

# Uso del Procesamiento Digital de Señales para la Detección de Caza Furtiva en las Selvas de Misiones

Sergio Moya , Javier Kolodziej

<sup>a</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>b</sup>GID-IE, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

CONICET

sergiomoya@fio.unam.edu.ar, koloj@fio.unam.edu.ar

---

## Resumen

Una de las líneas de investigación actuales del Departamento de Electrónica de la Facultad de Ingeniería implica el desarrollo de tecnología para la protección medioambiental. Teniendo en cuenta que la caza furtiva es una actividad ilegal que pone en peligro la subsistencia de especies de fauna sensibles de la provincia de Misiones y el mundo, en este trabajo se presenta un algoritmo capaz de detectar de manera automática disparos provenientes de armas de fuego en archivos de audio grabados en la selva. Los resultados están basados en trabajos previos realizados por alumnos de finalización de carrera en Ingeniería Electrónica, y en grabaciones de audio realizadas en las selvas de Misiones. En base al análisis frecuencial de la emisión sonora de disparos de distintos tipos de armas de fuego, el algoritmo propuesto realiza un filtrado de la señal, una amplificación de impulsos y, finalmente, mediante una etapa de umbralización adaptativa, se identifican segmentos de audios compatibles con disparos. Los resultados obtenidos en base a más de 10 horas de grabaciones reales muestran que el uso del algoritmo propuesto permite analizar gran cantidad de información de manera rápida y que es posible detectar eventos de caza furtiva a distancias próximas a un kilómetro para algunos calibres de arma.

**Palabras Clave** – Caza Furtiva, Medioambiente, Procesamiento de Señales.

## 1. Introducción

La provincia de Misiones posee la mayor biodiversidad de todo el país, albergando 14 especies de animales declaradas Monumento Naturales de Fauna y 10 especies de árboles declaradas Monumento Natural de Flora por el Ministerio de Ecología y Recursos Renovables de la provincia de Misiones [1]. Esto es debido a que su superficie geográfica se encuentra cubierta mayormente por Selva Paranaense [2], una de las ecorregiones de mayor diversidad biológica del mundo. Muchas de las especies que alberga la selva de Misiones están catalogadas en peligro crítico de extinción [3], y una de las principales causas de su disminución poblacional es la caza furtiva. En particular, el Yaguareté (*Phantera onca*) es una de las especies emblemáticas y mayormente amenazadas de la provincia y de toda Argentina. Haciendo frente a la situación actual del yaguareté en Misiones, en el año 2011 se redactó el Plan de Acción para la Conservación de la Población de Yaguareté del Corredor Verde de Misiones [4] en donde se cita como principal amenaza hacia el yaguareté a la caza directa y en tercer lugar a la baja disponibilidad de presas, lo cual también está vinculado directamente a la caza furtiva. En base a esto, la ONG CeIBA, mediante el Proyecto Yaguareté [5], estudia la presencia de caza furtiva en Misiones utilizando como herramienta los grabadores de audio SM4 de la marca Wildlife Acoustics, colocados en diferentes localizaciones del área de estudio. El principal problema de esta técnica es el tiempo necesario para escuchar los audios e identificar los disparos, el cual puede llegar a ser de miles de horas. Una de las soluciones a esto consiste en el procesamiento digital de los audios mediante software específicos con la finalidad de ayudar a la detección de disparos. Si bien existen algunos softwares comerciales disponibles, éstos solo proveen herramientas de procesamiento de ruidos, visualización y clasificación de patrones aplicado a vocalización de fauna.

En base a lo antes expuesto, en el presente trabajo se muestran los resultados de un algoritmo programado en Matlab® cuya finalidad es la detección automática de disparos de armas de fuego en grabaciones de audio realizadas en ambientes selváticos. Utilizando tanto grabaciones de los equipos remotos SM4 en ambientes selváticos de la provincia de Misiones y facilitadas por el Instituto de Biología Subtropical (IBS) de CONICET, como así también las grabaciones de disparos de diversos calibres de armas provistas por el Instituto Tecnológico de Costa Rica y publicadas en [6] se evalúa el algoritmo ante audios sintetizados y más de 10 horas de audios reales, mostrando que el sistema es capaz de reportar la presencia de disparos en situaciones de mucho ruido ambiente y facilitar el procesamiento de gran cantidad de horas de grabación.

## 2. Estudio en frecuencia de disparos de armas de fuego.

La principal herramienta en la que se basa el algoritmo de detección de disparos es el filtrado de la señal utilizando un filtro del tipo pasa-banda con frecuencias de paso correspondientes a las emitidas durante el disparo de arma de fuego. Para el correcto diseño del filtro primeramente se deben conocer las frecuencias en donde se concentra la mayor cantidad de potencia en el sonido proveniente del disparo de distintos calibres de armas. En la Fig. 1 se observa el espectro de disparos provocados por armas de diferentes calibres, disponibles en las grabaciones de [6].

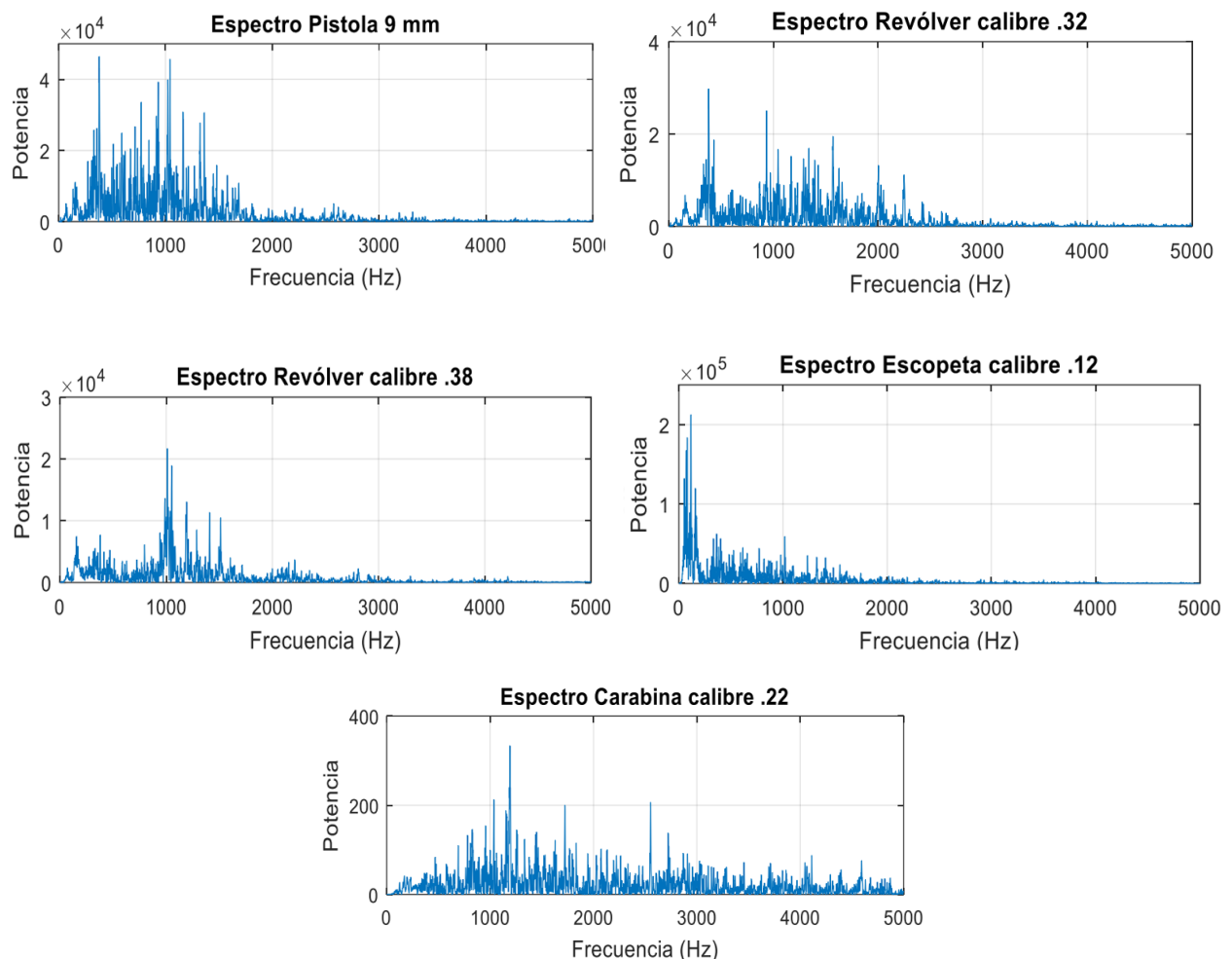


Fig. 1. Espectro del sonido proveniente del disparo de distintos calibres de armas.

Como se puede observar en la Fig. 1, cada tipo de calibre posee su ancho de banda particular, aunque todos ellos concentran la mayor parte de su potencia en algunos sectores comprendidos entre las frecuencias de 100 a 5.000 Hz. En particular, para los calibres 9 mm, .32 y .38 esta concentración se da en la banda de 350 a 1.500 Hz. aproximadamente. En el caso de un arma calibre .12 el estruendo concentra su potencia a menores frecuencias, aproximadamente entre los 100 y 600 Hz. El caso más particular es para el calibre .22, que al ser un arma de menor tamaño posee un estruendo con un espectro más esparcido y comprendido entre los 600 y los 3.000Hz. En relación a la potencia emitida en el estruendo de cada calibre, puede verse que la pistola 9 mm, al igual que los calibres .32 y .38 son similares. La escopeta calibre .12 posee el estruendo más potente y finalmente la carabina .22 tiene un estruendo de potencia muy inferior al resto de las armas.

### 3. Sistema general.

El sistema de detección de disparos de armas de fuego presentado está basado en el procesamiento digital en Matlab ® de la señal proveniente de equipos de grabación de audio colocados en la selva durante campañas de grabación. Estos equipos almacenan gran cantidad de horas de grabación en archivos estéreo y en formato wave, los cuales deben procesarse en búsqueda de disparos de armas de fuego efectuados en las cercanías del lugar donde se colocó el grabador. El esquema general del sistema se muestra en la Fig. 2.

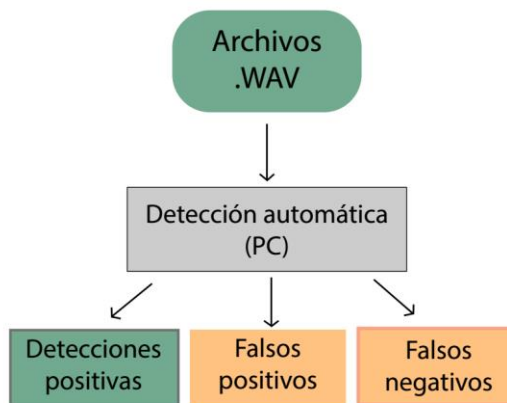


Fig. 2. Esquema general del sistema de detección de disparos en base a grabaciones de audio.

Luego del procesamiento de la señal, el sistema reporta las detecciones efectuadas en los audios, las cuales pueden ser detecciones positivas, falsos positivos, o falsos negativos. Debido a que el objetivo principal del sistema de detección es acelerar o posibilitar el procesamiento de cientos de horas de audio en un tiempo razonable, los falsos positivos no son un problema debido a que pueden ser verificados a posterior. El principal inconveniente ocurre con los falsos negativos, es decir, disparos de armas de fuego presentes en los audios pero que no fueron detectados por el algoritmo, ya que su detección por una persona es muy poco probable teniendo en cuenta la gran cantidad de tiempos de grabación disponibles.

### 4. Algoritmo de detección automática de disparos en audio.

La Fig. 3 muestra el diagrama de bloques del algoritmo de detección de disparos propuesto en este trabajo. Este algoritmo está basado en trabajos previos realizados por alumnos de grado en el proyecto de finalización de la carrera en Ingeniería Electrónica [7], [8] e implementado en una PC

de escritorio y el software Matlab®. Como se puede observar, el algoritmo recibe como variable de ingreso un archivo de audio estéreo en formato .wave proveniente de los equipos de grabación. En la etapa de pre procesamiento, se realiza una extracción de componentes de continua y el pasaje a mono de la señal. Previo a las etapas del filtrado de la señal se realiza una normalización en amplitud y se ingresa la señal al primer filtro, el cual es del tipo pasa bajos y se encarga de eliminar todas las componentes de alta frecuencia que puedan generar falsas detecciones. Esta etapa es importante debido a que en los ambientes selváticos relevados existe una enorme cantidad de sonidos impulsivos y de gran amplitud en frecuencias superiores a los 2 KHz. Posterior al filtro pasa bajos, se filtra nuevamente la señal mediante un filtro pasa banda con frecuencias de corte inferior en 200 Hz. y superior en 1.000 Hz. Este filtro tiene la finalidad de dejar pasar solamente el ancho de banda correspondiente a la mayoría de los sonidos de disparos de arma de fuego, que como se ve en la Fig. 1, se encuentran en esta banda. A su vez, el segundo filtro digital atenúa aún más las altas frecuencias que puedan afectar la detección. El siguiente paso del algoritmo consiste en un diezmado de la señal por un factor de 20 con la finalidad de aumentar la velocidad del procesamiento. Posterior a esto, se realiza un proceso de diferenciación de la señal con el objetivo de amplificar los eventos del tipo impulsivo, facilitando de este modo la posterior detección de los disparos.

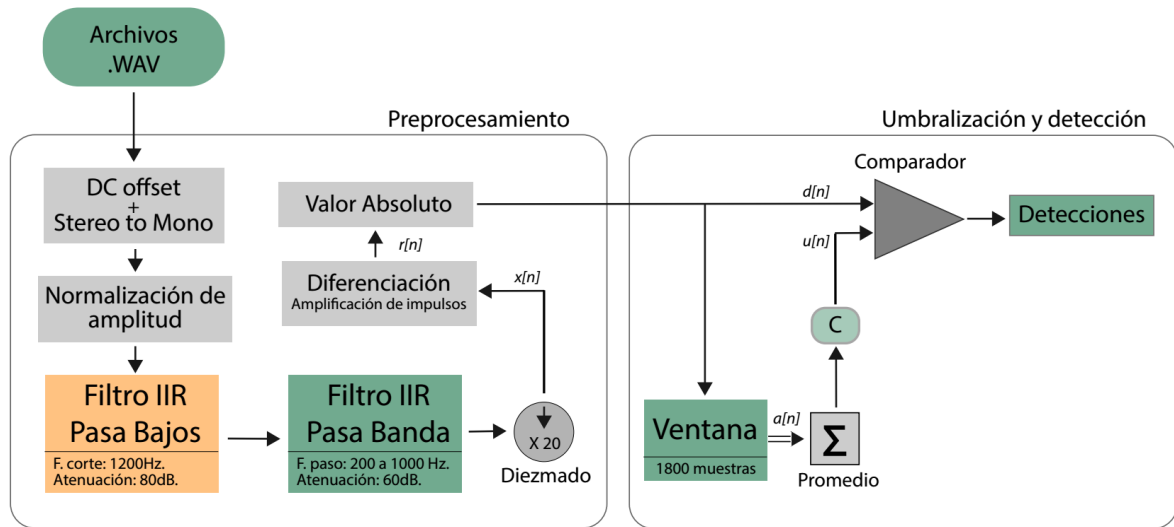


Fig. 3. Diagrama de bloques del algoritmo de detección de disparos utilizado.

La umbralización consiste en una ventana móvil del tipo FIFO (*first in – first out*) y de “M” muestras a la cual se le calcula el promedio ponderado por una constante experimental “C” y definida en función al tamaño de la ventana. Debido a que la ventana modifica su promedio muestra a muestra, la señal  $u[n]$  es un valor variable con el tiempo, y representa el umbral dinámico utilizado para compararlo con la señal  $d[n]$  (ver Fig. 3). Matemáticamente el umbral dinámico se calcula como:

$$u[n] = C \sum_{k=\frac{M}{2}-1}^{k+\frac{M}{2}} |a[n]| \quad (1)$$

Donde  $a[n]$  es la señal a la salida de la ventana. Finalmente, de la comparación muestra a muestra de la señal  $d[n]$  con  $u[n]$  resultan las detecciones del algoritmo, es decir, cuando el valor

de señal ( $d[n]$ ) supera al umbral de ese momento, se genera una detección positiva. Más detalles sobre la implementación del algoritmo pueden encontrarse en [9].

### 5. Detecciones con señales sintetizadas.

Para evaluar la efectividad y robustez del algoritmo se sintetizó una señal de audio simulando las peores condiciones de funcionamiento posibles que puedan ocurrir durante las grabaciones reales. Estas condiciones pueden ser, por ejemplo, la vocalización de aves cuyos cantos son particularmente impulsivos y se encuentren muy próximas a los micrófonos, lluvia, rotura de gajos, golpes en troncos secos de pájaros carpinteros de gran tamaño, etc. Para simular estas situaciones, se hizo uso de grabaciones del ambiente selvático en donde se mezclaron sonidos de cantos de aves, lluvia, y demás eventos del tipo impulsivo que puedan afectar las detecciones. A su vez, se mezclaron sonidos de disparos de armas de distintos calibres y a distintas distancias con el objetivo de determinar la capacidad del algoritmo de diferenciar aquellos eventos impulsivos propios de los sonidos selváticos de aquellos provenientes de disparos de armas de fuego.

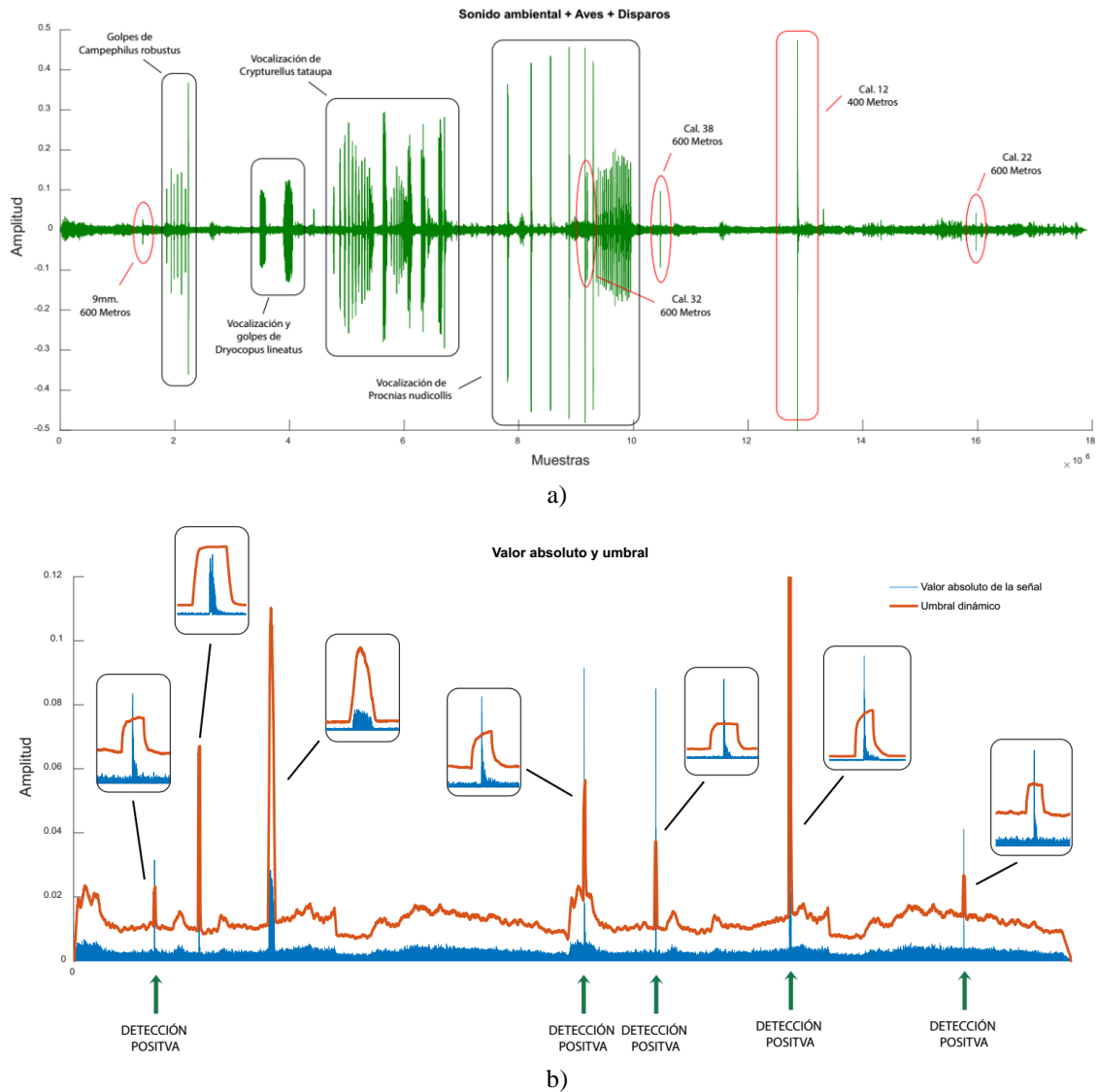


Fig. 4. Representación de las señales importantes del algoritmo de detección de disparos. a) Señal sintetizada de ruido de ambiente selvático más vocalización de aves del tipo impulsivo y disparos. b) Señal con el umbral calculado donde se observan las detecciones en los casos de los disparos.

La Fig. 4a muestra la forma de onda de una señal de audio de aproximadamente 7 minutos de duración en donde a simple vista se pueden observar diversos eventos impulsivos, los cuales en el mayor de los casos son debidos a vocalizaciones de aves y en menor medida a disparos de armas de fuego. En total hay 5 disparos ocurridos a distintas distancias (aproximadas) y de calibres 9mm, 22, 12, 32 y 38. En la Fig. 4b se puede observar la forma de onda de la señal original (en el fondo) superpuesta por la señal filtrada y derivada es decir  $r[n]$  (Fig.3), en donde se aprecia con claridad como gran parte de los impulsos provenientes de cantos de aves fueron eliminados, restando solamente aquellos eventos impulsivos provenientes del disparo de un arma de fuego y algunas vocalizaciones de aves como el caso del Carpintero Garganta Estriada (*Dryocopus lineatus*), cuya vocalización es potente y con contenido en la banda de frecuencias de paso del filtro IIR pasa banda. En particular, debe notarse el caso del golpe en madera del Carpintero Grande (*Campephilus robustus*) el cual no es filtrado e incluso es amplificado por la etapa de derivación. Es interesante notar el caso de la vocalización del Pájaro Campana (*Procnias nudicollis*), una de las aves de vocalización más potente e impulsiva de la avifauna Argentina. Muy próxima a una de sus vocalizaciones se mezcló el sonido de un disparo del calibre 32 efectuado aproximadamente a 600 metros. Como se puede observar en la Fig. 4b, todas las vocalizaciones de *Procnias nudicollis* fueron filtradas, dejando solamente el evento impulsivo correspondiente al disparo.

En la Fig. 4b se observa el valor absoluto de la señal superpuesta por el umbral dinámico  $u[n]$ , efectuándose detecciones positivas en aquellos casos en que la señal sobrepase el umbral. Como se puede ver, el algoritmo detecta correctamente todos los disparos presentes en el audio, descartando aquellos impulsos debido a la vocalización de aves o el golpe en maderas de los pájaros carpinteros.

## 6. Resultados con señales reales.

Una vez conocido que el desempeño del algoritmo de detección de disparos es adecuado incluso en situaciones extremas de ruido ambiente, el sistema de detección se evalúa utilizando grabaciones reales obtenidas durante campañas de grabación en reservas naturales de la provincia de Misiones. Se procesaron aproximadamente 10 horas de grabación en total, las cuales están separadas en audios de 5 minutos de longitud y obtenidas en distintos horarios. La Tabla 1 detalla la cantidad de audios procesados mediante el algoritmo de detección de disparos como así también los horarios y tiempos de grabación en cada horario. Debe mencionarse que durante estas 10 horas de audio no existen disparos de armas de fuego.

Tabla I  
Grabaciones procesadas

<b>Madrugada</b>	100 minutos
<b>Media mañana</b>	80 minutos
<b>Siesta</b>	100 minutos
<b>Atardecer</b>	150 minutos
<b>Noche</b>	75 minutos
<b>Lluvia o tormentas</b>	100 minutos

En la Fig. 5a se aprecia con claridad una señal de audio grabada en horas de la madrugada, horario en el cual la actividad animal (fundamentalmente de aves) es importante. Se puede ver que la cantidad y potencia de los eventos impulsivos grabados es importante, los cuales podrían traer inconvenientes a la hora de realizar la detección de disparos de armas efectuados en ese horario. Sin

embargo, al aplicar el algoritmo, el resultado es óptimo, es decir, no se detectan disparos en toda la grabación. Esto se puede ver en la Fig. 5b, en donde se observa el umbral que permanece constantemente por encima de la señal, por más que existan momentos en donde la señal crezca bruscamente.

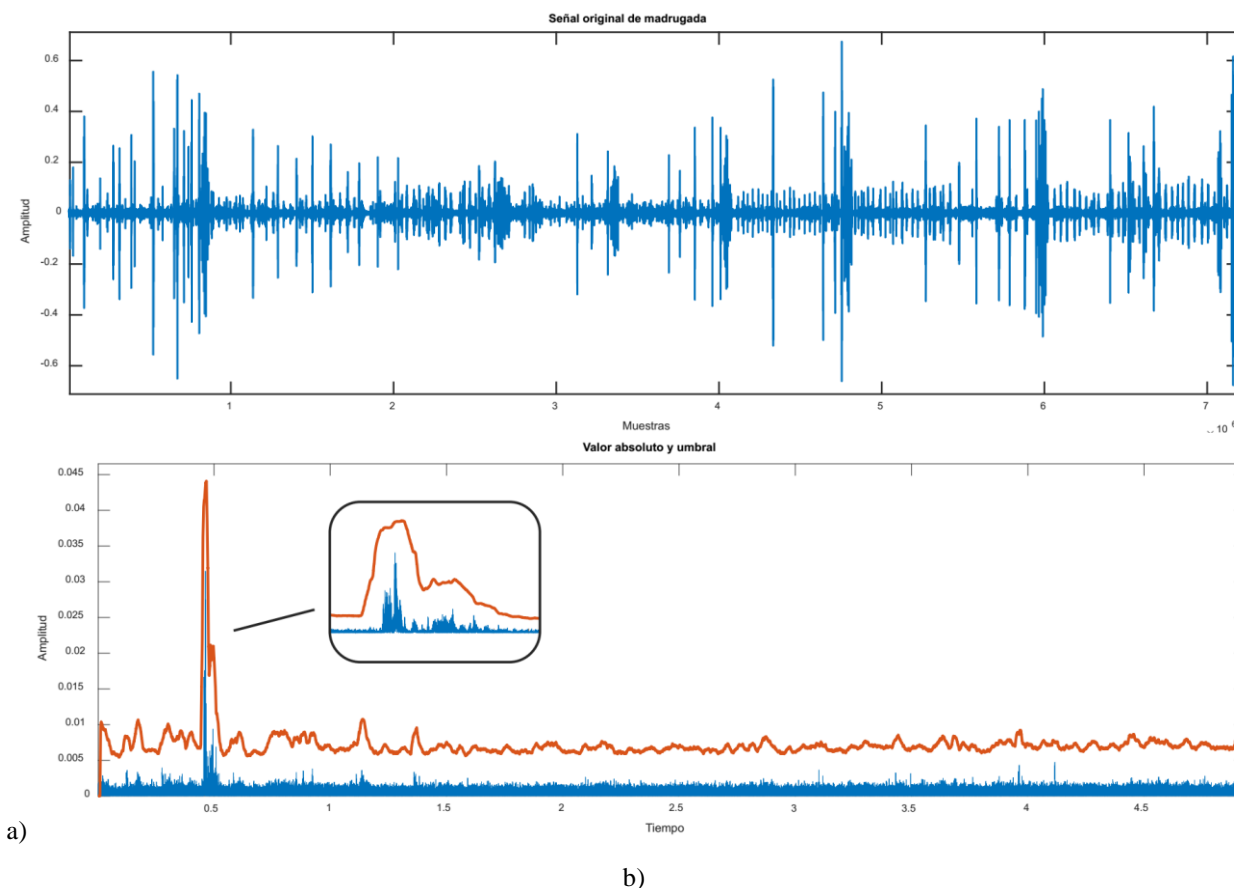


Fig. 5. Señal de audio real sin disparos mezclados. Superior: Señal sin procesar. Inferior: señal procesada y umbralizada (sin detecciones).

Otro ejemplo real es el mostrado en la Fig. 6. En ella se muestra la forma de onda de una grabación realizada en horas de la tarde y durante una tormenta.

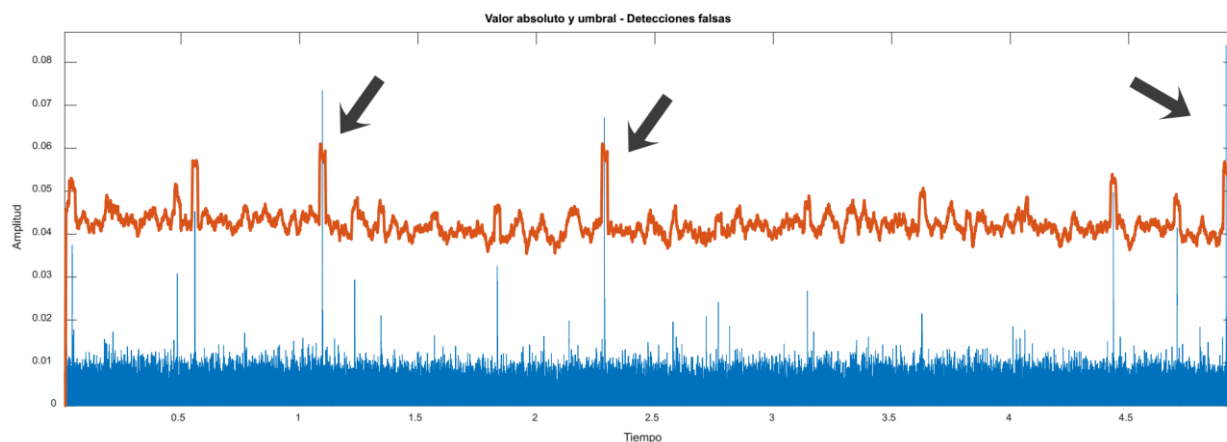


Fig. 6. Señal de audio real obtenida durante una tormenta. Se observan tres detecciones falsas que corresponden a caída de gotas sobre el micrófono.

Como se puede ver, indicado por las flechas de la Fig. 6, en este caso se detectan tres falsos positivos, los cuales se generan por la caída de gotas en el micrófono.

Una vez que se procesaron todos los audios de la Tabla I, el resultado del algoritmo otorgó 52 detecciones del tipo falso positivo, es decir, sonidos muy similares a disparos de armas de fuego pero que provienen de otras fuentes. De estas 52 detecciones erróneas, 28 fueron causadas por impactos sobre el micrófono, ya sea por gotas de agua o por insectos. El resto de las detecciones erróneas fueron causadas por diversas fuentes muy próximas al micrófono, como ser el vuelo de moscas u otros insectos, animales (posiblemente mamíferos) e incluso en algunos casos el viento proveniente del vuelo de aves que aparentemente se posaron sobre el equipo de grabación.

Respecto a detecciones positivas de disparos, el sistema no reportó ninguna, lo cual es correcto ya que como se mencionó anteriormente, en ninguna de las grabaciones analizadas se escucharon disparos de armas de fuego. De igual manera, el número de falsos negativos fue nulo.

## **7. Conclusiones**

En este trabajo se presentó un sistema de detección de disparos de arma de fuego en ambientes selváticos basado en un algoritmo de procesamiento digital de señales con el objetivo de facilitar la detección de los disparos en grabaciones de audio que pueden tener decenas de horas de longitud. Este trabajo es parte de la línea de investigación del laboratorio de electrónica de la Facultad de Ingeniería, vinculada al desarrollo de tecnología en electrónica para la conservación medioambiental.

En primer lugar, el funcionamiento del algoritmo presentado se verificó utilizando una señal de audio sintetizada en la cual se exageraron todos los eventos audibles que puedan generar falsas detecciones, como ser vocalizaciones de especies de aves particulares, golpes en madera de pájaros carpinteros, viento y lluvia. Además, en dicho audio se mezclaron disparos de 5 calibres distintos de arma efectuados a distancias que rondaron entre los 400 a 600 metros. En esta prueba, el algoritmo de detección fue capaz de filtrar todos los eventos impulsivos que no correspondían a disparos y detectar de manera correcta todos los disparos de la grabación, mostrando así un funcionamiento robusto ante los sonidos ambientales que pueden ocurrir en la selva.

En caso de las grabaciones reales, las mismas fueron obtenidas utilizando grabadores remotos del tipo SM4 de Wildlife Acoustics, los cuales generan archivos .wave estéreo de 5 minutos de longitud. En total se procesaron más de 10 horas de grabación obtenidas a distintos horarios, tanto de día como de noche y en las cuales se verificó que no existen disparos reales de cazadores furtivos. Como resultado, el sistema de detección reportó 52 detecciones, por lo que éstas corresponden a falsos positivos. Estas detecciones fueron causadas mayormente en momentos de lluvia o tormenta y fueron debido al impacto de gotas de agua en los micrófonos, lo cual puede ser fácilmente corregido in situ. Si bien las 52 detecciones falsas parecieran elevadas en número, debe tenerse en cuenta que las mismas pueden ser verificadas por una persona en un tiempo muy inferior al que tomaría escuchar las 10 horas de grabación.



## Agradecimientos

Este trabajo es posible gracias al aporte de los audios y colaboración del Instituto de Biología Subtropical (IBS) de la ciudad de Iguazú (Misiones) y dependiente del CONICET, Asociación Civil Centro de Investigaciones del Bosque Atlántico (CeIBA) y al Proyecto Yaguareté (CeIBA). Observatorio de Biodiversidad del Bosque Atlántico, Proyecto de Unidades Ejecutoras (PUE) financiado por CONICET. También se agradece al Instituto Tecnológico de Costa Rica, particularmente al Dr. Ing. Alfonso Chacon Rodriguez por facilitarnos las grabaciones de disparos referenciada en este trabajo. A su vez se agradece a la Facultad de Ingeniería de Oberá, Secretaría de Ciencia y Técnica y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

## Referencias

- [1] Gobierno de la Provincia de Misiones, Ministerio de Ecología y RNR, “Monumentos Naturales,” 2012. [Online]. Available: <http://www.ecologia.misiones.gov.ar/ecoweb/index.php/anp-descgen/clasificacion/monumentos-naturales>.
- [2] Fabiana Escobar, “Zonificación Preliminar Parque Provincial Puerto Península,” Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, 2010.
- [3] Juan Carlos Chevez, *Los que se van*. Buenos Aires: Editorial Albatros, 2010.
- [4] Agustín Paviolo, Anne Sophie Bertrand, Angel Caradonna, Apolonio Rodrigues, and Carlos De Angelo, *Plan de Acción para la Conservación de la Población de Yaguareté (Panthera onca) del corredor Verde de Misiones*. Puerto Iguazú: Comisión de conservación del yaguareté de la Selva Paranaense, 2011.
- [5] CeIBA (Centro de investigaciones del Bosque Atlántico), “Proyecto Yaguareté.” [Online]. Available: <http://proyectoyaguarete.com.ar/proyecto-yaguarete/>.
- [6] A. Chacon-Rodriguez, P. Julian, L. Castro, P. Alvarado, and N. Hernandez, “Evaluation of Gunshot Detection Algorithms,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 58, no. 2, pp. 363–373, Feb. 2011.
- [7] De Almeida, Gonzalo and Kelm, Marcelo, “Detección de Disparos de Armas de Fuego en Ambientes Selváticos,” Tesis de Grado, Universidad Nacional de Misiones - Facultad de Ingeniería, Oberá, 2017.
- [8] De Almeida, Gonzalo, Kelm, Marcelo, Moya Sergio, and Korpys Ricardo, “Detección de Disparos de Armas de Fuego en Ambientes Selváticos,” *9º Encuentro Grupo Latinoamericano de Emisión Acústica - GLEA*, 2017.
- [9] Sergio Moya, Javier Kolodziej, and Julia Martinez Pardo, “Algoritmo de Detección Off-line de Disparos de Arma de Fuego en Audio,” *ARGENCON 2018*, Jun. 2018.