

# Protocolo de estudio acústico del mochuelo boreal (*Aegolius funereus*)

Autores: David Guixé y Xavier Florensa  
Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña  
2020



## 1. Introducción

Los animales producen sonidos. Aves, anfibios, invertebrados o mamíferos cantan, gritan, etc. Es posible utilizar estas señales para detectar animales en lugares remotos, para identificar qué especies están presentes o para trabajar en sus estimaciones de etología o población. Cada especie de ave produce sonidos bastante específicos y se pueden grabar fácilmente utilizando sistemas de grabación automatizados o controlados manualmente.

La grabación de vocalizaciones se ha utilizado para controlar varias especies de aves, como el avetoro (Gilbert *et al.*, 2002), el guión de codornices (Peake & McGregor, 2001), el chotacabras europeo (Zwart *et al.*, 2014), la alondra ricotí y el abejaruco (Pérez-Granados *et al.*, 2019) o el urogallo (Abrahams & Denny, 2018; Abrahams, 2019). La grabación sonora desatendida es especialmente aplicable en situaciones donde las poblaciones son remotas, sensibles a las perturbaciones o la especie es críptica, ya que se pueden instalar grabadoras en el campo durante largos períodos de tiempo con molestias mínimas sobre la especie objetivo.

Se están elaborando protocolos estandarizados para el uso de la bioacústica en varias regiones, como Inglaterra (ver Abrahams, 2018). En el marco de Interreg HABIOS, que tiene como objetivo mejorar el conocimiento de especies forestales y/o bioindicadoras amenazadas, y en base a la acción en particular del uso de nuevas tecnologías para el estudio de la fauna en los Pirineos, se han realizado seguimientos y estimaciones de varias especies con falta de información actual. Estas nuevas metodologías de estudio pueden ser complementarias a otros métodos más tradicionales e incluso decisivas para conocer el estado de la población y/o la distribución de algunas especies. En este fin, se han seleccionado especies que se ya se habían monitoreado anteriormente con estaciones de escucha y mucho esfuerzo sobre el terreno. Hay que destacar en esta labor la colaboración del Grupo de estudio de la Naturaleza del Solsonés (GNS) que en el marco del proyecto Biosol realiza un seguimiento participativo de la biodiversidad desde hace años (Guixé *et al.* 2019).

El estudio de la bioacústica es un buen sistema de monitoreo durante el período de celo especialmente. Se pueden hacer grabaciones de largos períodos de tiempo, se tiene la capacidad para reproducir los sonidos y replicar análisis, disponibilidad de archivos de audio post-estudio, capacidad de estandarizar el análisis, reducción del sesgo del observador, disminución de molestias en la vida silvestre, posibilidad de compartir esos archivos con otros investigadores, eliminación de laboriosas estaciones de escucha durante la noche, etc... Son algunas de las ventajas de utilizar grabadoras automáticas para el estudio de fauna.

Estudios y experiencias como el seguimiento de la actividad de urogallo en cantaderos (Abrahams, 2019; Guixé *et al.*, 2020) o las contribuciones de la grabación autónoma para la detección del canto del mochuelo boreal de la *Office National des Forêts* (ONF) muestran la eficacia de estos equipos de grabación acústica en el estudio de especies de difícil seguimiento y detección.

Desde el Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña (CTFC), se está creando un grupo de trabajo especializado en el campo de la bioacústica para censar especies raras y esquivas y para analizar paisajes sonoros. Se ha trabajado ambientes diversos como en las zonas agrícolas estudiando la alondra ricotí (*Chersophilus duponti*) o el abejaruco (*Merops apiaster*) y en ambientes forestales realizando estudios acústicos de urogallo (*Tetrao urogallo*), becada (*Scolopax rusticola*) y mochuelo boreal (*Aegolius funereus*), o en zonas de alta montaña con la perdiz pardilla (*Perdix perdix*) y perdiz roja (*Alectoris rufa*).

## 2. Test de eficiencia

Se ha querido probar la eficiencia de la metodología para evaluar el método. Con el fin de determinar las distancias óptimas y las distancias límite en las que diferentes tipos de grabadoras son capaces de detectar los reclamos del mochuelo boreal, se ha llevado a cabo un estudio con individuos en cautiverio. Estos individuos están cerca del pueblo de Son, en la comarca del Pallars Sobirà (Cataluña).

### 2.1 Tipos de grabadoras

Para el estudio acústico del mochuelo boreal con grabadoras automáticas, se han utilizado 3 tipos diferentes de grabadoras.

- SM3 – *Wildlife Acoustics*
- *Audiomoth - Open Acoustic Device*
- Recotí – grabadoras prototipo CTFC

Los dispositivos SM3 desarrollados por *WildlifeAcoustics* son grabadoras de sonido capaces de ser programadas para grabar animales en espectro completo a 16 bits *Full Spectrum* en horas y rangos de frecuencia específicos. *AudioMoth* es un registrador acústico de espectro completo de bajo costo basado en la gama de procesadores *Gecko* de *Silicon Labs*. Al igual que su denominación de polilla, *AudioMoth* se puede escuchar en frecuencias audibles, hasta frecuencias ultrasónicas. Es capaz de grabar audio sin comprimir en la tarjeta microSD a ritmos de 8.000 a 384.000 muestras por segundo. El modelo Recotí es un prototipo desarrollado en el CTFC que está equipado con una batería de larga duración que entra en funcionamiento a través de un programador automático para grabar sonidos del espectro audible generando archivos en formato mp3.

## 2.2 Instalación y programación

Se instalaron grabadoras automáticas a diferentes distancias de las jaulas donde estaban los mochuelos confinados (Figura 1). De esta forma se puede ver si un mismo sonido es detectado por grabadoras ubicadas a diferentes distancias.

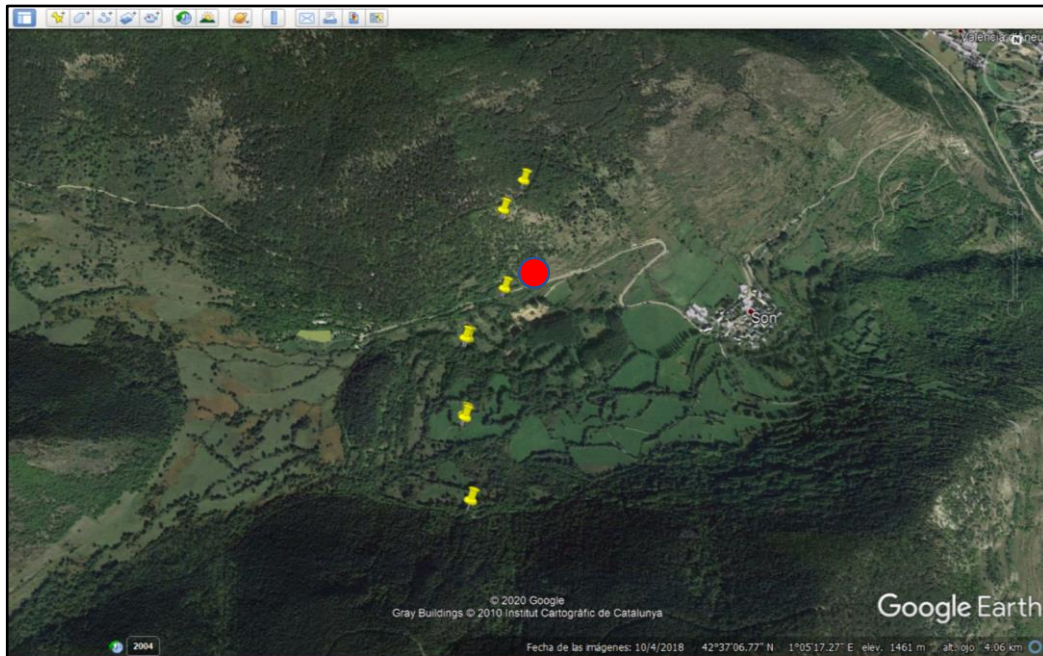


Figura 1: Mapa de la ubicación de las jaulas de los mochuelos (rojo) y ubicación de las grabadoras (amarillo).

La altura media en la que se encuentran las jaulas es 1.510 m. Se instalaron las grabadoras intentando mantener la cota de nivel, ya que el sonido tiende a subir. Se ubicó un Audiomoth a 50 metros (cota 1.504 m) de las jaulas donde se hallan los mochuelos para asegurar captar todos sus cantos, y a partir de esta grabadora, poder cuantificar la pérdida de sonido de la resta de dispositivos. Se instalaron 2 grupos con los tres tipos de grabadora, el primero a 230 metros en la parte delantera de las jaulas (cota 1.480 m) y el segundo a 470 metros (cota 1.460m). También se probó a mucha distancia, a 720m (cota 1.500m) y detrás de las jaulas a 203m (cota 1.560m) y el último a 304m (cota 1.660m) (Figura 2).

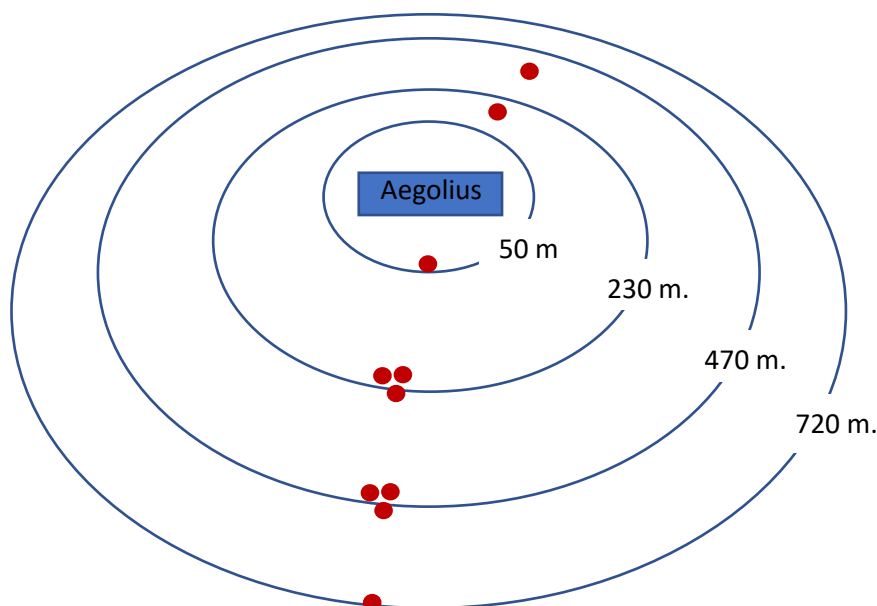


Figura 2: Esquema ubicación de las grabadoras en el campo.

En cuanto a la programación de las grabadoras, puesto que tenían que estar a campo pocos días (5 noches efectivas de grabación), se programaron para que pudieran trabajar cuanto más tiempo mejor en términos de batería y capacidad de las tarjetas SD. La programación se detalla en la Tabla 1. El Audiomoth y el SM3 generaron 1 archivo cada hora i las Recotí 1 archivo al día.

	Hora inicio	Hora final	Horas/noche
SM3	19:40	08:40	13
Audiomoth	20:00	08:00	12
Recoti	18:30	04:30	10

Tabla 1: Programación y horas efectivas de grabación de las grabadoras.

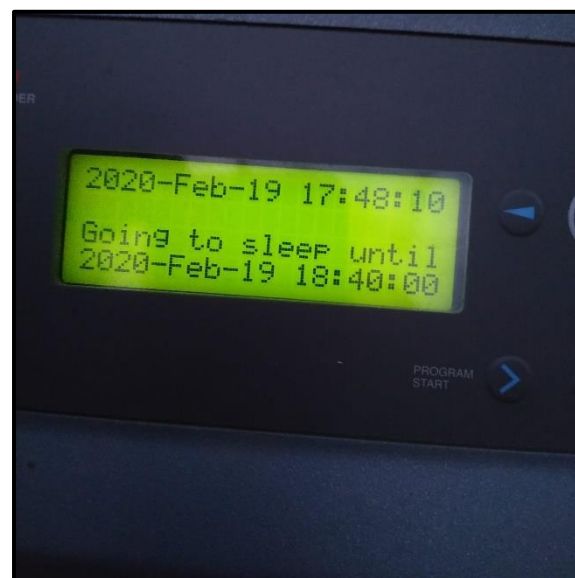
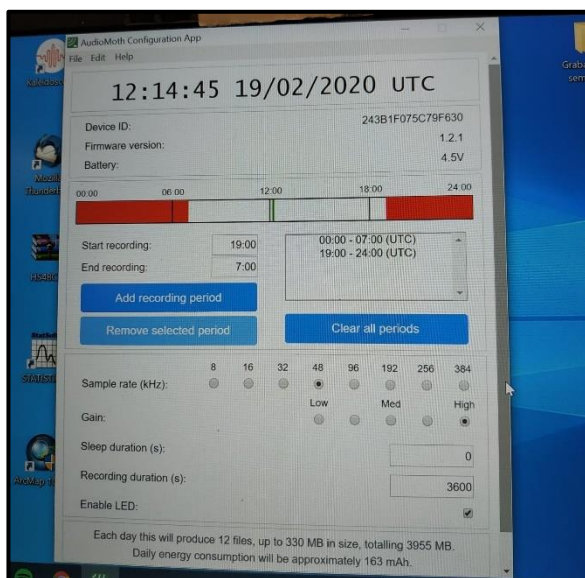


Figura 3: Detalle programación grabadoras. A la izquierda Audiomoth y a la derecha SM3.

Cabe señalar que los horarios de cada grabadora difieren entre ellos. En Audiomoth, la programación se realiza en hora solar, por lo tanto, para pasarlo a tiempo real hay que añadir 1h en invierno y 2h en verano. Las grabadoras Recotí del CTFC coinciden con la hora real, es decir, no es necesario sumar o restar horas. Por último, el SM3, tiene la opción de configurar la hora dependiendo de la zona horaria de cada país, por lo tanto, si se programa debidamente quedan en tiempo real.

### 2.3 Análisis acústico

Para el análisis de los sonidos, se utiliza el *software* Kaleidoscope de *Wildlife Acoustics*. Se han creado dos reconocedores diferentes para comparar diferencias. Los parámetros utilizados tanto para crear los reconocedores como para analizar los sonidos son:

Fq (Hz): 250-2700	Max. distance from cluster center to include outputs in cluster.csv: 1
Lenght (s): 0.1-3	FFT Window 5.33 ms
Inter-syllable gap (s): 0.1	Max states: 12
	Max distance to cluster center for building clusters: .5
	Max clusters: 500

Antes de crear el reconocedor se debe caracterizar el canto que se quiere estudiar (Figura 4). En el caso del mochuelo es un tipo de canto enérgico i repetitivo. Tiene una frecuencia mínima media de 665 Hz i máxima media de 1.200 Hz. La longitud media de la serie de canto es de 1,16 s, i el espacio medio entre “sílabas” dentro una misma serie de canto es de 0,0652 s.

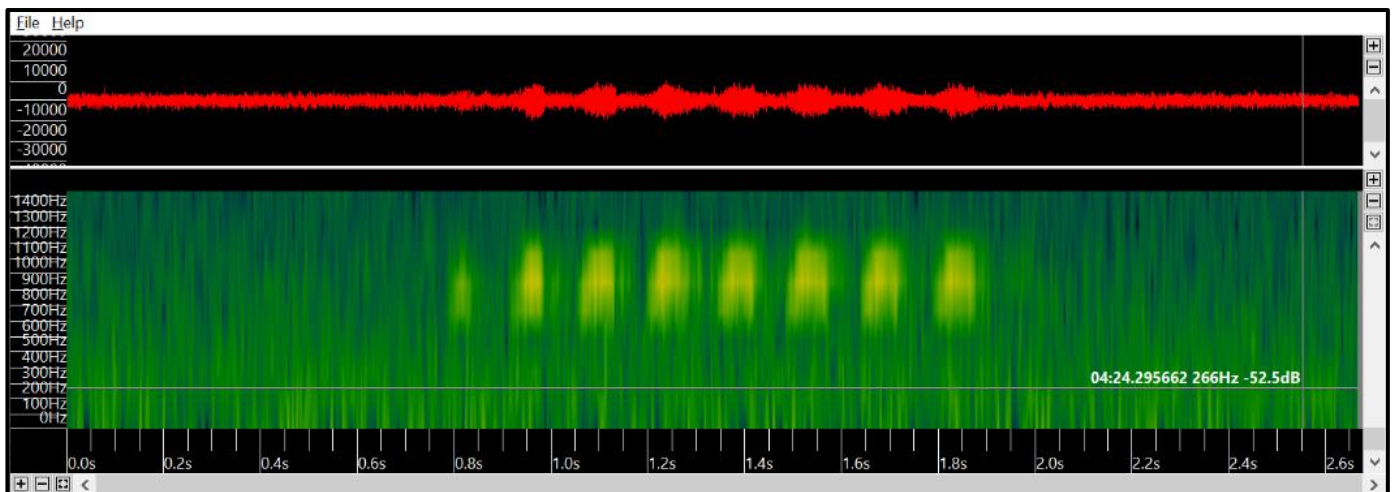


Figura 4: Sonograma de un canto de mochuelo boreal representado en Kaleidoscope.

Para crear el reconocedor específico se han utilizado 60 archivos (18.6 Gb), de los cuales el software identifica 4.699 vocalizaciones agrupadas en 54 clústeres. Posteriormente, de forma manual se etiquetan 322 vocalizaciones como ejemplos de canto del mochuelo a modo de entrenamiento para el software.

Al mismo tiempo, se han escuchado horas específicas de diferentes grabadoras y se han identificado manualmente para probar los reconocedores. Se ha buscado el día y la hora con más contactos de mochuelo para poder buscar de forma manual en la misma sección de las otras grabadoras donde el software ha determinado que no hay contactos de mochuelo.

## 2.4 Metodología

Lo primero es fijar bien las grabadoras en el tronco de los árboles. Se recomienda utilizar cable de seguridad para evitar ser sustraídas en el caso de las SM3, y con bridas de plástico en las Audiomoth y las Recotí (Figura 5). Mejor instalarlas altas ya que el sonido siempre sube, pero es difícil acarrear con una escalera en este tipo de ambientes nevados y se propone una altura media de unos 2 - 2,5 metros del suelo, mirando vertiente abajo e intentando evitar obstáculos físicos que puedan interferir el sonido.

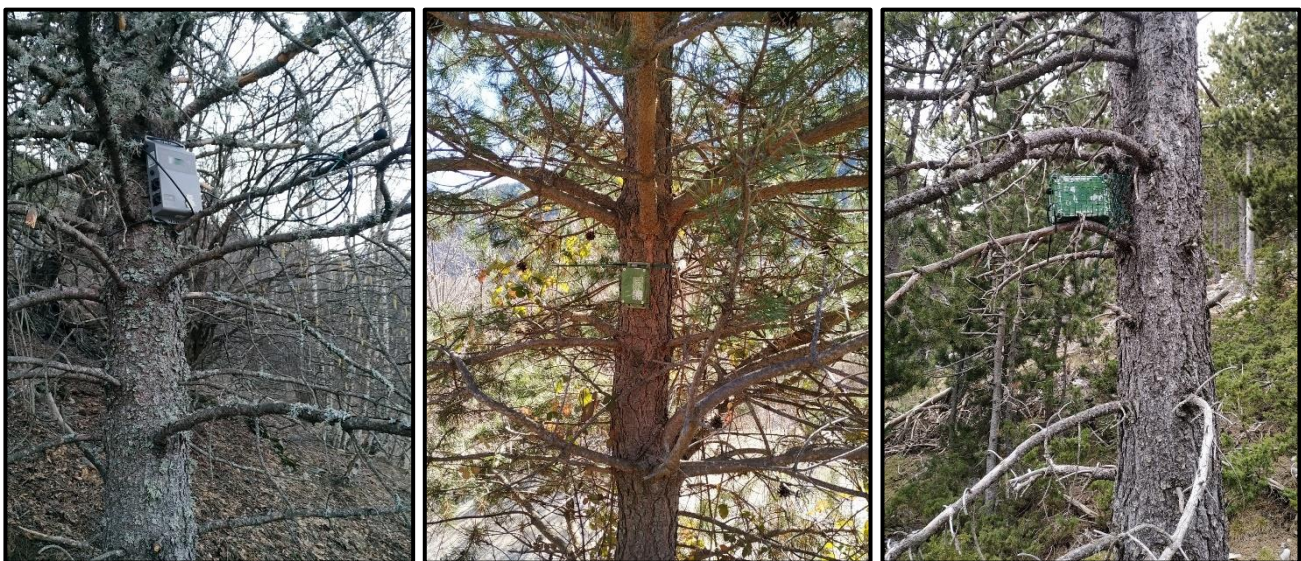


Figura 5: Diferentes modelos de grabadoras instaladas. De izquierda a derecha: SM3, Audiomoth y Recoti. Foto: X. Florensa

El espacio entre las grabadoras difiere entre los muestreos realizados en los años 2019 y 2020. El primer año se dejó una distancia mínima de unos 500m entre las grabadoras. En cambio, el segundo año de muestreo se dejó la mitad, 250m. En el mapa de distribución de grabadoras de 2019 (Figura 6), se ha definido el Buffer de 500m (distancia predictiva máxima cubierta). La separación de las grabadoras en 2020 es menor a fin de poder cubrir la práctica totalidad del área potencial para el mochuelo boreal (Figura 7).



Figura 6: Distribución de las grabadoras de 2019.



Figura 7: Distribución de parte de las grabadoras de 2020.

En el muestreo de 2019, se instalaron un total de 31 puntos de grabación (13 Recotí-CTFC, 14 Audiomoth y 2 SM3) en la sierra del Port del Compte y la Sierra del Verd-Urdiet, programadas para grabar de 19:30 a 21:30h y de 21:35 a 23:35h (2 archivos al día de 2h) y estuvieron en campo 18 días (del 08/03/19 a 21/03/19). En el muestreo de 2020, se repitió solo el área más meridional del Port del Compte reduciendo el espacio entre las grabadoras. Se instaló un total de 26 puntos de grabación (9 Recotí-CTFC, 15 Audiomoth y 2 SM3), programadas para grabar de 17:30 a 21:30h las Recotí y las Audiomoth y de 19:30 a 7:30h las SM3.

### 3. Resultados

#### 3.1 Comparativa de reconocedores

Habiendo analizado las mismas grabadoras con 2 reconocedores diferentes vemos que los resultados obtenidos con el "reconocedor\_2019" tienden a ofrecer más falsos positivos al mismo tiempo que incluye otras especies que no son mochuelo boreal con respecto a "reconocedor\_2020" (Figura 8). Este último parece ser más excluyente y tiende a detectar más exclusivamente al mochuelo boreal, evitando así falsos positivos de ruidos o de otras especies.

Hay que decir, que el "reconocedor\_2020" ha sido creado con cantos grabados directamente de mochuelos boreales en las Planes de Son, y por lo tanto, a priori es más fino en la detección, ya que ha sido "entrenado" con los mismos archivos que tiene que reconocer.

Cabe decir que si bien es cierto que un reconocedor puede dar algún positivo en una hora específica que otro reconocedor no detecta y viceversa, es porqué el software fragmenta un mismo canto en varios trozos, obteniendo así un mayor número de contactos cuando realmente es sólo uno.

Hay que añadir que vemos interesante, para estudios de competencia con otras especies, pasar reconocedores específicos como por ejemplo de cárabo, y ver así su presencia y cuantificar la abundancia y poder analizar la competencia que puede hacer sobre el mochuelo boreal.

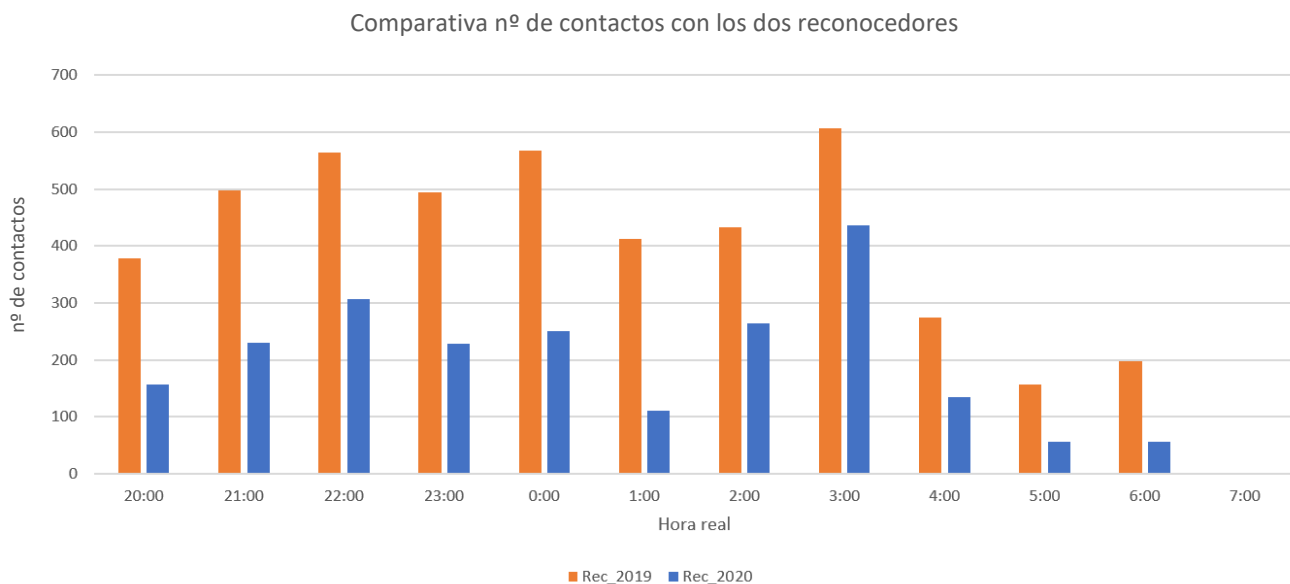


Figura 8: Comparativa del número total de contactos de mochuelo detectados en todo el período grabado con los dos reconocedores. Se muestran la suma de los falsos positivos y los comprobados manualmente.



### 3.2 Efectividad del programa Kaleidoscope

Con el fin de comprobar si el análisis automatizado del software da muchos falsos negativos, se ha realizado un análisis manual de secciones específicas de las grabaciones.

Se ha buscado el día y la hora con más contactos de mochuelo para poder buscar de forma manual en esta sección concreta de otras grabadoras donde el software ha determinado que no hay mochuelo.

Después de haber hecho esta revisión manual, vemos que el software ha sido incapaz de detectar ningún canto de mochuelo a una distancia de 230m de las grabadoras situadas delante de las jaulas y en buena dirección del sonido. Sin embargo, con la revisión manual hemos visto que las grabadoras han sido capaces de grabar algún canto. En la sección concreta analizada manualmente, también se ha encontrado, aunque muy débil y puntual, algunos cantos aislados de mochuelo en la grabadora situada a 203m por detrás de las jaulas que no se han detectado con el software.

Creemos que si las condiciones ambientales son óptimas (sin viento, poca orografía, sin obstáculos entre el mochuelo y el micrófono y la dirección de proyección del canto) podría ser plausible que el software pudiera detectar cantos a las distancias donde se han encontrado manualmente pero que han pasado por alto al software al tener demasiado ruido o baja calidad del sonido.

Por lo tanto, se considera que una distancia adecuada para trabajar con este programa automático y obtener positivos fiables en campo sería de alrededor de unos 250m siguiendo vertiente en la dirección del sonido y unos 100-150 m en la dirección opuesta al sonido.

### 3.3 Picos de actividad

Se ha realizado un recuento del número total de contactos de mochuelo registrados por hora durante las 5 noches efectivas de grabaciones. Aunque no hay una tendencia muy marcada, se han visto dos picos donde los mochuelos tienen una mayor actividad (Figura 9). A lo largo de las primeras 4 horas de la noche (21:00h – 00:00h) y alrededor de las 03:00h de la noche son las horas en que se han grabado más cantos de mochuelo. Con los datos de 2019 (Figura 10), aunque el número de horas registradas por noche es menor (19:30-23:30h), se puede ver que la mayoría de los contactos de mochuelo han sido entre las 20:00 y las 21:00, coincidiendo así que un pico de actividad sea la primera hora de la noche, como ya es sabido y estudiado.

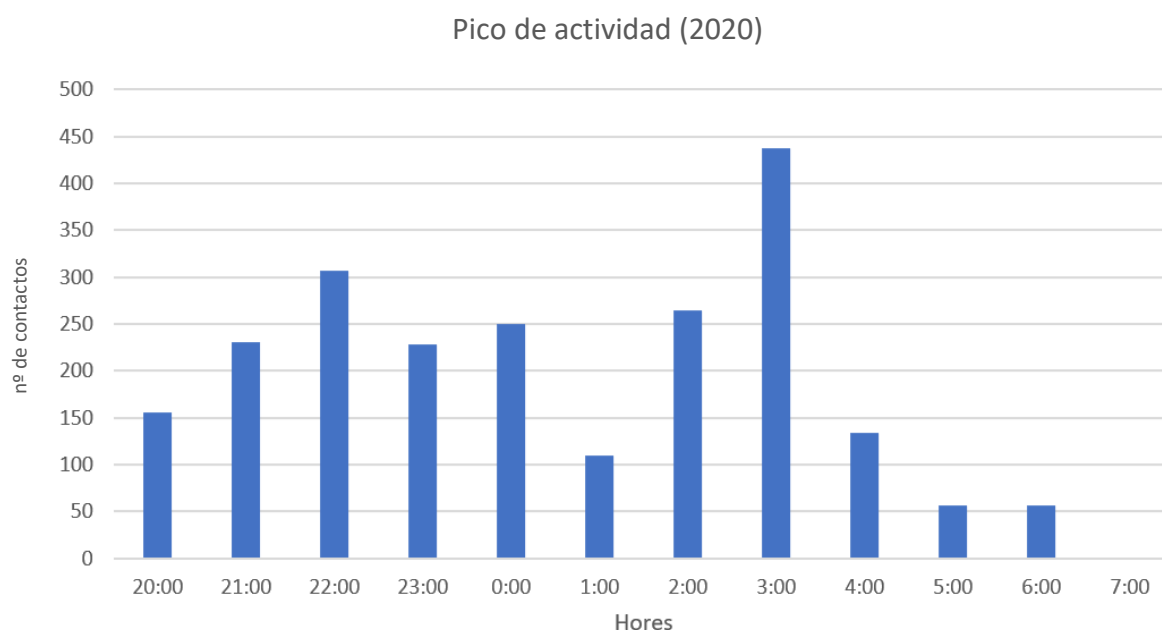


Figura 9: Representación del número de contactos totales de mochuelo boreal en las horas grabadas (2020).

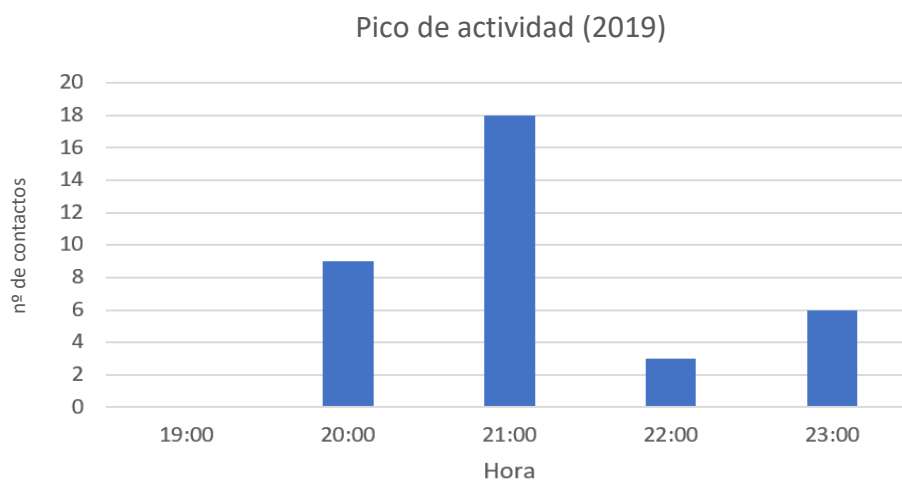


Figura 11: Representación del número de contactos totales de mochuelo boreal en las horas grabadas (2019).

### 3.4 Rango de las grabadoras

El rango en el que las grabadoras pueden grabar un canto de mochuelo está determinado por varios factores tales como: orientación, ruido ambiental, obstáculos físicos, etc..

Se ha visto que las grabadoras situadas a 230m, que el sonido es algo sucio ya que graba ruido de un río, ha grabado un canto de mochuelo muy débil. Por lo tanto, podemos decir que las grabadoras son capaces de grabar cantos de mochuelo a esta distancia siempre y cuánto las condiciones de grabación sean buenas. A 450m no se ha detectado ningún canto, por lo que no llega a grabarse el sonido con esta especie y las condiciones dadas.

También se ha grabado mochuelo boreal de forma débil en la grabadora situada a 203m por detrás de las jaulas.

En cuanto al 2019, de las 31 grabadoras que se instalaron se obtuvo contacto con mochuelo en 2 de ellas. La grabación de los cantos se produjo en los mismos días, pero con una diferencia de 20 minutos el día 08/03/19 y 57 minutos el 20/03/19 entre ambas grabadoras. En las horas de grabación del mochuelo (Tabla 2), hay suficiente diferencia porque el mochuelo cante en la zona 1 y se desplace a la zona 2. Las grabadoras estaban a 745m entre ellas, teniendo en cuenta que hemos comprobado que el rango de las grabadoras es de unos 250m, se considera el mismo territorio de mochuelo.

	Fecha	Hora
SM3_1	08/03/2020	20:53
SM3_1	20/03/2020	21:49
SM3_2	08/03/2020	20:33
SM3_2	20/03/2020	22:47

Tabla 2: Relación de días y horas de los contactos de mochuelo boreal del 2019.

Hay que añadir que en el año 2019 se muestrearon zonas con pocas grabadoras y/o muy espaciadas como la “Serra del Verd” o la “Obaga de l’Arp” que tiene buena estructura para el mochuelo boreal. El no hallar ningún contacto de mochuelo en estas localidades puede ser debido a que el área de influencia de las grabadoras no fuese suficiente, por lo tanto, sería necesario repetir el muestreo en algunos rodales, pero se puede afirmar que como mínimo la población de mochuelo es muy baja o casi nula en esa zona, si se tiene en cuenta la distancia que se pueden mover y cantar en diferentes puntos de su territorio y por tanto en casi 3 semanas de grabaciones la probabilidades de acercarse un mochuelo cerca de una grabadora eran altas y no se dio el caso.

#### 4. Conclusiones

Según nuestra experiencia es aconsejable poner las grabadoras a un máximo de 250-300m de la zona potencial de mochuelo. Si es posible enfocar cuesta abajo para ganar el sonido que tiende a subir, y a menos de 100m de zona potencialmente buena para la especie por detrás de las grabadoras. A distancias mayores que las recomendadas, el sonido puede llegar a la grabadora, pero es posible que el reconocedor automático no lo reconozca bien. Se ha comprobado que a 450 m ningún modelo de grabadoras graba el canto y por lo tanto 400m sería la distancia máxima recomendable de hábitat potencialmente bueno a cubrir entre grabadoras.

Evitar grabar ruidos ambientales (ríos, coches, personas, maquinaria, puntos altos o crestas donde el viento sopla con frecuencia, etc.). Es necesario buscar grabaciones lo más limpias posible, ya que la frecuencia de canto del mochuelo es bastante baja y a menudo comparte rango de frecuencia con estos ruidos.

El número de horas/noche a grabar puede variar dependiendo de la disponibilidad de la batería y el espacio de almacenamiento en la tarjeta de memoria, pero debe asegurarse de grabar media hora antes de la puesta del sol y hacer grabaciones de aproximadamente 5h/noche durante al menos 15-20 días. Con este esfuerzo, y si se muestrea en período de celo, debe ser suficiente para asegurar la presencia del mochuelo boreal.

Si se hace un muestreo simultáneo con varias grabadoras en la misma zona es importante sincronizar los dispositivos, por si es grabado un mochuelo en dos grabadoras diferentes saber si es un mismo individuo o varios. Se puede sincronizar en primer lugar en el momento de programar los dispositivos, pero también se puede hacer un sonido fácilmente reconocible y lo suficientemente fuerte para que la graben las diferentes grabadoras (o hacer el sonido antes de instalar los dispositivos en caso de que ya estén grabando).

Al crear un reconocedor en *Kaleidoscope* utilizar sólo los fragmentos de grabación más limpios. Omitir cualquier fragmento donde hay otros sonidos de fondo además de mochuelo. Etiquetar manualmente en el software cuantas más vocalizaciones mejor de los mejores *clústeres*.

Transmitir que el CTFC se está especializando en crear reconocedores y poder hacer análisis de especies raras o difíciles de censar en campo. Tiene una batería de equipos de grabación y experiencia. Por ello ofrece sus servicios a proyectos o estudios de bioacústica.

## 5. Agradecimientos

Alejandra Morán, Gerard Bota, Pepe y Jordi Guillén, Noel Caparrós, Grupo de Naturaleza del Solsonés (GNS), Jorge Leiva y todas aquellas personas que de forma voluntaria y desinteresada colaboró en las actividades del GNS ayudando a instalar grabadoras.

## 6. Bibliografía

Abrahams C (2018) Bird Bioacoustic surveys - Developing a Standard Protocol. *Data and Information Management*, 78–88.

Abrahams C (2019) Comparison between lek counts and bioacoustic recording for monitoring Western Capercaillie (*Tetrao urogallus* L.). *Journal of Ornithology*, 160, 685–697.

Abrahams C, Denny MJH (2018) A first test of unattended, acoustic recorders for monitoring Capercaillie *Tetrao urogallus* lekking activity. *Bird Study*, 65, 197–207.

Gilbert G, Tyler GA, Smith KW (2002) Local annual survival of booming male Great Bittern *Botaurus stellaris* in Britain, in the period 1990-1999. *Ibis*, 144, 51–61.

Guixé, D. Sort, F., Fontelles, F., Morales M., Rocaspana, R., Brotons, L. 2019. Xarxa de seguiment de la biodiversitat del Solsonès (BIOSOL). *Una eina participativa d'estudi i conservació al territori. Oppidum: revista cultural del Solsonès, ISSN 1577-5453, N.º 16, 2018, pàgs. 102-133*

Guixé D (2020) Camera trapping as an effective method for the monitoring of Capercaillie *Tetrao urogallus* populations.

Peake TM, McGregor PK (2001) Corncrake *Crex crex* census estimates: a conservation application of vocal individuality. *Animal Biodiversity and Conservation*, 81–90.

Pérez-Granados C, Bota G, Giralt D, Barrero A, Gómez-Catasús J, Bustillo-De La Rosa D, Traba J (2019) Vocal activity rate index: a useful method to infer terrestrial bird abundance with acoustic monitoring. *Ibis*, 161, 901–907.

Zwart MC, Baker A, McGowan PJK, Whittingham MJ (2014) The Use of Automated Bioacoustic Recorders to Replace Human Wildlife Surveys: An Example Using Nightjars (ed Willis SG). *PLoS ONE*, 9, e102770.