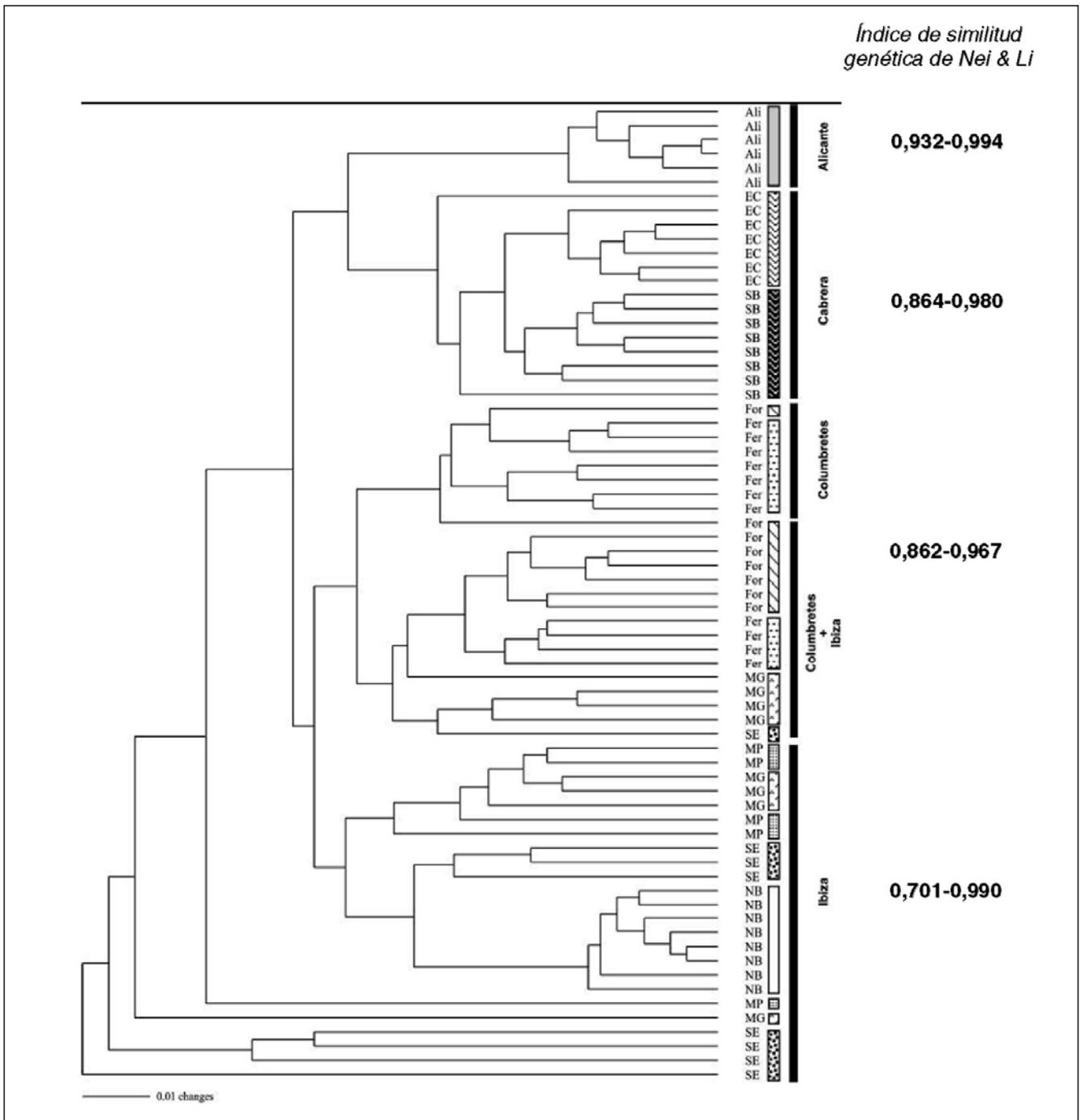
La matriz combinada resultante incluyó 1234 caracteres, que fueron sometidos a un análisis de parsimonia heurístico (caracteres con peso) mediante PAUP 4.0d64 (SWOFFORD, 1998). Como resultado se obtuvo un único árbol de máxima parsimonia (Fig. 5), en el que se observa que *M. citrina* sección *Dendrotelis* es monofilética, formando un clado muy consistente (99% bootstrap), siendo *M. citrina* (hexaploide,  $2n=48$ ) el grupo hermano del clado formado por *M. arborea* (tetraploide;  $2n=32$ ) y *M. strasseri* (tetraploide;  $2n=32$ ). Es evidente que estos resultados concuerdan con el nivel de ploidía de los táxones, así como con su origen biogeográfico, ya que *M. citrina* es un endemismo del Mediterráneo occidental, mientras que el resto de miembros de la sección son del Mediterráneo oriental.

Además, del árbol obtenido se deduce, en contra de lo que se ha afirmado en ocasiones, que *M. sect. Dendrotelis* no es un grupo basal del género *Medicago* y que el carácter leñoso o herbáceo de los tallos ha aparecido en más de una ocasión durante la evolución del grupo. Por ello, *M. sec-*

*ción Medicago*, tal y como actualmente se circunscribe, no es monofilética siendo necesaria su redefinición. Quizá, la mejor solución pasaría por circunscribir esta sección para que incluyese a *Dendrotelis*. Por otra parte, nuestros resultados son coincidentes con los obtenidos por BENA (2004), apoyando la propuesta de incluir parte del género *Trigonella* L. en *Medicago* (SMALL *et al.*, 1987), en contra de lo que habitualmente viene aceptándose en las revisiones más recientes del grupo (cf. SALES & HEDGE, 2000).

#### d) Estudios de biología reproductiva:

Las distintas poblaciones de *Medicago citrina* presentan tasas de producción de frutos y semillas viables bien diferenciadas. En el caso del archipiélago de las Columbretes (Castellón), la producción es muy baja y se produce básicamente por autofecundación debida a procesos naturales de liberación de la columna estaminal (*tripping*) sin concurso de insectos polinizadores. La comunidad de polinizadores es allí muy escasa, faltando los himenópteros y realizando su papel los sír-

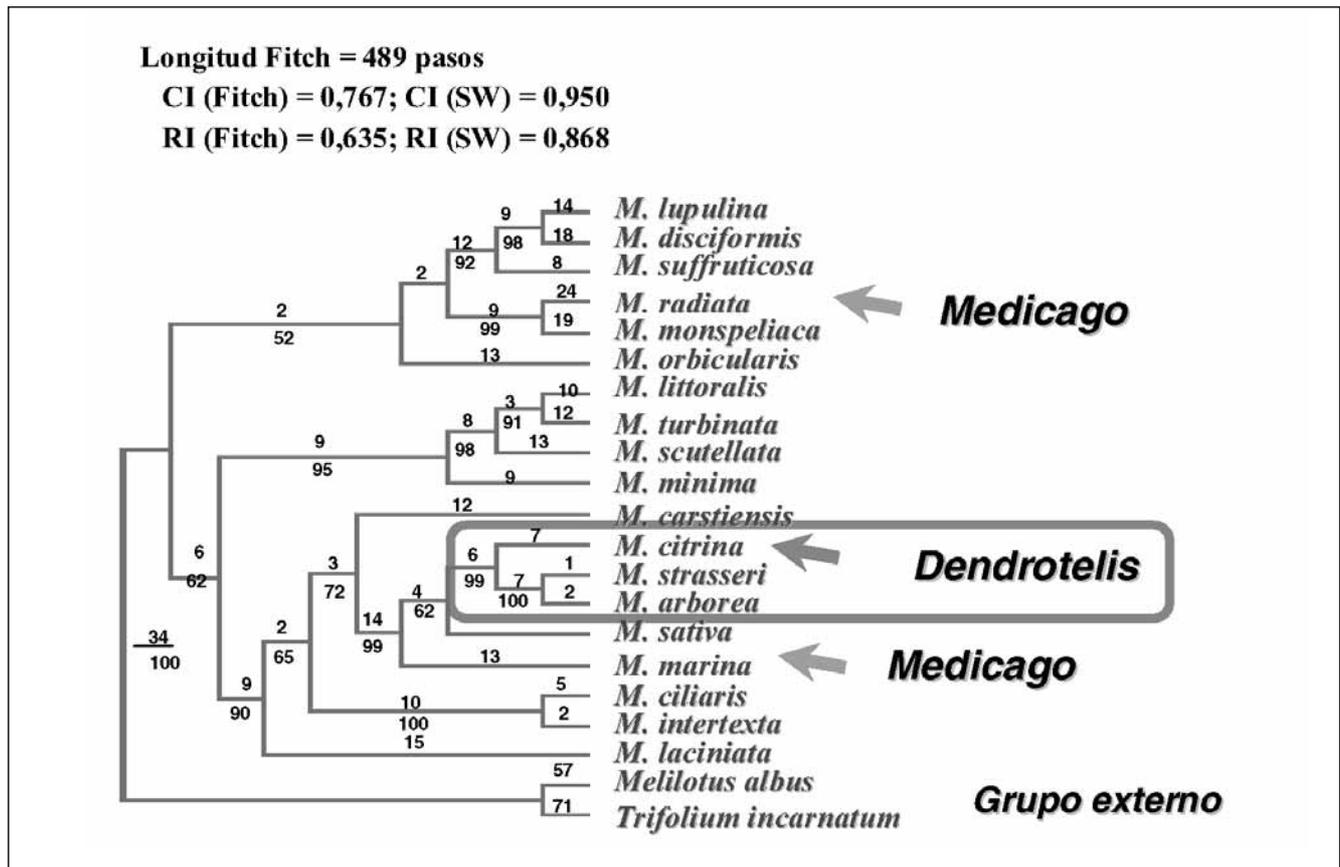


**Figura 4.** Dendrograma UPGMA de los AFLP obtenidos de 68 representantes de las poblaciones conocidas de *Medicago citrina*. Se obtuvieron 218 bandas (69,3% polimórficas) con los cebadores AAC+CTG y ACT+CTG. Se incluye el índice de similitud genética de Nei & Li para cada grupo (modificado de JUAN *et al.*, 2004).

**Figure 4.** UPGMA dendrogram of AFLPs from 68 samples of the known populations of *Medicago citrina*. Primers AAC+CTG and ACT+CTG yielded 218 bands, 69.3% of which were polymorphic. Nei & Li's index of genetic similarity is included (modified from JUAN *et al.*, 2004).

fidios de gran tamaño (PÉREZ BAÑÓN *et al.*, 1999, 2004). La contribución de este grupo entomológico eleva sensiblemente (aprox. 5%) la tasa de fructificación, lo que parece ser vital para el mantenimiento de un flujo génico mínimo entre

las subpoblaciones. Por el contrario, en las poblaciones caprarienses –al igual que en las ibicencas y alicantinas– la producción de frutos es sensiblemente más elevada (JUAN, 2002), dado que existe una comunidad de polinizadores especializa-



**Figura 5.** Único árbol de máxima parsimonia, obtenido a partir de la matriz combinada de 1234 caracteres (ITS, trnL-F y morfológicos), con 19 táxones de *Medicago* (incl. *Trigonella* p. p.) y 2 como grupo externo.

**Figure 5.** The only most parsimonious tree obtained from the combined matrix of 1234 characters (*ITS*, *trnL-F* and morphology), with 19 taxa of *Medicago* (incl. *Trigonella* p. p.) and two outgroups.

dos (básicamente, abejas y abejorros) suficiente como para asegurar una correcta polinización y flujo génico entre las diferentes subpoblaciones de cada territorio.

e) *Propuesta de recatalogación, según las categorías UICN (2001)*

Como parte de los trabajos que realiza la Species Survival Commission de la UICN, se ha realizado un estudio global sobre el estado de conservación de las poblaciones de *Medicago citrina* en el Mediterráneo occidental, con el fin de evaluar la posible inclusión de esta especie en la lista de plantas más amenazadas de las islas del Mediterráneo.

Después de realizar la evaluación correspondiente, CRESPO *et al.* (2005) han propuesto la recatalogación mundial de *Medicago citrina*, que

pasa a ser considerada como especie “en peligro crítico” –CR B1ab(iii,v)+2ab(iii,v)–. Ello viene a disipar las dudas que venían arrastrándose sobre el grado de amenaza que sufre la especie. De hecho, previamente había sido considerada como “en peligro” –EN: B1 + 2e– en la “lista roja” de la flora vascular española (AIZPURU *et al.*, 2000) e incluso había sido desestimada su inclusión en el “Atlas y libro rojo de la flora vascular de España” (BAÑARES *et al.*, 2003) por considerarse que su grado de amenaza era menor.

**El caso de *Daucus carota* subsp. *majoricus*.**

a) *Caracterización morfológica:*

Como paso previo a los estudios de biología reproductiva y variación genética poblacional del taxon hubo que establecer su correcta caracterización

morfológica. *Daucus carota* subsp. *majoricus* es un endemismo gimnésico recientemente descrito (PUJADAS, 2002), del que no se dispone apenas información. Su distribución se reduce a unos pocos puntos del litoral sudoeste de Mallorca y el Archipiélago de Cabrera, de donde resulta endémico. Desde un punto de vista morfológico y corológico resulta muy afín al grupo de "*Daucus gingidium*", agregado muy diversificado en los hábitats costeros del mediterráneo occidental.

La extrema dificultad de este complejo taxonómico aconsejó realizar un estudio del taxon caprariense en el seno de lo que se ha venido llamando "grupo *gingidium*" de *Daucus carota* L. (cf. PUJADAS, 2003), con el fin de establecer sus relaciones morfológicas. Así, para identificar con facilidad y establecer las relaciones fenéticas de las poblaciones mallorquinas y caprarienses respecto a las del resto del litoral mediterráneo iberolevantino, el

muestreo se amplió a la Comunidad Valenciana (y más laxamente, al litoral ibérico al completo). En total se analizaron tres táxones subespecíficos del agregado -*D. c.* subsp. *hispanicus* (Golan) Thell., *D. c.* subsp. *commutatus* (Paol.) Thell. y *D. c.* subsp. *majoricus* (sensu PUJADAS, 2003); todos ellos citados en el Archipiélago Balear-, cuya diferenciación resulta muy comprometida por métodos clásicos. El muestreo incluyó poblaciones de Alicante, Islas Columbretes y todo el litoral de Mallorca (Fig. 6), incluyendo el Archipiélago de Cabrera.

Se estudiaron 45 caracteres morfológicos, tanto vegetativos (porte, hojas, indumento, pedúnculo de la inflorescencia, etc.) y florales (pétalos, estambres, estilos), como carpológicos (espinas, gloquidios, vitas, relación longitud/anchura, etc.). Los datos se sometieron a distintos análisis matemáticos multivariantes (con el paquete

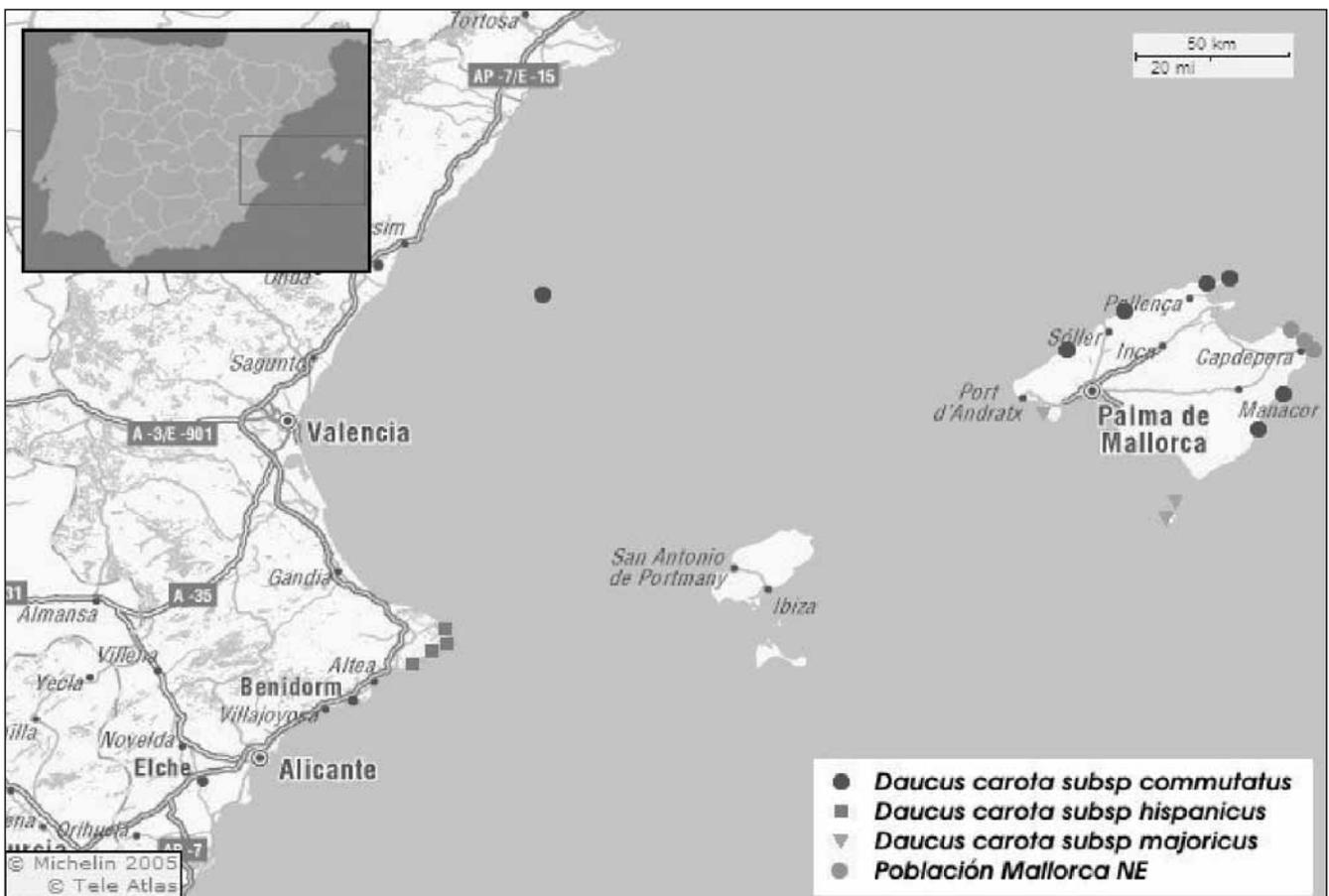


Figura 6. Mapa de distribución de las diferentes subespecies de *Daucus carota* presentes en la Comunidad Valenciana, Mallorca y Cabrera (sólo se indican las poblaciones analizadas).

Figure 6. Distribution map of the subspecies of *Daucus carota* growing in Comunidad Valenciana, Mallorca and Cabrera (only the analysed populations are marked).

informático SPSS v. 11.5), con el fin de explorar tendencias en poblaciones asociadas a ciertos factores ambientales.

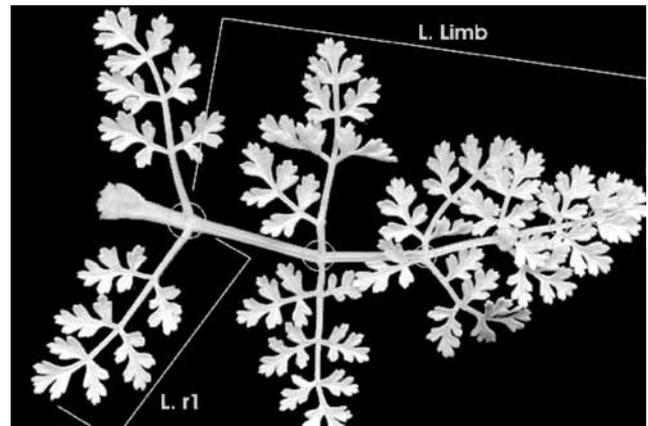
Los estudios han constatado la notable plasticidad existente en dicho grupo de subespecies.

En la mayoría de caracteres morfológicos existe un cierto grado de solapamiento, a veces muy grande, que dificulta la discriminación entre táxones. No obstante, sí han podido observarse algunas tendencias poblacionales.

El **porte** de los ejemplares es relativamente similar en todas las poblaciones visitadas. Sin embargo, en *Alicante*, resultan mayoritarios los ejemplares cuyo aspecto general es menos denso y más elevado que el del resto de poblaciones. Aunque esa característica no resulta exclusiva de dicha población, fuera de *Alicante* resulta ser siempre minoritaria (por ejemplo, dicha fisonomía ha podido observarse en *Cabrera*, únicamente cuando los ejemplares se desarrollan a la sombra de grandes arbustos). También destaca por su porte cierta población del *Noreste de Mallorca*, cuyos ejemplares poseen tallos postrados, casi aplicados al suelo o raramente algo ascendentes.

En cuanto al **indumento del tallo**, en una misma población se observan individuos típicamente con el tercio basal de los tallos desde ligeramente escábrido a hispido o, más raramente, glabrescente. Destaca de nuevo la población del *Noreste de Mallorca*, cuyos tallos son completamente glabros o glabrescentes, nunca escábridos ni hispídos. También se observa una tendencia parecida en *Alicante*, donde los tallos son glabros y glabrescentes -raramente escábridos-. Existe solapamiento entre la población del *Noreste de Mallorca* y la de *Alicante*, así como entre la de *Alicante* y el resto de poblaciones de *Mallorca* y *Cabrera*, de modo que, el indumento del tallo sólo resulta un carácter útil en la diferenciación de poblaciones cuando se combina con otros caracteres.

La **morfología del limbo** y de los segmentos de último orden (Fig. 7) sufren tal grado de variación dentro de una misma población, e incluso de un mismo individuo, que resultan caracteres de muy poca utilidad taxonómica. Tan solo



**Figura 7.** Ejemplo de medidas tomadas sobre la hoja. L. Limb.: Longitud del limbo. L. r1.: Longitud de la división de primer orden basal. Los círculos indican los puntos de los que surgen las ramificaciones de primer orden.

**Figure 7.** Measures taken from leaves. L. Limb.: Limb length. L. r1.: Length of the basal first order division. Circles indicate the branching point of first order branchlets .

puede destacarse la población del *Noreste de Mallorca*, cuyas hojas son casi siempre triangular-oblongas, y con divisiones de primer orden casi iguales, de manera que la longitud de éstas disminuye a lo largo del raquis menos marcadamente que en el resto de poblaciones, en las que la morfología global de la hoja es típicamente triangular-ovada.

En lo que respecta al **indumento general de la hoja**, se han observado individuos glabros, escábridos e hispídos. Pero la variación intrapoblacional impide utilizar ese carácter para diferenciar táxones. Únicamente destacan las poblaciones de *Alicante* y *Noreste de Mallorca*, cuyas hojas a menudo son glabras en el envés de la vaina, en el primer entrenudo y en el margen de los segmentos de último orden.

En la umbela, tanto en el **diámetro** como en el **número de radios**, se ha observado una amplia variación de valores que se llegan a solapar notablemente al comparar diferentes poblaciones. Ambos caracteres parecen resultar poco útiles para el tratamiento taxonómico dentro de *D. carota* "grupo *gingidium*". No obstante, cabe destacar la población del *Noreste de Mallorca*, cuyas umbelas, típicamente menores de 50 mm de diámetro y con menos de 55 radios, no terminan de ajustarse adecuadamente a los valores de otras poblaciones.

El número de **brácteas** en las umbelas principales no permite discriminar entre subespecies, aunque sí diferencia la población del *Noreste de Mallorca* del resto de poblaciones. La **morfología de las brácteas** observada en las diferentes poblaciones no permite, por sí sola, diferenciar táxones. Aunque en la población de *Alicante* existe una tendencia hacia las brácteas con divisiones primarias más anchas en comparación con otras poblaciones y, de un modo similar, en la población del *Noreste de Mallorca* las brácteas suelen ser menos divididas.

La intensa y duradera **coloración rosada en los botones florales** durante la preantesis, parece un carácter exclusivo de la población del *Noreste de Mallorca*. Únicamente en esa población se han observado umbelas en las que el color blanco de las flores en antesis contrasta con el rosado de las flores aún cerradas presentes al mismo tiempo en una inflorescencia. El color rosa intenso en la preantesis también puede observarse en las poblaciones del *Norte* y el *Este de Mallorca*, pero se pierde rápidamente con el inicio de la antesis. En *Alicante*, *Oeste de Mallorca* y *Cabrera*, o bien dicha coloración no se presenta nunca, o bien aparece de un modo fugaz y es sustituida rápidamente por un color amarillento. Esta característica floral, a la vista de los resultados obtenidos, podría ser útil para los tratamientos taxonómicos.

El número de **bractéolas** no resulta útil taxonómicamente, ya que existe un notable solapamiento de valores entre las diferentes poblaciones. Por el contrario, su morfología sí resulta de utilidad, ya que en las poblaciones *Alicante* y *Noreste de Mallorca*, el grado de división de las bractéolas es menor al de las poblaciones del resto de Mallorca y del Archipiélago de Cabrera.

En lo que se refiere al **fruto**, tanto la longitud como la anchura de los mericarpos resultan caracteres poco útiles en la diferenciación de táxones, ya que existe un notable solapamiento entre poblaciones. En cuanto a las espinas del fruto, existe una notable variación, tanto en su longitud como morfología, posición, número y grado de curvatura. Destacan por su gran longitud las espinas de las poblaciones de la costa *Oriental de Mallorca* de modo similar al que puede

observarse en las *Islas Columbretes*. En el extremo contrario, destaca la población de *Cabrera Gran* por sus frutos generalmente de espinas muy cortas.

Atendiendo a las características de las espinas (Fig. 8), se han diferenciado dos tipos básicos de frutos:

**Morfotipo a:**

Espinas de menos de 0,4 (0,5) mm, muy cortas, numerosas, muy curvadas, dilatadas hacia su base, claramente confluentes entre sí, con gloquidios de 1(2) púas y antrorsas con respecto al punto de la costilla del que surgen.

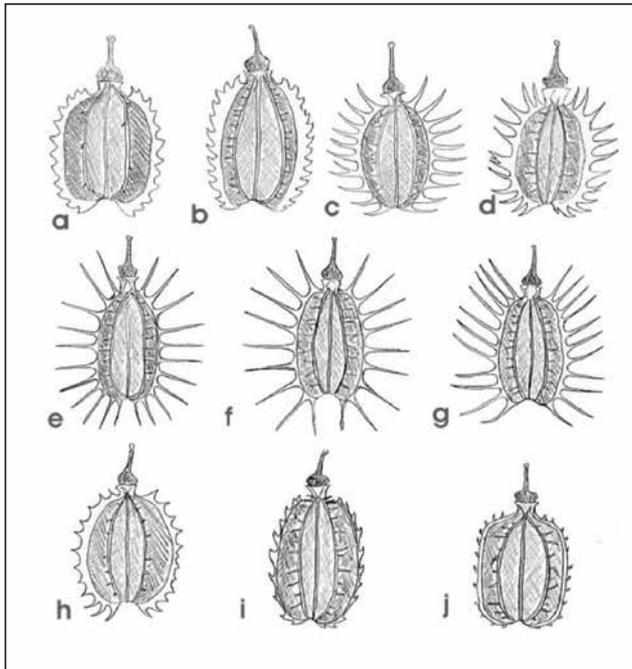
**Morfotipo b:**

Espinas de más de (0,5) 0,7 mm, relativamente largas, poco numerosas, rectas, estrechas, poco confluentes entre sí, con gloquidios estrellados de púas numerosas, y patentes con respecto al punto de la costilla del que surgen.

No obstante, dichos tipos básicos representan sólo los extremos más claros. Se ha comprobado que la morfología de las espinas resulta ser extremadamente variable dentro de una misma población, apreciándose ciertos cambios dentro de una misma umbela e incluso en un mismo fruto. Dentro del morfotipo a, el número de espinas puede reducirse, y éstas pueden ser rectas, patentes, algo estrechas, o estar reducidas casi por completo. En el morfotipo b, las espinas pueden ser muy numerosas -en el caso de frutos largos-, ligeramente curvadas hacia su mitad apical, y antrorsas en lugar de patentes, al menos en el caso de las espinas de la mitad superior del fruto (Fig. 8).

En las poblaciones del *Norte*, *Este* y *Noreste de Mallorca*, así como en las *Islas Columbretes*, casi todos los frutos estudiados se corresponden claramente con el morfotipo b. En la zona occidental de Mallorca, existe una gran diversidad morfológica. Algunos mericarpos presentan el morfotipo a, aunque en ocasiones tienen las espinas patentes y reducidas a pequeños dientes. Otros, sin embargo, poseen espinas más largas, rectas y en posición patente, estando más cercanos al morfotipo b.

En *Alicante* y en *Cabrera Gran*, casi todos los frutos observados pertenecen claramente al morfotipo



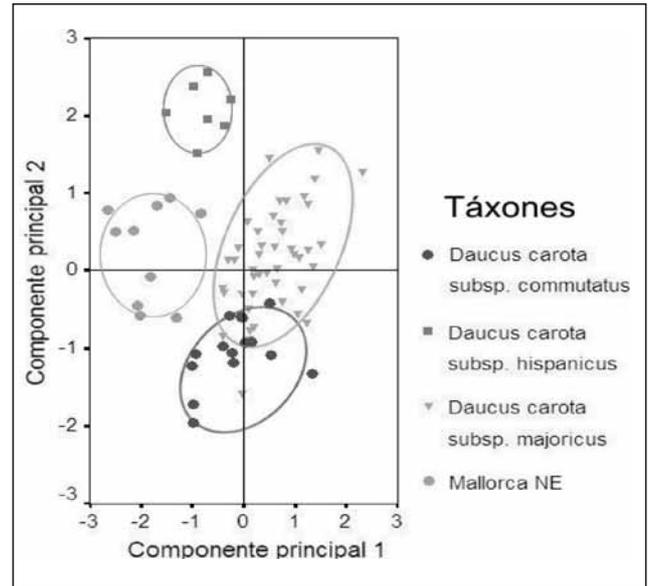
**Fig. 8.-** Morfología de los frutos. (a, b) morfotipo a; (c, d, h-j) variaciones del morfotipo a; (e, f) morfotipo b; (g) variante del morfotipo b. Poblaciones: (a) Cabrera -Morro d'en Tià-; (b) Cabrera -Cala Galiota-; (c) Cabrera -Faro de N'Ensiola-; (d) Cabrera -Cap Ventós-; (e) Cabrera -L'Imperial-; (f) Mallorca E -Cala Mendia-; (g) Mallorca E -Cala Antena-; (h) Mallorca O -Punta Malgrat-; (i) Alicante -Cova Tallada-; (j) Alicante -Jávea. Ilustración original.

**Fig. 8.-** Fruit morphology. (a, b) morphotype a; (c, d, h-j) variations of morphotype a; (e, f) morphotype b; (g) a variant of morphotype b. Populations: (a) Cabrera -Morro d'en Tià-; (b) Cabrera -Cala Galiota-; (c) Cabrera -Faro de N'Ensiola-; (d) Cabrera -Cap Ventós-; (e) Cabrera -L'Imperial-; (f) Mallorca E -Cala Mendia-; (g) Mallorca E -Cala Antena-; (h) Mallorca O -Punta Malgrat-; (i) Alicante -Cova Tallada-; (j) Alicante -Jávea. Original drawing.

a; y, aunque existen casos poco claros, éstos de ningún modo parecen corresponderse con el morfotipo b. Curiosamente, en los Islotes al Norte de Cabrera, en L'Imperial, la mayor parte de los frutos observados se aproximan al morfotipo b.

Algunos autores han indicado que la morfología del fruto podría tener utilidad taxonómica. Por tanto, con vistas al futuro, se hace necesario clarificar la distribución de los tipos morfológicos encontrados, en relación con la de todos los táxones conocidos del grupo.

A partir del estudio completo de los caracteres morfológicos de los táxones del "grupo *gingidium*" de *D. carota* se realizó un análisis de com-



**Fig. 9.-** Análisis de componentes principales realizado para los táxones citados por PUJADAS (2003), excluyendo las poblaciones introgresivas. El primer componente explica un 22,93% de la varianza y el segundo componente un 12,93%.

**Fig. 9.-** Principal component analysis of taxa cited by PUJADAS (2003), excluding introgressive populations. The first component explains 22.93% of variance, and the second one 12.93% of variance.

ponentes principales (Fig. 9), del que se desprenden las siguientes reflexiones:

1. Los táxones que han venido considerándose como *D. carota* subsp. *majoricus* y *D. carota* subsp. *commutatus* forman dos grupos diferenciados, pero con cierto solapamiento. No obstante, en las poblaciones en las que se observa mayor solapamiento parece más que posible la existencia de procesos de introgresión hibridativo entre táxones costeros y ejemplares de pertenecientes a *D. carota* subsp. *carota*. Teniendo en cuenta todo ello, se confirma la presencia de *D. carota* subsp. *majoricus* en escasos puntos occidentales de Mallorca y en la práctica totalidad del archipiélago de Cabrera si bien los análisis indican que resulta un taxon próximo a *D. carota* subsp. *commutatus*.

2. Se han encontrado poblaciones mallorquinas que pueden adscribirse a *D. carota* subsp. *commutatus* y que, además, resultan morfológicamente similares a las de las islas Columbretes. Con lo que, a la espera de estudios genéticos posteriores, parece confirmada la presencia de *D. carota* subsp. *commutatus* en Mallorca.

3. Queda descartada provisionalmente la presencia de *D. carota* subsp. *hispanicus* en Mallorca, ya que no se ha encontrado ningún ejemplar cuyas hojas, indumento y fruto se correspondan plenamente con dicho taxon.

4. Se considera que existen suficientes diferencias morfológicas para separar la población del Noreste de Mallorca del resto, sin que pueda adscribirse a ninguna de las subespecies presentes en el territorio. Por lo tanto su identidad taxonómica debe ser estudiada con detalle en el futuro, ya que indudablemente corresponde a un taxon inédito, del que actualmente se está ultimando su descripción formal.

5. La mayor parte de los caracteres morfológicos estudiados –los que tradicionalmente se han usado para distinguir los táxones subespecíficos– resultan taxonómicamente poco o nada relevantes. Los métodos taxonómicos centrados sólo en el análisis morfológico parecen insuficientes para esclarecer el “grupo *gingidium*” de *D. carota*. Se hace necesario, por lo tanto, combinar los estudios morfológicos con análisis genéticos de manera que pueda analizarse adecuadamente la variabilidad poblacional y dilucidar la posición taxonómica de las subespecies de dicho grupo.

#### b) Estudios de biología reproductiva:

En la isla de Cabrera Gran se eligieron diversas poblaciones de *Daucus carota* subsp. *majoricus*, más o menos aisladas entre sí. En cada una de ellas se recolectaron aleatoriamente 5-7 inflorescencias fructíferas con el fin de conocer las tasas de producción natural de cada población. Los resultados preliminares (MARTÍNEZ FLORES *et al.*, 2005) indican que las flores de este taxon son visitadas por polinizadores generalistas, que producen la polinización efectiva de casi la totalidad de las flores, con la maduración de dos semillas por flor.

Respecto a la tasa de germinación, se ha observado una aparición masiva de plántulas justo después de las lluvias de finales de invierno, que van seguidas habitualmente de una enorme mortalidad de plántulas, de modo que el reclutamiento es muy bajo (< 1%). Estos datos son aún preliminares

y se encuentran en fase de elaboración y análisis, pero permitirán conocer si las distintas poblaciones de *D. carota* subsp. *majoricus* presentan tasas de producción semejantes o existen diferencias debido a efectos abióticos (orientación, inclinación del terreno, efecto del viento, etc.).

## 2. Diseño de modelos para la gestión de especies y hábitats.

Con el fin de contribuir a la conservación “*ex situ*” de las dos especies estudiadas, se han depositado muestras de las diferentes subpoblaciones en el banco de germoplasma del CIBIO (Instituto de la Biodiversidad) de la Universidad de Alicante. Dicho material podrá utilizarse en futuras actividades de conservación, como:

- planes de recuperación, reintroducción o refuerzo de *Medicago citrina*, contando con semillas de las poblaciones caprarienses.
- estudios sobre el crecimiento y desarrollo de plantas en condiciones de cultivo.
- estudios de biología reproductiva y polinización en condiciones controladas.

Además, se ha podido recopilar la información suficiente como para establecer una estrategia de conservación “*in situ*” para cada taxon, seleccionando y delimitando posibles áreas de especial interés o “microrreservas de flora”, verdaderas parcelas permanentes para investigación científica y a la vez células de conservación vegetal.

## 3. Aplicación de los resultados obtenidos a la conservación y gestión del Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera.

a) Establecimiento de microrreservas de flora para conservar *Medicago citrina* y *Daucus carota* subsp. *majoricus*.

Una de las figuras de gestión que se ha revelado como más efectiva para la conservación de flora y vegetación endémica, rara o amenazada es la “microrreserva de flora” (cf. LAGUNA, 1996, 2001;

LAGUNA *et al.*, 2004). Estas pequeñas extensiones (de hasta 20 ha) se han consolidado como parcelas de estudio y experimentación permanente, así como herramientas de extraordinaria utilidad en tareas de divulgación de la investigación sobre biodiversidad. Se trata de un modelo para la gestión de la flora y hábitats amenazados, que ha tenido una excelente acogida en los estamentos europeos encargados de la gestión de espacios naturales. La Comunidad Valenciana ha sido pionera en estos trabajos y la experiencia acumulada en los últimos 10 años permite abordar con éxito la propuesta de creación de este tipo de parcelas, incluso en un espacio natural protegido (ENP) como el Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera.

Las microrreservas no se constituyen como áreas de protección integral, sino como parcelas de conservación que pueden incluso llevar asociado un manejo activo (p. ej., erradicación de invasoras, rozas, siegas, etc.) para mantener la flora o la vegetación singulares que incluyen, en un estado óptimo de conservación. En este sentido, y para asegurar la conservación de *Medicago citrina* y *Daucus carota* subsp. *majoricus*, sería deseable la creación de las siguientes microrreservas de flora en el parque:

- **Els Estells:** dos islotes que incluyen buenas representaciones de *Medicago citrina*, a la que acompañan interesantes poblaciones de *Beta maritima* subsp. *marcosii*, *Limonium caprariense* y *L. pseudebusitanum*.

- **Ses Bledes:** este islote presenta quizá la población más extensa de *Medicago citrina* en Cabrera, acompañada de una excelente población de *Beta maritima* subsp. *marcosii*.

- **Cabrera Gran-Ses Roses (oeste de la isla):** incluye una de las mejores poblaciones de *Daucus carota* subsp. *majoricus* en toda la isla. En sus alrededores se encuentran poblaciones notables de *Paeonia cambessedesii*, *Dracunculus muscivorus*, *Dorycnium fulgurans*, *Limonium caprariense*, *Rosmarinus officinalis* var. *palaui*, *Smilax aspera* subsp. *balearica*, *Digitalis minor*, *Teucrium subspinosum*, *Micromeria filiformis*, *Clematis cirrhosa* var. *balearica*, *Cyclamen baleari-*

*cum*, *Rhamnus ludovici-salvatoris* y *Helleborus lividus* subsp. *lividus*.

- **Na Foradada:** presenta una muy buena población de *Daucus carota* subsp. *majoricus*, con numerosos ejemplares adultos y muy productivos, que conviven con *Beta maritima* subsp. *marcosii*, *Limonium caprariense* y *L. pseudebusitanum*.

b) *Control de poblaciones invasoras de Daucus carota subsp. carota, para evitar la introgresión hibridativa.*

En relación con lo indicado en el punto anterior, sería conveniente controlar e incluso erradicar las poblaciones de *Daucus carota* subsp. *carota* introducidas en los alrededores de las antiguas habitaciones de la isla (ensenada del puerto y antiguo acuartelamiento militar), para preservar la integridad genética de las poblaciones más genuinas de *D. carota* subsp. *majoricus*. Igualmente, deberían establecerse periódicamente (cada 2-3 años) programas de control genético de las poblaciones de este taxon endémico, para conocer el grado de introgresión que eventualmente pueda presentarse en las poblaciones del archipiélago. Ya se ha podido comprobar mediante el uso de marcadores moleculares (AFLP y microsatélites plastidiales) que los procesos de introgresión hibridativa son extraordinariamente frecuentes en la isla de Mallorca, existiendo localidades –incluida la localidad clásica de *D. c.* subsp. *majoricus*– donde es muy difícil distinguir los táxones del “grupo *gingidium*” por métodos ordinarios. Por ello, es necesario tomar medidas urgentes en el archipiélago para prevenir un proceso de degradación genética que llevaría a la extinción a dicho endemismo.

c) *Recolección periódica de frutos de ambas especies para bancos de germoplasma.*

Dentro del plan de conservación de ambos endemismos, debería contemplarse la recolección de material genuino y su depósito y conservación en bancos de germoplasma (Jardí Botànic de Sóller y CIBIO-Universidad de Alicante). El material procedente de cada subpoblación debería mantenerse perfectamente identificado y separado del resto, para mantener las características genéticas propias de cada subpoblación. Con tales materia-

les deberían asimismo estudiarse las tasas de germinación después de distintos periodos de almacenamiento en condiciones ambientales controladas, para establecer protocolos de conservación adecuados en caso de necesidad (refuerzo poblacional, reintroducción experimental, etc.).

## CONCLUSIONES

Los trabajos realizados durante el período de vigencia del proyecto que se presenta han evidenciado la falta de datos apropiados para establecer medidas de conservación y gestión efectivas de la flora endémica, rara o amenazada.

En el caso de *Medicago citrina*, se ha podido determinar que las tasas de producción de frutos y semillas viables en las poblaciones caprarienses son elevadas y similares a las de Ibiza, dado que existe una comunidad de polinizadores especializados (himenópteros) suficiente como para asegurar su correcta polinización. No es así en Columbretes, donde las tasas de producción de frutos y semillas es significativamente menor, siendo los grandes sírfidos los únicos polinizadores existentes, cuyo concurso permite que las poblaciones se mantengan con un cierto intercambio genético entre las poblaciones de los islotes. Igualmente, el estudio de la variación genética poblacional de las distintas subpoblaciones baleáricas, castellonenses y alicantinas, evidencia un alto grado de aislamiento reproductivo, lo cual se traduce en la existencia de procesos de microespeciación. Tales procesos están generando pequeñas diferencias morfológicas –aún no muy evidentes– entre los individuos de cada subpoblación, lo que aconseja tratarlas individualmente como ESU (unidades evolutivamente significativas) y consecuentemente acometer medidas de conservación apropiadas en cada caso.

En el caso de *Daucus carota* subsp. *majoricus*, ha sido necesario realizar exhaustivos estudios morfológicos para poder adscribir correctamente las poblaciones que habitan en el Archipiélago de Cabrera y su entorno, antes de poder profundizar en otros aspectos de su conservación. Una vez finalizados estos estudios básicos se está en condiciones de poder abordar con mayor eficiencia el análisis de

su variación genética poblacional y los estudios de biología reproductiva, dos de los pilares sobre los que se sustenta la moderna biología de la conservación. Como primeras conclusiones puede decirse que las mejores poblaciones de este endemismo son las del Archipiélago de Cabrera –pese a que presentan algunas divergencias morfológicas respecto a las típicas del sureste de Mallorca–, existiendo una gran confusión taxonómica –incluso después de las recientes revisiones del “grupo *gingidium*” de *D. carota*–. Atendiendo a las claras y constantes diferencias morfológicas de los táxones incluidos en el “grupo *gingidium*”, parece más adecuado considerarlo en el rango específico y validar una nueva combinación nomenclatural: *Daucus gingidium* L. subsp. *majoricus* (A. Pujadas) Mart. Flores, Juan. M.A. Alonso, A. Pujadas & M.B. Crespo, como se hace más abajo. Además, de los estudios aquí realizados se desprende que en el noreste de Mallorca existen poblaciones pertenecientes a un taxon aún inédito, bien distinto del resto de representantes iberolevantino-baleares de dicho grupo. Futuros estudios, que ahora están realizándose en nuestro equipo, dilucidarán la posición de este nuevo taxon.

Como tareas de gestión más urgentes a realizar a corto plazo, deberían establecerse microrreservas de flora en algunos islotes del archipiélago para preservar las mejores poblaciones de *Medicago citrina* y *Daucus carota* subsp. *majoricus*. Este tipo de iniciativas está teniendo una excelente acogida en los estamentos europeos encargados de la gestión de espacios naturales, ya que las microrreservas de flora actúan como verdaderas parcelas de investigación permanente que además realizan un papel muy importante en la educación ambiental y divulgación del conocimiento científico.

Es preciso continuar con el seguimiento periódico de la evolución de las poblaciones de ambos endemismos, que debería incluir: 1) estudios de la biología reproductiva de ambas especies, para definir su evolución en el tiempo (probabilidad de extinción); 2) estudios con marcadores moleculares apropiados, para establecer el eventual grado de erosión genética de las poblaciones caprarienses de ambos endemismos; y 3) la recolección periódica de frutos y

semillas de ambos táxones para su inclusión en bancos de germoplasma de flora endémica, rara o amenazada.

### Nueva propuesta nomenclatural

Atendiendo a las claras y constantes diferencias morfológicas de los táxones incluidos en el "grupo *gingidium*" (sensu PUJADAS, 2003), parece más adecuado considerar a todo este

agregado en el rango específico, bajo la denominación *Daucus gingidium* L., como hacen otros autores (PIGNATTI, 1982; BOLÒS & VIGO, 1990). Por ello, resulta necesario validar la siguiente combinación nomenclatural:

*Daucus gingidium* L. subsp. **majoricus** (A. Pujadas) Mart. Flores, Juan, M.A. Alonso, A. Pujadas & M.B. Crespo, **comb. nov.** – Basiòn.: *Daucus carota* subsp. *majoricus* A. Pujadas in Anales Jard. Bot. Madrid 59: 372. 2002.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIZPURU, I., G. BALLESTER, A. BAÑARES *et al.* 2000) Lista roja de la flora vascular española (valoración según categorías UICN). *Conservación Vegetal* 6: 11-38.
- ANDERSON, G. J., G. BERNARDELLO, T. F. STUESSY & D. J. CRAWFORD. 2001. Breeding system and pollination of selected plants endemic to Juan Fernández Islands. *Amer. J. Bot.* 88: 220-233.
- BAÑARES, Á., G. BLANCA, J. GÜEMES, J. C. MORENO & S. ORTIZ (eds). 2003. Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- BENA, G. 2004. Molecular phylogeny supports the morphologically based taxonomic transfer of the "medicagoid" *Trigonella* species to the genus *Medicago* L. *Pl. Syst. Evol.* 229: 217-236.
- BIBILONI, G., G. ALOMAR & J. RITA. 1993. Flora vascular dels illots i adicions a la flora de Cabrera Gran. In: ALCOVER, J.A., E. BALLESTEROS & J. J. FORNOS (eds.), *Història Natural de l'Arxipièlag de Cabrera*: 179-206. Monogr. Soc. Hist. Nat. Balears, 2. CSIC-Moll. Palma de Mallorca.
- BOLOS, O. DE & J. VIGO. 1990. Flora dels Països Catalans 2. Barcino. Barcelona.
- CRESPO, M. B., A. DE LA TORRE & M. COSTA. 2003. Las comunidades de *Crithmo*-*Stacion* Moliner 1934 (clase *Crithmo*-*Staticetea* Br.-Bl. in Br.-Bl., Roussine & Nègre 1952) en la Península Ibérica e Islas Baleares. *Phytocoenologia* 33: 527-559.
- CRESPO, M. B., A. JUAN & M. MUS. 2005. *Medicago citrina*. In: MONTMOLLIN, G. & W. STRAHM (eds.), *The Top 50 Mediterranean Island Plants. Wild plants at the brink of extinction, and what is needed to save them*: 26-27. IUCN/SSC. Gland (Switzerland) & Cambridge (UK).
- FRAGA, P., M. CASTRO & J. A. ROSSELLÓ. 2007. A new annual species of *Bellium* (Asteraceae) from the Balearic Islands. *Botanical Journal of the Linnean Society* 154: 65-77.
- IRIONDO, J. M. 1996. The survey and modelling of small plant populations as a basis for developing conservation strategies. *Bocconea* 5: 151-157.
- JUAN, A. 2002. Estudio sobre la morfología, variabilidad molecular y biología reproductiva de *Medicago citrina* (Font Quer) Greuter (Leguminosae). Bases para su conservación. Tesis Doctoral, inéd. Universidad de Alicante.
- JUAN, A. & M. B. CRESPO. 1999. Comportamiento fitosociológico de *Medicago citrina* (Font Quer) Greuter (Leguminosae), endemismo mediterráneo-iberolevantino. *Acta Bot. Malacitana* 24: 221-229.
- JUAN, A., M. B. CRESPO & S. RÍOS. 2002. Remarks on *Medicago citrina* (Font Quer) Greuter (Sect. *Dendrotelis*, Leguminosae). *Fl. Medit.* 13: 303-316.
- JUAN, A., M. B. CRESPO, R. S. COWAN, C. LEXER & M. F. FAY. 2004. Patterns of variability and gene flow in *Medicago citrina*, an endangered endemic of islands in the western Mediterranean, as revealed by amplified fragment length polymorphism (AFLP). *Mol. Ecol.* 13: 2679-2690.
- JUAN, A., M. B. CRESPO, M. D. LLEDÓ, S. RÍOS & M. F. FAY. 2005. Remarks on *Medicago* sect. *Dendrotelis* (Fabaceae) based on morphological and molecular data (ITS and trnL-F) XVII International Botanical Congress, Abstracts: 421. Viena.

- LAGUNA, E. 1996. Conservación in situ mediante microrreservas de flora en la Comunidad Valenciana. *Bol. R. Soc. Españ. Hist. Nat.* Tomo Extraord. 125 Anivers.: 379-381. Madrid.
- LAGUNA, E. 2001. The micro-reserves as a tool for conservation of threatened plants in Europe. Nature and Environment series n° 121. Council of Europe. Strasbourg.
- LAGUNA, E., CRESPO, M. B., MATEO, G., LÓPEZ UDIAS, S., FABREGAT, C., SERRA, L., HERRE-RO-BORGOÑÓN, J.J., CARRETERO, J. L., AGUILELLA, A. & FIGUEROLA, R. 1998. Flora endémica, rara o amenazada de la Comunidad Valenciana. *Colecc. Biodiversidad* 1. Generalitat Valenciana, Valencia. 443 pp.
- LAGUNA, E., V. I. DELTORO, J. PÉREZ-BOTELLA, P. PÉREZ-ROVIRA, L. SERRA, A. OLIVARES & C. FABREGAT. 2004. The role of small reserves in plant conservation in a region of high diversity in eastern Spain. *Biol. Conserv.* 119: 421-426.
- MARTÍNEZ-FLORES, F., M. MARTÍNEZ-AZORÍN, A. JUAN, M. A. ALONSO, C. PÉREZ-BAÑÓN & M. B. CRESPO. 2005. Datos preliminares sobre el estado de conservación del endemismo mallorquín *Daucus carota* subsp. *majoricus* A. Pujadas (Apiaceae). *II Congreso de Biología de la Conservación de Plantas. Libro de resúmenes*: 114. Gijón.
- MEFFE, G. K. 2007. Conservation focus: policy advocacy and conservation science. *Conserv. Biol.* 21: 11.
- MMA. 1999. Estrategia Española para la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- MUS, M., J. A. ROSSELLÓ & M. MAYOL. 1993. L'endemisme vegetal. In: ALCOVER, J.A., E. BALLESTEROS & J. J. FORNOS (eds.), *Història Natural de l'Arxipièlag de Cabrera*: 179-206. *Monogr. Soc. Hist. Nat. Balears*, 2. CSIC-Moll. Palma de Mallorca.
- PÉREZ-BAÑÓN, C., T. PETANIDOU, A. JUAN, M. A. MARCOS-GARCÍA & M. B. CRESPO. 1999. Experiencing the limitations of isolation: the reproductive ecology of bee-dependent plants in bee-deprived environments – the study case of *Medicago citrina* (Font Quer) Greuter. VIII European ecological Congress (Eureco 99). Halkidiki, Grecia.
- PÉREZ-BAÑÓN, C., A. JUAN, T. PETANIDOU, M. A. MARCOS-GARCÍA & M. B. CRESPO. 2004. The reproductive ecology of *Medicago citrina* (Font Quer) Greuter (Leguminosae): a bee-pollinated plant in Mediterranean islands where bees are absent. *Pl. Syst. Evol.* 241: 29-46.
- PIGNATTI, S. 1982. Flora d'Italia 2. Edagricole. Bologna.
- PUJADAS, A. J. 2002. El complejo de *Daucus carota* L. (Apiaceae) en la flora ibérica. *Anales Jard. Bot. Madrid* 59: 368-375.
- PUJADAS, A. J. 2003. *Daucus* L. In: NIETO FELINER, G., S.L. JURY & A. HERRERO (eds.), *Flora ibérica* 21: 97-125. Real Jardín Botánico, CSIC. Madrid.
- RITA, J. & G. BIBILONI. 1993. La vegetació (memòria del mapa de les comunitats vegetals). In: ALCOVER, J.A., E. BALLESTEROS & J. J. FORNOS (eds.), *Història Natural de l'Arxipièlag de Cabrera*: 179-206. *Monogr. Soc. Hist. Nat. Balears*, 2. CSIC-Moll. Palma de Mallorca.
- RITA, J. & T. PAYERAS. 2006. Biodiversidad de las plantas vasculares de las Islas Baleares. *Orsis* 21: 41-58.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S., DÍAZ, T. E., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F., IZCO, J., LOIDI, J., LOUSÀ, M. & PENAS, A. 2002. Vascular plant communities of Spain and Portugal. Addenda to the Syntaxonomical Checklist of 2001. *Itinera Geobot.* 15: 5-436.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S., FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, F., LOIDI, J., LOUSÀ, M. & PENAS, A. 2001. Syntaxonomical checklist of vascular plant communities of Spain and Portugal to association level. *Itinera Geobot.* 14: 1-341.
- ROSSELLÓ, J. A., M. CASTRO & P. FRAGA. 2005. New records of diploid *Urginea pancrati* (Hyacinthaceae) in Cabrera (Balearic Islands). *Fl. Montiber.* 31: 44-46.
- ROSSELLÓ, J. A., C. CEBRIÁN & M. MAYOL. 2002. Testing taxonomic and biogeographical relationships in a narrow Mediterranean complex (*Hippocrepis balearica*) using RAPD markers. *Annals Bot.* 89: 321-327.
- ROSSELLÓ, J. A. & M. MAYOL. 2002. Seed germination and reproductive features of *Lysimachia minoricensis* (Primulaceae), a wild-extinct plant. *Ann. Bot.* 89: 559-562.

- SÁEZ, L. & J. A. ROSSELLÓ. 2000. Llibre vermell de la flora vascular de les Illes Balears. Documents Tècnics de Conservació, 9. Palma de Mallorca.
- SÁEZ, L., J. A. ROSSELLÓ & G. ALOMAR. 1999. *Helianthemum scopulicolum* (Cistaceae), a new species from Majorca (Balearic Islands, Spain). *Nordic Journal of Botany* 19: 413-419.
- SALES, E., S. G. NEBAUER, M. MUS & J. SEGURA. 2001. Population genetic study in the Balearic endemic plant species *Digitalis minor* (Scrophulariaceae) using RAPD markers. *Amer. J. Bot.* 88:1750-1759.
- SALES, F. & I. C. HEDGE. 2000. *Medicago* L. In: Talavera, S. *et al.* (eds.), *Flora iberica* 7(2): 741-775. REAL JARDÍN BOTÁNICO, CSIC. MADRID.
- SMALL, E., P. LASSEN & E. S. BROOKES. 1987. An expanded circumscription of *Medicago* (Leguminosae, Trifolieae) based on explosive flower tripping. *Willdenowia* 16: 415-437.
- SWOFFORD, D. 1998. PAUP, version 4.0d64 for Macintosh. Sinauer Associates, Northampton, MA.
- TORRES, N., L. SÁEZ, J. A. ROSSELLÓ & C. BLANCHÉ. 2000. A new *Delphinium* from Formentera (Balearic Islands). *Bot. J. Linn. Soc.* 133: 371-377.
- VICENS, M., J. L. GRADAILLE & J. M. IRIONDO. 2005. Spatially explicit ecological processes associated with the demography of *Thymus herba-barona* subsp. *bivalens*. Proceed. International Symposium Mediterranean Plant Conservation in a Changing World. IMEP Conservatoire Botanique National Méditerranéen.