

Las investigaciones sobre anfibios en el Parque Natural Sierra Norte

Miguel Tejedo (1), Rafael Márquez (2), Juan F. Beltrán (3),
Federico Marangoni (1), Diego Llusia (2), Mark Cambron (4),
Iván Gómez-Mestre (1), Albert Meier (5), Xavier Eekhout (2),
Richard G. Bowker (5), Maribel Benítez (6), Catarina N. Moreira
(7), Eduardo G. Crespo(7) , José Pedro Sousa do Amaral (5, 7) y
Mario Penna (8)

(1) Departamento de Ecología Evolutiva, Estación Biológica de Doñana, CSIC.

Avda. María Luisa, s/n, Pabellón del Perú. 41013 Sevilla.

(2) Fonoteca Zoológica, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. c/ José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid

(3) Departamento de Fisiología y Zoología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla.

Avda. Reina Mercedes, 6. 41012 Sevilla

(4) Department of Engineering. Western Kentucky University, Bowling Green, KY 42 101 (USA).

(5) Department of Biology. Western Kentucky University, Bowling Green, KY 42101 (USA).

(6) Departamento de Biología Animal y Ecología. Facultad de Ciencias. Campus Universitario de Fuentenueva s/n.

Universidad de Granada. 18071 Granada.

(7) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo grande, 1749-016. Lisboa (Portugal).

(8) Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Casilla 70005, Correo 7, Santiago de Chile (Chile).

Palabras Clave: anfibios, anuros, cambio climático, diferenciación adaptativa de poblaciones, adaptación local, conservación, investigación.

Keywords: amphibia, anura, conservation, climatic change, population divergence, local adaptation, research, monitoring.

Las investigaciones sobre anfibios en el Parque Natural Sierra Norte

The amphibian research in Sierra Norte Natural Park, sw. Spain

RESUMEN

A nivel mundial, los anfibios están desapareciendo por causas muy diversas, algunas poco conocidas, como los efectos del cambio climático. Son, en general, especies muy sensibles a los cambios en el medio y, por tanto, resultan especialmente interesantes tanto para los investigadores como para todo aquel interesado en la conservación de la biodiversidad. Desde hace años, investigadores del CSIC y otros centros españoles (Universidad de Sevilla y Granada) y extranjeros (Universidad de Lisboa, Portugal, Universidad de Chile y la Universidad de Western Kentucky, USA) están realizando estudios sobre bioacústica, biología de la reproducción, variación geográfica y adaptaciones locales, morfología y dinámica poblacional de algunas especies presentes en el Parque Natural de la Sierra Norte. Los resultados más relevantes de tales estudios se resumen en estas páginas, incluyendo resultados preliminares de un proyecto nacional I+D+i, actualmente en marcha. Además, sus observaciones han permitido detectar y sugerir acciones que están permitiendo mejorar la conservación de algunas de estas poblaciones. Con ello esperamos contribuir a un mejor conocimiento y conservación de estas especies y su medio.

ABSTRACT

Currently, there is a global decline of amphibians due to an array of different factors, including global warming. Amphibians are among the more sensitive vertebrate species to changes in the environment, what target them both for research and for anyone interested in biodiversity conservation. During the last decade, researchers from different institutions, including CSIC, the University of Seville, the University of Granada, the University of Lisbon, the University of Chile, and Western Kentucky University, have conducted studies on population divergence and local adaptations, bioacoustics, reproductive biology, morphology, and population dynamics of some of the anuran species occurring in the Natural Park of Sierra Norte. In this paper, we summarize relevant results from these studies, including preliminary results from an ongoing I+D+i national project. These studies have already help us to detect and suggest some conservation actions for amphibians, which once implemented, will improve the conservation status of some of these amphibian populations. Our hope is to contribute to increase the knowledge and conservation of these species and their habitats.



INTRODUCCIÓN

EL DECLIVE MUNDIAL EN LAS POBLACIONES DE ANFIBIOS

Ya en los años 70, algunas especies de anfibios descritas recientemente habían desaparecido de sus hábitats sin razones aparentes. Pero no es hasta finales de los años 90, cuando intercambiando opiniones durante el primer congreso mundial de Herpetología, celebrado en Canterbury (R. Unido), los científicos constatan la existencia de un patrón a nivel mundial de disminución, o si se prefiere, desaparición de numerosas poblaciones de anfibios. En la actualidad existe una preocupación global por el declive de los anfibios, ya que si no lo atajamos puede representar una degradación irreversible de nuestro medio natural de carácter planetario, además de una importantísima pérdida de biodiversidad. ¿Cuáles son las causas más aceptadas de este declive? En una primera fase, se consideró que podría ser resultado de fluctuaciones naturales más que de un proceso real de pérdida de poblaciones, debatiéndose si se trataba de un fenómeno global o de casos aislados. Hoy en día, como decimos, la comunidad científica es casi unánime en reconocer este declive. De hecho existe una comisión especializada de la UICN para, entre otros fines, identificar las causas de esta disminución. Nos encontramos, sin embargo, con una dificultad: los datos de seguimientos poblacionales a largo plazo, tan necesarios para discriminar entre fluctuaciones anuales y un declive continuado, son muy escasos.

En todo caso, parece muy claro que el descenso en la biodiversidad de los anfibios se puede achacar tanto a causas generadas a nivel local como la alteración y destrucción de los hábitats acuáticos reproductivos y medios terrestres colindantes, debido a construcción de carreteras, urbanizaciones, polígonos industriales, etc., contaminación de las

aguas por liberación de sustancias nocivas, por ej. plaguicidas, abonos, etc., como a causas de ámbito global, que indirectamente inciden en poblaciones o especies (p. ej. *Bufo periglenes*, de las montañas de Costa Rica, entre otros anfibios neotropicales) que han desaparecido en lugares remotos, donde parece descartarse la intervención directa del hombre. Entre las causas globales estarían las precipitaciones ácidas, que afectan sobre todo al Hemisferio Norte, que acidificarían las aguas de las charcas y arroyos, el cambio climático y el incremento de las radiaciones UV como consecuencia de la disminución de la capa de ozono, la disminución de las precipitaciones en zonas tropicales, además de la irrupción de enfermedades emergentes como iridovirus y hongos quitridios, cuya existencia se demostró ya hace años en España en poblaciones de anfibios del P.N. Peñalara (Bosch *et al.*, 2001).

EL PAPEL DE LA INVESTIGACIÓN: DISCRIMINANDO ENTRE LA VARIACIÓN NATURAL Y LAS AMENAZAS A LA BIODIVERSIDAD

El conocimiento es la base de la conservación. Entre las actuaciones para la protección y la conservación de la biodiversidad en anfibios, está conocer mejor su biología reproductiva y la dinámica de sus poblaciones, lo que requiere un seguimiento/control de individuos. Ésta no es una tarea fácil, ya que una de las características de la demografía de los anfibios, como ya hemos señalado anteriormente, es que pueden presentar fluctuaciones, es decir, cambios en sus efectivos poblacionales, con variaciones interanuales muy notables en cuanto a actividad, muy determinada por variaciones climáticas, p. ej. en los años secos el número de adultos reproductivos que pueden ser censados disminuye notablemente; aparte de variaciones debidas a eventos discretos de

reclutamiento (incorporación de nuevos individuos juveniles a la población) que suelen ser, en numerosas ocasiones, de carácter “explosivo” al depender del éxito de metamorfosis, que no se produce todos los años. La mayoría de los anfibios se reproducen en humedales no permanentes que sufren frecuentes desecaciones prematuras que determinan mortandades catastróficas de los renacuajos. Por tanto, no todos los años se pueden producir reclutamientos de nuevos individuos a las poblaciones reproductivas. Estas fluctuaciones naturales pueden ocultar las tendencias a largo plazo, y por esta razón, no resulta fácil determinar qué variación de estos cambios que observamos son un “fenómeno natural” y cuando estamos ante un escenario de “declive”, es decir, una tendencia, que a menos que sea revertida, conducirá a la extinción de las poblaciones y, quizá, de la especie.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA

ANDALUCÍA Y SUS SIERRAS: ALGUNAS EXPLICACIONES BIOGEOGRÁFICAS

Los campos de Andalucía y, particularmente, sus sierras (p.ej. Sierra Morena, Sierras Béticas, Sierra Nevada, la Sierra de Grazalema) ofrecen una variedad extraordinaria de hábitats para las especies de vertebrados, invertebrados y plantas. Los endemismos “andaluces” o casi andaluces (p.ej. especies que no se pueden encontrar más allá de los límites de nuestra comunidad) son abundantes y proporcionan a nuestra tierra una singularidad biológica excepcional. Estos ambientes mediterráneos (de los que Andalucía es parte esencial) están en la actualidad considerados como uno de los escasos puntos calientes (*hot spots*) de biodiversidad a nivel planetario.

Centrándonos en el grupo biológico que nos ocupa, la fauna de anfibios de



Fig. 1. Ejemplares de sapo partero bético (*Alytes dickhilleni*) encontrados bajo una piedra cerca de un abrevadero en la Sierra de Baza (Granada) a unos 2000 m. a. s. n. m. Se trata de un macho adulto portando sobre su espalda la puesta, junto a dos hembras y un individuo juvenil.

Andalucía se compone de 16 especies de las cuales siete son de carácter endémico de los 12 totales que existen en la Península Ibérica, lo que representa la mayor riqueza en especies endémicas. Además algunos de estos endemismos están prácticamente limitados geográficamente a Andalucía como son el sapo partero bético (*Alytes dickhilleni*, **Fig. 1**), el sapillo moteado ibérico (*Pelodytes ibericus*, **Fig. 2**) y a nivel infraespecífico, la subespecie de salamandra común (*Salamandra salamandra longirostris*, **Fig. 3**)

Las demás especies tienen una distribución más extensa, como es el caso del sapo común, del sapo corredor y de la salamandra, ampliamente extendidos por Europa, mientras que la presencia del gallipato refleja la proximidad del continente africano, donde también se encuentra. De ellos, en el P.N. Sierra Norte, están presentes 13 especies, lo que



Fig. 2. Ejemplares de sapillo moteado ibérico (*Pelodytes ibericus*) fotografiados junto a una de las charcas protegidas en el P.N. Sierra Norte. Se trata de una de las especies más recientemente descritas en la fauna ibérica.

proporciona un valor muy alto a esta área en cuanto a la conservación de la biodiversidad.

¿Existen algunas reglas/características que expliquen por qué existen estos anfibios en Andalucía? Dos características, aparentemente contrapuestas, definen la fauna de anfibios que podemos encontrar en nuestros campos y sierras. De un lado, su relativa pobreza de especies en relación a su superficie (si la comparamos, por ej. con otras comunidades/regiones ibéricas como por ej. la Comunidad de Madrid con 17 especies). La Biogeografía, que trata de explicar la distribución geográfica de las especies, puede ayudarnos a entender el porqué de esta situación. Andalucía es la región más meridional de la Península Ibérica, lo que habría dificultado la llegada de especies de distribución eurosiberiana (p.ej. *Rana temporaria*, *Lisotriton helveticus*) presentes en el norte de la Península. Por otra parte, se observa una disminución paulatina, tanto en bio-

diversidad como en abundancia de anfibios, desde el Oeste al Este de Andalucía. Esto coincide con la existencia de un gradiente bioclimático, con fuertes precipitaciones otoñales e invernales en su área occidental (que contribuyen a la formación y permanencia de los hábitats reproductivos), que se reducen drásticamente hacia el Este con su máximo extremo en el Cabo de Gata en Almería.

Por otro lado, de forma paradójica, y como hemos comentado anteriormente, la fauna de anfibios de Andalucía presenta la mayor riqueza de taxones endémicos de la Península Ibérica, con un total



© Ricardo Requies

Fig. 3. Ejemplar juvenil de la subespecie de salamandra común bética (*Salamandra salamandra longirostris*) del Parque Natural de los Alcornocales (Cádiz).



Fig. 4. Localidades elegidas para el seguimiento acústico de cinco especies de anuros ibéricos dentro del proyecto I+D+i “Adaptaciones de anuros ante cambios climáticos”. Para cada especie se dispone de dos localidades: “hábitat cálido” y “hábitat frío” dentro de su área de distribución en la Península Ibérica.

de siete especies y una subespecie. Tres de estos taxones: el sapo partero bético (**Fig. 1**), el sapillo moteado ibérico (**Fig. 2**), aparte de una subespecie de salamandra común (*Salamandra salamandra longirostris*) (**Fig. 3**), presentan una distribución geográfica prácticamente restringida a Andalucía. Además, otros dos endemismos ya con una distribución más amplia en la Península: el tritón pigmeo y el sapillo pintojo meridional, tienen también sus poblaciones más abundantes en esta región. El origen de estos taxones endémicos puede deberse a varias razones, siendo muy importante la capacidad de nuestras sierras para servir de “refugio” a las especies durante períodos geológicos pasados (5-10 Ma) y más recientemente durante las glaciaciones. El aislamiento reproductivo de estas poblaciones relictas hizo el resto, permitiendo la aparición de especies nuevas, algunas de ellas

recién descubiertas (ej. el sapillo moteado ibérico en el año 2000).

MÉTODOS DE ESTUDIO Y RESULTADOS

LOS ANFIBIOS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO: EL PROYECTO TEMPURA

Conscientes de la influencia que el cambio climático puede tener sobre la biodiversidad de nuestro planeta, y ante la necesidad de obtener datos relevantes que nos permitan conocer/anticipar y quizá corregir los efectos de dicho cambio, abordamos el proyecto TEMPURA: “Adaptaciones de anuros ante cambios climáticos: estudio comparativo de poblaciones en extremos térmicos”. Y es que los anfibios, como vertebrados ectotermos, es decir, que dependen del medio para regular su temperatura corporal, y con un tegumento



Fig. 5. Ejemplar de sapo partero ibérico (*Alytes cisternasii*). Se trata de un macho adulto portando sobre su espalda la puesta. Tras la fecundación y durante varias semanas, el desarrollo de los huevos tiene lugar bajo los solícitos cuidados del macho. Sólo cuando están a punto de eclosionar, éste los depositará en el agua.

muy permeable a los gases y al agua, son excelentes indicadores de las condiciones de “salud” de los ecosistemas terrestres.

El proyecto TEMPURA es un proyecto de investigación I+D+i (que se desarrolla entre los años 2005 al 2008) realizado en colaboración por la Universidad de Sevilla, la Universidad de Lisboa y el Museo Nacional de Ciencias Naturales (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC). El proyecto pretende determinar la vulnerabilidad relativa de varias especies de anuros al cambio climático, evaluando el grado de adaptación a variaciones térmicas de poblaciones situadas en extremos térmicos opuestos de su distribución (para cada especie se estudia una población en el hábitat más frío de su distribución y otra en el medio más cálido, Fig. 4). Las especies estudiadas son las dos especies peninsulares del género *Hyla* (ranitas), y las tres del género *Alytes* (sapos parteros). El proyecto estudia el

efecto de la temperatura a tres niveles de la ontogenia o desarrollo: (preferencias térmicas de las larvas, resistencia a la desecación de los metamórficos y relaciones térmicas del comportamiento acústico reproductor en los adultos). Una de las poblaciones seguidas en este proyecto de ámbito peninsular es la población de sapo partero ibérico (*Alytes cisternasii* Boscá, 1879, Fig. 5) del Parque Natural Sierra Norte (en adelante, PNSN). Antes de exponer brevemente un avance de los resultados preliminares que hemos obtenido en este proyecto, veamos algunos antecedentes que nos permitirán interpretar mejor estos resultados.

Los anuros, a diferencia de los urodelos (salamandras y tritones) realizan “cantos” durante la reproducción. No resulta, por tanto, difícil detectar su presencia y/o determinar su período reproductivo. En el PNSN, dentro del proyecto TEMPURA, estamos estudiando la fenología de la reproducción (cantos) del sapo partero ibérico, quizá el más “mediterráneo” de los sapos parteros (véase más adelante). Se trata de una especie restringida al centro y suroeste de la Península Ibérica, adaptada a cursos de agua temporales, en zonas de bosque de encinas o alcornoques con suelo arenoso. Su comportamiento reproductor es el típico del género *Alytes*, con apareamiento en tierra y cuidado parental obligatorio por parte del macho (que carga con los huevos enrollados a sus patas traseras desde el apareamiento y durante varias semanas hasta que suelta la puesta en el agua cuando los renacuajos están plenamente desarrollados en su interior). Este desarrollo embrionario lejos del agua es un caso excepcional

entre los anuros de la zona templada y único en los de medios semi-áridos. Con objeto de conocer cómo la temperatura ambiente influye en la emisión y percepción de estos cantos, verdaderas llamadas de apareamiento, ya que son emitidos tanto por machos como por las hembras de *Alytes*, hemos instalado dispositivos en el campo para registrar a lo largo del año la actividad reproductora de los *Alytes*.

ALGUNOS RESULTADOS PRELIMINARES DEL PROYECTO TEMPURA

El PNSN dispone desde el 2006 de una estación de seguimiento acústico de anfibios, dirigido específicamente a detectar la actividad reproductiva del sapo partero ibérico (*Alytes cisternasii*). Esta estación, que es una de las 10 de este tipo situadas en la Península Ibérica dentro del proyecto TEMPURA, "Adaptaciones de anuros ante cambios climáticos" (Fig. 4), actúa como un espía, registrando todos los sonidos de un radio de más de 100 metros, entre los que se encuentra el peculiar silbido de apareamiento del sapo partero. Este innovador sistema de grabación, que incorpora además una pequeña estación meteorológica en funcionamiento durante todo el año, nos permitirá conocer mejor la fenología reproductiva de esta especie en la sierra sevillana y su relación con la humedad y la temperatura ambiental. A su vez, en comparación con el resto de estaciones de seguimiento, esta información nos ayudará a predecir las posibles respuestas de estas poblaciones de anfibios ante alteraciones globales como el cambio climático, al sondear hasta dónde responden de manera adaptativa a las variaciones climáticas locales y hasta dónde se encuentran limitados por sus características genéticas y fisiológicas.

En la Sierra Norte de Sevilla los primeros resultados obtenidos confirman el inicio de la actividad acústica de esta especie durante el mes de septiembre, como en otras poblaciones ibéricas (García-París

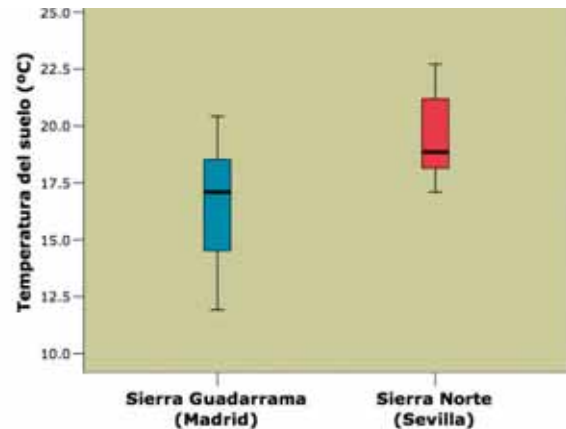


Fig. 6. Temperatura a 5 cm bajo el suelo durante la actividad acústica del sapo partero ibérico (*Alytes cisternasii*) en dos localidades de estudio (otoño 2006).

et al., 2004). Sin embargo, los datos recogidos hasta ahora sugieren que las condiciones climáticas durante la emisión de las llamadas son distintas entre poblaciones alejadas. Así, en la Sierra Norte de Sevilla la temperatura del suelo a 5 cm bajo la superficie durante la actividad acústica de los sapos fue significativamente más alta (t -Student=-4.79; $p=0.00008$; $n=48$) que la presente en la población norteña de la misma especie de la Sierra de Guadarrama (Madrid) (Fig. 6). En Sevilla las llamadas de apareamiento se produjeron a una temperatura del aire de entre 13 a 20°C y a una humedad relativa no inferior al

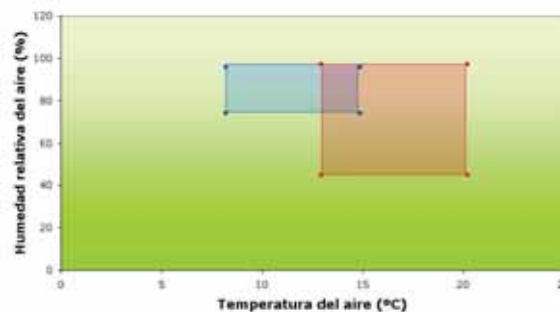


Fig. 7. Rangos de temperatura y humedad relativa del aire durante la actividad acústica del sapo partero ibérico (*Alytes cisternasii*) en dos localidades de estudio (otoño 2006). Cuadro azul: Sierra de Guadarrama (hábitat frío). Cuadro rojo: Sierra Norte (hábitat cálido).

44% (Fig. 7). Estos resultados preliminares encajarían mejor con la hipótesis de una adaptación climática local de esta especie, si bien serán necesarios nuevos datos y un seguimiento a largo plazo para poder avanzar en su confirmación.

Sin embargo, no se trata sólo de un estudio “de campo”, ya que también en el laboratorio estamos testando la tolerancia a distintos niveles de deshidratación durante la etapa terrestre de las cinco especies de anuros antes citadas en individuos juveniles. Los resultados preliminares de estos experimentos nos han dejado sorprendidos, ya que los sapos parteros ibéricos, a diferencia del resto las especies del género, mantienen sus patrones de crecimiento independientemente de la cantidad de agua del sustrato. En otras palabras, no se ven afectados, al menos en las variables que hemos medido, por condiciones más desecantes y, por tanto, parecen mostrar una mayor tolerancia a ambientes más áridos. En las siguientes líneas resumimos algunos detalles de la biología de estas especies ibéricas tan bien adaptadas a los hábitats ibéricos.

INVESTIGACIONES PREVIAS SOBRE LOS ANFIBIOS DE LA SIERRA NORTE

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN GEOGRÁFICA Y ADAPTACIONES LOCALES EN ANFIBIOS

Durante los últimos 10 años el grupo de investigación de ecología evolutiva de Anfibios de la Estación Biológica de Doñana (EBD-CSIC) ha venido realizando estudios de campo, tanto observacionales como experimentales, en el PNSN de Sevilla. De estos estudios se han derivado dos tesis doctorales y varios artículos en revistas de Ecología Evolutiva que aparecen reseñadas más abajo.

La línea de investigación fundamental ha sido el examen de la variación geográfica adaptativa de las poblaciones

de anfibios y evolución de adaptaciones locales a medios ecológicos estresantes. Esta línea de trabajo es básicamente teórica pero participa directamente de los intereses y ámbito de la biología de la conservación. Durante las últimas décadas, la conservación de la biodiversidad no se ha limitado sólo a la preservación de unidades taxonómicas a nivel de especie o superior sino que ha ampliado sus intereses a la conservación de poblaciones diferenciadas a nivel genético molecular o ecológico, lo que se conoce en la literatura científica como unidades evolutivas significativas. La conservación de estas unidades intra-específicas tienen el enorme interés de que se está preservando la biodiversidad potencial futura, desde el momento que estas poblaciones diferenciadas serán materia prima generadora de las nuevas especies del futuro biótico del planeta.

Dentro de los vertebrados, los Anfibios son potenciales generadores de unidades evolutivas de interés para la conservación por su especial biología. Los Anfibios presentan un escaso poder de dispersión, ciclo vital bifásico con ocupación secuencial de ambientes acuáticos y terrestres y, por último, una fisiología muy especializada con un tegumento permeable a iones, gases, agua, contaminantes y otros factores de estrés de todo tipo, además de su naturaleza ectotérmica. Todo ello da lugar a que este grupo presenta un elevado grado de estructuración genética y ecológica con evolución de adaptaciones locales al medio en el que vive.

Los proyectos que hemos venido desarrollando han examinado, en primer lugar, el potencial de diferenciación adaptativa de poblaciones que ocupan ambientes acuáticos de naturaleza salobre, ambiente altamente estresantes para organismos con una débil capacidad osmoreguladora como son los Anfibios, especialmente durante su fase embrionaria y larvaria acuática. Para ello estudiamos experimentalmente la supervivencia de embriones y



© Francisco Mingorance. © Ricardo Requies

Fig. 8. Ejemplares adultos de: Pelobates cultripes, hembra de la Reserva Biológica de Doñana, y Epidalea (=Bufo) calamita, de Sierra Morena (Córdoba)

larvas de sapo corredor (*Epidalea* (=Bufo) *calamita*) tanto de poblaciones que ocupan ambientes ligeramente salobres del interior de Andalucía y otras que se reproducen en ambientes acuáticos de agua dulce entre las que se encontraba la población del PNSN de El Pedroso. Estos experimentos se realizaron tanto en ambiente común en laboratorio como en campo en un diseño de trasplante recíproco entre ambientes de todas las poblaciones.

Los resultados principales mostraron que las poblaciones de origen salobre y dulce no diferían en su supervivencia embrionaria y larvaria en los ambientes

dulces, como los de un arroyo temporal situado en el PNSN. Sin embargo, en los ambientes salobres, las poblaciones locales mostraron una mayor supervivencia que las poblaciones foráneas y por tanto, mostraban una adaptación a su ambiente salobre local, pudiendo ser definidas como unidades evolutivas que merecen una protección especial.

El segundo proyecto en el que hemos trabajado en los últimos años ha intentado comprobar la naturaleza de la diferenciación extrema en el tamaño de las poblaciones de Anfibios de los arenales del manto eólico de Doñana. Estas poblaciones tie-

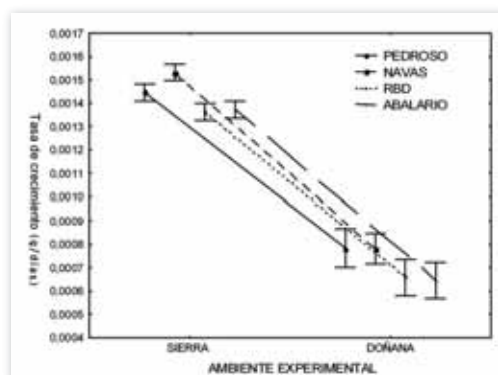


Fig. 9. Normas de reacción para la tasa de crecimiento larvario del sapo corredor *Epidalea* (=Bufo) *calamita* de poblaciones de origen Sierra (símbolos sólidos) y de origen Doñana (símbolos vacíos) en los dos ambientes experimentales de trasplante recíproco (Doñana y Sierra). Imagen de uno de los autores, Federico Marangoni, midiendo un ejemplar juvenil de sapo de espuelas procedente de los cercados experimentales terrestres (Dcha).



Figs. 10 y 11. Imágenes de los hábitats donde se realizaron los experimentos de trasplante recíproco entre poblaciones de sapo de espuelas, *Pelobates cultripes*. Ambiente de Doñana donde los adultos de ésta y de otras especies de anfibios son de pequeño tamaño (izqda). Ambiente de Sierra, donde los adultos presentan tamaños grandes (dcha).

nen un tamaño adulto que representa un tercio del tamaño medio de las poblaciones colindantes a la zona de arenas. Estudiamos un total de 10 poblaciones de dos especies de sapos: el sapo corredor (*Epidaelea* (=Bufo) calamita) y el sapo de espuelas ibérico (*Pelobates cultripes*) (Fig. 8) a lo largo de un transecto de unos 120 km que incluía poblaciones del PNSN como El Pedroso y Las Navas El Berrocal.

Para descubrir si esta disminución en el tamaño era debida a factores ambientales, o si la diferencia respondería a una diferenciación genética, realizamos una serie de experimentos de trasplante recíproco tanto en los ambientes acuáticos como en los ambientes terrestres. Los experimentos en los ambientes acuáticos se realizaron en charcas naturales en los dos ambientes ecológicos, que incluían dos charcas situadas en Las Navas El Berrocal del PNSN (Fig. 9). Los resultados mostraron que el crecimiento durante la etapa larvaria no difería entre las poblaciones de origen pero sí entre los ambientes. El crecimiento en las charcas de Doñana fue prácticamente la mitad del observado en las charcas del PNSN (Fig. 9).

Los experimentos de trasplante en el medio terrestre consistieron en la introducción de individuos juveniles de sapo de espuelas (*Pelobates cultripes*) en

dos cercados de 200 m² que se instalaron tanto en el ambiente de Doñana como en el de Sierra (Figs. 10 y 11). Los resultados revelaron que las tasas de crecimiento en el medio terrestre, de manera similar a lo que ocurría en el medio acuático, eran mucho menores en los cercados de ambiente arenoso de Doñana que en los cercados del PNSN (Fig. 12). En conclusión, parece plausible que el menor tamaño de los anfibios de Doñana sea el reflejo no de una diferenciación genética sino más bien la consecuencia de una plasticidad fenotípica inducida por un ambiente tanto acuático como terrestre más estresante o más pobre en recursos, determinando un menor potencial de crecimiento para estos organismos. Por tanto, no podemos definir las poblaciones de pequeño tamaño de Doñana como unidades evolutivas significativas, como también reflejan los resultados genético moleculares que muestran una escasa diferenciación entre estas poblaciones.

ESTUDIOS DE COMUNICACIÓN SONORA

Los estudios realizados en el PNSN de Sevilla en años previos sobre las poblaciones de *A. cisternasii* por científicos del CSIC, Universidad de Chile y Universidad de Lisboa, con la colaboración de la universidad norteamericana Western

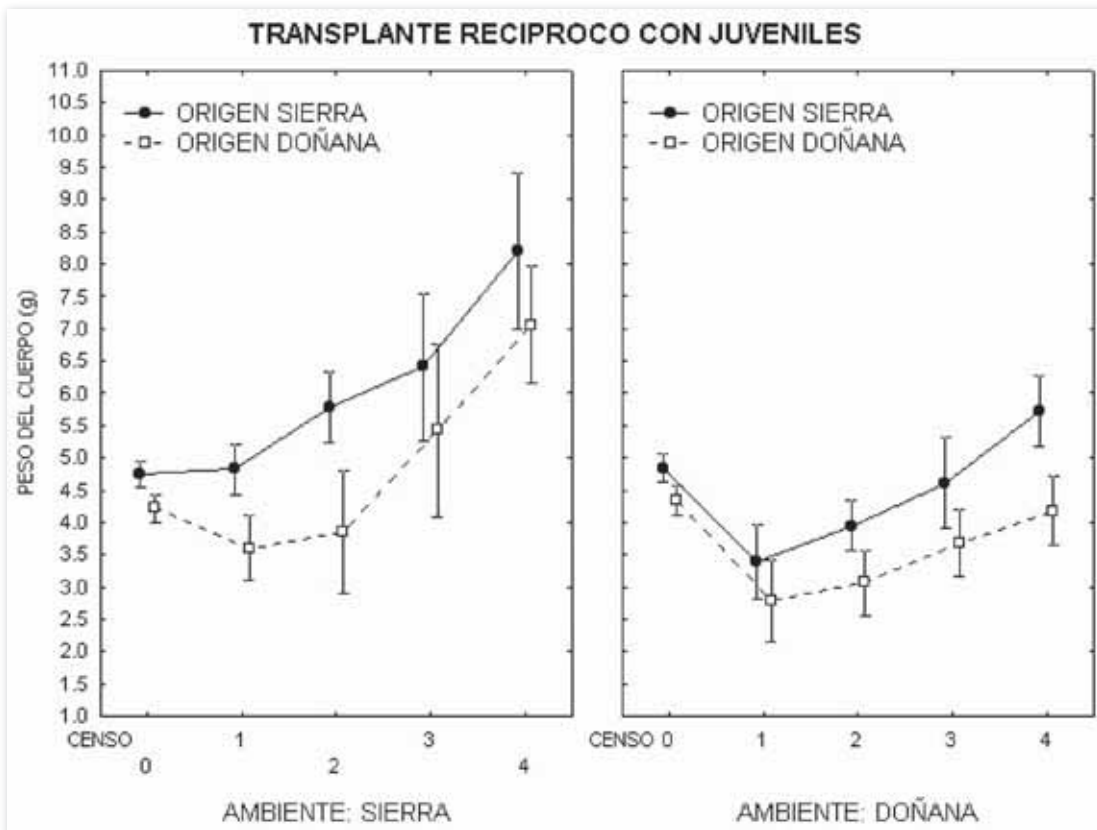


Fig. 12. Curva de crecimiento de individuos juveniles de sapo de espuelas ibérico, *Pelobates cultripes*, en los dos ambientes ecológicos examinados mediante experimentos de trasplante recíproco, realizados en cercados de 200 m² dispuestos en los mismos ambientes naturales. Ambiente Sierra, corresponde a los cercados localizados en Las Navas El Berrocal, Almadén de la Plata (Sevilla-PNSN). Ambiente Doñana, corresponde a los cercados localizados en Bodegones, Almonte (Huelva). La curva de crecimiento se elaboró a partir de recapturas realizadas en cuatro censos. 0 = Momento en el que fueron liberados. 1= 13 Nov-02, 2= 12 Dic-02, 3= 18 Feb-03, 4= 22-Abr-03.

Kentucky University, ya han generado importantes contribuciones sobre su biología. Veamos algunos de estos resultados. Márquez *et al.* (2006) publicaron las primeras medidas de intensidad sonora de esta especie grabada en el PNSN. El conocimiento de la intensidad de las emisiones sonoras es un elemento esencial para determinar la conectividad entre poblaciones y también es crucial para calibrar los sistemas de seguimiento acústico de las poblaciones y medir su rango de influencia. En el caso de *A. cisternasii* en el PNSN se obtuvieron medidas de *source level* a 50 cm del origen del sonido de 83,9 dB *peak* de media con rango (79.0-88.0). Estos valores están entre los

más bajos de todas las especies de anuros medidos en el mundo por lo que esta especie sería particularmente vulnerable a un incremento de los niveles de ruido. Además, con los datos conocidos de sensibilidad acústica del sistema auditivo de esta especie se puede determinar que la distancia máxima a la que el sonido puede ser percibido por otro ejemplar de la especie es de 6 m, lo cual indica que las poblaciones o coros separados por una distancia mayor a 6 m estarían acústicamente aisladas. Además de este estudio sobre intensidad, los primeros estudios de propagación de sonidos de anuros en Europa también incluyeron poblaciones de esta especie en el PNSN (Penna *et al.*

2006). En este trabajo se demostró que las características del canto de dos especies de sapo parteros no estaban adaptadas maximizando su capacidad de transmisión de sonido en sus respectivos hábitats. Al contrario, los cantos de la especie con sonido más grave (*Alytes obstetricans*) se transmitían mejor tanto en su medio como en el de *A. cisternasii*. Asimismo se han realizado estudios comportamentales de preferencia de las hembras con ejemplares de esta especie de las poblaciones del PNSN (Márquez *et al.* 2007). En este trabajo, con una metodología etológica novedosa, se demostró que las hembras de *A. cisternasii* y *A. obstetricans* tienen una preferencia por tasas de repetición de canto altas, y que esta preferencia era mucho más intensa que la también existente hacia cantos de frecuencia fundamental baja (tono más grave). Asimismo, se demostró que el grado de selectividad de las hembras era mucho mayor cuando los estímulos acústicos alternativos eran mayores (simulando que los machos estaban más cerca) que cuando los estímulos emitidos eran de menor intensidad.

MEDIDAS DE CONSERVACIÓN.

Hasta la fecha se han citado 13 especies de anfibios en el PNSN, entre ellos cinco endemismos ibéricos, como son el tritón ibérico, el tritón jaspeado meridional, el sapo partero ibérico, el sapillo moteado ibérico y el sapillo pintojo ibérico. Cada especie tiene requerimientos de hábitats concretos tanto, para la reproducción (p. ej., algunas prefieren arroyos temporales con cierta corriente, mientras que otros, en cambio, prefieren charcas temporales, sin corriente), así como para su vida en el medio terrestre. En cualquier estrategia de conservación de la biodiversidad es fundamental poder compatibilizar la aplicación de medidas de conservación con el uso más tradicional y sostenible del territorio. Así, por ejemplo, en el caso de *Alytes cisternasii* se trata de una espe-

cie considerada como “casi amenazada” (NT) en el libro rojo de los anfibios y reptiles españoles por su estricta asociación a los cursos de agua temporales, que a menudo están siendo modificados (canalizaciones, embalses, etc.) (Márquez y Crespo, 2004). Deberíamos ser capaces de conseguir mantener en buen estado (sin contaminación, eutrofización, alteración de los cauces, etc.) de dichos ambientes. Uno de los problemas más acuciantes es la eutrofización intensiva que sufren las charcas y arroyos del PNSN por acumulación de purines procedentes de una excesiva carga ganadera asociada a la montanera del cerdo ibérico. Es un problema ambiental serio que condiciona la supervivencia de las fases larvarias de todos los anfibios que se reproducen entre los meses de otoño e invierno coincidiendo con la montanera y, además, repercutiendo igualmente sobre toda la biocenosis de estos humedales. Una posibilidad sería la exclusión del ganado de estos medios acuáticos mediante vallado o la reducción de esta cabaña a valores que permitan el desarrollo sostenible de las dehesas del PNSN.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los gestores y guardería del Parque Natural Sierra Norte y, particularmente, a todas las personas vinculadas con la finca Las Navas El Berrocal por toda la ayuda y facilidades proporcionadas durante todos estos años de trabajo en el Parque. Agradecemos muy especialmente la ayuda de Ricardo Reques en los proyectos de variación geográfica y adaptaciones locales y la ayuda de Candelaria Iriarte, Ricardo Martín y Belén Cano en la realización de experimentos del proyecto TEMPURA. Agradecer igualmente al MEC la concesión de los proyectos y becas de investigación que han permitido la realización de estos estudios.

BIBLIOGRAFÍA

- BOSCH, J., MARTÍNEZ-SOLANO, I. & GARCÍA-PARRÍS, M. 2001. Evidence of a chytrid fungus infection involved in the decline of the common midwife toad (*Alytes obstetricans*) in protected areas of Central Spain. *Biol. Conserv.* 97: 331–337.
- GARCIA-PARIS, M., MONTORI, A. y HERRERO, P. 2004. *Fauna Ibérica. Volumen 24. Amphibia*. CSIC. Madrid.
- GÓMEZ-MESTRE, I. y M. TEJEDO. 2002. Geographic variation in asymmetric competition: A case study with two larval anuran species. *Ecology* 83(8): 2102-2111.
- GÓMEZ-MESTRE, I. y M. TEJEDO. 2003. Local adaptation of an anuran amphibian to osmotic stressful environments. *Evolution* 57: 1889-1899.
- GÓMEZ-MESTRE, I., M. TEJEDO, E. RAMAYO y J. ESTEPA. 2004. Developmental alterations and osmoregulatory physiology of a larval anuran under osmotic stress. *Physiological and Biochemical Zoology* 77(2): 267-274.
- GÓMEZ-MESTRE, I. y M. TEJEDO. 2004. Contrasting patterns of quantitative and neutral genetic variation in locally adapted populations of the natterjack toad *Bufo calamita*. *Evolution* 58(10): 2343-2352.
- GÓMEZ-MESTRE, I. y M. TEJEDO. 2005. Adaptation or exaptation? An experimental test of hypotheses on the origin of salinity tolerance in *Bufo calamita*. *Journal of Evolutionary Biology* 18: 847-855.
- MÁRQUEZ, R., BOSCH, J. & EEKHOUT, X. 2007. Intensity of female preference quantified through playback setpoints: call frequency versus call rate in midwife toads. *Anim. Behav.* En prensa.
- MÁRQUEZ, R., BOSCH, J., & PENNA, M. 2006. Sound pressure levels of advertisement calls of *Alytes cisternasii* and *Alytes obstetricans* (Anura, Discoglossidae). *Bioacoustics* 16: 27-37.
- MÁRQUEZ, R. & CRESPO, E.G. 2004. *Alytes cisternasii*. En: *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España*. Pleguezuelos, J. M., Márquez, R. & Lizana, M. (eds.): 73-75. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- PENNA, M., MÁRQUEZ, R, BOSCH, J. & CRESPO, E. G. 2006. Nonoptimal propagation of advertisement calls of midwife toads in Iberian habitats. *J. Acoustic Soc. America* 119(2): 1-11.
- TEJEDO, M. 2003. El declive de los anfibios. La dificultad de separar las variaciones naturales del cambio global. En: *La conservación de los Anfibios en Europa*, (ed. X. Rubio). *Munibe* 16: 19-41.
- TEJEDO, M., REQUES, R., GASENT, J. M., GONZÁLEZ DE LA VEGA, J. P., BARNSTEIN, J. M., GARCÍA, L., GONZÁLEZ, E., DONAIRE, D., SÁNCHEZ-HERRAÍZ, M. J. & MARANGONI, F. 2003. *Distribución de los anfibios endémicos de Andalucía: estudio genético y ecológico de las poblaciones*. Informe Técnico inédito, Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía-CSIC, 172 pp.

