

# ESTUDIOS DE BIOACÚSTICA DERANA TEMPORARIA QUE HABITA EN LAGOS PIRENAICOS DE ORIGEN GLACIAR

Verónica Platas Mallo<sup>1</sup>, Nicolás  
Palanca Castán<sup>1,2</sup>, Luz Calia  
Mirmontes Sequeiros<sup>1</sup> y Antonio  
Palanca Soler<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Anatomía Animal,  
Facultad de Biología, Universidad de  
Vigo, España.

<sup>2</sup>Departamento de Neurociencia,  
Carl von Ossietzky University, School  
of Medicine and Health Sciences,  
Oldenburg, Alemania.

## INTRODUCCIÓN

### 1. La rana bermeja

La rana bermeja, *Rana temporaria*, es un anuro eurosibérico que sólo coloniza el norte de la Península Ibérica por encima de los 42° N. Presenta un "cluster" en el Alto Aragón occidental, entre los 42° 39' N/42° 57' N y los 0° 0' W/ 0° 45' W, a altitudes entre 1.500 y 2.600 m. sobre el nivel del mar. Dicho grupo está bien caracterizado genética (2002, Veith et al.), morfológica (1995, Palanca et al.; 1998, Vences et al.) y etológicamente (2003, Vences et al., 2004, Vieites et al.) por nuestro equipo. Las ranas salen del fango o de las cavidades donde han hibernado en cuanto empieza a fundirse la nieve y la temperatura del agua alcanza un valor superior a 5° C, condiciones que se producen a finales de mayo y primeros de junio. Durante los primeros días se observa una migración masiva hacia las charcas de aguas tranquilas (endorreicas generalmente) donde realizan el amplexus y frezan. Estos anfibios, en nuestra área de estudio, sólo cantan debajo del agua de forma natural, no obstante se les puede inducir a cantar fuera del agua mediante una ligera presión de la mano sobre la parte anterior del cuerpo.

### 2. Ámbito de estudio

Los glaciares y los casquetes polares son las principales reservas de agua dulce en el planeta y por ello el principal seguro que poseen los ecosistemas y las comunidades humanas para su subsistencia. A causa de su estructura y tamaño, las montañas interceptan masas de aire forzándolas a elevarse y

enfriarse y provocando precipitaciones como lluvia o nieve. Los glaciares son reservas estratégicas de nieve convertida en hielo y constituyen la única fuente de recarga de ríos, lagos y capas freáticas en las zonas áridas y en períodos de sequía. Durante los periodos de mayor extensión glaciaria, la presión ejercida por las grandes masas de hielo sobre el terreno por el que discurrían, especialmente en las zonas en que se produce una disminución de la pendiente, produjeron depresiones denominadas cubetas de sobreexcavación glaciaria. Con el retroceso de las masas de hielo, estas cubetas se transforman en áreas lacustres receptoras de aguas procedentes del deshielo de glaciares y neveros superiores.

A ocho horas en coche desde la Universidad de Vigo podemos alcanzar la base de los macizos montañosos en los que aún existen algunos glaciares y, sobre todo, lagos cuya génesis está directamente ligada a la dinámica glaciaria del Pleistoceno. Nos referimos al Pirineo occidental donde encontramos varios tipos de estos lagos (que en la vertiente española se llaman Ibones).

Los biomas de montaña se caracterizan por presentar una zonación altitudinal y numerosos "nichos" microclimáticos en los que se genera una rica pero frágil biodiversidad, proporcionando nuevas oportunidades colonizadoras a especies con gran capacidad adaptativa a ambientes difíciles y creando, por tanto, una reserva genética irremplazable. Las condiciones ambientales y ecológicas de estos hábitats, sufren fuertes cambios estacionales y, a menudo, experimentan alteraciones extremas impredecibles. Las asociaciones de plantas y animales de áreas de gran altitud han sido generalmente menos alteradas que las de tierras bajas, no obstante para muchas especies en peligro (como sucede con los anfibios), la destrucción del hábitat, la sobreexplotación y el cambio climático global son una seria amenaza para su supervivencia a corto y largo plazo.

El grado en que las poblaciones se autoabastecen de nuevos individuos o intercambian individuos con otras poblaciones tiene consecuencias para su regulación y resiliencia (capacidad para adaptarse a un entorno fluctuante); constituyendo un paso fundamental para el desarrollo de estrategias de conservación de las especies y para el diseño de reservas dentro de paisajes degradados y fragmentados (2001, Botsford et al.). Desentrañar los procesos que conducen a la conectividad entre poblaciones está vinculado al conocimiento de las características biológicas de las especies, tales como el éxito reproductivo, el potencial de dispersión en cualquier fase del ciclo de vida y las variaciones demográficas de las poblaciones, así como los factores abióticos que pueden afectar a la dispersión de las especies (corrientes de agua y barreras al flujo génico). Dado que, en general, las rutas y distancias de dispersión de las larvas son difíciles de estudiar a través de metodologías

de seguimiento activo, las herramientas moleculares (2009, Cowen y Sponaugle) y/o la bioacústica proporcionan instrumentos ideales como evaluación indirecta de la dispersión de estas especies y la conectividad entre poblaciones.

El clima es el factor fundamental que rige un ambiente natural, puesto que, proporciona el escenario sobre el cual operan todos los procesos físicos, químicos y biológicos. Esto se hace especialmente evidente en los ambientes extremos de la Tierra, como son las grandes altitudes, donde los efectos se potencian. El clima de las montañas es caleidoscópico, compuesto por millares de microclimas, que están cambiando continuamente a través del espacio y el tiempo. Un conocimiento básico de los procesos climáticos y sus características es un requisito previo para entender un medio montañoso de ambientes normalmente extremos. Como resultado de la variación de la topografía y la humedad y temperatura asociadas, se pueden encontrar grandes contrastes ambientales en cortas distancias. Cerca del límite de las distribuciones de las especies, tales diferencias pueden decidir entre vida y muerte. Plantas y animales encuentran ventajas competitivas al alcanzar las cotas más altas.

También se producen variaciones en cortos periodos de tiempo que refuerzan las anteriores; así por ejemplo, las áreas expuestas al sol sufren contrastes de temperatura mucho mayores y más frecuentes que las que están a la sombra. Este contraste se hace patente en las montañas donde la capacidad calorífica del aire alpino, poco denso, permite una mayor incidencia de radiación solar.

Las plantas y los insectos interactúan permanentemente en procesos ecológicos como la polinización y el inicio de la reproducción de los anfibios y de otros insectívoros que deben de sincronizarse con la fenología de sus presas. Los desacoples entre niveles tróficos debidos a cambios en las condiciones climáticas son motivos muy decisivos en el declive de las poblaciones.

### 3. Bioacústica

Los Anfibios Anuros son los únicos cordados que dependen únicamente de la comunicación acústica para atraer a sus compañeras, anunciar la propiedad de su territorio o para comunicarse con otros individuos de su especie. El mecanismo de producción de sonido en la mayoría de las ranas macho también es único ya que los músculos del tronco implicados en forzar el aire fuera de los pulmones hacia los sacos vocales no son usados para la respiración normal (2007, Peter et al.), no obstante hay ranas (*Rana catesbeiana*) cuyo canto es producido por las grandes membranas timpánicas (2001, Narins et al.) y algunos grupos de especies (*Pipidae* de Sudamérica y África) cantan debajo del agua sin necesidad

de forzar la salida de aire (2004, Kelley). Las hembras, aunque carecen de sacos vocales, cantan en respuesta a los machos (1999, Emerson y Boyd).

Muchas características del canto de anuros pueden haber sido modeladas por la selección sexual, incluyendo la intensidad de llamada, la duración, la nota y el modelo temporal de interacción entre machos, además de toda la maquinaria morfológica, fisiológica y bioquímica implicada en la producción del mismo. Estudios recientes han demostrado que las ranas pueden desarrollar dialectos locales modificando los atributos espectrales y/o temporales de las vocalizaciones en respuesta a la presión de la selección ante sonidos ambientales incluidos los antropogénicos.

La transmisión del canto es afectada por varios factores físicos del medio y los sonidos son deformados tanto en sus características espectrales como en las temporales. En general, las señales de frecuencia más alta son atenuadas con más severidad al chocar con objetos de pequeño tamaño que las señales de frecuencia inferior. Por otro lado, la pérdida de amplitud durante la propagación del sonido tiene como consecuencia la pérdida de las señales más débiles ya que estas caen por debajo del umbral de detección del receptor. Igualmente puede suceder que un receptor oiga sonidos que llegan directamente junto a otros que han seguido un camino indirecto, ecos y reverberaciones, que crean retrasos y oscurecen los intervalos silenciosos entre las notas.

No obstante, como los cantos de los anfibios tienen la energía concentrada en varias bandas de frecuencia estrechas, armónicos, las distorsiones espectrales no son tan profundas como en otros sonidos bióticos y, a su vez, la repetición de los pulsos, frecuente en el canto, es muy adecuada para transmitir la identidad de la señal (2007, Peter et al.). Existe además el ruido abiótico de las cascadas o las corrientes rápidas de agua cuyo sonido interfiere con el canto ya que generalmente tiene una amplitud de 70 dB y una gama de frecuencias entre 50 Hz y 4000 Hz con la energía máxima cerca de los 100 Hz (2004, Narins et al.).

Como el coste energético del canto es bastante alto, la selección debería favorecer mecanismos para aumentar la eficacia de la producción y transmisión, permitiendo así a un macho que canta conservar las reservas de energía maximizando la transmisión de las señales a los receptores, sobre todo a las hembras.

Las llamadas de advertencia transportan los mismos tipos de mensajes que las señales publicitarias de muchos otros animales; indican la identidad de especie, la receptividad sexual, la posición, el tamaño, y en algunos casos, la identidad individual de un macho en un coro de ellos.

## MÉTODOS

### 1. Muestreos

Los especímenes de *Rana temporaria* fueron capturados en varias localidades del Alto Aragón occidental: a todos ellos se les indujo al canto mediante una ligera presión con la mano, registrándose el mismo con una grabadora digital (Sony dat TCD-D8) y un micrófono direccional (AKG C568EB) colocado a una distancia de 10 cm. Se observó el sexo y se midió su longitud del rostro a cloaca (SVL) y una selección de individuos de cada localidad, previo permisos adecuados de las autoridades de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, fueron sacrificados con clorobutanol y conservados en etanol de 95° para su posterior estudio genético, parte del cual fue publicado por nuestro equipo (2002, Veith).

Los muestreos hasta la fecha abarcan más de 60 localidades del Pirineo en sus dos vertientes, española y francesa. No obstante los primeros resultados que nos permiten plantear las primeras hipótesis se refieren a una serie de



**Figura 1.** Ibones de Arriel, 42°49'49'' N/0°19'4'' W, 2187m.snm. fotografía tomada el 24 de julio de 2013.

localidades situadas en el Alto Aragón occidental (Figura 4) en diversos macizos equidistantes unos de otros y con altitudes medias de 2.200 m. snm: Aguas Tuertas (42°49' N/0°35' W), Canal Roya - Anayet (42°46' N/0°26' W), Respomuso (42°49' N/0°17' W) y Barranco de Ordiso (42°43' N/0°9' W).

La dificultad de los muestreos de lagos glaciares pirenaicos se hace patente si tenemos en cuenta que para llegar hasta ellos es imprescindible andar una media de 4 horas por sendas de montaña salvando desniveles de más de 900 metros, cargando en la mochila con el material de grabación (sonido y video) además de los havituallamientos y prendas personales necesarios para pasar de 9 a 10 horas diarias en ambientes extremos, recorriendo una media de 15 km. Hay que tener en cuenta que a finales de julio la nieve aún cubre grandes superficies en estas altitudes, lo que implica más dificultades en el acceso (Figura 1).

Nuestro equipo de alta montaña se entrena, a lo largo del curso académico y utilizando gran parte de los fines de semana, con el fin de que durante los meses de julio y agosto, únicos meses de máxima actividad biológica a grandes altitudes, se pueda alcanzar los lagos y muestrear las ranas con la máxima eficacia y mínimo peligro personal que generalmente viene determinado por el gran esfuerzo físico necesario ya que no sólo se deben alcanzar los objetivos sino que además, una vez en ellos, hay que buscar las ranas y grabar el canto. No es posible en la actualidad utilizar otros medios de transporte ya que un helicóptero sólo nos permitiría acercarnos hasta algunos refugios de montaña pero no se puede introducir en los circos glaciares abruptos con fenómenos atmosféricos imprevisibles. Por otro lado el precio de alquilar un helicóptero con conductor durante dos meses sería prohibitivo.

## 2. Análisis acústico

Para el análisis acústico se seleccionaron manualmente, por cada canto muestreado, bandas de todo ("notas") libres de interferencias eventuales.

El término nota se refiere a una onda sonora determinada por una vibración cuya frecuencia fundamental es constante. La frecuencia o tono es la característica que nos permite diferenciar un sonido agudo de uno grave y se define como el número de ciclos que tiene por unidad de tiempo, se mide en hercios, Hz, que corresponde a un ciclo por segundo. En los animales es impreciso definir una frecuencia fundamental pura pues las "notas" o figuras no suelen corresponder a un tono puro, sino que se extienden por más de un tono. Por esta razón, en algunos casos, hay que hacer referencia a una banda de tono, o bien referimos a los límites bajo y alto en la frecuencia o tono de las notas.

Cada una de las 272 bandas de tono obtenidas se caracterizaron mediante 33 parámetros acústicos, utilizando el software

SoundRuler (2003-2007, Gridi-Papp). Estos parámetros hacen referencia a la amplitud, intensidad (energía), duración y frecuencia, tanto del sonido fundamental como de sus armónicos.

La intensidad es la cualidad que nos permite distinguir entre sonidos fuertes o débiles. La podemos definir como la fuerza con la que se produce un sonido y corresponde al flujo medio de energía por unidad de área perpendicular a la dirección de propagación. En el caso de ondas esféricas que se propagan desde una fuente puntual, la intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, suponiendo que no se produzca ninguna pérdida de energía debido a la viscosidad, la conducción térmica u otros efectos de absorción. Se mide en decibelios (dB). La duración depende del tiempo (segundos, s) durante el cual el medio recibe la perturbación.

El timbre es la cualidad que permite distinguir los sonidos producidos por los diferentes instrumentos (tipos de anatomía) y se compone de un sonido fundamental, que es el que predomina (siendo su frecuencia la que determina la altura del sonido), más toda una serie de sonidos que se conocen con el nombre de armónicos. Los armónicos son componentes adicionales de la onda que vibran con múltiplos enteros de la frecuencia principal y le dan la forma. Mientras el tono de un sonido complejo está determinado principalmente por su fundamental más bajo, son los sonidos superiores o sobretonos los que prácticamente determinan la característica del sonido.

La amplitud es la cantidad de presión sonora que ejerce la vibración en el medio elástico (aire, agua, etc..) y determina la cantidad de energía (potencia acústica) que contiene una señal sonora, en efecto, cuanto más fuerte suena un sonido mayor amplitud tiene porque se ejerce una presión mayor en el medio. La amplitud está relacionada con la intensidad sonora, a menor amplitud menor intensidad y a mayor amplitud mayor intensidad.

## 3. Procesamiento de los datos

Mediante un análisis de componentes principales asignamos todos los parámetros a 8 componentes de los que los 6 primeros explican el 75% de la varianza. Seleccionamos como variables para los siguientes procesos los parámetros mejor correlacionados con cada uno de los 6 primeros componentes. La variable correspondiente al primer componente (que explica el 26% de la varianza) la escalamos en 5 intervalos tomando percentiles iguales que engloban el 20% de los casos cada uno. Tomando como variable de agrupación la variable escalada, a la que hemos asignando a cada uno de los intervalos un número correlativo (de 1 a 5) como valor y una letra (A, B, C, D y E) como etiqueta y como variables independientes las 6 variables seleccionadas anteriormente, hacemos un análisis discriminante usando

matriz de covarianzas intragrupos y guardando en nuevas variable el grupo de pertenencia pronosticado para cada uno de los valores de agrupación y las puntuaciones discriminantes.

Observando los gráficos de grupos combinados correspondientes a los valores de las puntuaciones discriminantes de las funciones 1 y 2, simplificamos los valores de la variable de agrupación (en nuestro estudio los reducimos a 4. Repetimos varias veces el análisis utilizando los grupos de pertenencia pronosticados como nuevas variables de agrupación hasta que el estadístico Lambda de Wilks que contrasta todas las funciones del discriminante quede constante (figura 3). Podemos anular datos que difieran significativamente de todos los valores (en nuestro caso anulamos 2 de 274).

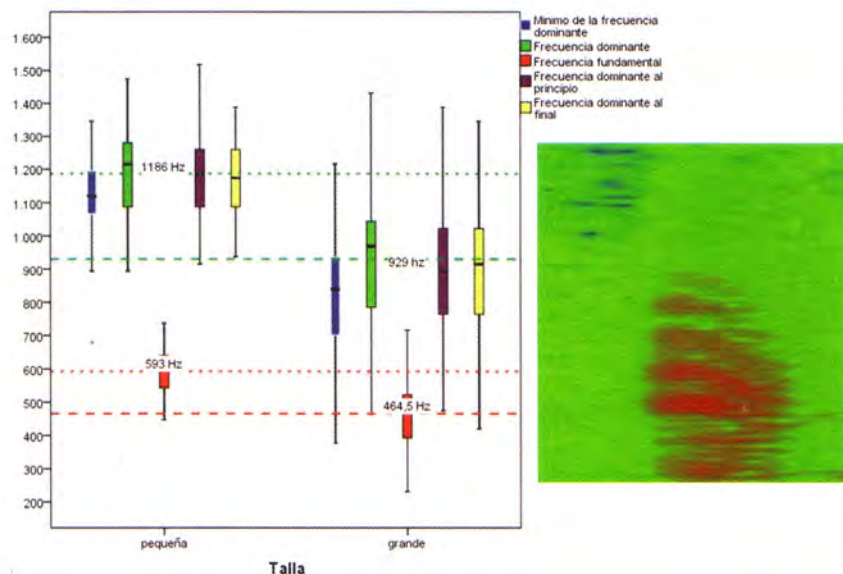
A continuación asignamos a cada ejemplar el número de datos que corresponden a cada tipo de valor utilizado en la última variable de agrupación considerada, obteniendo así una matriz reducida donde consideraremos cada ejemplar como nuevo dato, siendo las variables los valores de agrupación (A, B, C y D) a los que consideramos notas del canto. A partir de esta matriz clasificamos los individuos o las localidades que integran éstos en conglomerados jerárquicos guardando la matriz de distancias euclídeas. Estos resultados son representados mediante grafos (figura 4) y evaluados mediante regresiones lineales.

Por otro lado, estudiamos detalladamente las variables mejor correlacionadas (más del 75%) con los componentes que caracterizan al "cluster" (figura 02) y con las funciones discriminantes que caracterizan las distintas notas, valores de agrupación (A, B, C y D), cuya distribución en el canto personaliza las subpoblaciones altoaragonesas (Figura 3).

## RESULTADOS

En la descripción de los sonidos, los sonogramas son una interesantísima herramienta de estudio científico y permiten asociar al gráfico la fonética o transcripción onomatopéyica de los cantos. Con la práctica, se puede identificar un canto como de determinada especie leyendo la imagen de un sonograma. En el caso de la *Rana temporaria* (Figura 2, derecha) los tonos (frecuencias) armónicos, por encima (sobretonos)

o por debajo (subtonos) del trazo principal se aprecian como trazos paralelos de menor intensidad que el principal y apilados como "milhojas" en donde el negro representa la ausencia de sonido y los colores del rojo al azul la intensidad del sonido, medida en decibelios (dB). Las marcas más rojas y más nítidas constituyen la llamada frecuencia fundamental. El timbre se identificaría con las manchas (formantes) en las que la energía se distribuye paralela al eje de abscisas o eje temporal.



**Figura 2.** A la izquierda están representadas las variables referentes a las frecuencias que caracterizan al "cluster" altoaragonés de *Rana temporaria* de talla pequeña (< 8 cm de longitud de rostro a cloaca) y talla grande (> 8 cm), indicando en líneas discontinuas rojas el valor de la frecuencia fundamental y en verdes su primer armónico (frecuencia dominante), a rayas para ranas grandes (464.5 Hz con armónico de 929 Hz) y con puntos para ranas pequeñas (593 Hz con armónico de 1186 Hz). A la derecha representamos un sonograma (el ancho representa el tiempo, la altura representa la frecuencia y el color rojo la amplitud).

Los formantes son áreas de énfasis o atenuación dentro del espectro de frecuencias de un sonido, que son independientes de la afinación de la nota fundamental pero que siempre se encuentran en los mismos rangos de frecuencias. Son características del timbre de cada fuente de sonido. Al desplazarlos, se consiguen efectos muy interesantes, como por ejemplo, en caso de las personas, hacer que la voz de un hombre se escuche como la de una mujer, y viceversa.

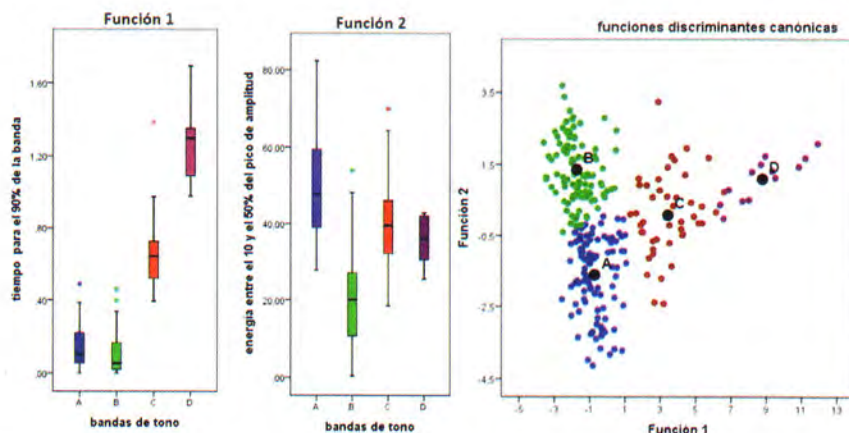
En el sonograma de la *Rana temporaria* podemos apreciar inmediatamente la complejidad de los sonidos que produce, la modulación de frecuencias y amplitudes y por ende la extraordinaria variabilidad comparable, creemos no exagerar, con la voz humana. El rango de valores que presenta la frecuencia fundamental se extiende entre 550 a 650 Hz para las ranas jóvenes y entre 400 a 500 Hz para las ranas de mayor edad. En el caso de las personas (2002, Gonzalez et al.) el rango de valores que presenta la frecuencia fundamental se extiende entre 83 a 153 Hz para los varones y 158 a 274 Hz para las mujeres. La posible razón a esta relación (Bradbury, 1998; Pough et al., 1998) se puede atribuir a un incremento en las cuerdas vocales, los cartílagos y la caja de resonancia, que en los individuos de mayor tamaño produce sonidos más graves y con una frecuencia más baja.

Al procesar los datos mediante funciones discriminantes canónicas utilizando como variables de discriminación los parámetros mejor correlacionados con cada uno de los 6 primeros componentes principales de los 33 parámetros acústicos estudiados y como valores de agrupación cuatro bandas de tono "notas" (A, B, C y D), véase más arriba en métodos, obtenemos dos funciones (Figura 3) que explican el 98% de la varianza. El tiempo y la energía inicial (entre el 10 y 50% de amplitud de los picos), variables mejor correlacionadas con las funciones 1 y 2 respectivamente, personalizan las subpoblaciones del "cluster" pirenaico-aragonés de *Rana temporaria*.

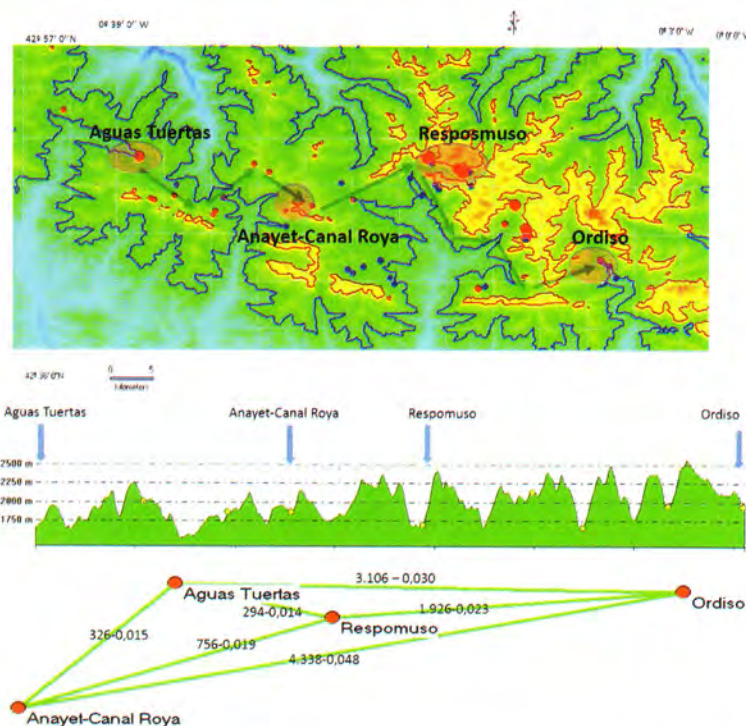
El pulso, la unidad temporal básica de una manifestación sonora (y que puede coincidir con silencios) constituye la característica más importante que permite la comunicación acústica para atraer a sus compañeras, anunciar la propiedad de su territorio o para comunicarse con otros individuos de su especie.

Los elementos son las unidades discretas más simples que componen un canto animal y pueden ser tonos puros, modulados, trinos, armónicos, etc.. Las sílabas son una serie de elementos que ocurren juntas con un patrón particular y frases son un conjunto de sílabas. En el caso que nos ocupa podríamos en un principio considerar que en el canto de las hembras de *Rana temporaria* (cluster de Aragón) se pueden diferenciar cuatro elementos (armónicos) definidos anteriormente (A, B, C y D). Hay autores (2007, Peter et al.) que consideran que la repetición de los pulsos, frecuente en el canto, es muy adecuada para transmitir la identidad de la señal y que las ranas pueden desarrollar dialectos locales modificando la amplitud y/o el tiempo de los elementos.

En este estudio no hemos indagado aún la posibilidad de encontrar sílabas o frases, pero si hemos podido diferenciar "dialectos" locales mediante el estudio global de la repetición de los cuatro elementos anteriormente definidos, clasificando las localidades mediante el estudio de la repetición de los elementos que integran el canto de los individuos



**Figura 3.** A la derecha se representan las funciones discriminantes canónicas utilizando como variables los parámetros mejor correlacionados con cada uno de los 6 primeros componentes principales de los 33 parámetros acústicos estudiados y como valores de agrupación cuatro bandas de tono "notas" (A, B, C y D) que se repiten y componen los cantos de las hembras. Los estadísticos correspondientes son: Lambda de Wilks de 0,043 y significación del 100%. A la izquierda se representan las variables mejor correlacionadas con las funciones discriminantes que caracterizan las distintas "notas", valores de agrupación identificados por el tiempo para la función 1 y la energía entre el 10% y el 50% del pico de amplitud para la función 2, cuya distribución en el canto personaliza las subpoblaciones altoaragonesas de *Rana temporaria* hembra.



**Figura 4.** En la parte superior representamos un mapa de altitudes del Alto Aragón occidental y la vertiente francesa (al norte) en el que se indican con círculos los lagos muestreados: en los círculos rojos se confirmó la presencia de ranas. Se rotulan las cuatro localidades en las que se muestreó el canto y se obtuvo material para el posterior análisis genético. En azul se representan las cotas de 1.600 m de altitud y en rojo las de 2.400 m definiendo ambas el hábitat de la *Rana temporaria* en el Pirineo occidental. Con flechas negras especulamos las posibles comunicaciones entre las poblaciones de ranas estudiadas cuyo perfil representamos en la parte media de la figura. En la parte inferior exponemos mediante un grafo los vectores y los valores de las distancias considerando el canto (primer término) y las distancias genéticas (segundo término), al comparar ambas matrices de distancias hemos obtenido una regresión lineal con valores de R cuadrado = 0,936 y sig. = 0,002.

pertenecientes a ellas. Mediante el estadístico para la detección de conglomerados jerárquicos obtenemos una matriz de distancias euclídeas cuyos valores trasladamos a un grafo y comparamos con un GIS del área de muestreo (Figura 4).

En el mapa de altitudes obtenido indicamos con puntos (puntos) los lagos muestreados marcando en rojo la presencia de ranas y en azul la ausencia. Cuatro grandes ellipses grises marcan las localidades comparadas. En azul se representan las cotas de 1.600 m de altitud y en rojo las de 1.400 m definiendo ambas el hábitat de la *Rana temporaria* en el Pirineo occidental. Con flechas negras especulamos las posibles comunicaciones entre las poblaciones de ranas, teniendo en cuenta los límites de altitud superior e inferior.

Las distancias entre cantos nos indican las distancias reales que tendrían que recorrer las ranas de una población (Respomuso por ejemplo) para ponerse en contacto con otra (Ordiso) y esta característica puede definirnos las barreras geográficas naturales y artificiales o las barreras ecológicas que pueden aislar excesivamente a núcleos enteros de ranas y llevarlos a la posible extinción.

Al comparar la matriz de distancias referentes a los cantos con la matriz de distancias genéticas calculada anteriormente por nuestro equipo (2002.- Veith et al.) con los mismos ejemplares utilizados para el canto, vemos que existe una correlación lineal con valores altamente significativos ( $R^2 = 0.936$  y  $\text{sig.} = 0.002$ ). Podemos concluir que los cantos inducidos en las hembras de *Rana temporaria* del Alto Aragón occidental caracterizan las poblaciones de estos anfibios de la misma forma que lo hacen los análisis genéticos. No es la primera vez que se confirma esta relación ya que Nelson et al. (2013) observó una relación entre grupos filogenéticos y grupos bioacústicos en *Pleurodema thaul* (sapo arriero de Chile).

Con este método no invasivo, económico y rápido podemos ayudar a entender y a arbitrar soluciones para parar el descenso progresivo de la abundancia de éste anfibio. Por otro lado, el descifrar el lenguaje de la *Rana temporaria* del Pirineo podría suponer la "Piedra Rosetta" para poder interpretar la comunicación entre los tetrápodos.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1995.- Palanca Soler, A., Rodríguez Vieites, D. & Suárez Martínez, M.: Contribución al estudio anatómico del género *Rana* L., 1758 en el alto Aragón. *Lucas Mallada*, 7: 227-247.  
1998.- Bradbury, J. W., S. L. Vehrencamp.: *Principles of Animal Communication*. Sinauer Associates, Inc. Massachusetts, U. S. A.  
1998.- Vences, M., Palanca Soler, A., Rodríguez Vieites, D. & Nieto Roman, S.: Designation and

description of a lectotype of *Rana aragonensis* Palanca Soler et al., 1995 (Anura: Ranidae). *Herpetozoa*, 10: 129-134.

1998.- Pough, F.H., R. M. Andrews, J. E. Cadle, M. L. Crump, A. H. Savitzky, K. D. Well.: *Herpetology*. Prentice Hall. New Jersey.

1999.- Emerson SB, Boyd SK.-Mating vocalizations of female frogs: Control and evolutionary mechanisms. *Brain Behav Evol* 53:187-197.

2001.- Botsford, L.W., Hastings, A., Gaines, S.D., : Dependence of sustainability on the configuration of marine reserves and larval dispersal distances. *Ecol. Letters.*, 4:144:150.

2001.- Narins PM, Lewis ER, Purgue AP, Bishop PJ, Minter LR, Lawson DP.: Functional consequences of a novel middle ear adaptation in the West African frog *Petrophedetes parkeri* (Ranidae). *J Exp Biol* 204:1223-1232.

2002.- J. González, T. Cervera, J. L. Miralles: Análisis acústico de la voz: fiabilidad de un conjunto de parámetros multidimensionales. *Acta Otorrinolaringol Esp.* 53: 256-268

2002.- Veith, M., Vences, M., Vieites, D. R., Nieto-Roman, S. and Palanca Soler, A.: Genetic differentiation and population structure within Spanish common frogs (*Rana temporaria* complex; Ranidae, Amphibia). *Folia Zoologica*. 51(4): 307-318.

2003 - 2007.- Gridi-Papp, M (ed.): SoundRuler: Acoustic Analysis for Research and Teaching. <http://soundruler.sourceforge.net>.

2003.- Vences, M., Kurt grossenbacher, Marta Puente, Antonio Palanca y Vieites, D.R.: The Cambalès fairy tale: elevational limits of an other amphibians in western Europe revisited. *Folia Zoologica* 52(2); 189-2002.

2004.- Kelley DB: Vocal communication in frogs. *Curr Opin Neurobiol* 14:751-757

2004.- Narins PM, Feng AS, Lin W, Schnitzler HU, Denzinger A, Suthers RA, Xu CH.: Old world frog and bird vocalizations contain prominent ultrasonic harmonics. *J Acoust Soc Am* 115:910-913.

2004.- Vieites, D.R., Sandra-Nieto Roman, Barluenga, M., Palanca-Soler, A., Vences, M., & Axel Meyer, A.: Post-mating clutch piracy in an amphibian. *Nature* 431: 305-308.

2007.- Peter M. Narins, Albert S. Feng, Richard R. Fay Arthur N. Popper Edit.: *Hearing and Sound Communication in Amphibians*. Springer Science+Business Media, LLC. 376pp.

2009.- Cowen, R.K., Sponaugle, S.: Larval dispersal and marine population connectivity. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 1: 443-466.

2013.- Nelson A. Velásquez, Jesus Marambio, Enzo Brunetti, Marco A. Méndez, Rodrigo A. Vásquez and Mario Penna: Bioacoustic and genetic divergence in a frog with a wide geographical distribution. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2013, 110, 142-155.



# INVESTIGACION

CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGIA

VOLUMEN 6  
Nº 12  
2014

MEDICINA FISICA.FARMACOLOGIA.BIOLOGIA.PSIQUIATRIA.BIOLOGIAMARINA.EMPRESA.DERECHO ECONOMIA.BELLASARTES