

**ANALISIS DE CANTOS ANCESTRALES MUISCAS USANDO LA SERIE DE
FOURIER**

ANALYSIS OF ANCESTRAL MUISCA CHANTS USING THE FOURIER SERIES

KELLY JOHANA INFANTE BELTRÁN*
INGRID DAYANA DIAZ VÁSQUEZ**
JUANITA ALEXANDRA VELOZA VARGAS***
SERGIO ANDRÉS BRICEÑO GONZÁLEZ****
NICOLÁS RODAS SERNA*****

* Profesora e investigadora, Universidad de Cundinamarca (UDEC). Departamento Ciencias básicas. Grupo de investigación INGENIUM SUTA de Ingeniería. Doctorante en Educación de la Universidad de Investigación e Innovación de México (UIIX). Orcid-ID: <https://orcid.org/0000-0002-5922-6536>. kinfante@ucundinamarca.edu.co

** Profesora e investigadora, Universidad de Cundinamarca (UDEC). Departamento de Ciencias básicas. Grupo de Investigación AXIOMA de ciencias básicas. Magíster en Ciencias – Física (Universidad Nacional de Colombia). Orcid-ID: <https://orcid.org/0009-0009-0726-1645>. idayanadiaz@ucundinamarca.edu.co

***Profesora e investigadora, Universidad de Cundinamarca (UDEC). Departamento Ciencias básicas. Grupo de investigación AXIOMA de Ingeniería. Magíster en Educación de la Universidad de Cundinamarca (UDEC). Orcid-ID: <https://orcid.org/0009-0001-9233-3181>. javeloza@ucundinamarca.edu.co

****Estudiante, Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad de Cundinamarca (UDEC). Orcid-ID: <https://orcid.org/0009-0002-7221-6743>. sbricenog@ucundinamarca.edu.co.

****Estudiante, Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad de Cundinamarca (UDEC). Orcid-ID: <https://orcid.org/0009-0001-7833-0996>. nrodas@ucundinamarca.edu.co.

Correspondencia: Kelly Johana Infante Beltrán . Teléfono móvil:3114552179 Dirección calle 9ª#2ª-40. Fusagasugá, Colombia.

ANÁLISIS DE CANTOS ANCESTRALES MUISCA MEDIANTE FOURIER

ANALYSIS OF ANCESTRAL MUISCA CHANTS USING THE FOURIER SERIES

RESUMEN

En este artículo se presenta el diseño, desarrollo e implementación de un software que ha sido creado específicamente para el análisis espectral de cantos ceremoniales ancestrales de la comunidad Muisca, utilizando la Serie de Fourier como herramienta matemática principal. Este software se establece como un producto tecnológico que integra computación científica, procesamiento de señales y etnomusicología. Con el propósito principal de descomponer de forma digital algunas de las composiciones sonoras de la comunidad Muisca, obtener así cada uno de sus componentes armónicos y tonales, y con ello facilitar su visualización, interpretación y sistematización de estos patrones musicales tradicionales. Todo lo anterior, con la intención de generar una solución tecnológica que contribuya a la preservación del patrimonio cultural mediante una intervención interdisciplinaria, fortaleciendo las competencias investigativas de los estudiantes de ingeniería y sobre todo su capacidad de adaptación y aplicabilidad de la misma en contextos reales.

Palabras clave: Análisis espectral, Cantos ancestrales, Computación científica, Etnomusicología, Serie de Fourier, Procesamiento de señales.

ABSTRACT

This article presents the design, development, and implementation of software specifically created for the spectral analysis of ancestral ceremonial chants of the Muisca community, utilizing the Fourier Series as the core mathematical tool. This software constitutes a

technological product that integrates scientific computing, signal processing, and ethnomusicology. Its primary purpose is to digitally decompose selected sound compositions from the Muisca community, extracting their harmonic and tonal components to facilitate visualization, interpretation, and systematization of these traditional musical patterns. This effort aims to generate a technological solution that contributes to the preservation of cultural heritage through an interdisciplinary approach, enhancing the research competencies of engineering students and their ability to adapt and apply such solutions in real-world contexts.

Keywords: Ancestral chants, Ethnomusicology, Fourier series, Scientific computing, Signal processing, Spectral analysis.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, las comunidades indígenas y su música ancestral han sido históricamente invisibilizadas por los sistemas políticos, sociales y educativos, lo que ha generado procesos de marginación cultural y pérdida progresiva de saberes tradicionales [1]. Los cantos ceremoniales del pueblo muisca representan una manifestación sonora que compendia elementos identitarios, cosmogónicos y espirituales profundamente enraizados en la memoria colectiva. Como señala Velasco [7], estos cantos son parte de un entramado simbólico que articula música, naturaleza y espiritualidad, y que se ha preservado principalmente mediante la transmisión oral. No obstante, la oralidad como único canal de transmisión ha demostrado ser vulnerable frente a la fragmentación cultural contemporánea. A pesar de algunos esfuerzos desde la etnomusicología y la antropología musical por documentar estas prácticas [2][3], aún persiste una limitada incorporación de herramientas tecnológicas y científicas para su análisis, conservación y resignificación. Castrillón [1] destaca la urgencia de intervenir el patrimonio sonoro muisca desde nuevas perspectivas que no solo reconozcan su

valor cultural, sino que permitan su estudio desde el análisis formal y técnico del sonido. El procesamiento digital de señales acústicas ha mostrado su efectividad para el estudio detallado de paisajes sonoros en contextos ambientales y urbanos [4][5], sin embargo, su aplicación al análisis de cantos indígenas continúa siendo escasa. Autores como Serra [6] proponen un enfoque multicultural que integre los avances tecnológicos con las diversidades culturales del mundo, permitiendo así una correlación entre ciencia, ingeniería y patrimonio. Es por lo anterior que se propone el desarrollo de un software que, mediante la aplicación de la Serie de Fourier, permita analizar espectralmente grabaciones de cantos ceremoniales muisca. A través de este enfoque se pretende identificar patrones armónicos, tonales y rítmicos que caracterizan estos datos sonoros, con el fin de aportar a su conservación técnica, su estudio académico y su integración en procesos educativos interculturales. Se parte de la hipótesis de que el uso de herramientas matemáticas como la transformada rápida de Fourier (FFT) facilita la documentación estructural de los cantos ancestrales muisca, permitiendo preservar no solo la parte sonora, sino también sus dimensiones culturales, emocionales y espirituales.

ANTECEDENTES

La investigación sobre los cantos ceremoniales muisca se desarrolla debido a una correlación interdisciplinaria entre la etnomusicología, la antropología cultural y el análisis matemático del sonido. Desde el enfoque etnográfico, algunas investigaciones han destacado el valor alegórico y ritual de la música indígena en procesos de transmisión oral y su recuperación de identidad [1][2][7]. Los cantos muisca, han sido documentados como prácticas sonoras asociadas a cosmovisiones ancestrales, expresadas en contextos ceremoniales que conectan al individuo con la naturaleza y lo espiritual [3][7].

Sin embargo, estos trabajos se han centrado principalmente en aproximaciones cualitativas o descriptivas. Hasta el momento, no se han identificado investigaciones que apliquen técnicas de análisis matemático, como la Serie de Fourier, para examinar estructuralmente estos cantos. El no tener en cuenta estas herramientas cuantitativas han limitado la posibilidad de establecer patrones tonales, armónicos y temporales que permitan una comprensión más específica, pero sobre todo detallada de las estructuras musicales propias de esta comunidad. La Serie de Fourier, la cual fue establecida por Joseph Fourier en el siglo XIX, permite descomponer señales periódicas complejas en sumas de funciones seno y coseno. Esta herramienta se ha utilizado constantemente en ingeniería para el procesamiento digital de señales y, más recientemente, en el análisis musical mediante el uso de tecnología [4][5]. Su aplicación en acústica ha demostrado ser útil para la identificación de frecuencias predominantes, transiciones armónicas y patrones rítmicos en composiciones tanto contemporáneas como tradicionales [4].

Autores como Roads [4] y Salamon & Bello [5] han investigado sobre el análisis espectral en música y sonido ambiental, mientras que Serra [6] ha destacado la importancia de integrar enfoques multiculturales en el análisis computacional de músicas del mundo. Estas propuestas han desarrollado metodologías que, desde la matemática y la computación, pueden aportar a la documentación y conservación del patrimonio sonoro de comunidades indígenas.

La presente investigación se propone entonces como una contribución innovadora que combina herramientas del análisis matemático con el estudio de tradiciones orales, proponiendo un enfoque metodológico que no solo busca la identificación técnica de patrones sonoros, sino también la elaboración de materiales educativos que fortalezcan los procesos de conservación cultural y resignificación comunitaria desde una mirada interdisciplinaria.

FUNDAMENTACIÓN TÉCNICA

La serie de Fourier en el análisis de señales musicales

Para el desarrollo del software ha sido fundamental comprender la función principal de la Serie de Fourier y su aporte en el análisis de señales periódicas. Con esta serie matemática se puede descomponer cualquier señal compleja en una suma de funciones senoidales simples, conocidas como componentes senoidales. Cada uno de estos componentes se representa una onda con frecuencia, amplitud y fase específicas, lo que facilita identificar los patrones armónicos presentes en la señal original. En el contexto del desarrollo del Software, esta descomposición es fundamental para lograr realizar el análisis de los cantos ceremoniales muiscas, ya que permite extraer información detallada de las grabaciones. A continuación, se describe el proceso de transformación de la señal mediante la Serie de Fourier y cómo este análisis contribuye al propósito del software.

Proceso de descomposición de señales

Cuando una señal periódica es sometida al análisis de Fourier, esta se representa como una suma infinita (o finita en la práctica digital) de funciones senoidales (funciones en términos de senos y cosenos), cada una con una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental de la señal original. Matemáticamente, esto se expresa como:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)) \quad (1)$$

Donde el $f(t)$ se considera como la señal original, los coeficientes a_n y b_n de Fourier los cuales son los encargados de determinar la amplitud de cada componente. Adicionalmente, la frecuencia angular fundamental ω y por último el número de armónicos denotado por la letra n .

Para nuestro caso particular, el software desarrollado utiliza esta descomposición con el fin de identificar las frecuencias que son predominantes en los cantos ancestrales muiscas. A través de una interfaz gráfica que permita visualizar la frecuencia fundamental, los armónicos presentes en la señal y su distribución espectral. Cabe destacar que dentro de los cantos ancestrales se encuentran algunos con intervención vocal y otros que son netamente instrumentales, por lo cual se requiere una especificación del análisis que queremos desarrollar y es por ello por lo que en el Software se podrá escoger hacia donde se enfocara el análisis, incluso como no todos los temas requieren de la misma cantidad de instrumentos. Mediante la interacción con el Software el usuario podrá escoger entre el análisis vocal o instrumental y en el caso de que seleccione el instrumental podrá seleccionar cuál de los instrumentos quiere que sea analizado.

Justificación del uso en contexto etnomusical

Tradicionalmente, el estudio de la música ancestral se ha abordado desde enfoques cualitativos, centrados en la interpretación cultural y simbólica de las expresiones musicales. Sin embargo, estos aportes presentan limitaciones al momento de analizar de forma precisa y reproducible las características técnicas de los cantos, especialmente en lo que respecta a su estructura armónica y tonal. Es importante tener en cuenta que la Serie de Fourier no solo permite realizar un análisis más técnico por su facilidad en la descomposición de señales sino que también lleva a la identificación de patrones estructurales y espectrales que, de otro modo, serían invisibles a través de la simple escucha o transcripción manual. Algunos investigadores como Xavier Serra [6] han sido promotores de la incorporación del procesamiento de señales para el estudio de músicas tradicionales, destacando que este análisis lleva a la preservación, comparación y reinterpretación de expresiones culturales que pueden encontrarse o ser expuestas a la desaparición [10]. Del mismo modo Justin Salomón

[5][12], ha desarrollado técnicas interesantes y de gran importancia para el análisis y la recuperación de información musical mediante algoritmos matemáticos, donde argumenta que estos métodos favorecen la sostenibilidad de los estudios etnomusicológicos en la era digital [5]. En el transcurso de nuestra investigación hemos descubierto que la Serie de Fourier aporta significativamente en la descomposición y análisis de grabaciones de cantos ancestrales muiscas, los cuales han brindado resultados que son medibles, replicables y que pueden llegar a aportar de forma significativa a la preservación cultural. Al integrar la matemática, con la ingeniería y la etnomusicología no solo podemos enriquecer al ámbito académico, sino que este también abre nuevas posibilidades para la creación de recursos educativos interculturales, aporta a la comunidad para que sus cantos sean replicables por músicos profesionales, que estos sean reconocidos y transcritos para futuras composiciones o creaciones musicales, cabe destacar que todo esto con la debida autorización de la comunidad. Sin llegar a irrespetar sus costumbres o incomodar a la comunidad indígena.

METODOLOGÍA

La metodología se estructuró en torno al diseño, implementación y prueba de un software especializado para el análisis espectral de cantos ceremoniales muiscas. A continuación, se describen los módulos funcionales que componen el sistema.

Diseño Del Software

Arquitectura general

El software desarrollado para el análisis de cantos ancestrales muiscas se diseñó bajo una arquitectura modular, orientada a la separación funcional de cada etapa del procesamiento digital de señales. Este enfoque permite una organización jerárquica del sistema en componentes independientes, lo que mejora su escalabilidad, mantenibilidad y capacidad de extensión futura. La modularidad facilita además la depuración de errores, la incorporación

de nuevas funcionalidades y la adaptación del sistema a otros contextos culturales o repertorios sonoros. El desarrollo se realizó utilizando el lenguaje de programación Python, ampliamente empleado en entornos científicos y de análisis de audio, por su sintaxis clara y su ecosistema de bibliotecas especializadas. Se integraron herramientas como Librosa para la extracción de características acústicas, NumPy para el manejo de arreglos y operaciones numéricas, Matplotlib para la visualización de datos, y Demos para la separación automática de fuentes sonoras mediante modelos de aprendizaje profundo. La compatibilidad multiplataforma del sistema y la disponibilidad de sus dependencias de código abierto facilitan su replicabilidad en entornos académicos y comunitarios.

Módulo de interfaz gráfica (GUI)

La interfaz de usuario fue diseñada siguiendo principios de usabilidad y accesibilidad, estructurada en pestañas funcionales: “Audio”, “Procesamiento”, “Visualización” y “Exportar”. Cada sección agrupa los controles relevantes, permitiendo una interacción secuencial con el flujo lógico del análisis. La interfaz incluye indicadores de estado en tiempo real y mensajes de retroalimentación para mejorar la trazabilidad de las acciones ejecutadas por el usuario.

Módulo de adquisición y preprocesamiento

Este módulo gestiona la carga inicial de los archivos de audio en formatos comunes (WAV, MP3, OGG, FLAC) y su conversión automática al formato WAV con una frecuencia de muestreo de 22050 Hz. Esta frecuencia fue seleccionada por su uso extendido en análisis espectrales de señales vocales e instrumentales, así como por su balance entre fidelidad y carga computacional. El sistema también verifica la disponibilidad de bibliotecas externas, como FFmpeg, para asegurar la compatibilidad en la conversión y lectura de archivos.

Módulo de separación de fuentes

Con el objetivo de facilitar el análisis diferencial entre componentes vocales e instrumentales, este módulo aplica un modelo de separación de fuentes basado en redes neuronales convolucionales (Demucs). La arquitectura del modelo permite segmentar la señal de entrada en dos pistas independientes, reduciendo el solapamiento armónico y mejorando la calidad del análisis espectral posterior. Esta segmentación es especialmente útil en contextos etnomusicales donde se combinan voces humanas con instrumentos aerófonos o de percusión.

Módulo de procesamiento espectral

Este módulo constituye el núcleo del análisis acústico. Implementa la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para convertir las señales del dominio temporal al dominio frecuencial, permitiendo identificar componentes espectrales como frecuencias fundamentales, armónicos y sobretonos. La operación se ejecuta automáticamente al momento de generar las visualizaciones, eliminando la necesidad de intervención manual. Además, se incluye un sistema de control dinámico para la configuración del umbral de amplitud, lo cual permite ajustar la sensibilidad del análisis según las condiciones de cada grabación.

Módulo de visualización

Este componente permite la representación gráfica de los resultados del análisis. Se generan espectrogramas de señales originales, separadas y transformadas, utilizando escalas logarítmicas y mapas de color diseñados para facilitar la interpretación visual. También se calcula de forma automatizada la nota predominante presente en cada fragmento de audio, lo cual complementa el análisis tonal y posibilita su uso en estudios comparativos o compositivos. Las gráficas se actualizan en tiempo real y pueden ser utilizadas como insumos para documentación técnica o educativa.

Módulo de exportación

Este módulo permite almacenar tanto los audios procesados como las visualizaciones generadas. Los archivos de audio se exportan en formato .WAV y las representaciones gráficas en formatos .PNG o .JPG. Esta funcionalidad responde a la necesidad de sistematizar los análisis en repositorios digitales reutilizables, facilitar su inclusión en informes técnicos y fomentar su uso en entornos académicos o patrimoniales.

Cabe destacar que posteriormente se verificó la validación funcional del software desarrollado se llevó a cabo mediante su aplicación a un conjunto de grabaciones de cantos ceremoniales pertenecientes a la comunidad indígena Muisca. Estas grabaciones fueron recolectadas en colaboración directa con representantes culturales y músicos tradicionales, garantizando la autenticidad del material y su relevancia en contextos rituales y pedagógicos.

La fase de aplicación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento del sistema frente a señales acústicas reales, identificar ajustes requeridos en los parámetros analíticos y establecer su utilidad en el estudio técnico de repertorios sonoros ancestrales. El proceso experimental se inició con la conversión de los archivos a formato WAV y su estandarización a una frecuencia de muestreo de 22050 Hz, en concordancia con el diseño del sistema. Esta estandarización permitió uniformar las condiciones de análisis y asegurar la comparabilidad de los resultados entre distintas grabaciones. Una vez convertidos, los audios fueron procesados mediante el módulo de separación de fuentes, obteniendo pistas vocales e instrumentales independientes. Esta segmentación fue especialmente útil para identificar patrones acústicos que, de otro modo, permanecerían solapados por la mezcla de elementos sonoros. El análisis espectral se realizó sobre ambas pistas utilizando la Transformada Rápida de Fourier (FFT). Este procedimiento permitió visualizar el contenido frecuencial de cada fragmento de audio, identificar frecuencias fundamentales, armónicos dominantes y zonas

de alta densidad espectral. El sistema generó espectrogramas en tiempo real, los cuales fueron utilizados para observar diferencias estructurales entre las voces y los instrumentos tradicionales. En varios casos, la aplicación de filtros dinámicos sobre el umbral de amplitud facilitó la detección de sobretonos que no eran perceptibles mediante escucha directa. Además del análisis gráfico, se calculó automáticamente la nota predominante de cada segmento, información que resultó valiosa para correlacionar los hallazgos técnicos con conocimientos tradicionales transmitidos oralmente por la comunidad. Este cruce de información fortaleció la interpretación intercultural de los resultados y facilitó un diálogo constructivo entre saberes científicos y saberes ancestrales.

Las funcionalidades de exportación fueron utilizadas para generar archivos reutilizables en diversos formatos. Las pistas procesadas y los espectrogramas se almacenaron en un repositorio digital estructurado, permitiendo su posterior uso en investigaciones etnomusicológicas, así como en materiales didácticos para procesos de enseñanza de música indígena. Este repositorio constituye uno de los principales productos del proyecto en términos de preservación del patrimonio sonoro. Desde el punto de vista académico, la aplicación del software en condiciones reales permitió validar tanto su robustez técnica como su pertinencia para estudios interdisciplinarios. El uso de herramientas computacionales en la investigación de músicas tradicionales representa un aporte metodológico relevante, especialmente en contextos donde el análisis acústico ha sido históricamente limitado por la ausencia de tecnologías accesibles. En este sentido, el proyecto demuestra que es posible articular procesamiento digital de señales, ingeniería de software y sensibilidad cultural en una misma plataforma.

Asimismo, esta fase permitió a los estudiantes desarrolladores aplicar conocimientos matemáticos y computacionales en un entorno de investigación aplicada, fortaleciendo sus

competencias técnicas y su comprensión sobre la utilidad social de la ingeniería. La experiencia de trabajo colaborativo con comunidades originarias también promovió una reflexión crítica sobre la ética del uso tecnológico y la necesidad de respetar los marcos culturales en los que se insertan las herramientas digitales. Esta sección presenta un análisis detallado de los espectrogramas obtenidos mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para los cantos ancestrales Muisca, diferenciando entre las grabaciones vocales e instrumentales. Este enfoque permite identificar no solo las características técnicas de los cantos, sino también sus posibles significados culturales y rituales, integrando así las perspectivas tecnológicas y etnomusicológicas que fundamentan este proyecto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis espectral aplicado a los cantos ceremoniales muisca permitió identificar diferencias significativas en la composición tonal y rítmica de las grabaciones, tanto en los componentes vocales como instrumentales. En las seis figuras analizadas se observan patrones acústicos consistentes que evidencian tanto la estructura musical como la expresividad interpretativa de estas manifestaciones sonoras ancestrales.

Descripción de los Espectros Presentados

El análisis de los espectrogramas que se mostrarán a continuación, muestra diferencias significativas entre las grabaciones vocales y las instrumentales, permitiendo identificar la diversidad de técnicas y estructuras utilizadas en los cantos Muisca. Los espectros muestran tanto las notas predominantes como las características armónicas que distinguen a cada tipo de interpretación, facilitando información para la preservación y comprensión de estas expresiones culturales.

Análisis Espectral

El análisis espectral de los cantos Muisca permite identificar las características armónicas y tonales que definen estas expresiones culturales, dejando en evidencia tanto las estructuras rítmicas como las particularidades vocales e instrumentales. Para este análisis se han seleccionado segmentos específicos de dos grabaciones: "Suba Chune, La Furia Montañera y Wilson Porras" y "Mar Garay, Fuego É Tambó y Gaitas y Brisa Cuenca." Cada segmento se ha elegido cuidadosamente para capturar los momentos más representativos de las interpretaciones, con el objetivo de documentar y preservar estas tradiciones. Este enfoque permite no solo documentar las estructuras musicales, sino también comprender cómo estas formas sonoras permiten las prácticas culturales de las comunidades Muisca.

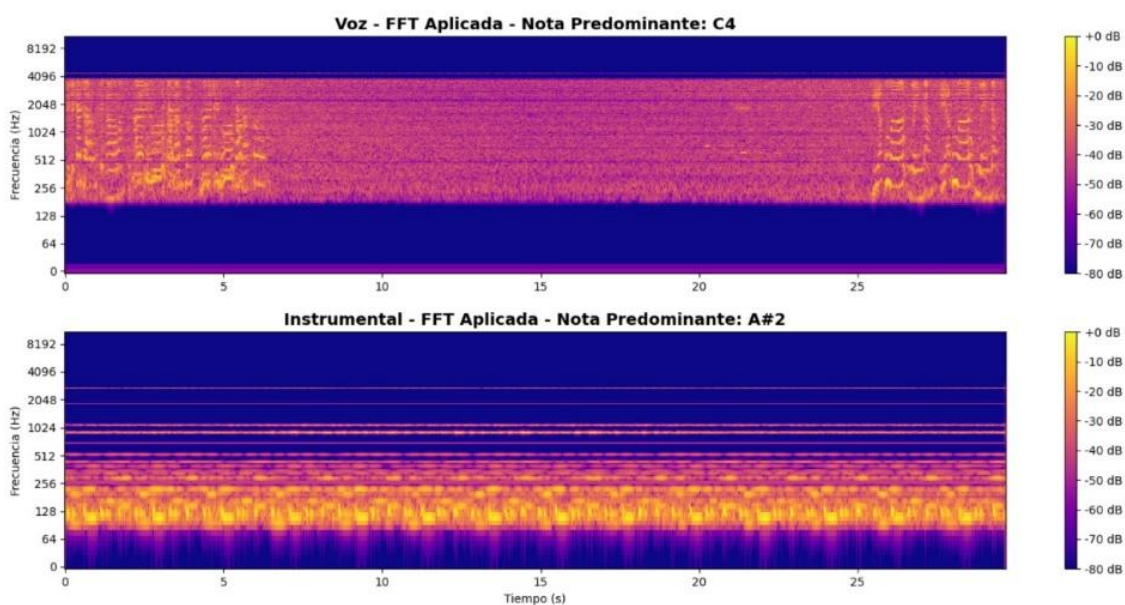
Análisis Espectral por Audio

TEMA NÚMERO 1: Suba Chune, La Furia Montañera y Wilson Porras Porras (<https://youtu.be/dIEBMmWcEhI?si=2s7-M8x7bXwAcys9>)

Para esta grabación se seleccionaron tres intervalos de tiempo específicos para capturar las transiciones musicales más importantes:

Segmento 1 Segmento 1 (0:30 – 1:00): En esta fase inicial, las grabaciones suelen presentar motivos tonales simples y estructuras rítmicas mínimas, mostrando que ese es el inicio de las ceremonias Muisca, donde se establece una conexión con las fuerzas naturales. Las notas predominantes son más graves, creando una "atmósfera introspectiva y solemne". La voz en este segmento tiene una nota predominante de C4, con un rango armónico amplio entre 256 Hz y 2048 Hz, mientras que los instrumentos muestran una nota predominante de A#2, típicamente asociada con frecuencias estables de percusión o cuerdas [8][9].

Espectro: En este espectro, la voz muestra una nota predominante de C4 (Do4), con un alto contenido armónico en el rango de 256 Hz a 2048 Hz. Las variaciones en la intensidad a lo largo del tiempo dejan en manifiesto los cambios emocionales o dinámicos, con posibles técnicas como vibrato, resonancias guturales o modulación intencional [8]. Por otro lado, en la parte instrumental, la nota predominante es A#2, lo que indica frecuencias estables y bien definidas, típicas de instrumentos de percusión o cuerdas que generan una base rítmica constante para el canto ceremonial [8][9].



Fuente: elaboración propia

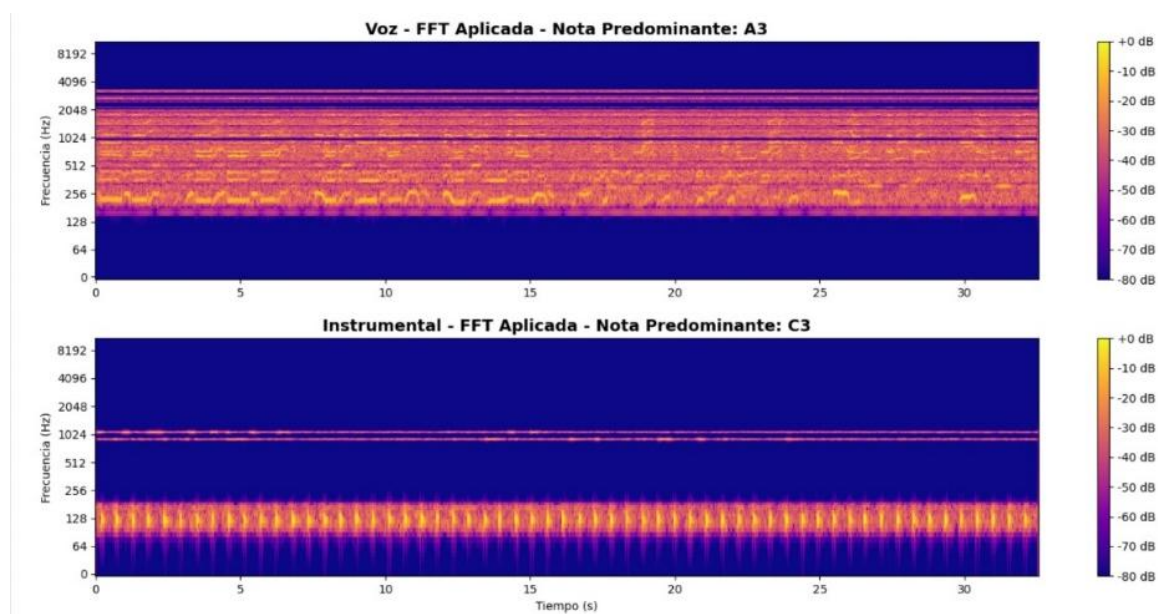
Figura 1: Voz - FFT Aplicada - Nota Predominante: C4 | Instrumental - FFT Aplicada - Nota Predominante: A#2

Segmento 2 (1:15 – 1:45): En esta parte, el ritmo se estabiliza y se observan ciclos repetitivos que pueden representar patrones rituales. Las voces alcanzan notas más agudas, como A3, mientras que los instrumentos se estabilizan en C3, creando un contraste claro entre los tonos

agudos y graves. Esta estructura refleja las dinámicas de diálogo entre líder y comunidad, típico de los rituales [8].

Espectro: En este espectro, las voces presentan notas más agudas, posiblemente utilizadas para enfatizar momentos específicos en las ceremonias, creando un contraste claro con los tonos graves y consistentes del acompañamiento instrumental. Esto puede mostrar una estructura de "llamada y respuesta" común en muchas tradiciones indígenas, donde la voz lidera y los instrumentos responden [11].

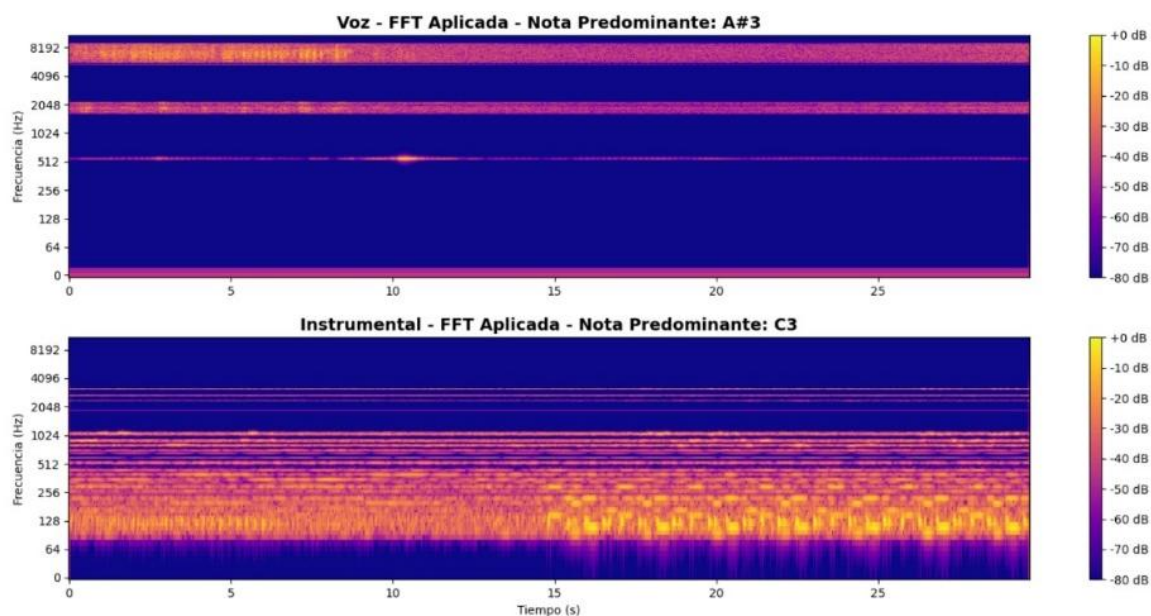
Se observa amplia cantidad de armónicos en las grabaciones vocales, evidenciando diferencias claras en la intensidad de las frecuencias y en las técnicas vocales utilizadas. Esto indica una variación importante en la interpretación y en la forma en que los instrumentos responden a los motivos vocales [10][12].



Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Voz - FFT Aplicada - Nota Predominante: A3 | Instrumental - FFT Aplicada - Nota Predominante: C3

Segmento 3 (2:05 – 2:35): Este es el punto fundamental en la interpretación, ya que el fraseo se vuelve más ornamentado y las voces alcanzan notas más agudas, como A#3, creando una sensación de clímax emocional. Los instrumentos, con una nota predominante de C3, mantienen una base rítmica firme que refuerza el carácter ceremonial del canto [11][12].



Fuente: Elaboración propia

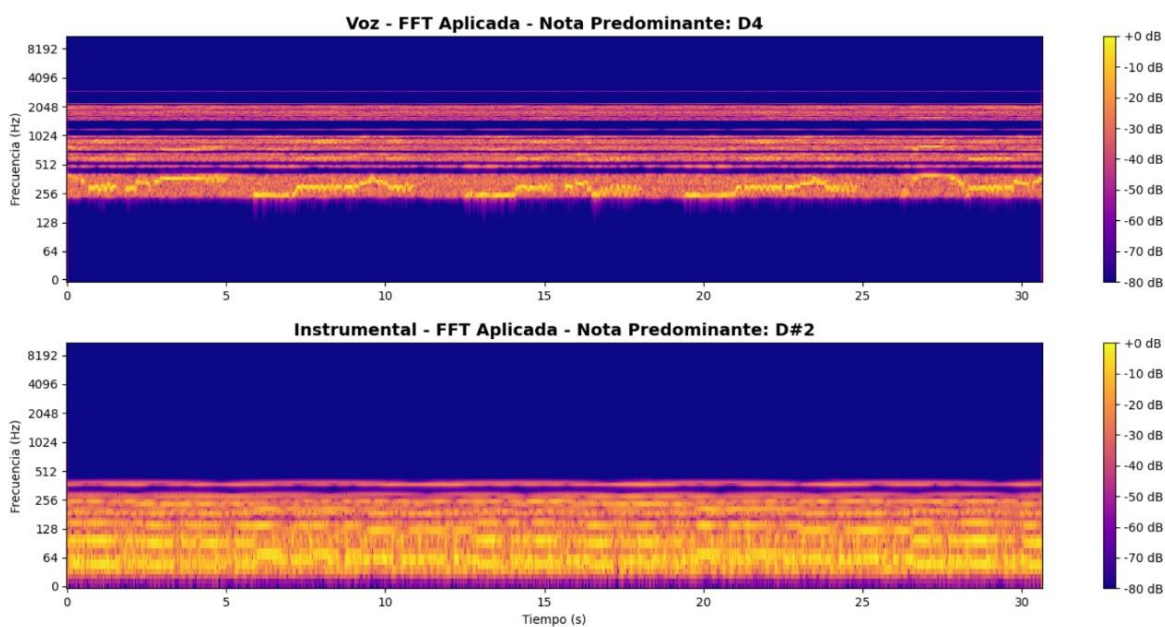
Figura 3: Voz - FFT Aplicada - Nota Predominante: A#3 | Instrumental - FFT Aplicada - Nota Predominante: C3

En este último espectro, las voces presentan notas más agudas, posiblemente utilizadas para enfatizar momentos específicos en las ceremonias, creando un contraste claro con los tonos graves y consistentes del acompañamiento instrumental. Esto puede poner en evidencia la existencia de una estructura de "llamada y respuesta" común en muchas tradiciones indígenas, donde la voz lidera y los instrumentos responden, creando una experiencia sonora integral [11].

TEMA NÚMERO DOS: Mar Garay, Fuego É Tambó y Gaitas y Brisa Cuenca

(https://youtu.be/CdHSCQyRydg?si=-qKdVka_ZCHVxPOJ)

En este caso, el análisis de los espectrogramas muestra diferencias significativas entre las partes vocales e instrumentales, dejando en manifiesto la diversidad de técnicas utilizadas en los cantos Muiscas.

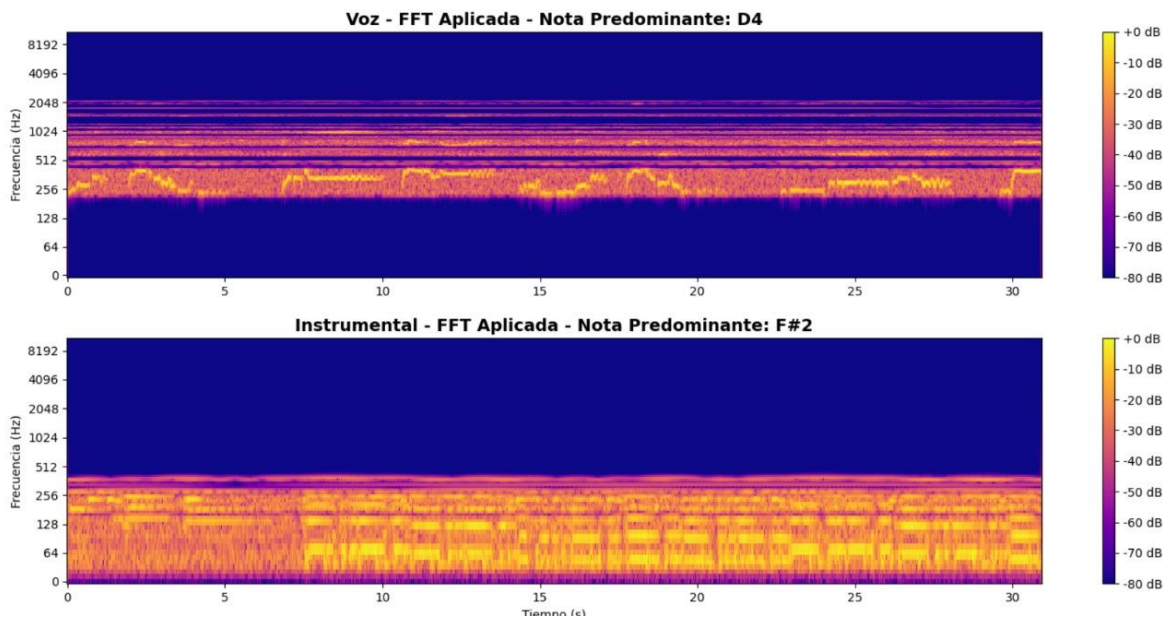


Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Voz - FFT Aplicada - Nota Predominante: D4- Instrumental - FFT Aplicada - Nota Predominante: D#2

En este espectro, la voz muestra una nota predominante de C4 (Do4), con un alto contenido armónico en el rango de 256 Hz a 2048 Hz. Las variaciones en la intensidad a lo largo del tiempo insinúan cambios emocionales o dinámicos, con posibles técnicas como vibrato, resonancias guturales o modulación intencional [8]. Por otro lado, en la parte instrumental, la nota predominante es A#2, lo que indica frecuencias estables y bien definidas, las cuales

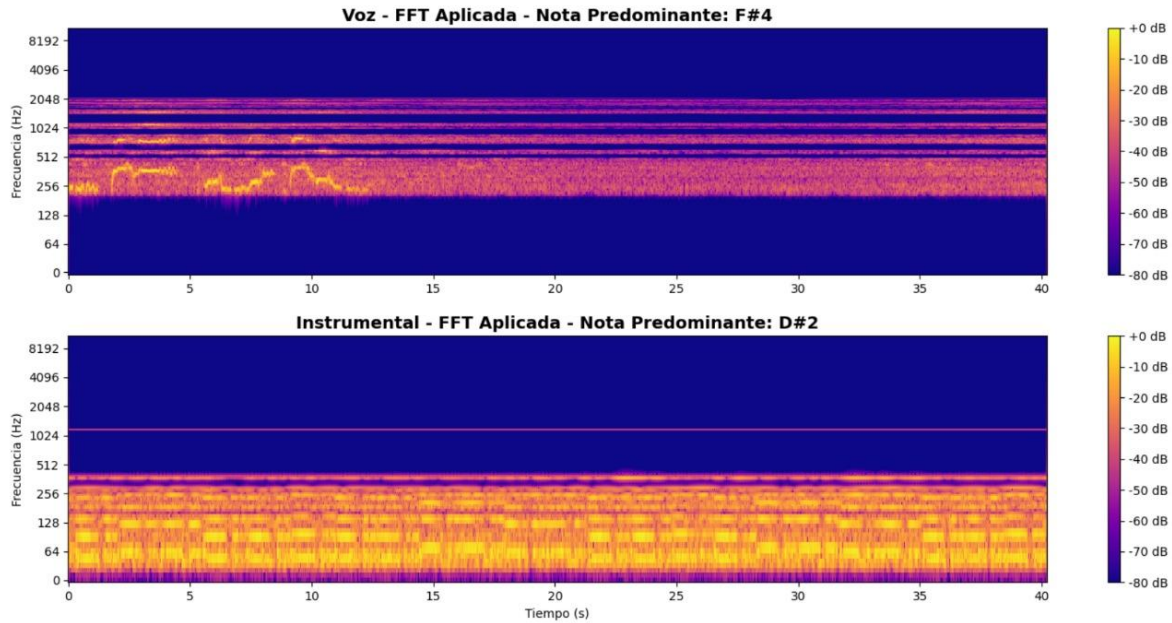
son típicas de instrumentos de percusión o cuerdas que se enfocan de una base rítmica constante para el canto ceremonial [9].



Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Voz - FFT Aplicada - Nota Predominante: D4 | Instrumental - FFT Aplicada - Nota Predominante: F#2

En esta figura, la voz mantiene una nota predominante de D4, con un rango armónico extenso que cubre frecuencias desde aproximadamente 256 Hz hasta 2048 Hz, reflejando posibles técnicas vocales avanzadas como el vibrato o resonancias guturales [8]. El espectro instrumental, con una nota predominante de F#2, presenta frecuencias más estables, típicas de instrumentos de percusión o cuerdas que tienen una base rítmica constante para las ceremonias [9].



Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Voz - FFT Aplicada - Nota Predominante: F#4 | Instrumental - FFT Aplicada - Nota Predominante: D#2

En la figura 6, se observa una voz con una nota predominante de F#4, caracterizada por frecuencias más agudas y un rango de armónicos que se extiende desde aproximadamente 512 Hz hasta 4096 Hz, lo que propone técnicas avanzadas de modulación vocal. Por otro lado, el espectro instrumental, con una nota predominante de D#2, presenta frecuencias más bajas y estables, típicas de instrumentos de percusión o cuerdas [9][12].

El análisis espectral de estos cantos no solo ayuda a preservar la esencia musical de las ceremonias Muisca, sino que también abre la oportunidad de “volver al pasado”, permitiendo a los investigadores y músicos de hoy puedan explorar las voces y ritmos que han dado forma a esta cultura ancestral. La unión entre la tecnología y tradición mantiene vivo un legado que debería trascender por muchas generaciones, conectando las historias,

emociones y espiritualidad de una comunidad, con las herramientas modernas pretendiendo que todas estas expresiones continúen resonando en aquellos que tengan acceso a ellas.

Conclusiones

La implementación del software para el análisis espectral de cantos ceremoniales muiscas demostró que es posible combinar herramientas matemáticas como la Transformada Rápida de Fourier con criterios culturales y sonoros propios de las comunidades indígenas, logrando una aproximación técnica y al mismo tiempo respetuosa con la tradición de la comunidad.

Los resultados obtenidos permiten validar la hipótesis planteada: el uso de modelos matemáticos y procesamiento digital permite identificar patrones tonales, armónicos y rítmicos no evidentes a simple escucha, facilitando así una caracterización más precisa de los cantos y aportando a su documentación y preservación. El sistema permitió separar componentes vocales e instrumentales, visualizar firmas espectrales consistentes y extraer notas predominantes, fortaleciendo la comprensión estructural de los audios analizados.

Desde la perspectiva académica, el proyecto consolidó aprendizajes fundamental en ingeniería de sistemas, especialmente en áreas como procesamiento de señales, programación científica, diseño modular, interfaces gráficas y aprendizaje automático aplicado al audio.

En términos socioculturales, el software se plantea como una herramienta de apropiación tecnológica para las comunidades, permitiendo visualizar, analizar y archivar sus cantos desde una perspectiva inclusiva y participativa.

Finalmente, esta investigación abre las puertas para que se tenga en cuenta con mucha más intensidad la implementación de la ingeniería en el patrimonio cultural, en donde la tecnología no desplaza, sino que se relaciona con el conocimiento ancestral.

REFERENCIAS

- [1] E. M. Castrillón Galindo, El paisaje sonoro y el patrimonio ancestral muisca [Tesis de maestría, Univ. Nacional de Colombia], Bogotá, Colombia, 2020. [Online]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80145>
- [2] L. F. Ospina Moreno, La música campesina: expresión sonora de Junín – Región del Guavio, Cundinamarca [Trabajo de grado, Univ. Distrital Francisco José de Caldas], Bogotá, Colombia, 2016. [Online]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/24726>
- [3] L. R. Perdomo, “Antropología de la música: La hermenéutica de la música amerindia y sus ancestros asiáticos,” *Pensam. Cult.*, vol. 8, no. 1, pp. 207–232, 2005. doi: 10.5294/pecu.2005.8.1.11
- [4] C. Roads, *Microsound*. Cambridge, MA: MIT Press, 2001.
- [5] J. Salamon and J. P. Bello, “Deep convolutional neural networks and data augmentation for environmental sound classification,” *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 24, no. 3, pp. 279–283, Mar. 2017. doi: 10.1109/LSP.2017.2657381

- [6] X. Serra, “A multicultural approach in music information research,” in Proc. 12th Int. Soc. Music Inf. Retrieval Conf. (ISMIR), Miami, FL, USA, Oct. 2011, pp. 151–156. [Online]. Available: <https://ismir2011.ismir.net/papers/OS2-1.pdf>
- [7] A. D. Velasco, “Muysc ty, quycac ty aguene: Tejidos entre música, cosmogonía y naturaleza en cantos muiscas reterritorializados,” *Cuad. Mús. Artes Vis. Artes Escénicas*, vol. 15, no. 1, pp. 54–75, 2020. doi: 10.11144/Javeriana.mavae15-1.mtqn
- [8] R. Banse and K. R. Scherer, “Acoustic profiles in vocal emotion expression,” *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 70, no. 3, pp. 614–636, 1995.
- [9] P. N. Juslin and P. Laukka, “Communication of emotions in vocal expression and music performance: Different channels, same code?” *Psychol. Bull.*, vol. 129, no. 5, pp. 770–814, 2003.
- [10] J. Sundberg, *The Science of the Singing Voice*. DeKalb, IL: Northern Illinois University Press, 1987.
- [11] S. Feld, *Sound and Sentiment: Birds, Weeping, Poetics, and Song in Kaluli Expression*. Philadelphia, PA: University of Pennsylvania Press, 1982.
- [12] K. J. Infante Beltrán, N. O. Forero Díaz, y A. Pardo Rodríguez, *Aplicación de la serie de Fourier en la eliminación de armónicos musicales para obtener un tono puro*. Fusagasugá, Colombia: Sello Editorial Universidad de Cundinamarca, 2024. ISBN: 978-628-7702-08-0.