

Collaborative web platform for recording, annotating, and visualizing bat echolocation signals

Iván Montoya¹; Johan Sánchez²; Francisco Sánchez⁴; Angel Cruz-Roa³

^{1,2,3,4}Universidad de los Llanos, Colombia, {iamontoya, johan.sanchez, fsanchezbarrera, aacruz}@unillanos.edu.co

Abstract— In the 21st century, monitoring bat echolocation using ultrasound microphones is essential in ecological studies due to its non-invasive nature and wide spatial-temporal coverage. However, the large volume of data and high temporal resolution of the signals pose challenges in terms of management, storage, visualization, and annotation for scientific analysis. These tasks are limited by the dispersion of information across multiple storage media and dependence on proprietary software, which hinders collaborative work and increases research costs. This work presents the design and development of a web platform for high-resolution spectral visualization and collaborative taxonomic annotation of ultrasonic echolocation signals. A software, engineering approach was adopted, implementing a decoupled architecture using Django REST Framework in the backend for robust data management and Next.js in the frontend to ensure a responsive user interface, integrating the Web Audio API and rendering with HTML5 Canvas, allowing high-resolution digital signal processing directly in the browser without loss of quality. As a result, a functional prototype was developed for the online visualization of echolocation signal spectrograms, enabling the recording of sonotypes and behavioral information, automatic signal processing and the extraction of spectral features, facilitating collaborative work in bat bioacoustics.

Keywords-- Bats, Bioacoustics, Data Visualization, Spectrogram, Web Development.

Plataforma web colaborativa para el registro, anotación y visualización de señales de ecolocalización de murciélagos

Iván Montoya¹; Johan Sánchez²; Francisco Sánchez⁴; Angel Cruz-Roa³

^{1,2,3,4} Universidad de los Llanos, Colombia, {iamontoya, johan.sanchez, fsanchezbarrera, aacruz}@unillanos.edu.co

Resumen— En el siglo XXI, el monitoreo de la ecolocalización de murciélagos mediante micrófonos de ultrasonido es fundamental en estudios ecológicos por su carácter no invasivo y amplia cobertura espacio-temporal. No obstante, el gran volumen de datos y la alta resolución temporal de las señales generan desafíos en su gestión, almacenamiento, visualización y anotación para el análisis científico. Estas tareas se ven limitadas por la dispersión de la información en múltiples medios de almacenamiento y la dependencia de software propietario, lo que dificulta el trabajo colaborativo y eleva los costos de investigación. Este trabajo presenta el diseño y desarrollo de una plataforma web para la visualización espectral de alta resolución y la anotación taxonómica colaborativa de señales de ecolocalización ultrasónicas. Se adoptó un enfoque desde la ingeniería de software implementando una arquitectura desacoplada, utilizando Django REST Framework en el backend para la gestión robusta de datos y Next.js en el frontend para garantizar una interfaz de usuario reactiva, integrando de la Web Audio API y el renderizado con HTML5 Canvas, permitiendo el procesamiento digital de señales de alta resolución directamente en el navegador sin pérdida de calidad. Como resultado, se desarrolló un prototipo funcional para la visualización en línea de espectrogramas de señales de ecolocalización, que permite el registro de la información de sonotipos y comportamientos, el procesamiento automático de señales y la extracción de características espectrales, facilitando el trabajo colaborativo en bioacústica de murciélagos.

Palabras clave— Bioacústica, Desarrollo Web, Espectrograma, Murciélagos, Visualización de Datos.

I. INTRODUCCIÓN

La conservación de la biodiversidad en el siglo XXI enfrenta el desafío de integrar el conocimiento biológico con herramientas tecnológicas capaces de procesar grandes volúmenes de información. En este contexto, los murciélagos se destacan como un grupo de especial interés científico en el neotrópico, no solo por su diversidad, sino por los servicios ecosistémicos vitales que prestan, tales como la dispersión de semillas, la polinización y el control de plagas agrícolas. Para estudiar estas especies de hábitos nocturnos y crípticos, las

técnicas bioacústicas se han consolidado, aprovechando el sistema de ecolocalización de los murciélagos para monitorear su presencia y actividad sin necesidad de captura física, ni perturbación directa de sus hábitats [1].

Sin embargo, la eficiencia tecnológica de los sensores modernos ha generado un desafío de "Big Data" ecológico sin precedentes, donde la velocidad y el volumen de adquisición de datos han superado drásticamente la capacidad técnica y humana para gestionarlos [2]. La magnitud de este desafío puede ilustrarse con escenarios en los que se gestionan colecciones bioacústicas de gran escala, por ejemplo, conjuntos de datos del orden de más de 200.000 archivos de audio de 2 a 5 segundos de micrófonos trampa de ultrasonido, pueden ser equivalentes a más de 3 terabytes (TB) de información. En casos como estos, resulta especialmente relevante la alta densidad temporal de adquisición, donde los datos pueden ser recolectados en periodos efectivos de muestreo de apenas 15 días, evidenciando una carga operativa que hace inviables los métodos tradicionales de curaduría manual cuando un pulso de una secuencia de ecolocalización de un murciélago es del orden de 10 a 12 milisegundos y cada secuencia registrada por el micrófono puede variar de un par de pulsos a 6 o más.

Esta acumulación masiva de datos ha expuesto las limitaciones de los flujos de trabajo convencionales. Actualmente, los investigadores se enfrentan a una fragmentación operativa al utilizar herramientas de software de propósito general y desacopladas, como Audacity [3], que no fueron diseñadas para la gestión de metadatos biológicos, ni para el manejo de grandes lotes de archivos [4].

Al no existir un entorno colaborativo en la nube, los archivos de audio y sus anotaciones suelen almacenarse en dispositivos físicos aislados e independientes, convirtiéndose en información almacenada pero inaccesible cuya utilidad científica decrece con el tiempo al perderse el contexto de su captura y metadatos asociados como la fecha y ubicación geográfica. Asimismo, la ausencia de una plataforma unificada obliga a recurrir a métodos de registro ad-hoc, como hojas de cálculo desconectadas de los audios, lo que incrementa el riesgo de errores en la asociación de metadatos y dificulta la reproducibilidad científica y el intercambio de información entre grupos de investigación [5].

Para solucionar esta problemática, este trabajo presenta el desarrollo de una plataforma web especializada en la gestión

integral del ciclo de vida del dato bioacústico. A diferencia de enfoques centrados únicamente en el análisis estadístico final o en herramientas comerciales cerradas y alto costo como Kaleidoscope Pro [6], este proyecto se enfoca en resolver la etapa crítica de ingesta y curaduría.

La solución propuesta ofrece una infraestructura centralizada que permite la carga masiva de archivos, la visualización interactiva de espectrogramas de alta resolución en entorno web y herramientas de anotación colaborativa. Este sistema busca estandarizar el proceso de anotación o etiquetado taxonómico para convertir un repositorio de archivos crudos en una base de datos estructurada y validada, la cual servirá como *Ground Truth* indispensable para posteriores estudios ecológicos o en el futuro entrenamiento de modelos de clasificación automática de especies basados en inteligencia artificial [7].

II. METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Para garantizar que la plataforma respondiera a las necesidades operativas reales de los investigadores, el proceso de construcción del software se rigió por la metodología ágil Feature-Driven Development (FDD). Este enfoque permitió descomponer la complejidad del sistema en características funcionales granulares, priorizando aquellas de mayor valor científico, como la visualización espectral de alta resolución, sobre tareas administrativas secundarias.

A través de cinco procesos iterativos, el equipo de desarrollo mantuvo una comunicación constante con biólogos con conocimientos y experiencia en el uso de técnicas bioacústicas para el estudio de murciélagos. Estas sesiones de validación continua aseguraron que las herramientas de anotación y los flujos de trabajo de ingesta de datos se ajustaran a los rigurosos estándares de la curaduría taxonómica antes de pasar a la siguiente fase de implementación.

III. ARQUITECTURA Y DISEÑO TECNOLÓGICO

La implementación de la plataforma web se fundamenta en una arquitectura de *monolito desacoplado*, diseñada para separar la lógica de gestión de datos de la carga computacional de la visualización (Figura 1). La infraestructura se orquesta mediante contenedores Docker, lo que garantiza la portabilidad del sistema entre entornos de desarrollo y producción.

En el centro de esta arquitectura, Nginx actúa como un servidor web y proxy inverso de alto rendimiento, gestionando el tráfico y redirigiendo las solicitudes hacia dos servicios independientes: un *backend* robusto en Django REST Framework para la lógica de negocio y seguridad (grupos, roles y usuarios), y un *frontend* reactivo en Next.js encargado de la interfaz de usuario y el procesamiento visual.

La persistencia de la información se diseñó para soportar la complejidad de los registros bioacústicos. Se implementó una base de datos relacional PostgreSQL extendida con el módulo PostGIS, lo cual permite gestionar con precisión las coordenadas geográficas de los sitios de muestreo. El modelo de datos establece una jerarquía estricta donde cada archivo de

audio está vinculado a una estructura de "Estudio", "Ubicación" y "Carpetas", garantizando la trazabilidad del dato. Una funcionalidad clave en este diseño es el módulo de Ingesta Automática: al cargar un archivo, el sistema inspecciona las cabeceras binarias y extrae automáticamente metadatos técnicos críticos como tasa de muestreo, duración, canales, y genera un archivo comprimido optimizado para la visualización. Esto elimina el error humano en la transcripción y asegura que los datos estén completos para que el visualizador grafique los espectrogramas con precisión científica sin sacrificar la fluidez.

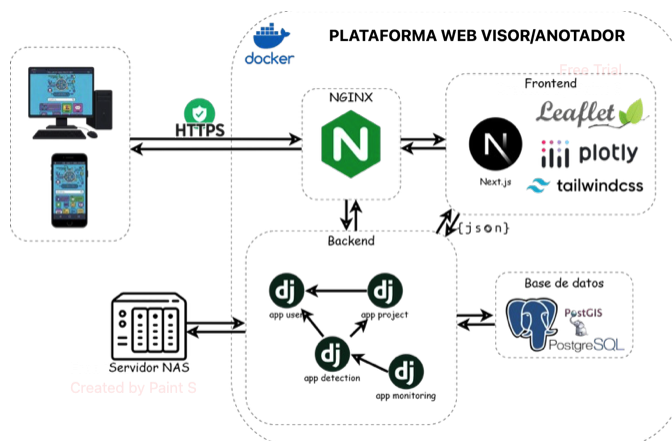


Fig 1. Diagrama de arquitectura de la plataforma web.

IV. RESULTADOS

La implementación de la arquitectura propuesta culminó en el desarrollo de la plataforma web colaborativa que integra el procesamiento de señales en el servidor con una interfaz de usuario de alta interactividad. Los resultados obtenidos se dividen en dos componentes principales: el motor de visualización de alta resolución y las herramientas de gestión de datos bioacústicos.

A. Visualizador bioacústico de alta resolución

El resultado técnico más notable del proyecto es el componente Viewer, una herramienta de visualización diseñada específicamente para el análisis de señales ultrasónicas en un entorno web. A diferencia de las aproximaciones convencionales que sirven imágenes estáticas pre-graficadas desde el servidor, lo que aumenta la latencia y el consumo de ancho de banda, este componente fue desarrollado para realizar la representación gráfica de la señal directamente en el navegador del cliente.

Para lograr esto, el sistema utiliza la Web Audio API para decodificar y analizar los datos binarios de los archivos comprimidos en tiempo real, permitiendo la manipulación de señales que superan los 200 kHz sin pérdida de calidad. La representación gráfica se ejecuta mediante el elemento HTML5 Canvas, lo que garantiza una fluidez visual comparable a las aplicaciones de escritorio nativas, permitiendo operaciones de

zoom dinámico y desplazamiento lateral (*panning*) instantáneos.

La interfaz presenta de forma integrada dos vistas complementarias de la señal, tanto el espectrograma como el oscilograma. El primero permite la visualización en un gráfico la energía del contenido de la frecuencia a lo largo del tiempo para identificar la firma o patrón de la secuencia de pulsos de una señal de ecolocalización de los murciélagos, mientras que el segundo proporciona en un gráfico la información de la amplitud, la envolvente de la señal y la energía relativa de cada emisión sonora en el dominio del tiempo.

Ambos componentes se encuentran sincronizados. Esto permite al investigador desplazarse por la señal acústica manteniendo una correlación exacta entre los cambios de presión sonora y la composición espectral, facilitando la identificación de patrones de secuencias de pulsos de fases de forrajeo, i.e., búsqueda, aproximación y terminal, tal como se presenta en la Figura 2.

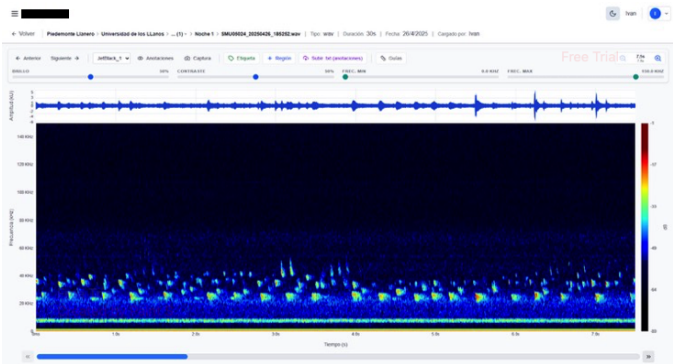


Fig 2. Interfaz del visor (Viewer) bioacústico de la plataforma web, donde se aprecia la vista dual, del oscilograma (arriba) y espectrograma (abajo).

B. Automatización de la carga de datos

En el momento en que el investigador selecciona los archivos de audio, el sistema activa una rutina en el *backend* que no solo extrae y valida los metadatos técnicos como frecuencia de muestreo, profundidad de bits y duración, sino que también procesa la señal de audio para generar un archivo comprimido optimizado. Este archivo consolida todos los parámetros necesarios para la generación del espectrograma, lo que disminuye la carga computacional de procesamiento en tiempo real. Este procedimiento asegura que el visor pueda calibrar automáticamente los ejes de tiempo y frecuencia, y graficar la imagen espectral de forma inmediata en el navegador web, eliminando la necesidad de configuración manual y mitigando el riesgo de errores de interpretación derivados de una mala parametrización técnica.

C. Herramientas de interacción y anotación taxonómica

Para transformar la visualización de datos en evidencia científica, se implementaron herramientas de interacción que

permiten la manipulación precisa de la señal acústica. El sistema permite al investigador realizar operaciones de zoom dinámico y desplazamiento lateral (*panning*) sobre el espectrograma, recalculando instantáneamente la escala de los ejes de tiempo y frecuencia. Esta fluidez es fundamental para inspeccionar el patrón detallado de la forma de los pulsos de ecolocalización, un requisito que suele estar limitado en interfaces web convencionales.

El sistema incorpora dos modalidades de registro que aseguran una documentación exhaustiva. En primer lugar, las *anotaciones locales* permiten delimitar regiones de interés específicas mediante rectángulos o cajas de selección (*bounding boxes*) dibujadas directamente sobre el espectrograma. Al anotar localmente estas regiones, el sistema captura automáticamente los valores exactos o características de frecuencia mínima, frecuencia máxima, tiempo de inicio y duración (Figura 3). Esta funcionalidad es relevante para la caracterización espectral de la señal, ya que permite vincular una etiqueta taxonómica a una evidencia visual concreta, facilitando la creación de bases de datos consolidadas y necesarias para estudios ecológicos y futuros modelos de clasificación automática [7].

Complementariamente, se implementaron *anotaciones globales*, esto para registrar descriptores de nivel superior que clasifican la totalidad del archivo de audio, por ejemplo, confirmando la presencia de una familia de murciélagos específica como Emballonuridae. Esta distinción de tipos de anotaciones permite un entorno flexible para que los investigadores puedan usar anotaciones globales para una búsqueda o filtrado rápido de grandes volúmenes de datos y puedan reservar las anotaciones locales para la caracterización espectral y el análisis detallado de las señales bioacústicas.

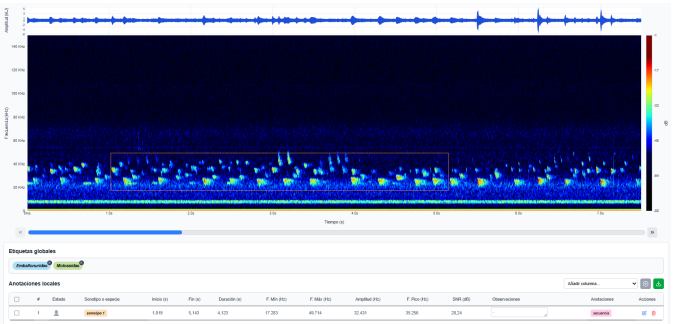


Fig 3. Anotación local (recuadro naranja en el espectrograma) en el visor bioacústico de la plataforma web y tablas de anotaciones globales y anotaciones locales (abajo).

D. Gestión geoespacial y colaboración en línea

Dado que la bioacústica moderna es una disciplina inherentemente espacial y colaborativa, la plataforma web propuesta integra un módulo de selección cartográfica basado en la API de Leaflet. Este, además del registro manual (latitud y longitud), permite hacer el ingreso de la localización geoespacial de las grabaciones por medio de su ubicación del

punto en un mapa, facilitando su registro y minimizando la posibilidad de errores. De esta forma, el investigador registra la ubicación de los equipos de monitoreo seleccionando el punto exacto sobre un mapa interactivo. Estas coordenadas persisten en la base de datos espacial (PostGIS), garantizando que cada registro bioacústico esté georreferenciado con precisión para posteriores estudios ecológicos o análisis de distribución espacial de especies en el tiempo.

Finalmente, para superar la barrera de los datos almacenados en múltiples discos locales en diferentes ubicaciones de forma independiente [7], la plataforma incorpora un modelo de permisos granulares que transforma los estudios en espacios de trabajo compartidos. A través de un sistema de roles, un investigador puede compartir un recurso (estudio, carpeta, audio) completo con otros usuarios registrados. Desde una perspectiva técnica, esta funcionalidad se implementó evitando la duplicidad de datos. El sistema no copia los archivos de audio, sino que establece relaciones lógicas que extienden los permisos de acceso evitando copias innecesarias. Esto asegura que múltiples usuarios puedan trabajar simultáneamente sobre el mismo conjunto de datos, validando anotaciones globales o locales y unificando criterios sin generar inconsistencias de versiones o características espectrales.

E. Evaluación de rendimiento.

Con el objetivo de validar la viabilidad de la plataforma bajo condiciones de uso simultáneo y responder a las necesidades de métricas cuantitativas propias de la investigación en ingeniería de software, se ejecutaron cinco conjunto de pruebas de carga utilizando la herramienta Locust. Cada prueba simuló 10 usuarios concurrentes de forma gradual durante 5 minutos, empleando datos de audio WAV reales, autenticación JWT y descubrimiento dinámico de recursos para garantizar condiciones realistas de producción.

Los cinco escenarios evaluados modelaron los principales perfiles de interacción: (1) navegación exploratoria general, (2) consulta de KPI y reportes analíticos, (3) carga transaccional de archivos de audio, (4) inspección visual (visualización) de espectrogramas, y (5) carga masiva de anotaciones y variables ambientales. La Tabla I resume los indicadores clave de rendimiento por escenario.

Tabla I. Resumen de Métricas de Rendimiento por Escenario

Escenario	CPU I. (%)	CPU F. (%)	CPU P. (%)	Mediana (ms)
1. Navegación exploratoria	41.3	62.9	63	120
2. Consulta analítica (KPI)	42.5	51.9	55	130
3. Carga de audio WAV	45.6	196	240	8,650
4. Visualización espectrograma	42.6	96.1	98	393
5. Carga masiva anotaciones	41.8	216	220	485

donde:

- CPU I: Porcentaje de uso del procesador del servidor al iniciar la prueba.
- CPU F: Porcentaje de uso del procesador del servidor al finalizar la prueba.
- CPU P: Máximo porcentaje de uso del procesador alcanzado por el servidor durante la ejecución de la prueba.
- Mediana: Tiempo promedio que tardó la ejecución por petición en cada prueba.

En términos de fiabilidad, el sistema alcanzó una tasa de éxito del 100% en todas las peticiones a la API durante los cinco escenarios, sin registrar ningún fallo. Las operaciones de navegación y consulta analítica presentaron tiempos de respuesta medianos inferiores a 130 ms, mientras que las operaciones de mayor carga computacional como la carga de archivos de audio y la generación de espectrogramas mostraron tiempos de respuesta proporcionales al volumen de datos procesados, comportamiento esperado dada la naturaleza del procesamiento de señales de alta resolución. El monitoreo de infraestructura confirmó que, incluso en escenarios de mayor exigencia, el servidor mantuvo un margen de capacidad operativa sin alcanzar saturación, lo que evidencia la viabilidad de la arquitectura para soportar sesiones de trabajo colaborativo simultáneas.

A partir de estos hallazgos, se identificó que las tareas de post-procesamiento asociadas a la carga de archivos de audio, la carga de anotaciones y la actualización de variables ambientales y KPI concentraban una parte de la latencia percibida por el usuario, ya que el sistema las ejecutaba de forma sincrónica dentro del flujo principal de la aplicación. Dado que ninguna de estas operaciones requiere resultados inmediatos para la visualización, se implementó un sistema de colas de tareas mediante Celery que las delega a procesos en segundo plano, liberando el flujo principal para responder de forma ágil a las interacciones del usuario.

F. Validación con usuarios y trabajo en curso

Como validación aplicada, la plataforma fue utilizada en la organización y análisis de un conjunto de registros bioacústicos recolectados en ocho ubicaciones de muestreo, monitoreadas de forma sistemática durante un periodo de seis meses. En cada ubicación, las campañas de registro se realizaron durante los últimos cinco a seis días de cada mes, generando entre 800 y 2.000 grabaciones por noche, con duraciones individuales entre 5 y 30 segundos. En total, el estudio consolidó 424.236 archivos de audio. Durante este proceso, los investigadores pudieron integrar en un único entorno la carga, visualización y anotación de señales, reduciendo la fragmentación de herramientas tradicionalmente utilizadas y permitiendo una gestión estructurada de grandes volúmenes de datos bioacústicos. Este escenario permitió evaluar la capacidad de la plataforma para

operar bajo condiciones reales de alta densidad de información, característicos de estudios bioacústicos a gran escala.

Adicionalmente, se encuentra en planificación un taller piloto de usabilidad con estudiantes de biología de la Universidad de los Llanos. El protocolo del taller contempla la ejecución de tareas representativas del flujo de curaduría bioacústica, incluyendo la carga de archivos, navegación por espectrogramas, creación de anotaciones locales y globales, validación de anotaciones y consulta de KPI.

Como trabajo en curso, se encuentra en desarrollo la implementación de un módulo de clasificación automática de especies basado en aprendizaje automático, cuya base de datos de entrenamiento será generada directamente a partir de las anotaciones validadas por expertos en la plataforma, cerrando así el ciclo entre curaduría colaborativa e inteligencia artificial.

V. DISCUSIÓN

La implementación de la plataforma web colaborativa para el registro, anotación y visualización de señales de ecolocalización de murciélagos propone un enfoque alternativo en la gestión de datos bioacústicos, pasando de un modelo de almacenamiento físico fragmentado a una infraestructura distribuida en uno o múltiples servidores locales o en la nube de forma centralizada. Al contrastar esta solución con herramientas de escritorio estándar como Audacity [3], se evidencia una mejora en la integridad científica. Mientras el software de propósito general permite la edición y disocia los metadatos del archivo de audio, la plataforma desarrollada garantiza que cada señal permanezca vinculada indisolublemente a sus parámetros técnicos y geográficos desde el momento de la carga de datos.

Frente a soluciones comerciales líderes como Kaleidoscope Pro [6] o SonoBat [8], la plataforma web propuesta ofrece una ventaja estratégica en el contexto académico como la independencia tecnológica. Las herramientas comerciales operan a menudo de forma cerrada como "cajas negras" con costos de licenciamiento restrictivos para algunas instituciones o personas, dificultando el acceso masivo por parte de estudiantes o de la totalidad de su funcionalidad. En contraste, la plataforma web desarrollada democratiza el acceso a la información, permitiendo que múltiples investigadores interactúen simultáneamente sobre un mismo conjunto de datos, sin depender de hardware específico, ni de licencias por puesto de trabajo. Adicionalmente, a diferencia de estas soluciones, el sistema propuesto incorpora de forma nativa capacidades de trabajo colaborativo con control de permisos y sin duplicación de datos, lo cual representa una ventaja significativa en entornos de investigación distribuidos.

Los resultados de las pruebas de carga validan cuantitativamente estos beneficios. La tasa de éxito del 100% en las cinco pruebas, con 10 usuarios concurrentes ejecutando tareas de alta intensidad de forma continua, confirma que la arquitectura propuesta es adecuada para este dominio de aplicación. Asimismo, la recuperación del uso de CPU a su

estado base en menos de cinco minutos tras cada prueba sugiere la ausencia de fugas de memoria o procesos bloqueantes, evidenciando la estabilidad del sistema bajo condiciones de carga.

Desde una perspectiva técnica, el proyecto validó la viabilidad de las tecnologías de Javascript Web Audio API y representación gráfica en el navegador web en Canvas para el análisis científico. Se evidenció que es posible manipular visualmente señales de ultrasonido de alta resolución en un navegador web con una fluidez comparable a la de aplicaciones nativas de escritorio, derribando la barrera técnica que tradicionalmente relegaba este tipo de procesamiento al software de escritorio.

Si bien la innovación del sistema se centra en la integración de tecnologías existentes, su aporte radica en la forma en que estas son articuladas para resolver un problema específico del dominio bioacústico. La combinación de procesamiento en cliente, gestión estructurada de datos y colaboración en línea constituye un enfoque que no se encuentra presente de manera unificada en las herramientas tradicionales.

No obstante, se reconoce como limitación actual la ausencia de módulos de identificación automática completamente integrados y validados dentro del flujo principal de la plataforma. Si bien se encuentra en desarrollo un módulo de clasificación de especies basado en Inteligencia Artificial (IA), este aún no forma parte del sistema productivo ni ha sido evaluado bajo condiciones de uso real.

Esta decisión es consistente con la estrategia del proyecto, la cual es priorizar la calidad, estructuración y validación del dato antes de incorporar procesos de automatización. En este sentido la plataforma sienta una base para la integración futura de modelos de aprendizaje automático entrenados sobre datos curados dentro del mismo entorno, lo que permite cerrar el ciclo entre adquisición, anotación y clasificación automática.

VI. CONCLUSIONES

El desarrollo de la plataforma web permitió evidenciar que la arquitectura de software propuesta es una alternativa viable para superar la fragmentación de datos y las barreras del trabajo colaborativo en bioacústica. La plataforma web transforma archivos aislados en un activo científico institucional, accesible y estandarizado, resolviendo la problemática de los datos fragmentados o no consistentes y optimizando radicalmente el flujo de trabajo de curaduría que anteriormente era inviable para volúmenes de datos superiores a 5 TB de información recolectada.

Se concluye que el diseño modular basado en PostgreSQL y PostGIS puede ser escalable y capaz de soportar la complejidad de los metadatos biológicos y espaciales. Asimismo, la implementación de herramientas de visualización interactiva en el cliente (*frontend*) permite a los investigadores la anotación taxonómica precisa, eliminando la dependencia de software externo y garantizando la sincronización exacta entre la señal de audio y sus etiquetas descriptivas. Finalmente, la

plataforma no solo cumple con las funcionalidades técnicas esperadas, sino que puede contribuir a la ciencia abierta y colaborativa para la preservación a largo plazo del patrimonio bioacústico de la comunidad científica, sentando las bases tecnológicas para futuras investigaciones asistidas por aprendizaje automático.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto “*Red de monitoreo acústico de mamíferos voladores de Colombia: una estrategia de participación, gestión, comunicación y transferencia de conocimiento científico para la apropiación de la ciencia, la tecnología y la innovación*” financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias), Convocatoria 890 de 2020. Igualmente, los autores agradecen al grupo de investigación GITECX y al semillero de investigación AdaLab por los recursos computacionales para la experimentación y a los integrantes del semillero de investigación Mamíferos Silvestres-Unillanos por sus aportes durante las reuniones y discusiones para el diseño y desarrollo de plataforma.

REFERENCIAS

- [1] M. B. Fenton y N. B. Simmons, *Bats: A world of science and mystery*. University of Chicago Press, 2015.
- [2] A. López-Baucells, R. Rocha, y Á. Fernández-Llamazares, "The role of bats in the control of insect pests and diseases", en *Bats in the Anthropocene: Conservation of bats in a changing world*, Springer, 2018.
- [3] Audacity Team, "Audacity (Version 3.5) [Software de ordenador]", 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.audacityteam.org>.
- [4] R. M. R. Barclay, "Bats are not birds-a cautionary note on using echolocation calls to identify bats: A comment", *Journal of Mammalogy*, vol. 80, no. 1, pp. 290-296, 1999.
- [5] M. J. O'Farrell y W. L. Gannon, "A comparison of acoustic versus capture techniques for the inventory of bats", *Journal of Mammalogy*, vol. 80, no. 1, pp. 24-30, 1999.
- [6] Wildlife Acoustics, Inc., "Kaleidoscope Pro analysis software (Version 5) [Software de ordenador]", 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.wildlifeacoustics.com>.
- [7] I. Agranat, *Automated identification of bat species in Europe using broadband echolocation calls*. Wildlife Acoustics Inc., 2014.
- [8] SonoBat, "SonoBat 4: Software for bat call analysis and classification [Software de ordenador]", 2024. [En línea]. Disponible: <https://sonobat.com/>.