

## RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO DE SONIDO
2. **TÍTULO:** PLATAFORMA VIRTUAL DEL PAISAJE SONORO DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CHINGAZA
3. **AUTORES:** Vivian Marcela Hernandez Guacaneme, Andrea Jessel Pérez Varela
4. **LUGAR:** Bogotá, D.C
5. **FECHA:** Enero 2019
6. **PALABRAS CLAVE:** Algoritmo, Paisaje Sonoro, Diferencia Interaural, Pagina Web, Imagen 360°, Localización de Fuentes Sonoras.
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** El objetivo principal de este proyecto es desarrollar una herramienta virtual que contenga imagen y sonido en 360 grados del Parque Nacional Natural Chingaza para ser usado en una plataforma virtual de inmersión y evaluar la calidad de la inmersión generada por la herramienta implementada en la página web.
8. **LÍNEAS DE INVESTIGACION:** Línea de Investigación de la USB: Tecnologías actuales y Sociedad. Campo temático del programa: Acústica.
9. **METODOLOGÍA:** El desarrollo de este proyecto presenta un enfoque empírico analítico, que busca el desarrollo de una herramienta virtual de inmersión del paisaje sonoro del Parque Nacional Natural Chingaza.
10. **CONCLUSIONES:** A partir de las actividades realizadas durante el presente proyecto se puede concluir que, es posible realizar una herramienta virtual definida en un algoritmo de trabajo que permite la inmersión audiovisual en 360 grados del Parque Nacional Natural Chingaza haciendo uso de la técnica de grabación SASS con bastante precisión. Esta herramienta virtual implementada en una página web se desempeña de la manera correcta al permitir la inmersión de los usuarios en los 4 senderos escogidos por cada uno para ser evaluados.

# **Plataforma Virtual del Paisaje Sonoro del Parque Nacional Natural Chingaza**

**Andrea Jessel Pérez Varela  
Vivian Marcela Hernández Guacaneme**

Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Sonido

Bogotá, Colombia

2018

# **Plataforma Virtual del Paisaje Sonoro del Parque Nacional Natural Chingaza**

**Andrea Jessel Perez Varela  
Vivian Marcela Hernández Guacaneme**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero de sonido:

Director

MSc. Luis Fernando Hermida Cadena

Línea de Investigación:

Acústica

Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Sonido

Bogotá, Colombia

2018



## **Agradecimientos**

A Parques Nacionales de Colombia por permitirnos, bajo la ley colombiana, llevar a cabo nuestro proyecto de grado. Igualmente, a la guía Ana Arias, ya que su acompañamiento fue de vital importancia al seleccionar los puntos de grabación dentro del parque.

A nuestro director de tesis, Ingeniero Luis Fernando Hermida por haber sido un gran apoyo durante todo este proceso. No solo fue para nosotras un excelente docente y guía, sino que fue un gran motor en el proceso al brindarnos apreciaciones certeras, correcciones pertinentes y un conocimiento indiscutible, clave en el desarrollo de la tesis.

A nuestros padres por el apoyo incondicional en estos largos años. Por brindarnos la oportunidad de estudiar en un lugar tan privilegiado, por soportar las largas jornadas más allá de la medianoche, sus consejos y su ayuda siempre que lo necesitábamos. Su amor y confianza en nosotras nos ha guiado todos estos años.



## Resumen

Colombia es el segundo país con mayor biodiversidad a nivel mundial, con alrededor de 7 millones de hectáreas de áreas protegidas. Generar una mayor visibilidad de dichos lugares es importante para poder concientizar sobre la importancia de estos espacios y evidenciar los daños ambientales que son provocados en el territorio nacional por público general.

Este proyecto presenta el desarrollo de un algoritmo que busca generar una herramienta virtual que contenga audio y video en 360 grados de 8 puntos grabados en el Parque Nacional Natural Chingaza para su posterior implementación en una página web.

En primer lugar, se realizaron pruebas subjetivas para determinar entre 4 técnicas de grabación estéreo la más apropiada para su uso en el proyecto. Posteriormente se procedió a grabar los paisajes sonoros del Parque, para luego realizar la investigación pertinente con el fin de desarrollar un reproductor de video que permitiera generar una experiencia en 360 grados para su posterior implementación en la página web desarrollada. Por último, se realizó una evaluación de la herramienta de inmersión a través de pruebas subjetivas. De esta evaluación se obtuvo que la herramienta cumplía con su objetivo conservando la calidad de las grabaciones y la riqueza de los paisajes sonoros, generando un alto nivel de inmersión y una sensación de realidad favorable.

**Palabras clave:** Algoritmo, Paisaje Sonoro, Diferencia Interaural, Pagina Web, Imagen 360°, Localización de Fuentes Sonoras.

## Abstract

Colombia is the second country with the greatest biodiversity worldwide, with around 7 million hectares of protected areas. Generating greater visibility of these places is important to raise awareness of the importance of these spaces and evidence the environmental damage that is caused in the national territory by the general public.

This project presents the development of an algorithm with the purpose of generating a virtual tool that contains audio and video in 360 degrees of 8 recorded points in the Chingaza Natural National Park for its later implementation in a web page.

In the first place, subjective tests were carried out to determine among 4 recording techniques the most appropriate for its use in the project. Later, the sound landscapes of the Park were recorded, and then the pertinent research was carried out in order to develop a video player that would generate a 360-degree experience for its subsequent implementation on the website developed. Finally, an evaluation of the immersion tool was carried out through subjective tests. From this test, the result show that the tool fulfilled its objective while preserving the quality of the recordings and the richness of the soundscapes, generating a high level of immersion and a favorable feeling of reality.

**Keywords: Soundscape, Interaural Difference, Web Page, 360° Image, Localization of Sound Sources.**

# Contenido

	<b>Pág.</b>
<b>1. Problema de Investigación .....</b>	<b>17</b>
1.1 Descripción y formulación del problema de investigación .....	17
1.2 Objetivo General .....	19
1.3 Objetivos Específicos .....	19
1.4 Alcances .....	19
1.5 Limitaciones .....	20
1.6 Justificación.....	20
<b>2. Marco de Referencia .....</b>	<b>21</b>
2.1 Antecedentes del problema .....	21
2.1.1 Parque Nacional Natural Chingaza - Orlando Vargas Rios 2003.....	21
2.1.2 Comportamiento de Visitantes a Áreas Protegidas Nacionales con Vocación Ecoturística – Subdirección de Sostenibilidad y Negocios Ambientales 2016.....	21
2.1.3 Soundscape Ecology – Almo Farina 2014 .....	21
2.1.4 USA National Parks and management of parks soundscapes: A Review – N. Miller 2008	21
2.1.5 Acoustic Monitoring Report, Denali National Park and Preserve – U.S Department of Interior 2012 .....	22
2.1.6 Fragment of Extincion – David Monacchi 2014 .....	22
2.1.7 Fragments of Extinction: The Sonic Heritage of Ecosystems – David Monacchi 2014	22
2.1.8 Algunos Paisajes Sonoros de Colombia – Jose Delgado 2012.....	22
2.1.9 Spatial Music, Virtual Reality and 360 Media – E. Bates & F. Boland 2016 .....	23
2.1.10 Algoritmo De Rastreo Aplicado A Una Instalación Multimedia De Paisajes Sonoros De 3 Sitios De Bogotá – Albarracín J. & Kilsch C. ....	23
2.2 Marco Teórico .....	24
2.2.1 Ubicación Espacial de Fuente.....	24
2.2.1.1 Diferencia Interaural de Tiempo (ITD).....	24
2.2.1.2 Diferencia Interaural de Intensidad (IID).....	25
2.2.1.3 Función de Transferencia de la Cabeza (HRTF) .....	26
2.2.2 Técnicas de Grabación .....	28
2.2.2.1 M-S Estéreo.....	28
2.2.2.2 X-Y Estéreo.....	29
2.2.2.3 ORTF .....	30
2.2.2.4 Grabación Binaural .....	31

2.2.2.5	Técnica SASS .....	32
2.2.2.6	Técnica OSS .....	33
2.2.2.7	Selección de Técnica Estéreo.....	34
2.2.3	Micrófonos d:screet 4060 .....	35
2.2.4	Parques Nacionales de Colombia.....	36
2.2.5	Paisaje Sonoro.....	37
2.2.6	Inmersión Virtual .....	38
2.2.7	Interactividad .....	38
2.2.8	Página Web y Programación.....	39
2.2.9	Unity 3D .....	41
2.2.10	Espacialización de audio .....	42
2.2.11	Evaluación Subjetiva.....	42
<b>3.</b>	<b>Diseño Metodológico.....</b>	<b>46</b>
3.1	Tipo y Enfoque de investigación .....	46
3.2	Recopilación de datos.....	46
3.3	Categorías de análisis .....	47
3.3.1	Variables Independientes .....	47
3.3.2	Variables Dependientes .....	47
3.4	Instrumentos .....	47
<b>4.</b>	<b>Desarrollo Ingenieril.....</b>	<b>50</b>
4.1	Selección de técnica de grabación.....	50
4.1.1	Análisis de Técnicas de Captura .....	50
4.1.2	Construcción Técnicas de Captura SASS y OSS .....	52
4.1.3	Grabación de Prueba con Técnicas de Captura.....	53
4.1.4	Pruebas Subjetivas Para Selección de Técnica de Captura.....	56
4.2	Programación de la experiencia 360 Grados .....	59
4.2.1	Grabación en el Parque.....	59
4.2.2	Edición de Audio y Video .....	61
4.2.3	Desarrollo de reproductor de video en 360 grados.....	62
4.2.3.1	Espacializador Oculus .....	66
4.2.3.2	Espacializador Steam Audio .....	67
4.2.3.3	Espacializador Resonance .....	68
4.2.4	Desarrollo Página Web.....	70
4.3	Evaluación de la Herramienta.....	73
<b>5.</b>	<b>Presentación y análisis de resultados .....</b>	<b>75</b>
5.1	Tiempo de Reverberación Live Estudio Digital .....	75
5.2	Medición Ruido de Fondo Estudio de Mastering .....	77
5.3	Resultados Pruebas Para Selección de Técnica de Grabación.....	77
5.4	Resultados Desarrollo de la Página Web.....	81
5.5	Resultados Pruebas de la Página Web.....	84
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>89</b>
6.1	Conclusiones.....	89
6.2	Recomendaciones.....	90
	<b>Referencias .....</b>	<b>109</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 2-2-1:</b> Representación de la diferencia del ITD.....	23
<b>Figura 2-2-2:</b> Representación de la diferencia del IID.....	25
<b>Figura 2-2-3:</b> Técnica estéreo M-S.....	27
<b>Figura 2-2-4:</b> Técnica estéreo X-Y.....	28
<b>Figura 2-2-5:</b> Técnica estéreo ORTF. ....	29
<b>Figura 2-2-6:</b> Técnica Binaural. ....	30
<b>Figura 2-2-7:</b> Técnica estéreo SASS. ....	31
<b>Figura 2-2-8:</b> Técnica estéreo OSS. ....	32
<b>Figura 4-1-1:</b> Técnica estéreo OSS. ....	49
<b>Figura 4-1-2:</b> Técnica estéreo SASS. ....	49
<b>Figura 4-1-3:</b> Esquema de conexión para tiempo de reverberación.....	50
<b>Figura 4-1-4:</b> Grabación técnica estéreo SASS.....	51
<b>Figura 4-1-5:</b> Grabación técnica estéreo OSS.....	51
<b>Figura 4-1-6:</b> Grabación técnica Binaural.....	52
<b>Figura 4-1-7:</b> Grabación técnica estéreo M-S. ....	52
<b>Figura 4-1-8:</b> Proceso de calibración de la cabeza Binaural.....	53
<b>Figura 4-1-9:</b> Proceso de calibración en el programa EASERA®.....	54
<b>Figura 4-1-10:</b> Participantes de prueba estudiantes.....	54
<b>Figura 4-2-1:</b> Flujo de Señal para grabación de paisajes. Fuente: Propia.....	56
<b>Figura 4-2-2:</b> Grabación de Paisajes Sonoros Fuente: Propia.....	56
<b>Figura 4-2-3:</b> Conversión Videos. Fuente: Propia.....	57
<b>Figura 4-2-4:</b> Esfera donde se reproduce el video.....	58
<b>Figura 4-2-5:</b> Diagrama de flujo de cambio de imágenes.....	59
<b>Figura 4-2-6:</b> Diagrama de flujo de rotación de cámara.....	60
<b>Figura 4-2-7:</b> Parámetros de configuración del AudioSource.....	61
<b>Figura 4-2-8:</b> Diagrama de flujo del Reproductor de Video y Audio.....	65

---

<b>Figura 4-2-9:</b>	Diagrama de flujo de la Pagina Web .....	68
<b>Figura 4-2-10:</b>	Bosquejo a mano alzada Página de inicio y Acerca de.....	67
<b>Figura 5-1-1:</b>	Datos de Aurora Acustical Parameters. ....	69
<b>Figura 5-2-1:</b>	Ruido de Fondo Estudio de Mastering.....	73
<b>Figura 5-3-1:</b>	Porcentaje de Acierto Profesores y Estudiantes.....	74
<b>Figura 5-3-2:</b>	Porcentaje de Aciertos Exactos Profesores y Estudiantes .....	75
<b>Figura 5-3-3:</b>	Porcentaje de Acierto Profesores y Estudiantes.....	76
<b>Figura 5-3-4:</b>	Porcentaje de Aciertos Exactos Profesores y Estudiantes .....	76
<b>Figura 5-4-1:</b>	Página de Inicio.....	77
<b>Figura 5-4-2:</b>	Página de Acerca de.....	78
<b>Figura 5-4-3:</b>	Página de Información .....	79

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 4-1-1:</b> Comparación de técnicas de grabación M-S, Binaural, SASS y OSS.....	51
<b>Tabla 4-4-1:</b> Comparación de espacializadores Oculus, Steam Audio y Rosnance.....	68
<b>Tabla 5-1-1:</b> Datos obtenidos del Live del Estudio Digital .....	76

## Lista de ecuaciones

	<b>Pág.</b>
<b>Ecuación 1</b> Ecuación de ITD para frecuencias menores a 4000 Hz.....	26
<b>Ecuación 2</b> Ecuación ITD para frecuencias mayores a 4000 Hz.....	26
<b>Ecuación 3</b> Ecuación para IID.....	27
<b>Ecuación 4</b> Precisión sonora de los oídos izquierdo y derecho (Potisk, 2015).....	28
<b>Ecuación 5</b> Presión Sonora en el dominio de la frecuencia.....	28
<b>Ecuación 6</b> Onda que Arriba a los oídos.....	28
<b>Ecuación 7</b> Onda procesada por el HRTF.....	28
<b>Ecuación 8</b> Ecuación de Distancia Crítica.....	71
<b>Ecuación 9</b> Ecuación Tiempo de Reverberación.....	72
<b>Ecuación 10</b> Ecuación Coeficiente de Absorción.....	72
<b>Ecuación 11</b> Ecuación Constante de Absorción.....	72

## Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una herramienta virtual que contenga imagen y sonido en 360 grados del Parque Nacional Natural Chingaza, para ser usado en una plataforma virtual de inmersión. Esta página web solo podrá ser utilizada desde un computador con el uso de audífonos para realizar de manera adecuada la escucha del audio en 360 grados.

En los últimos años el aumento significativo del desarrollo de videos en 360 grados se ha visto impulsado por plataformas de realidad virtual y el continuo avance en técnicas de captura con un enfoque hiperrealista. Estos están siendo utilizados por compañías como la BBC, Facebook, desarrolladores de videojuegos y la industria musical. Los contenidos innovadores se usan para presentar reportajes, brindar a los usuarios novedosas herramientas interactivas y experiencias diferentes a las encontradas en el mercado popular.

La necesidad de la herramienta en los parques nacionales a nivel global radica en generar una visualización de los reservorios naturales de dichos lugares, para crear una conciencia colectiva sobre la importancia de dichos espacios y la riqueza que estos albergan. El aumento anual del índice de deforestación demuestra el peligro al que se someten estas áreas a la destrucción humana. La conservación de la flora y fauna endémica de los bosques altos andinos y páramos presentes en el Parque Nacional Natural Chingaza va más allá de una tarea de protección, sino que atañe directamente a la población aledaña al parque por su importancia hídrica.

La metodología utilizada para el desarrollo de la herramienta virtual consistió en la elaboración de pruebas subjetivas con el fin de determinar la técnica de grabación más apropiada para la captura en 360 grados de los paisajes sonoros seleccionados en el Parque. Una vez obtenidos los videos y audios de cada punto escogido se procedió al desarrollo de un reproductor de video que permitiera la escucha en 360 grados de cada uno de los puntos. Por último, se elaboró una prueba subjetiva con la cual se evaluó el rendimiento de la página web implementada y del reproductor dentro de la herramienta virtual.

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos en dichas pruebas, los cuales permiten evidenciar que la herramienta de inmersión tiene un alto desempeño debido a que la calidad del audio y el video fue percibida como muy buena por los usuarios. Adicionalmente, se determinó que la escucha en 360 grados tuvo un alto desempeño para la identificación de las fuentes en el azimuth.



# 1. Problema de Investigación

## 1.1 Descripción y formulación del problema de investigación

Colombia es el segundo país con más biodiversidad a nivel mundial, gracias a la presencia de los diferentes pisos térmicos. Un ejemplo de ello es el Parque Nacional Natural Chingaza, que cuenta con 1.003 especies de plantas y 249 especies de animales, además de considerarse de gran importancia para el sistema de Acueducto de Bogotá al ser considerado un reservorio hídrico (Vargas Rios, 2003). Sin embargo, estos parques se encuentran expuestos a un cambio eco sistemático generado por el hombre debido a las actividades realizadas en estos espacios, especialmente por el turismo y la industria. En el año 2004 el IDEAM<sup>1</sup> presentó su primer informe anual de deforestación, evidenciando que en los departamentos de Meta, Caquetá y Antioquia se presente este fenómeno en un porcentaje del 52,7 con respecto al nivel nacional, significando un peligro para las especies que habitan este ecosistema.

Por otro lado, en el año 2016 las cifras registradas de turismo a nivel nacional en los parques Naturales de Colombia correspondieron a 1'446.716 personas, específicamente en el Parque Natural Chingaza se presentó un aumento del 30 % con un total de 23.248 visitantes ese año (“SUBDIRECCIÓN DE SOSTENIBILIDAD Y NEGOCIOS AMBIENTALES,” 2017) lo cual, como se mencionó anteriormente, representa una amenaza para el ecosistema de este parque.

Pasando al campo de la eco-acústica, ésta ha sido definida como “El estudio sistemático de las relaciones entre los humanos y el ambiente sonoro” (Truax, 1999), donde se brindan herramientas para estudios conservacionistas respecto a la evaluación de la calidad ambiental de parques y áreas protegidas (Farina, 2014). La necesidad de investigar los patrones y procesos creados por los sonidos en todos los niveles de complejidad biológica es estudiada por una rama conocida como paisaje sonoro natural, a partir de la cual se permite el desarrollo de procesos que guían la captura y análisis de diferentes paisajes sonoros.

---

<sup>1</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Alrededor del mundo se han realizado diversos estudios y proyectos sobre paisajes sonoros en parques naturales. En Estados Unidos, desde 1988, se creó el servicio de Parques Naturales (NPS), encargado de desarrollar procesos y métodos que ayuden a preservar los paisajes sonoros de los parques que se ven afectados por la presencia de humanos y el ruido que estos causan (Miller, 2008), en dichos estudios solo se especifican los métodos usados sin evidenciar los resultados de las mediciones realizadas en los parques. Por otro lado, desde el 2004, se empezó a desarrollar la grabación del Parque Nacional Denali ubicado en Alaska de la cual, para el año 2012 se había recolectado información suficiente para disponer del paisaje sonoro de este parque en línea (Betchkal, 2013), a pesar de que este proyecto guarda similitud con lo que se busca lograr, este carece de la interactividad que se busca obtener. En 2014 se comenzó a realizar el proyecto Fragment of Extinction por David Monacchi (Monacchi, n.d.) el cual consta de una plataforma virtual interactiva en la que es posible encontrar los registros obtenidos de los paisajes sonoros de los principales bosques tropicales de África, Amazonas y Borneo (Monacchi, 2014) con el fin de preservar estos escenarios acústicos y crear conciencia entre las personas acerca de la sexta extinción en masa que se cree ocurrirá a finales de este siglo. Igualmente, la organización propone experiencias realizadas en teatros móviles, fijos o de alquiler, los cuales permiten la inmersión y una educación del usuario a partir de lo que escucha del medio. De este proyecto cabe resaltar la interactividad con la que cuenta y la excelente calidad de los audios incluidos en la página, sin embargo, esta no cuenta con registros visuales de las capturas realizadas.

Por otra parte, en Colombia, el artista José Ricardo Delgado Franco realizó la grabación de los diferentes sonidos producidos en el Parque Natural Tuparro y el Parque Nacional Cueva de los Guacharos (Delgado, 2012). A pesar de hacer una grabación similar a la que se busca desarrollar, éste fue abordado desde un punto de vista netamente artístico, componiendo música a través de los paisajes sonoros capturados, de igual forma, en el año 2015, se llevó a cabo una grabación del paisaje sonoro de los cerros orientales de Bogotá (Cuervo, 2015) con la que se realizó una instalación sonora en donde se invitaba a los transeúntes a escuchar los sonidos capturados en los cerros orientales, con el objetivo de concientizar a las personas de la existencia de las riquezas que los rodea.

Se logra observar que la mayoría los paisajes sonoros presentados anteriormente tienen audio estereofónico, lo cual no permite una inmersión en el medio, de ahí que nuestra propuesta busque generar un mayor nivel de inmersión con la presentación del audio en 360 grados, ya que el oyente se ve afectado por este tipo de audios, provocando que lo que escuche sea interiorizado a un mayor

nivel y se perciba de manera efectiva el carácter envolvente tomado de una escena de audio o video (Bates & Boland, 2016).

Teniendo en cuenta tanto las herramientas tecnológicas como la captura de paisajes sonoros, desarrollados con el fin de dar una mayor visualización a diversos ecosistemas a nivel mundial, y la importancia que los parques naturales tienen actualmente para Colombia los cuales se encuentran en riesgo, se plantea la siguiente pregunta ¿Cómo generar una experiencia de inmersión a través de una plataforma virtual que contenga el registro audiovisual en 360 grados del Parque Nacional Natural Chingaza?

## **1.2 Objetivo General**

Desarrollar una herramienta virtual que contenga imagen y sonido en 360 grados del Parque Nacional Natural Chingaza para ser usado en una plataforma virtual de inmersión.

## **1.3 Objetivos Específicos**

- Determinar la técnica más apropiada para la captura de 360 grados del paisaje sonoro del Parque Nacional Natural Chingaza en los 2 puntos escogidos en cada uno de los 4 senderos habilitados al público.
- Definir el algoritmo de programación que permita una experiencia de 360 grados del paisaje sonoro de los senderos del Parque Nacional Natural Chingaza.
- Evaluar el nivel de inmersión que genera la herramienta implementada en la página web.

## **1.4 Alcances**

- La página contendrá el paisaje sonoro de 8 puntos de 4 senderos del Parque Nacional Natural Chingaza.
- El nivel de inmersión generado por la herramienta será evaluada a través de pruebas subjetivas.

## 1.5 Limitaciones

- La implementación se realizará en una página web, la cual solo contará con una versión para navegador, motivo por el cual solo será accesible en un computador de escritorio. Además, el sistema requiere ser usado con audífonos.
- Los paisajes sonoros incluidos dentro de la página web hacen referencia a dos puntos en cada uno de los senderos habilitados al público del Parque Nacional Natural Chingaza.

## 1.6 Justificación

La grabación e implementación de paisajes sonoros en distintas plataformas ha sido una herramienta de gran importancia, esta se ha desarrollado con el objetivo de concientizar sobre la riqueza natural que se encuentra alrededor del planeta. La grabación e implementación de paisajes sonoros en distintas plataformas ha sido una herramienta de gran importancia. El objetivo de su desarrollo es concientizar sobre la riqueza natural que se encuentra alrededor del planeta. Las actividades humanas, tales como la deforestación y consecuentemente el cambio climático, somete a un peligro inminente la desaparición de estos lugares junto con todas las especies que lo habitan.

Desde la Ingeniería de Sonido es importante el desarrollo de herramientas que permitan una mayor difusión de estos espacios, para que cualquier persona pueda acceder a ellas y se concienticen acerca de aquello que ignoran por el crecimiento desbordado de la industria. Al utilizar herramientas de captura en 360 grados, se asegura una mayor inmersión en el espacio, generando una apropiación del lugar.

## **2. Marco de Referencia**

### **2.1 Antecedentes del problema**

#### **2.1.1 Parque Nacional Natural Chingaza - Orlando Vargas Rios 2003**

Este documento habla de las características climáticas, geográficas y bióticas que hacen parte del ecosistema del parque, al encontrarse este en pisos térmicos de bosque sub-andinos, andinos y paramos. Los proyectos de conservación respecto a la fauna y flora del lugar, y, la importancia de dicho parque para sistemas de acueducto.

#### **2.1.2 Comportamiento de Visitantes a Áreas Protegidas Nacionales con Vocación Ecoturística – Subdirección de Sostenibilidad y Negocios Ambientales 2016**

En este informe se presentan los datos sobre turismo en el año 2016 sobre todos los Parques Naturales de Colombia, es importante tener estos datos ya que da un panorama sobre el incremento del eco-turismo de los últimos años. Cabe resaltar, que a pesar de que estos datos pueden cambiar con el tiempo, en los últimos años en Colombia se ha visto una tendencia de aumento de visitas por parte de turistas a Parques Naturales.

#### **2.1.3 Soundscape Ecology – Almo Farina 2014**

En este libro, se habla de las características de los paisajes sonoros, los elementos bióticos, tecnológicos y geográficos que lo componen. Además, de presentar la importancia de los estudios eco-acústicos de los ecosistemas, junto a técnicas de captura y elementos requeridos para realizar una grabación con una mayor fidelidad. Se debe mencionar, que la información que se brinda es completamente teórica, generando vacíos especialmente cuando se lleva a la práctica.

#### **2.1.4 USA National Parks and management of parks soundscapes: A Review – N. Miller 2008**

En este artículo se presentan las experiencias obtenidas por el National Park Service de Estados Unidos durante todos los años de trabajo, igualmente presentan recomendaciones

sobre qué cantidad de tiempo medir y en qué lugares de los parques realizaron las grabaciones de los paisajes sonoros.

En este documento llegan a la conclusión que en Estados Unidos han logrado muchos avances en cuando a medición y métodos de modelamiento, los cuales deben ser usados con el fin de mantener y preservar los parques naturales de dicho país.

### **2.1.5 Acoustic Monitoring Report, Denali National Park and Preserve – U.S Department of Interior 2012**

Este informe presenta todos los equipos utilizados y factores tenidos en cuenta para el monitoreo del Parque Nacional Natural Denali en Alaska la cual fue realizada entre el año 2005 a 2012 en 63 puntos del parque que tuvo como resultado la grabación del paisaje sonoro de 10 puntos del parque, en este estudio se tuvo en cuenta el número de vuelos que atravesaban el parque, ya que estos tienen una gran repercusión en el paisaje sonoro que se está estudiando.

### **2.1.6 Fragment of Extinction – David Monacchi 2014**

Esta página web presenta las grabaciones realizadas en África, Amazonas y Borneo, estos paisajes sonoros se presentan con audios de 360 grados que solo se encuentran disponibles para iPad, por lo cual esto es una limitante para la escucha inmersiva de los audios, ya que en otros dispositivos solo se encuentran audios estereofónicos.

### **2.1.7 Fragments of Extinction: The Sonic Heritage of Ecosystems – David Monacchi 2014**

Este artículo presentado para el MIT Press presenta la propuesta de 3 diferentes museos que contienen el paisaje sonoro grabados en África, Amazonas y Borneo con lo cual se busca concientizar a las personas sobre la riqueza natural que se encuentra en estos lugares e igualmente generar conciencia sobre la sexta extinción en masa que se presentará por el desarrollo desmedido de la industria; la cual pone en peligro a estos ecosistemas.

### **2.1.8 Algunos Paisajes Sonoros de Colombia – Jose Delgado 2012**

Este proyecto fue realizado por José Ricardo Delgado, en este se presentan las grabaciones realizadas en el Parque Natural Tuparro y en el Parque Nacional Cueva de los Tuparros con

el fin de componer música a partir de los sonidos obtenidos durante las grabaciones, igualmente se presenta un artículo que presenta antecedentes sobre eco-acústica y experiencias sobre el proceso de grabación.

### **2.1.9 Spatial Music, Virtual Reality and 360 Media – E. Bates & F. Boland 2016**

En este artículo, se habla acerca de la diferencia que existe entre técnicas de captura estereofónicas y el uso de micrófonos ambifónicos, las nuevas tecnologías con respecto al audio en 360 grados, además, de realizar comparaciones entre sistemas de reproducción 5.1 y estéreo. Es importante decir, que la información que se brinda es enteramente teórica. Para los autores, los trabajos realizados no han logrado aprovechar al máximo las posibilidades espaciales de la grabación, debido a una falta de incorporación del uso efectivo del espacio en la estética compositiva, como se ha realizado en obras corales, electroacústica y paisajes sonoros.

### **2.1.10 Algoritmo De Rastreo Aplicado A Una Instalación Multimedia De Paisajes Sonoros De 3 Sitios De Bogotá – Albarracín J. & Kilsch C.**

En este proyecto se realizó un algoritmo de rastreo que se aplicó en una instalación multimedia de 3 paisajes sonoros de Bogotá. En el desarrollo de este proyecto usaron la técnica de grabación ORTF para obtener una grabación en 360 grados la cual posteriormente fue grabada con una cabeza binaural para así obtener todos los audios necesarios para la instalación, posteriormente se realizó un post-procesamiento de audio en el software Unity, por último, se realizaron pruebas subjetivas con las que evaluaron el desempeño de la herramienta.

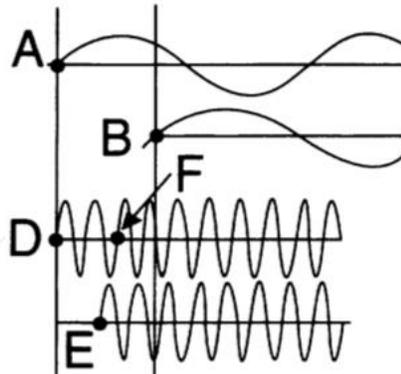
## 2.2 Marco Teórico

### 2.2.1 Ubicación Espacial de Fuente

#### 2.2.1.1 Diferencia Interaural de Tiempo (ITD)

La diferencia inter-aural de tiempo es el retardo de llegada de una señal entre un oído a otro, esto nos permite localizar una fuente sonora. El ITD está definido por la frecuencia ya que solo es posible identificar esta diferencia de tiempo en frecuencias menores a 1.5K Hz (Madole & Begault, 1995a), frecuencia en la cual la longitud de onda se aproxima al doble de la distancia entre los dos oídos. Como se puede observar en la figura 2-1-1 al tener una frecuencia baja, el retraso podrá ser identificado de mejor forma, pero al ser una frecuencia por encima de 1.5K Hz, el tamaño de la onda será mayor al de la cabeza, por lo tanto, el tiempo de retraso va a ser mucho menor por lo que ya no será posible identificar cual es la principal.

**Figura 2-2-1:** Representación de la diferencia del ITD.



Fuente: Begault. (D 3-D Sound For Virtual Reality And Multimedia (2003) Figura P.32)

Después de diversas investigaciones para determinar los retardos necesarios para simular la diferencia interaural de tiempo se llegó a las siguientes ecuaciones:

Para frecuencias menores a 4000 Hz

**Ecuación 1** Ecuación de ITD para frecuencias menores a 4000Hz

$$ITD = \left(3 * \frac{r}{c}\right) * \text{sen}(\theta)$$

$r = \text{Radio de la Cabeza}$

$c = \text{velocidad del sonido}$

$\theta = \text{ángulo de incidencia}$

Para frecuencias mayores a 4000 Hz

**Ecuación 2** Ecuación ITD para frecuencias mayores a 4000Hz

$$ITD = \left(2 * \frac{r}{c}\right) * \text{sen}(\theta)$$

$r = \text{Radio de la Cabeza}$

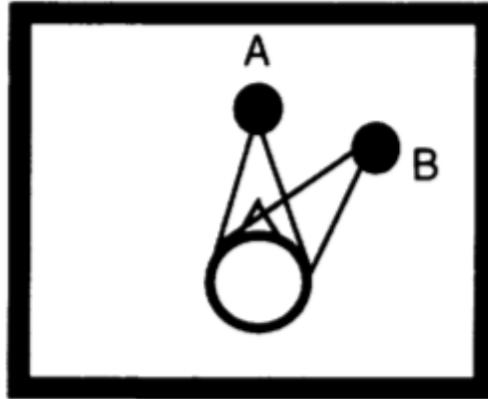
$c = \text{velocidad del sonido}$

$\theta = \text{ángulo de incidencia}$

### 2.2.1.2 Diferencia Interaural de Intensidad (IID)

Cuando un sonido tiene su fuente de origen desde el lado derecho de la cabeza, este llegará primero al oído derecho, por lo que tendrá que hacer un recorrido más largo para rodear la cabeza y llegar al oído izquierdo, lo anterior genera una diferencia interaural de intensidad, fenómeno que se ve reflejado solo para frecuencias que tengan una longitud de onda menor al diámetro de la cabeza (Madole & Begault, 1995a), ya que esta actúa como un obstáculo, generando que el sonido sea difractado por la cabeza por lo que el este perderá energía al hacer el recorrido, ya que la cabeza actuará como una sombra acústica, esta sombra será más significativa a medida que aumenta la frecuencia, por el contrario, para frecuencias por debajo de 1000 Hz la cabeza no será un obstáculo significativo ya que a longitud de onda será mayor al diámetro de la cabeza.

**Figura 2-2-2:** Representación de la diferencia del IID.



Fuente: Begault. (D 3-D Sound For Virtual Reality And Multimedia (2003) Figura P.32)

La diferencia interaural de intensidad puede ser calculada con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3** Ecuación para IID

$$IID = \left(1 + \frac{f}{1000}\right)^{0.8} * \text{sen}(\theta)$$

$f = \text{Frecuencia en Hz}$

$\theta = \text{ángulo de incidencia}$

### 2.2.1.3 Función de Transferencia de la Cabeza (HRTF)

LA HRTF es es la transformada de Fourier de la respuesta al impulso de la cabeza HRIR (Head-Related Impulse Response), donde se enfatiza en la complejidad de la función al obtener la información de ambos oídos y sus diferencias de magnitud y fase. El HRIR depende de la localización relativa de la fuente al oyente, permitiendo una localización sonora.

Las respuestas al impulso del oído derecho e izquierdo corresponden en el dominio del tiempo a  $h_L(t)$  y  $h_R(t)$  respectivamente. En el dominio de la frecuencia corresponden a  $H_R(\omega)$  y  $H_L(\omega)$ . (Potisk, 2015)

La función  $x(t)$  describe la presión de la fuente sonora y  $x_L(t)$  y  $x_R(t)$  describen la presión del oído izquierdo y derecho. En el dominio del tiempo, la presión en ambos oídos se expresa como una convolución de la señal de audio y el HRIR de cada uno de los oídos:

**Ecuación 4** Presión sonora en los oídos izquierdo y derecho. (Potisk, 2015)

$$x_{L,R}(t) = h_{L,R}(t) * x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h_{L,R}(t - \tau)x(\tau)d\tau$$

**Ecuación 5** Presión sonora en el dominio de la frecuencia

$$X_{L,R}(\omega) = F(h_{L,R}(t) * x(t)) = H_{L,R}(\omega)X(\omega)$$

Adicionalmente, se debe tener en cuenta el efecto pinna el cual puede causar retrasos de entre 0 a 300ms, lo que causa que el contenido espectral difiera del sonido de la fuente, igualmente esto se da por la forma compleja de la pinna la cual también se ve influenciada por la posición de la fuente, ya que el sonido va a incidir de forma diferente según la posición inicial del sonido. (Madole & Begault, 1995a).

Teniendo en cuenta que el HRTF es un filtro que procesa las señales que arriban al oído, una señal  $S(t)$  sufrirá cambios de amplitud y fase con los cuales se obtiene la señal de salida  $S_f(t)$ , en la cual existen diferencias de amplitud y fase las cuales corresponden a IID e ITD respectivamente. Dichas ecuaciones se presentan a continuación.

**Ecuación 6** Onda que arriba a los oídos.

$$S(t) = \sum_i A_i \sin(\varphi_i(t))$$

**Ecuación 7** Onda procesada por el HRTF

$$\hat{S}(t) = \sum_i \hat{A}_i \sin(\hat{\varphi}_i(t))$$

$$\hat{\varphi}_i(t) = \varphi_i(t) + \theta$$

**Figura 2-2-3:** Filtro HRTF



El HRTF es usado frecuentemente para aplicaciones de sonido 3D, el cual se puede aplicar de forma teórica o de forma práctica tal como se ve en el portal Electrical and Computing Engineering en cual realizo mediciones en 45 personas y a la cabeza binaural KEMAR (CIPIC/IDAV Interface Laboratory, 2001). El uso de esta base de datos puede dar más realismo a cualquier simulación de sonido 3D, ya que no solo se tiene en cuenta el ITD e IID, ya que solo usar estas no va generar una sensación de realismo en la escena (Madole & Begault, 1995b).

## 2.2.2 Técnicas de Grabación

### 2.2.2.1 M-S Estéreo

Técnica de capsulas coincidentes, en donde se hace el uso de un micrófono cardioide o capsula directiva, focalizada en el sonido frontal de la fuente, y, un micrófono con patrón de figura 8, apuntando perpendicularmente orientado hacia los lados hacia la fuente, teniendo en cuenta que ambos micrófonos se encuentren sobre el mismo eje. Llamado así por mid-side, al crear los canales correspondientes a L y R, se debe realizar un procedimiento de suma y una matriz que corresponda a la diferencia entre ambos.

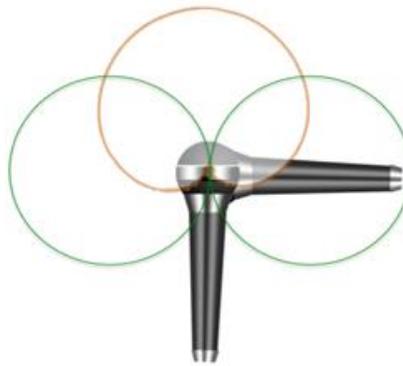
La manera en la que trabaja esta técnica se debe a que las mitades delantera y posterior del micrófono con diseño de figura 8 difieren entre sí, al hablar de la polaridad entre ambas capsulas que, al obtener una presión positiva en un lado, genera voltaje positivo, mientras que, en el otro lado, genera un voltaje negativo. Al realizar la suma de las señales del micrófono de figura 8 y un cardioide en fase, produce un lóbulo orientado hacia la izquierda. En un caso contrario, al ser restadas ambas señales, producen un lóbulo con información que se encuentra en el lado derecho, que está fuera de fase con el canal izquierdo. Para realizar la corrección de fase, solo se requiere realizar una inversión de fase con cualquier herramienta disponible (Holman, 2008).

El uso que se le da a este tipo de técnica de microfonía se concentra en la potencia irradiada por el sonido en el centro de un ensamble o instrumento,

puesto que su configuración realza el sonido procedente de dicha parte del objeto a capturar. Para grabación de efectos de sonido, el M-S también genera grandes ventajas (Barlett, 1991).

El M-S distingue el frente y la parte posterior, al presentar anulaciones provenientes de la señal recogida por el micrófono cardioide, y así, es posible obtener una mayor distancia entre las fuentes y los micrófonos, y/o definir el énfasis en la sala.

**Figura 2-2-4:** Técnica estéreo M-S.



Fuente: Propia

#### 2.2.2.2 X-Y Estéreo

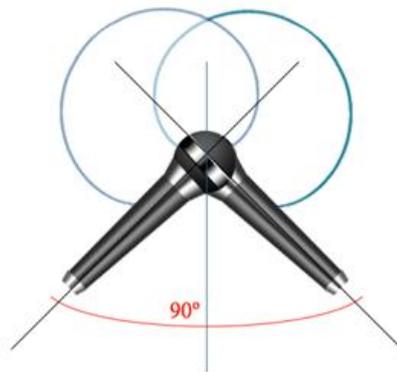
Técnica de micrófonos con capsula coincidente de patrones cardioides cruzados, que producen canales derecho e izquierdo directamente. La configuración X-Y no requiere de un dispositivo que genere una matriz, convirtiéndolo en un medio rápido y de fácil acceso; además, que al momento de generar una suma para un canal mono no se va a presentar problema.

La técnica X-Y genera una distinción del sonido que se encuentra enfrente y detrás del arreglo mediante el uso de la nulidad que producen los patrones cardioide o derivados de este (super cardioide, hiper cardioide). La separación existente entre ambas capsulas es de 90°, evitando cualquier cancelación que se pueda dar, lo cual se logra con una superposición entre ambos de modo vertical. Su uso se recomienda para fuentes puntuales que estén ubicadas a una distancia corta de los micrófonos. El posicionamiento de la imagen es inestable, por lo que se recomienda el uso de la

técnica X-Y cuando se trata de sonidos fijos o una microfónica que no deba ser movidos de lugar (Barlett, 1991).

Las técnicas coincidentes estándar presentan problemas cuando son usadas para propósitos de multicanal debido a que los micrófonos comúnmente están fabricados con patrones polares de primer orden, la salida no tiene suficiente directividad para separar L/C/R con exactitud y no se puede producir una selección adecuada a través de la etapa de sonido frontal (Holman, 2008).

**Figura 2-2-5:** Técnica estéreo X-Y.



Fuente: Propia

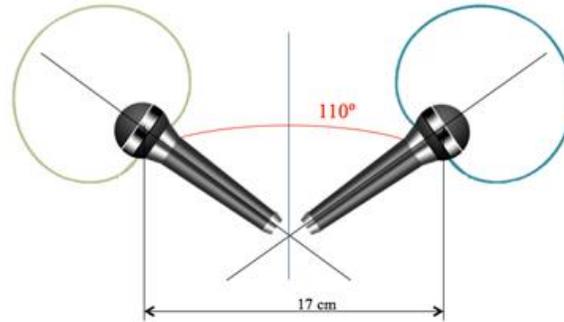
### 2.2.2.3 ORTF

El ORTF (Oficina de Radiodifusión y Televisión Francesa) es una técnica de microfónica estéreo que hace uso de dos micrófonos cardioides estableciendo un Angulo de  $110^\circ$  entre las capsula y una distancia de igual magnitud al espaciamiento existente entre los pabellones auditivos humanos, 17 cm. Este tipo de microfónica estéreo, se concentra en la distancia existente entre las orejas con el fin de recrear este sistema de la manera más fiel posible conservando la información monofónica (Barlett, 1991).

A bajas frecuencias, la configuración de micrófonos cardioides, donde la longitud de onda del sonido incidente en el aire es larga, la diferencia de tiempo que se presenta entre las señales es insignificante, esto quiere decir que la diferenciación que se realiza entre ambos se debe a los niveles. En el caso de las frecuencias altas la diferencia es causada por la combinación que

incide en el micrófono de tiempo y nivel, aunque, es también despreciable esa diferencia (Holman, 2008).

**Figura 2-2-6:** Técnica estéreo ORTF.



Fuente: Propia

#### 2.2.2.4 Grabación Binaural

Las cabezas binaural no se consideran una técnica de microfonía estéreo ya que el sistema completo es tomado como un solo micrófono con cápsulas separadas de comportamiento omnidireccional, además, de especificar la distinción en cuanto a sistemas de reproducción, en el cual, la cabeza binaural se ha desarrollado para su escucha en auriculares y presenta fallas en altavoces.

Dichas grabaciones son incompatibles con la reproducción estándar en equipos de sonido externos debido al cambio de color en las frecuencias de las variaciones que se obtiene de las presiones de la cabeza en dos ocasiones por el mismo sonido en simultáneo, en la etapa de grabación y reproducción (Barlett, 1991).

Este formato de grabación hace el uso de un modelo de la cabeza humana, con orejas externas (pinna), y micrófonos posicionados en la punta externa del canal auditivo modelado, o terminando el extremo interno de un canal auditivo artificial. Al imitar el sistema auditivo se es capaz de reproducir un modelo más o menos completo del envolvimiento global que una persona puede experimentar en el mundo real.

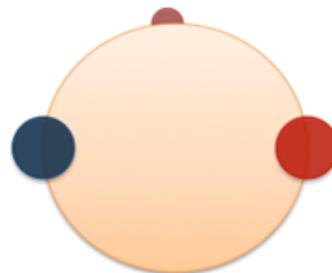
Gracias a la cabeza binaural se es capaz de crear la sensación de distancia puntual entre la fuente y el receptor, se discierne el sonido procedente de la izquierda, derecha y la parte superior del sistema; para el sonido que se desplace desde el frente

a la cabeza binaural pueden presentar una sensación de estar "dentro de la cabeza" del oyente, se cree, que se presenta al no generarse una grabación individualizada de la fuente además que de manera natural el comportamiento humano genera movimientos de la cabeza para "ubicar eficazmente" sonidos externos.

El sistema auditivo humano genera una fusión entre los sonidos provenientes del frente y detrás del individuo, algo que no ocurre con la cabeza binaural. Sin importar que el común de la gente no perciba de manera precisa los cambios, las dinámicas motoras de desplazar la cabeza en pequeñas proporciones completa la sensación de realidad.

El uso de la cabeza binaural es usado en sistemas de realidad virtual, comprobaciones del buen comportamiento de sistemas de surround en mezclas para sistemas de 5.1 y las grabaciones de ambientes de diversos tipos de sala (Holman, 2008).

**Figura 2-2-7:** Técnica Binaural.



Fuente: Propia

### 2.2.2.5 Técnica SASS

El Stereo Ambient Sampling System, es un sistema de grabación binaural simulado con una localización espacial precisa, libre de errores de fase al determinar cuidadosamente las características del ambiente de grabación y la ubicación específica de los micrófonos.

Para esta técnica se usan las capsulas espaciadas, para este caso en específico se trabaja con 172 mm de diferencia entre una capsula y la otra. Ambas capsulas deben ser omnidireccionales, la ubicación de un deflector entre ambos micrófonos se efectúa para delimitar los ángulos de superposición frontal y posterior. Aun así, los

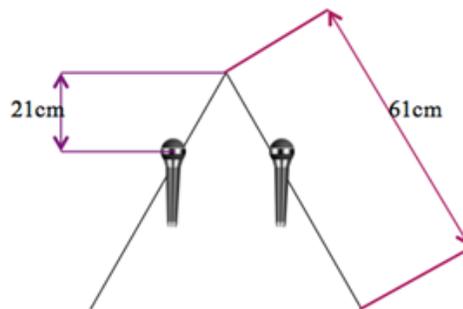
ángulos en los cuales se realiza la grabación del sonido están relacionados directamente con la sensibilidad auditiva humana, cubriendo las áreas directamente a los lados en un ángulo de  $125^\circ$  a cada lado, y un área posterior excluida de  $110^\circ$  que afecta directamente la alta y media frecuencia.

Este sistema es omnidireccional a bajas frecuencias con iguales niveles en los canales L y R, donde la región central presenta una sensibilidad mayor con respecto a  $60^\circ$  de cada lado y al presentar una atenuación específica en la parte posterior mejora la sensibilidad por el efecto límite en ambos canales. Además, a diferencia de otras técnicas de grabación, el área que se encuentra por encima y por debajo del arreglo de micrófonos, se halla dentro del ángulo de aceptación; lo que implica, un ambiente rico de factores asociados al recinto como lo son reflexiones del techo o sonidos provenientes del cielo.

La reproducción de la grabación no precisa de un ajuste de ecualización cuando es reproducida, acarrea información importante por debajo de 1 kHz respecto al tiempo e información de la envolvente hasta 1.5 kHz con la adición de la sombra acústica generada por una cabeza humana.

Es notorio también hablar de que carece de la mayor parte de las filtraciones que suceden al hacer de una cabeza ficticia respecto a los rangos de frecuencia medios (Barlett, B. Billingsley, 2001).

**Figura 2-2-8:** Técnica estéreo SASS.



Fuente: Propia

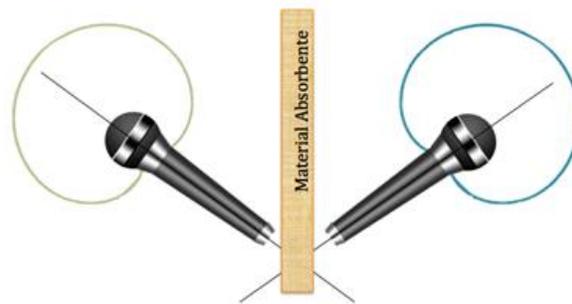
### 2.2.2.6 Técnica OSS

La técnica OSS (Optimum Stereo Signal), fue desarrollada con el fin hacer una captura en 360 grados de música natural, esta técnica consiste en usar micrófonos

de presión separados 165mm para recibir las diferencias de arribo entre los canales, los micrófonos se encuentran separados por un disco de material absorbente de 128mm de diámetro.

La configuración OSS tiene como característica que debajo de 200Hz es omnidireccional, y gracias a su configuración cumple con todos los requerimientos de una técnica de grabación de 360 grados. Lo anterior se debe a que con esta técnica se obtendrá un retraso de tiempo similar a la respuesta de los humanos, ya que la señal capturada será obtenida a través de 2 micrófonos y no solo de uno tal como funcionan las técnicas estéreo convencionales(Jecklin, 1981).

**Figura 2-2-9:** Técnica estéreo OSS.



Fuente: Propia

### 2.2.2.7 Selección de Técnica Estéreo

Cuando se habla de técnicas estéreo de pares coincidentes entre ambos canales las diferencias de intensidades se encargan crear la imagen, en el caso de las técnicas X-Y ó M-S, las altas frecuencias debido al tiempo existente no son óptimas, se generan coloraciones fuera del eje y niveles bajos reducidos. Todos estos aspectos hacen parte de una imagen propicia estéreo convirtiendo en un problema las falencias del sistema.

En el caso de la microfonía Blumlein, el foco que se obtiene genera una imagen más nítida, aunque no tan exacta como se desea debería ser. Se pueden generar mejorías al usar un circuito de mezcla, la diferencia al ser usado radica en la disminución o aumento a altas y bajas frecuencias respectivamente. De nuevo, la alineación de ambos aspectos se toma como falencias de la técnica.

Los problemas de mono compatibilidad entre las señales que se usan para generar la imagen estéreo en el caso de técnicas ORTF y NOS, no son aceptables. Se observan picos y caídas en la respuesta del sistema en amplitud y frecuencia ocasionando cancelaciones, la imagen central y la imagen que se produce respecto al rango de frecuencias varían haciendo difusa la percepción del producto final.

El caso anterior también afecta a técnicas binaurales, las diferencias espectrales, amplitud entre las señales, lo convierte en una técnica no compatible en una escucha monofónica además de que requiere una ecualización de carácter específico para cada caso específico; convirtiéndolo en una técnica que requiere un procesamiento más extenso para lograr un buen producto final.

En el caso de las técnicas espaciadas A-B, el manejo de las matrices para la recreación de la imagen se convierte en un proceso delicado adeudado a corrimientos en fases, poca claridad respecto a la fuente y las diferencias en tiempo que comprometen el manejo de la información obtenida del arreglo (Barlett, B. Billingsley, 2001).

### **2.2.3 Micrófonos d:screet 4060**

Los micrófonos d:screet 4060 del fabricante danés DPA (Danish Professional Audio) son micrófonos miniatura con 10mm de longitud y 3mm de grosor, y un peso de 7,5 gramos. Su comportamiento mayormente omnidireccional para el rango de frecuencias de 20 Hz a 2000 Hz, impide la coloración y variación de las fuentes en sus diversos usos; como por ejemplo: entrevistas, grabaciones y sonido en vivo.

Los micrófonos 4060 usan conectores microdot, los cuales requieren de un adaptador para aplicaciones XLR, además, de hacer uso de una fuente de alimentación externa, con capacidad para brindar el voltaje requerido por el amplificador interno del micrófono. Los micrófonos 4060 pueden ser usados en condiciones de humedad relativa de hasta del 90%. (“d:screet™ 4060 Series Miniature Omnidirectional Microphone,” 2018)

La ficha técnica además de la respuesta en frecuencia y el comportamiento polar del micrófono brindadas por el fabricante, pueden ser observados en el Anexo A.

## 2.2.4 Parques Nacionales de Colombia

Colombia es uno de los países más ricos en diversidad biológica en el mundo. Esta se ve representada en las 59 áreas pertenecientes al Sistema de Parques Nacionales Naturales, muchas de estas con presencia en comunidades indígenas y afro-descendientes. Estas áreas están divididas en varias categorías, las áreas categorizadas como Parque Nacionales Naturales se conocen como un espacio geográfico, en el que los paisajes y ecosistemas estratégicos en la escala regional, mantienen la estructura, composición y función, así como los procesos ecológicos y evolutivos que lo sustentan y cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlas a su preservación, restauración, conocimiento y disfrute (Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). La reserva, delimitación, declaración y administración de los Parques Nacionales Regionales corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales a través de sus Consejos Directivos.

Es correcto decir que es obligación del Estado y de sus ciudadanos, proteger tanto las riquezas naturales como las culturales que hacen parte de la Nación, incluyendo la diversidad e integridad del ambiente, y el fomentar la educación para el logro de estos fines. Aquellos bienes de uso público, parques naturales, tierras comunales de grupos étnicos, patrimonio arqueológico de la Nación y los demás bienes que determine la ley, son inalienables, imprescriptibles e inembargables (Decreto 2372, 2010).

Los parques Nacionales de Colombia se encuentran protegidos por el SINAP (Sistema Nacional de Áreas de Protegidas), el cual se formó con el objetivo de proteger las áreas protegidas, sus tareas son: Administrar las áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia, contribuir a la conformación del sistema de áreas protegidas y Coordinar e implementar políticas, planes, programas, normas y procedimientos relacionados con el Sistema Nacional de Áreas de Naturales. (Parques Nacionales Naturales de Colombia - SINAP).

Para el Sistema Nacional de Parques Nacionales Naturales, las licencias ambientales referidas a las áreas de páramo delimitadas, especifican que está prohibido la exploración y/o explotación de recursos naturales no renovables, así como la construcción de refinería de hidrocarburos (Decreto Unificado 1076, 2015).

### 2.2.5 Paisaje Sonoro

El paisaje sonoro está definido como el "ambiente acústico de un lugar, que es percibido por las personas, cuya forma es el resultado de la acción e interacción de factores naturales y humanos" (Kang, 2017). Teniendo en cuenta que el ambiente acústico es definido por todos los sonidos que hacen parte de un lugar y cómo estos interactúan con las características acústicas de este.

Lo que caracteriza a cualquier ambiente acústico reside en la ausencia o presencia de los sonidos particulares en el medio. Estos se han categorizado en: biofónicos, geofónicos y antropofónicos, cada uno de estos caracterizados por su origen. Los biofónicos tienen un origen biológico, tales como los sonidos generados por animales. Los geofónicos tienen orígenes no biológicos como, el viento, la lluvia, temblores, etc. Por último, los antropofónicos son producidos por los seres humanos y las actividades que estos realizan; todos ellos descritos dentro de un mecanismo de comunicación sonora activa y pasiva, además, de la distribución geográfica de percepciones que afecta cada producción sonora de manera diferente (Truax, 1999).

El paisaje sonoro tiene la facultad de generar diversas respuestas en los individuos, estas dependen del contexto. Este contexto, ya sea el personal (estilo de vida, entorno social, cultural) o el del lugar (estético, acústico), influyen de gran manera en la construcción perceptual del paisaje sonoro. La relación directa con el oyente y el paisaje sonoro se ha polarizado últimamente debido a los niveles de conciencia sónica deteriorada, la importancia de los sonidos naturales decae debido a los altos índices de destrucción de ecosistemas, el sonido se convierte en un enmascaramiento basado en el control del entorno que una expresión natural de él, se considera el sonido como una fuente de molestia o una defensa personal hacia el exterior (Wrightson, 1999).

Para realizar un mejoramiento de los paisajes sonoros actuales, el autor R. Murray Schafer, propone realizar una educación sonora con miras a la apreciación del sonido ambiental en el cual, el desperdicio de la energía que se genera, llamada coloquialmente como "ruido", brinda un nuevo enfoque de diseño para su uso bajo políticas de "estar aquí y ahora" surgida en la década de los 60 del siglo pasado (Schafer, 1969)

### **2.2.6 Inmersión Virtual**

Se caracteriza por hacer casi nula la distancia de la realidad a la que somete un sujeto aumentando su participación emocional con respecto a lo que está pasando. Esta recreación de la realidad, se forma a partir de las ambiciones de los creadores, al intentar ofrecer a los usuarios una opción de fusionarse con el medio al que se es expuesto, a niveles sensoriales y de conciencia.

Para ello, las herramientas multimedia se usan como un supresor de la separación que existe entre el usuario y el medio, maximizando el efecto usando técnicas de ilusión, sonido estereofónico simulado, impresiones técnicas o hápticas, junto a sensaciones termo receptoras e incluso cinestésicas; buscando que la sensación del usuario de encontrarse en un espacio estructurado y complejo sea de manera natural. Además, se debe tener en cuenta, que la relación existente entre los conceptos de distancia crítica y la inmersión son dependientes la una de la otra cuando son usados en el proceso. El trabajo inmersivo, es una tarea intelectualmente estimulante, aunque, se entiende de mejor forma, por un proceso de cambio que procede de un paso cognitivo de estado mental a otro (Grau, 2003).

El concepto de inmersión es importante para la comprensión del desarrollo tecnológico que intenta hacerlo viable cuando su objetivo reside en garantizar el máximo efecto del mensaje.

### **2.2.7 Interactividad**

La interactividad es el término por el cual se describe la relación entre un usuario y un sistema, el grado de interactividad se define por la cantidad de variables que el usuario pueda modificar y la respuesta que él obtenga a partir de estos cambios. En otras palabras, la interactividad se podría definir como el diálogo entre hombre y máquina (Minguell, 2002).

Según Coomans el uso de una interfaz agradable es el tener numerosas funciones disponibles sin esquemas preestablecidos y un tiempo de respuesta corto (Minguell, 2002). Lo anterior da unas características importantes de la interactividad tales como: interacción humano - máquina y un tiempo de respuesta reducido entre la acción del usuario y la respuesta del sistema.

Para evaluar el nivel de interactividad se deben tener en cuenta el grado de libertad del usuario dentro de un sistema y la capacidad de respuesta del sistema a las acciones realizadas

por el usuario, así mismo se debe tener en cuenta las opciones de acceso a la información y la sencillez con la que el usuario puede acceder a esta (Minguell, 2002).

### 2.2.8 Página Web y Programación

Una página web es un documento creado a partir de Hyper Text Markup Language (HTML). Una página web es apta para el World Wide Web (WWW) al cual se puede acceder a través de cualquier navegador alrededor del mundo. (Halbe & Joshi, 2015).

Una página web debe tener una interfaz gráfica (GUI) con la cual el usuario pueda interactuar y controlar la página a través de comandos HTML, los elementos básicos de una interfaz gráfica son: radio button, text box, command button, labels entre otros. La posición y características de estos elementos es almacenada en una base de datos XLM, por último, este documento XLM es analizado para generar el documento HTML (Halbe & Joshi, 2015).

Para diseñar una interfaz de una página web se utiliza un documento .CSS la cual describe la forma en la que va a ir organizada la página web y todos los elementos que la conforman, esta tiene la ventaja de que se puede usar para diferentes páginas web al tiempo; ya que este es un documento a parte que puede ser llamado cada vez que se necesite (“W3schools,” 2018).

Para el desarrollo de un sitio Web se deben tener en cuenta varios factores, tales como: La hipertextualidad, la forma gráfica, el acceso y la interactividad. Por lo anterior se debe desarrollar la página en forma de proyecto, siguiendo unas etapas de planificación, concepción, construcción y promoción (García, 2002).

La etapa de planificación se debe tener en cuenta el equipo de personas con el que se va a trabajar, este equipo debe encargarse de recolectar la información necesaria para el desarrollo de la página Web, una vez realizado esta se deberá determinar la misión y los objetivos del sitio, igualmente se debe determinar el público al cual va dirigido; determinando sus necesidades y lo que esperan encontrar en el sitio. Por último, se debe establecer un plan de trabajo, el cual va a contener las actividades necesarias para el buen desarrollo del sitio (García, 2002).

Como segunda etapa del proceso se encuentra la concepción, en esta etapa se va a determinar cómo se van a cumplir los objetivos establecidos en la etapa de planificación, para esto se

deben determinar los contenidos de la página y la estructura que van a tener estos. En esta etapa se debe presentar una representación gráfica de la estructura de la página, esto con el fin de presentar organizadamente los contenidos de la página (García, 2002).

Como tercera etapa se debe realizar el proceso de construcción, para este se debe tener en cuenta el nivel de complejidad que tiene la página y los lenguajes de programación que se van a utilizar para dicha tarea, una vez finalizada la construcción de la página se deberá probar su correcto funcionamiento y se debe realizar la corrección de las posibles fallas que queden por corregir, la mejor manera de probar la página es realizar pruebas con los posibles usuarios, igualmente esto permite conocer cómo van a interactuar los usuarios con la página. Los factores más importantes a tener en cuenta para la construcción de la página son: la página principal, las decisiones de navegación y la identidad del sitio (García, 2002).

Como cuarta etapa se debe empezar la promoción de la página, para esto se deben tener en cuenta la meta-data incluida en el proceso de construcción de la página, igualmente se debe promocionar la página en listas de difusión, correo electrónico y servicios de noticias.

Como quinta y última etapa se debe evaluar la página Web, esta se debe hacer de manera constante durante todo el proceso de desarrollo de la página, igualmente este proceso se debe continuar haciendo después de publicar la página para verificar su calidad (García, 2002).

El lenguaje HTML es con el cual se construyen las páginas web, este lenguaje empezó a ser desarrollado en el año 1989 por Tim Berners-Lee, la versión más actualizada de HTML es HTML5 la cual contiene características tales como: Geo-locación, arrastrar y soltar, almacenamiento local, entre otras (“W3schools,” 2018). Igualmente, todas las páginas web contienen elementos y estructura básicos con los cuales se definirán las características principales de esta. (REF. HTML). Los elementos de la página web están definidos por etiquetas las cuales son interpretadas por el navegador para renderizar el contenido de la página (“W3schools,” 2018).

Existen diferentes editores profesionales, los cuales tienen herramientas útiles para la previsualización de las características de las páginas. Pero de igual forma se puede programar simplemente usando un bloc de notas del computador (“W3schools,” 2018), esto genera gran versatilidad al momento de programar una página web.

La programación en páginas web tiene una estructura básica que está conformada por ciertos elementos llamados Markup, los principales son: <!DOCTYPE html> con el cual se declara que el documento es de tipo HTML, <html> con este se define que ahí empieza el documento HTML, con el comando <head> se indica el título de la pestaña de la página web, con el comando <title> se define el título de la página web. Posteriormente se empieza a definir diferentes características con comandos como:<body>, <h1>, <p>, estos se utilizan para crear párrafos, subtítulos entre otras cosas. Se debe tener en cuenta que todos los comandos se cierran con </comando>, como se muestra en el siguiente ejemplo.

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<title>Titulo de la página</title>
</head> <body>
<h1>Primer Título</h1>
<p>Párrafo</p>
</body>
</html>
```

En cuanto a audio, HTML recibe diferentes formatos de audio como .mp3, .OGG, .AAC .MPEG4, .WAV. Igualmente hay que tener en cuenta que cada navegador soporta unos formatos específicos, el único navegador que recibe todos los formatos de audio es Google Chrome, los otros navegadores solo soportan uno o dos formatos (“W3schools,” 2018).

### 2.2.9 Unity 3D

Unity es un motor para el desarrollo de videojuegos y aplicaciones, desarrollada en Copenhague, Dinamarca en el año 2005. Esta plataforma ha adquirido gran popularidad por su facilidad para realizar prototipos y el gran número de plataformas en las que puedes ser publicados, ya que está disponible para Windows y Mac OS X y se pueden desarrollar productos para plataformas como: Android, IOS, Windows, Mac OS X, Linux, HTML5, entre otras (Haas, n.d.). Adicionalmente unity cuenta con 2 versiones, una versión de uso profesional que cuenta con más características y una versión de uso personal gratuita.

El Audio en Unity está basado en tres componentes principales: AudioClips, los cuales guardan los archivos de audio, AudioSource, estos reproducen el audio en la escena y AudioListener. Adicionalmente Unity permite la modificación de ciertos parámetros tales como: Volume, Spatial blend, Spread, Doppler Level, Distance Rolloff y Reverb Zone Mix.

Igualmente posee un AudioMixer en el que varias fuentes pueden ser editadas y mezcladas en una escena (Jenny, Majdak, & Reuter, 2018).

### **2.2.10 Espacialización de audio**

Con el fin de dar una sensación realista a una escena en 360 grados en los últimos años se han desarrollado diferentes Plug-ins que pueden ser aplicados a señales de audio. La mayoría de las plataformas para desarrollo de videojuegos o entornos de realidad virtual cuentan con diferentes plug-ins que incluyen HRTF para así poder realizar espacializaciones realistas de fuentes de audio dentro del entorno.

Unity cuenta con la posibilidad de agregar espacializadores a las fuentes de audio de cada escena, existen múltiples espacializadores, desarrollados por diferentes empresas, dentro de las cuales están: Oculus Spatializer, Steam Audio Spatializer, Resonance Audio, Microsoft Audio Spatializer. Estos espacializadores permiten cambiar la forma en que el audio es transmitido desde una fuente de audio hasta un receptor.

Unity también cuenta con un espacializador de audio llamado Unity Spatializer SDK el cual es una extensión del Unity Native Audio Plugin SDK, este Plugin implementa el HRTF data de la cabeza binaural KEMAR. Las respuestas al impulso de esta cabeza son convolucionadas por la FFT (Transformada Rápida de Fourier), según la posición en la que se encuentra el AudioSource con respecto al AudioListener (Unity Technologies, 2018).

### **2.2.11 Evaluación Subjetiva**

La evaluación subjetiva realizada en grupos debe tener en cuenta factores importantes como el espacio de prueba y la obtención de datos, en especial al ser considerada la selección de sujetos en cuanto a cantidad y las cualidades de dicho grupo respecto a competencias que asegure la fiabilidad de los resultados obtenidos.

La experiencia de escucha, el tipo de estímulo y la demografía afecta de manera considerable los resultados; un oyente experimentado es capaz de juzgar ciertos atributos del sonido que un inexperto pasaría por alto, sin olvidar cual es el público objetivo del producto. Los juicios de los oyentes sobre los estímulos auditivos están influenciados por sus expectativas. Además, la población de sujetos sometidos a realizar la evaluación, debe ser coherente con

una combinación demográfica representativa de un público general o específico determinado por el propósito final de la prueba.

Según Norm Otto y Scott Amman, en tareas de evaluación simple comprendidas en opiniones sobre lo que se está escuchando con respecto a atributos contenidos en el sonido, entre 25 y 50 personas es un número apropiado al querer obtener resultados representativos, aunque se debe tener en cuenta que alrededor del 10 % de los resultados son eliminados debido al bajo rendimiento de los encuestados. Es preciso aclarar que esta cantidad de sujetos es usada cuando el grupo seleccionado presenta conocimientos suficientes con respecto al tema sobre el cual se desarrolla la prueba, eliminando así probabilidades de variabilidad excesiva en las respuestas (Otto, Amman, Eaton, & Lake, 1999).

La evaluación de sistemas que producen degradaciones poco notorias al oído humano pero que son controladas rigurosamente en los diversos experimentos, deben presentar un análisis estadístico de resultados fiables. Para la evaluación de dichas degradaciones, incluidos los sistemas de sonido multicanal (con o sin imagen), se recomienda el uso de los procedimientos mencionados en la normativa ITU-R BS. 1116-3.

En el diseño de la evaluación subjetiva de pequeñas degradaciones de los sistemas de audio, se utilizan métodos experimentales más precisos. En estos, la evaluación subjetiva, se caracteriza por la manipulación y el control real de las condiciones del experimento y, los datos cuantitativos obtenidos del proceso. La planificación y diseño detallado del experimento asegura que no existan factores externos que pongan en riesgo los datos finales asegurando una distribución de forma homogénea a lo largo de toda la prueba de escucha. En muchos casos, aplicar una aleatorización de las condiciones de prueba contrarresta cualquier anomalía (ITU-R, 1997).

Para la selección de oyentes se debe tener en cuenta que los datos de las pruebas de escucha procedan exclusivamente de participantes con experiencia en detectar dichas pequeñas degradaciones. Cuanto mayor sea la calidad alcanzada en los sistemas que deben someterse a prueba, más importante será contar con oyentes expertos. Teniendo en cuenta que el grupo seleccionado de oyentes no se pueden extrapolar, en principio, al público en general (ITU-R, 1997).

Las condiciones de una prueba de escucha están rígidamente determinadas por los aspectos técnicos y de comportamiento de los participantes, la experiencia ha demostrado que a

menudo bastan los datos procedentes de 20 de ellos para extraer las conclusiones adecuadas de la prueba Si por cualquier razón no puede lograrse un control estricto del experimento, se necesita un número más elevado de participantes para obtener datos confiables (ITU-R, 1997).

Para las evaluaciones subjetivas de sistemas que producen pequeñas degradaciones, es necesario seleccionar un método adecuado. Este debe ser especialmente sensible, estable y que permite detectar con exactitud pequeñas degradaciones teniendo en cuenta los atributos de un sistema estereofónico. Donde la calidad de audio básica es ideal para juzgar una o todas las diferencias detectadas entre la referencia y el objeto, y la calidad de la imagen estereofónica ayuda a relacionar las diferencias entre la referencia y el objeto en términos de emplazamientos de la imagen sonora y sensaciones de profundidad y realidad del elemento de audio (ITU-R, 1997).

Con respecto a los dispositivos de reproducción usados en la prueba, deben elegirse auriculares o altavoces de control de referencia con objeto de que todas las señales puedan reproducirse de forma óptima. Algunas deficiencias en la calidad se perciben más claramente en el caso de reproducción por auricular, sin embargo, otras se detectan con más facilidad si hace uso de altavoces. Por consiguiente, el tipo adecuado de dispositivo de reproducción se determina por pruebas previas subjetivas (ITU-R, 1997).

En el análisis se debe identificar con exactitud la calidad de funcionamiento de cada uno de los sistemas sometidos a prueba y la fiabilidad de cualquier diferencia entre los valores. Este último aspecto obliga a efectuar una estimación de la variabilidad o varianza de los resultados presentados en toda la prueba (ITU-R, 1997).



## 3. Diseño Metodológico

### 3.1 Tipo y Enfoque de investigación

El desarrollo de este proyecto presenta un enfoque empírico analítico, definido como un estudio en el cual “Se profundiza en la búsqueda de las explicaciones o el determinar causas sobre las perspectivas, opiniones y significados que los participantes perciben de manera cuantificable. En este sentido, se ambiciona en predecir y controlar los hechos que se estudian para poder ser modificados” (Hernández Sampieri, 2014).

El desempeño obtenido de la página web implementada, con respecto a sus características envolvente e inmersiva, será establecido por la evaluación subjetiva de los usuarios; haciendo necesario obtener y realizar una interpretación objetiva de los resultados finales de los grupos de estudio.

### 3.2 Recopilación de datos

En el proceso de cumplimiento del primer objetivo específico se requirió la grabación de ocho audios, separados espacialmente en el eje horizontal cada 45 grados para cada una de las cuatro técnicas estereofónicas elegidas. Este proceso se realizó en el Live del estudio digital ubicado en la Universidad de San Buenaventura, garantizando que la distancia entre las técnicas de grabación y la fuente siempre fuese la misma, la presión sonora emitida por la cabina y los niveles en la interfaz de grabación no presentara ninguna alteración generando confiabilidad en la paridad de todos los audios.

Posteriormente se procedió a la realización de la primera encuesta a un grupo de 30 personas dentro de las cuales se contó con la evaluación de 9 profesores y 21 estudiantes de décimo semestre de Ingeniería de Sonido, con el fin de garantizar la certeza del nivel de evaluación que se obtuvo. Dicho estudio cualitativo contó con una secuencia de cuatro audios de cada una de las técnicas de grabación, cada audio contaba con una secuencia aleatoria de ocho audios trabajando en un eje de escucha azimuth, donde el sujeto de estudio determinaba la procedencia de la fuente.

Al haber finalizado con el primer objetivo, se procedió a realizar la grabación de los paisajes sonoros en el Parque Nacional Natural Chingaza en 4 de los 6 senderos habilitados al público, en los cuales se eligieron dos puntos de grabación para cada uno de estos. La duración de cada grabación audiovisual fue de 2 minutos con el fin de seleccionar el mejor fragmento de cada toma del paisaje

sonoro presente. Cada uno de estos audios fue unido con el video correspondiente en el motor de videojuegos Unity para su posterior implementación en la página web.

En el caso de las pruebas finales correspondientes al cumplimiento del último objetivo específico, en las cuales se buscaba establecer el nivel subjetivo de inmersión obtenido de la implementación de las grabaciones adquiridas en el Parque; se desarrolló una prueba en la cual cada participante debía realizar la escucha de por lo menos 4 de los 8 puntos grabados con el fin de resolver 6 preguntas relacionadas a la calidad de los sonidos presentados y la inmersión obtenida de la combinación de audio y vídeo en formato 360 grados. El vídeo generado para cada punto de grabación tuvo una duración de 15 segundos y su reproducción era en loop durante todo el tiempo que el reproductor se encontrara abierto.

### **3.3 Categorías de análisis**

#### **3.3.1 Variables Independientes**

- Características del sistema de grabación de audio
- Características de audio e imagen
- Duración de la grabación.
- Técnica de captura.
- Técnicas de procesamiento

#### **3.3.2 Variables Dependientes**

- Inmersión sonora

### **3.4 Instrumentos**

Con respecto a la obtención de datos en este trabajo se usa una metodología de encuestas teniendo en cuenta las ventajas y desventajas que se presenta al realizar un estudio estadístico desde una perspectiva cualitativa. Dicha obtención de datos se presentó de dos maneras diferentes para asegurar el cumplimiento de dos de los tres objetivos específicos (determinar la técnica de captura y evaluar el nivel de inmersión) presentados en el capítulo 1 del documento.

Se realizó una comparación directa entre cuatro técnicas estereofónicas, determinando, por medio de un estudio cualitativo, la técnica adecuada a usarse en la grabación. La encuesta realizada con

respecto al primer objetivo planteado aseguro la percepción eficaz en el eje horizontal de la técnica SASS. La población de muestra fueron 30 personas capaces de discernir las diferencias entre cada técnica presentada, haciendo confiable los resultados de la prueba. Dicha prueba se dividió en cinco partes: una explicación concisa y detallada acerca del cuestionario a realizar a modo de ejemplo, seguido por cuatro secciones correspondientes a la evaluación independiente de cada una de las técnicas. Para asegurar un alto índice de confiabilidad de la prueba, cada una de las 30 evaluaciones se generó de manera aleatoria.

La encuesta realizada para dar cumplimiento al tercer objetivo planteado garantizó el buen funcionamiento de la herramienta de audio y video en 360 grados implementada en la página web desarrollada, contando con una población de muestra con el mismo número de personas encuestadas en la primera prueba. Dicha prueba contó con dos partes, donde en la primera se realizó la explicación de los objetivos de la misma usando un ejemplo y a continuación las 6 preguntas a ser calificadas. El modelo usado para la evaluación se encuentra en el Anexo B del documento.



## **4. Desarrollo Ingenieril**

En el siguiente capítulo se documenta detalladamente el proceso con el cual se consiguió cumplir con cada uno de los objetivos específicos, las condiciones determinadas con las cuales se realizó cada proceso con respecto a locaciones, equipos y metodología utilizada.

### **4.1 Selección de técnica de grabación**

A continuación, se presentan las etapas a partir de las cuales se estableció el proceso de selección de la técnica de grabación más apropiada para la grabación en 360 grados del Parque Nacional Natural Chingaza.

#### **4.1.1 Análisis de Técnicas de Captura**

Al comenzar el proceso de selección de las técnicas se realizó una revisión a diversas fuentes en las cuales se enfatiza en las ventajas y desventajas que las diversas técnicas estéreo presentan a la hora de realizarse una grabación. Se hizo énfasis en la creación de la imagen en 360 grados de manera natural al intentar simular la percepción binaural de los seres humanos. Se escogió la técnica estéreo M-S Doble debido a la precisión en la localización de las fuentes del par coincidente, ventaja utilizada en microfónica para sonido en vivo, donde la imposibilidad de ajustes a los micrófonos requiere una imagen estéreo variable (Owsinski, 2005) ; se decidió además el uso de las técnicas de microfónica OSS, SASS y Binaural por su objetivo de uso por sistemas de reproducción personal (auriculares) y la simulación de las propiedades fisiológicas humanas.

En la tabla 4-1-1 se presenta la comparación de las técnicas de grabación, en esta se presentan las ventajas y desventajas de cada una y cuales han sido sus aplicaciones.

**Tabla 4-1-1:** Comparación de técnicas de grabación M-S, Binaural, SASS y OSS

Técnica	Ventajas	Desventajas	Antecedentes en 360 grados
MS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distingue el frente de la parte posterior.</li> <li>• Genera una precisión de localización bastante buena con respecto a las fuentes influyentes en las capsulas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se generar coloraciones fuera del eje.</li> <li>• La respuesta a la alta frecuencia no es óptima.</li> <li>• La nitidez de la baja frecuencia se ve reducida.</li> <li>• Se debe realizar una inversión adicional a una de las dos señales obtenidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar la idoneidad de reproducción en un sistema de sonido envolvente Ambiophonics.</li> </ul>
Binaural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simula el comportamiento de una cabeza humana con gran precisión.</li> <li>• Recrea la sensación de la distancia entre la fuente y el receptor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Genera coloración en ciertas frecuencias debido al tipo de micrófonos utilizados.</li> <li>• Requiere un procesamiento extenso debido a percepciones difusas ocasionadas por diferencias espectrales y la amplitud de la señal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñado para simulación de la escucha 360 del oído humano.</li> <li>• Grabación de música y ambientes para uso en realidad virtual.</li> <li>• Postproducción de audio espacial para 360 medios.</li> </ul>
SASS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presenta errores de fase.</li> <li>• Las reflexiones provenientes de las partes inferior y superior a la técnica son grabadas con gran precisión.</li> <li>• Simula la sombra acústica generada por la cabeza.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es omnidireccional en frecuencias bajas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñada para dar una alta localización de la imagen estéreo.</li> <li>• Grabación de ruido ambiente en 360 grados.</li> </ul>
OSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollada para captura en 360 grados de música natural.</li> <li>• Tiene un sonido natural y preciso de la fuente grabada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es omnidireccional en frecuencias bajas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grabación de música en 360 grados.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El estrazo obtenido del comportamiento de los dos micrófonos asemeja el comportamiento de los oídos humanos.</li> </ul>		
--	--	--	--

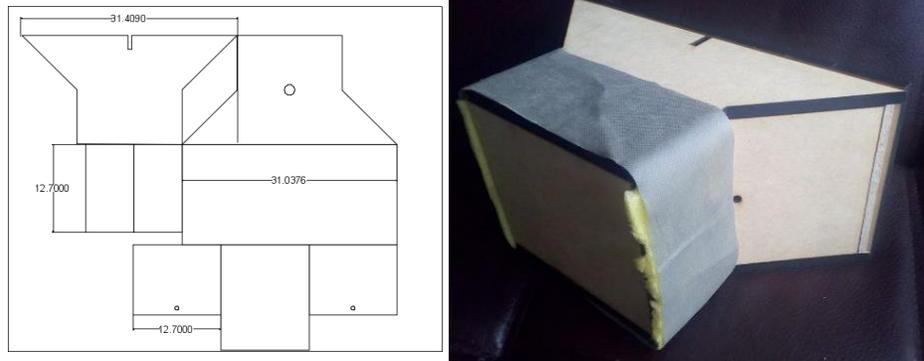
### 4.1.2 Construcción Técnicas de Captura SASS y OSS

Antes de realizar la grabación fue necesario la construcción de dos estructuras correspondientes a las técnicas de microfónica SASS y OSS. En el caso de la técnica OSS se realizó la construcción de un disco de madera de 28 cm de diámetro fabricado de madera de MDF el cual fue recubierto de espuma de baja densidad por ambos caras y luego reforzado con una tela enmallada sencilla; dos micrófonos omnidireccionales de la referencia 4060 d:screet fueron ubicados a cada lado del disco con una separación de 17cm entre los ambos al momento de la grabación.

**Figura 4-1-1:** Técnica estéreo OSS.

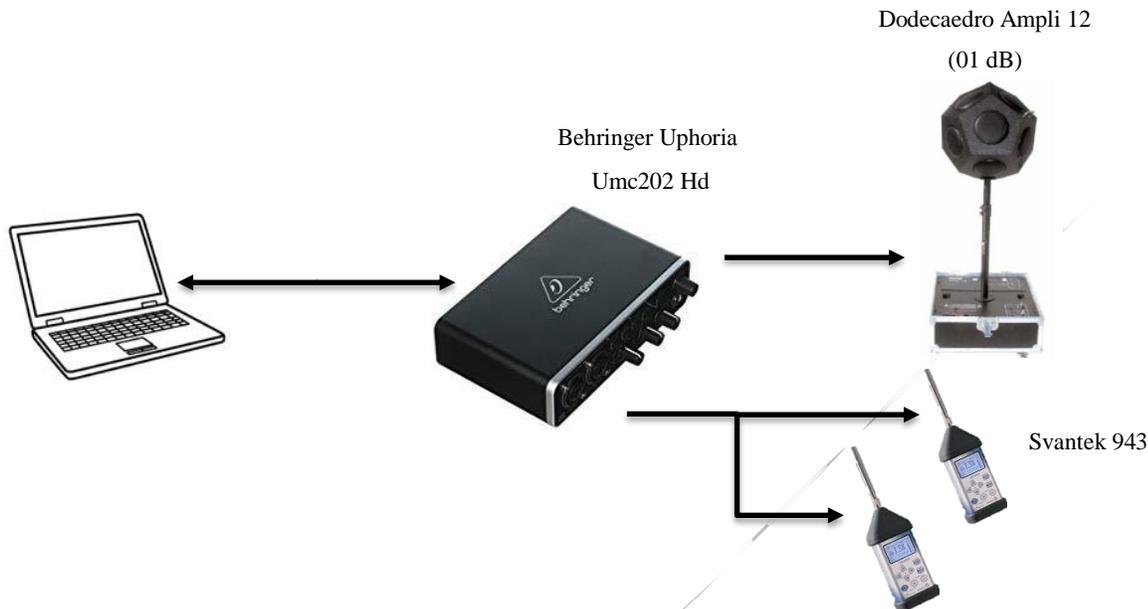


Para la técnica SASS fue necesario la elaboración de una estructura en madera teniendo en cuenta la separación característica entre los micrófonos a ser usados planteada en la literatura consultada. La estructura se construyó a partir de ocho piezas en madera con las dimensiones presentadas en la figura 4-1-2, de las cuales en dos de sus tapas laterales se realizó la perforación de un agujero cumpliendo con las dimensiones de los micrófonos d:screet, la separación de 165 mm entre las capsulas de los micrófonos y el recubrimiento de las tapas laterales de la estructura que se encuentran frente al sistema de captura se recubrió con espuma de baja densidad y un enmallado sencillo fue puesto, garantizando el funcionamiento propicio de la estructura. Se hizo uso, una vez más, de un par de micrófonos 4060 d:screet™.

**Figura 4-1-2:** Técnica estéreo SASS.

### 4.1.3 Grabación de Prueba con Técnicas de Captura

Paralelamente se realizó la caracterización acústica de los espacios y equipos a ser usados en la primera fase del desarrollo del primer objetivo haciendo uso de los instrumentos brindados por la Universidad de San Buenaventura. Se llevó a cabo la caracterización acústica del live room del estudio híbrido ubicado en las instalaciones de la universidad haciendo uso del dodecaedro y el sonómetro Svantek 943, teniendo en cuenta las dimensiones del recinto y el tratamiento acústico que se encuentra instalado en las paredes. Se hizo una medición del ruido de fondo para determinar el nivel presión sonora necesaria para excitar todo el recinto; por lo anterior el SPL emitido por la fuente fue de 30dB por encima del ruido de fondo del recinto; desde dos puntos aleatorios en la sala, se hizo uso de una señal SineSweep generada desde del software Audiacity con el fin de ser capturado por dos micrófonos ubicados en dos puntos diferentes de la sala siendo re ubicados tres veces más según dicta en la Norma ISO 3382, para el método de medición de Tiempo de Reverberación Ingenieril. El esquema de conexión se puede observar a continuación en la figura 4-1-3.

**Figura 4-1-3:** Esquema de conexión para tiempo de reverberación.

Se procedió entonces a realizar las grabaciones de los audios a usar en las pruebas, en el live room del estudio híbrido de la universidad. Se realizó la marcación de un círculo concéntrico con radio de 1 metro, en el centro de este se colocaron las técnicas, las divisiones en el suelo fueron hechas cada 45 grados con el fin de movilizar la fuente en sentido de las manecillas del reloj emitiendo ruido rosa con una duración de 15 segundos para posteriormente generar 8 audios, de 10 segundos de duración para la prueba. Para el registro de audio se usó la grabadora Zoom H6 y la señal emitida por el monitor fue generada desde Audacity.

El orden de las grabaciones se dio de manera que las técnicas SASS y OSS fuesen las primeras dos y las técnicas M-S y Binaural se usaran al final. Como se puede observar en la figura 4-1-4 la técnica SASS fue ubicada sobre un trípode a 1.50 metros del piso, se realizó una calibración de los dos micrófonos ubicados en las tapas laterales para asegurar que el nivel fuera el mismo para ambos canales L y R. Ya que los micrófonos 4060 d:screet™ fueron usados en las técnicas SASS, OSS y Binaural el proceso de calibración de niveles solo se realizó una vez.

Con respecto a la grabación con la técnica estéreo OSS, el disco fabricado fue ubicado en el medio de ambos micrófonos, los tres trípodes utilizados se encontraban a una distancia de 1.50 metros del suelo y la distancia entre las dos capsulas de los micrófonos fue de 17 centímetros conservando la

correlación de los canales usados en la grabadora diferenciando entre el lado derecho e izquierdo. El desarrollo de la grabación puede ser observada en la figura 4-1-5.

**Figura 4-1-4:**

Grabación técnica estéreo SASS.

**Figura 4-1-5:** Grabación técnica estéreo OSS.

En el caso de la técnica Binaural no se hizo uso de una cabeza artificial, sino que se realizó el posicionamiento de los dos micrófonos 4060 junto a los pabellones auditivos del sujeto cumpliendo con el estándar usado de 1.50 metros con respecto al suelo como se puede observar en la figura 4-1-6, la diferenciación entre ambos lados de la cabeza se mantuvo con respecto a las dos primeras técnicas utilizadas.

**Figura 4-1-6:** Grabación técnica Binaural.

Para la implementación de la técnica de grabación M-S Doble se hizo uso de dos micrófonos AKG C414 configurados en patrón polar de figura ocho y dos micrófonos AKG C451 de patrón polar cardiode. Cada pareja de micrófonos se ubicó a 1.50 metros del suelo con las capsulas coincidentes en el plano vertical con sentido de dirección contraria entre ambas y un ángulo de separación de 90 grados como se observa en la figura 4-1-7. En esta ocasión se realizó la división de los lados derecho e izquierdo haciendo uso de 4 canales de grabación asignando a cada lado dos canales para luego realizar una mezcla individual de la escucha que se obtuvo del lado derecho e izquierdo haciendo uso del software de edición de audio Protools™.

**Figura 4-1-7:** Grabación técnica estéreo M-S.

#### 4.1.4 Pruebas Subjetivas Para Selección de Técnica de Captura

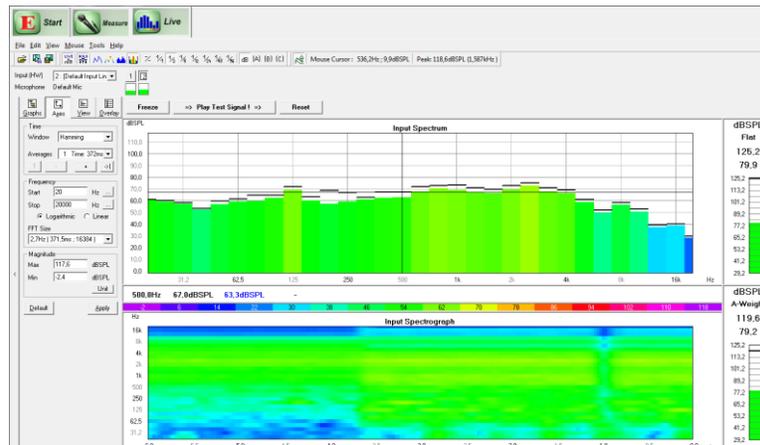
Finalmente se procedió a la elaboración de 30 pruebas teniendo en cuenta las recomendaciones que son presentadas en el artículo presentado por Norm Otto (Otto et al., 1999), en las cuales, de manera

aleatoria se organizaron las cuatro técnicas a ser comparadas, cada uno de los audios correspondientes a una de las cuatro técnicas de grabación se compuso de los ocho audios obtenidos previamente organizados también de manera aleatoria, manteniendo los audios en formato estéreo. Además, se realizó un documento en el cual los participantes en la prueba evaluarán la percepción obtenida de las cuatro técnicas, dicho documento puede ser observado en el Anexo B. La duración total de la prueba fue de 8 minutos teniendo en cuenta que la prueba no debe superar los 30 minutos (Otto et al., 1999), evitando así la fatiga auditiva de los participantes.

El desarrollo de las pruebas subjetivas se llevó a cabo en el estudio de Mastering, ya que se realizó una medición de ruido de fondo en la cual se determinó que el espacio posee propiedades acústicas propicias para una inteligibilidad correcta de la prueba, los resultados de dicha medición se presentan en la sección 5.2 del documento. Antes de dar inicio a las pruebas se realizó un proceso de calibración del sistema de reproducción, con el fin de garantizar la homogeneidad del nivel de presión sonora de todos los participantes en el medio de reproducción escogida, en este caso audífonos. Se conectó la cabeza Binaural 01dB MK2B al computador por medio de la interfaz Behringer UCM 202HD cediendo el proceso de amplificación al sistema GRASS de la cabeza artificial, manteniendo los niveles de la interfaz Behringer en cero. Se hizo uso del programa EASERA® para la verificación del nivel de la señal obtenida del oído derecho e izquierdo respecto a una referencia de 94 dB generado por un pistófono para, posteriormente, realizar la reproducción de un audio ubicado a 0° estableciendo el nivel de reproducción en 80 dB de los auriculares de casco cerrado Audio Technica ATH-m50.

**Figura 4-1-8:** Proceso de calibración de la cabeza Binaural



**Figura 4-1-9:** Proceso de calibración en el programa EASERA®

La prueba fue respondida por 30 personas de los cuales 9 fueron profesores y 21 estudiantes de Ingeniería de Sonido de décimo semestre. Según Norm Otto y Scott Amman, al querer obtener resultados a un estudio de atributos contenidos en un audio, la muestra de individuos debe oscilar entre 25 y 50 personas, siempre y cuando los sujetos posean competencia sobre el tema del cual se realiza el estudio. Cabe resaltar que para la prueba subjetiva realizada, no es necesario contar con una muestra estadística significativa, ya que el objetivo es evaluar el desempeño de cada una de las técnicas y no determinar el comportamiento de una población específica. (Otto et al., 1999)

Se le pidió a cada sujeto que usara los auriculares respetando la convención del auricular que diferenciaba el lado derecho e izquierdo, y respondiese el cuestionario respecto a su percepción espacial de la procedencia de la fuente en cada uno de los casos que le fueron presentados.

Cada prueba individual se dividió en cuatro secciones, una por cada técnica estéreo de grabación, con orden aleatorio, cada una de estas secciones contenía 8 audios dispuestos igualmente de manera aleatoria respetando a la técnica de grabación correspondiente; la duración de cada clip fue de 10 segundos y la separación entre cada uno fue de 5 segundos y la duración total de la prueba fue de 8 minutos.

Se estableció que la técnica que obtuviese el mayor puntaje durante las pruebas sería la implementada para la grabación del paisaje sonoro del Parque Nacional Natural Chingaza. Las dos técnicas con el mayor puntaje fueron la técnica SASS y Binaural.

**Figura 4-1-10:** Participantes de prueba estudiantes.



## **4.2 Programación de la experiencia 360 Grados**

En esta etapa del desarrollo de la tesis se procedió al cumplimiento del segundo objetivo específico, en el cual cada una de las etapas del desarrollo contó con varios procesos con el fin de generar una ejecución óptima; desde la grabación desarrollada en el Parque, el tratamiento de los audios obtenidos, la creación de la herramienta en 360 grados, la construcción de la página web y la implementación de la herramienta interactiva en esta.

### **4.2.1 Grabación en el Parque**

Con el fin de obtener los audios, videos e imágenes necesarias para el desarrollo de la página web, se procedió a realizar las grabaciones correspondientes en 2 puntos de 4 de los 6 senderos habilitados al público. Inicialmente se obtuvieron los permisos correspondientes para poder desarrollar las actividades de filmación en el parque, el debido proceso se llevó a cabo con la entidad encargada, Parques Nacional Naturales de Colombia, directamente; las autorizaciones fueron obtenidas y pueden ser consultadas en el Anexo D.

Para el proceso de captura se utilizaron los siguientes equipos:

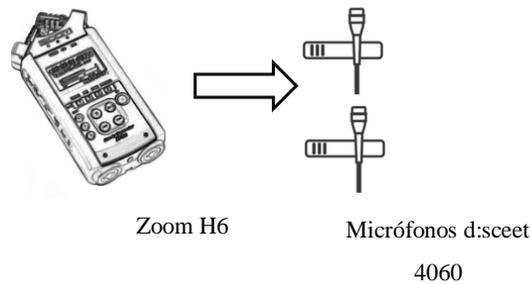
- Grabadora Zoom H6
- 2 Micrófonos d:screet
- Cámara 360 Fly 4K
- Estructura técnica SASS
- Base para micrófono

- Conectores XLR
- Protectores de viento
- Cinta adhesiva

Debido a la gran extensión del parque fue necesario realizar la grabación en 2 días, en los cuales se recorrían 2 senderos por día.

El primer día se realizó la grabación en los senderos Lagunas de Buitrago y Laguna Seca y el segundo día se realizó la grabación en Sendero Suasie y Las Plantas del Camino. En cada uno de los senderos se escogieron entre 2 y 3 puntos representativos con el fin de seleccionar las mejores tomas obtenidas para ser implementado en la página web. En cada punto se grabó con la técnica SASS y Binaural durante 2 minutos con la cámara a una altura de 1.50 cm y la técnica de grabación a una altura de 1.30 cm. Cabe resaltar que no se utilizó la cabeza binaural dado que el nivel de dificultad de los senderos no permitía el transporte de esta, además no se tenía acceso a corriente para su funcionamiento.

**Figura 4-2-1:** Flujo de Señal para grabación de paisajes. Fuente: Propia



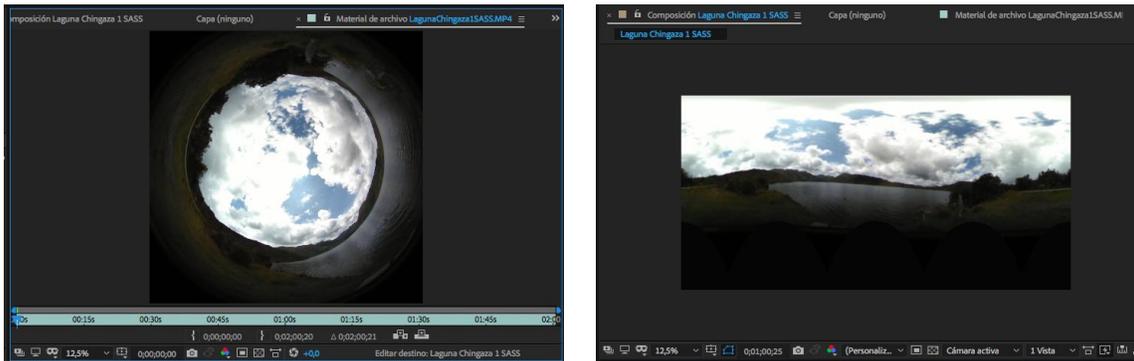
**Figura 4-2-2:** Grabación de Paisajes Sonoros Fuente: Propia



### 4.2.2 Edición de Audio y Video

Una vez obtenidos los audios y videos de cada uno de los senderos se inició el procesamiento de los datos: esto consistió en escoger 15 segundos de audio y video de cada uno de los puntos grabados; estos 15 segundos fueron los ideales para evitar mayor costo computacional y con el fin de que la página web funcionara en cualquier computador, se decidió utilizar los audios obtenidos con la técnica SASS ya que con la técnica binaural era posible escuchar la respiración de la persona en la cual se realizó la ubicación de los micrófonos, debido a las bajas temperaturas que se presentaban en el parque al momento de la grabación.

En cuanto a los videos se realizó una conversión de formato FishEye a equirectangular, ya que este es el formato con que se puede crear un reproductor de video en 360 grados en Unity, lo anterior se realizó con el software Adobe After Effects teniendo en cuenta el ángulo de grabación vertical de la cámara y las dimensiones estándar de video en 360 grados, esta conversión se muestra en la figura 4-2-3.

**Figura 4-2-3:** Conversión Videos. Fuente: Propia

### 4.2.3 Desarrollo de reproductor de video en 360 grados

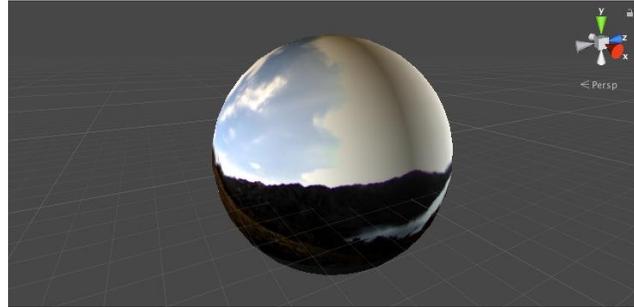
#### Capítulo 4

Dado que en Unity es posible crear un reproductor de audio y video que permite la espacialización de los audios, que posteriormente puede ser exportado en WebGL para ser añadido a la página web, se escoge este motor de reproducción para dar cumplimiento al segundo objetivo de la tesis.

Unity funciona creando escenas en las cuales se van añadiendo todos los elementos que componen el entorno que se está generando; se decide elaborar un proyecto para cada uno de los puntos en los que se realizó la grabación. Dentro de cada uno de los proyectos existe una escena donde se programó el reproductor para la página web. A continuación, se procede a describir de manera detallada el proceso de programación de estos reproductores.

Inicialmente se procede a crear la escena en la que se va a trabajar, seguido de esto se crea una esfera que va a funcionar como la pantalla en la que se va a reproducir el video en 360 grados, se crea también una cámara que estará en el centro de la escena, esta cámara va a ser el punto de vista de la persona que utilice el reproductor.

Por defecto la esfera tiene un shader que permite solo ver lo que se agrega a está en su capa exterior, por lo tanto, se debe crear un shader que invierta la superficie visible de la esfera. Un shader es un script que contiene los cálculos matemáticos y algoritmos necesarios para calcular el color de cada pixel de una superficie (Unity), ya que la cámara va a estar en el interior de la esfera se debe crear un shader que permita ver la esfera de adentro hacia fuera, el código para esto se encuentra en el Anexo B.

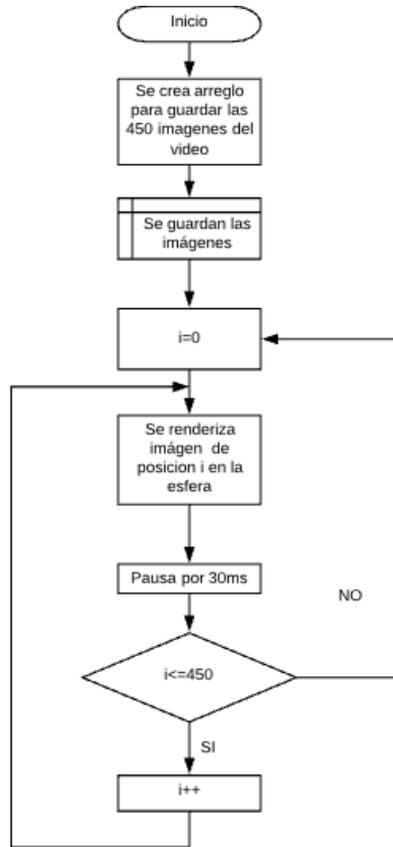
**Figura 4-2-4:** Esfera donde se reproduce el video

Luego de que se ha invertido la superficie de la esfera se procede a crear un material que va a contener el shader creado anteriormente, este va a ser asignado a la esfera para poder realizar la visualización del video.

Dado que unity no permitía realizar la exportación del video a un formato WebGL, se tomó cada uno de los fragmentos seleccionados por cada sendero y se realizó un proceso de extracción de cada uno de los frames que componen el video a través del software libre Video to JPG Converter. Se extrajeron 450 frames correspondientes a los 15 segundos de cada uno de los videos, estas imágenes se cargaron al proyecto en Unity, donde se configuro que cada imagen cambiase cada 30 ms, estos 30 ms se determinaron por la velocidad de trabajo de 30FPS de la cámara utilizada.

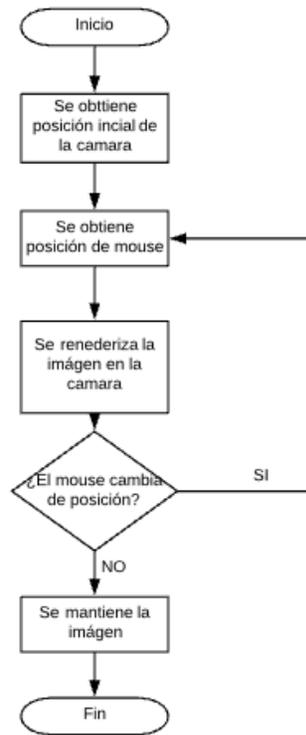
La imagen 4-2-5 muestra el diagrama de flujo del código con el cual se cambian las imágenes cada 30 ms para generar el video. El código de esta etapa se encuentra en el Anexo B.

**Figura 4-2-5:** Diagrama de flujo de cambio de imágenes



Después de esto se generó un código que permitiera que la cámara rotara sobre su propio eje con el objetivo que los usuarios pudieran ver los 360 grados de la imagen, la imagen 4-2-6 muestra el diagrama de flujo del algoritmo con el cual se genera la rotación de la cámara. En el Anexo B se puede ver el código que se utilizó.

**Figura 4-2-6:** Diagrama de flujo de rotación de cámara



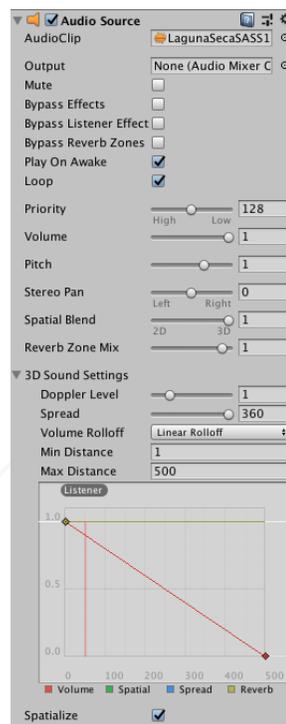
Después de generar el reproductor de video se procedió a cargar los archivos de audio para finalizar el proceso de especialización, para esto se debe crear un AudioSource y un AudioListener en la escena en la que se está trabajando; el primero se ubica justo hacia donde apuntaba la técnica durante el momento de la grabación y el segundo de crea en la cámara creada anteriormente. Adicionalmente se deben determinar los valores de ciertos parámetros que permitirán la escucha en 360 grados del paisaje sonoro grabado, estos parámetros son:

- Spatial Blend: Este determina que tanto efecto tiene el motor 3D en el clip de audio agregado a la fuente.
- Loop: Mantiene el AudioClip en bucle durante todo el tiempo que dure abierta la escena.
- 3D Sound Settings: Estos parámetros son aplicados proporcionalmente según la cantidad de Spatial Blend que se haya aplicado anteriormente.
  - Doppler Level: Determina que tanto nivel de Doppler se le va a aplicar al audio. El efecto doppler es el aumento o disminución de una frecuencia de una onda sonora cuando la fuente que la produce y el receptor se alejan uno del otro.

- Spread: es el ángulo de propagación a sonido estéreo o multicanal en el espacio, 0 = todos los canales están configurados como mono, 360= se propaga el sonido en el espacio 3D.
- RollOff Mode: Determina que tan rápido se desvanece el sonido según la posición del receptor.

Estos parámetros se dejaron configurados tal cómo muestra la imagen 4-2-7.

**Figura 4-2-7:** Parámetros de configuración del AudioSource



Posteriormente se procedió a evaluar 3 espacializadores, cada uno de un desarrollador diferente, para así determinar cuál de estos funcionaba mejor para este proyecto. A continuación, se da una descripción de cada uno de los espacializadores evaluados.

### 4.2.3.1 Espacializador Oculus

Este espacializador fue desarrollado por Oculus Research, empresa enfocada en el desarrollo de productos para realidad virtual, la cual pertenece a Facebook Technologies. El proceso de espacialización realizado por este plug-in funciona a través de HRTF, brindando la posibilidad de modificar varios parámetros de la

fuente de audio para así crear una simulación más realista de lo que se está escuchando.

Los parámetros que se pueden modificar son: Volumen de la fuente, esto se refiere a definir el radio de esta fuente de audio para que de esta manera objetos grandes no vayan a sonar muy pequeños en el espacio durante la simulación; renderización de campo cercano, importante cuando una fuente de audio está muy próxima al receptor ya que esta simula efectos de difracción acústica para crear una representación más realista de fuentes a menos de un metro de distancia; adicionalmente posee un modelado del ambiente con el fin de que la simulación no suene tan seca, este parámetro implementa reflexiones tempranas y reverberación tardía, esto lo hace a través de un modelo de “caja de zapato” el cual consiste en un cuarto virtual alrededor de la cabeza del oyente, la cual tiene coeficientes de absorción diferentes en cada uno de los límites de la caja. (Fuente:<https://developer.oculus.com/documentation/audiosdk/latest/concepts/audiosdk-features/>)

Una característica importante a tener en cuenta de este Plug.-in es que solo puede procesar audios monofónicos. (Fuente:<https://developer.oculus.com/documentation/audiosdk/latest/concepts/audiosdk-features/>)

#### 4.2.3.2 Espacializador Steam Audio

Este es un espacializador desarrollado por Valve Corporation, el plug-in integra HRTF y propagación del sonido en el ambiente para generar una escucha más realista del sonido, adicionalmente este tiene en cuenta la geometría de la escena para que el usuario perciba una mejor inmersión.

Steam Audio tiene varias características que dan mayor nivel de realismo al momento de escuchar la fuente, estas son: Representación binaural, la cual tiene en cuenta HRTF sin mayor uso computacional, gracias a esto es posible añadir cientos de fuentes sin requerir alto costo computacional; adicionalmente Steam Audio minimiza la coloración en frecuencia de los audios por lo cual audio original no es modificado drásticamente, esto, manteniendo localización precisa de los mismos.

Otra característica es la reverberación basada en leyes físicas, permitiendo una simulación más realista de la escena, ya que tiene en cuenta la absorción de los objetos incluidos en la escena; además de simular la propagación del sonido en diferentes escenarios (Valve Corporation., 2017).

### 4.2.3.3 Espacializador Resonance

Este es un Plug-in desarrollado por Google Developers, el cual replica la interacción de las ondas sonoras con el oído humano y el paisaje sonoro próximo al oyente, a través de ITD, IID, efecto pinna y la simulación de HRTF. Adicionalmente cuenta con simulación de sonido directo, reflexiones tempranas y tardías, las cuales dan mayor realismo en la escucha.

Alguno de los parámetros que se pueden modificar con este espacializador son la directividad de la fuente y del receptor, estos pueden ser de polaridad omnidireccional, cardioide y figura 8, afectando cómo va a ser propagado el sonido dentro de la escena desde diferentes posiciones de escucha (Google Developers, 2018).

Para realizar pruebas con los espacializadores se procedió a cargar cada uno de los plug-ins al proyecto y se evaluó cada uno por separado, sin hacer cambios en los parámetros del AudioSource, de esta manera se garantizó un análisis objetivo de los espacializadores.

Teniendo en cuenta las características de cada uno de los espacializadores se hizo la selección a partir de las siguientes características: parámetros que se deben modificar para el correcto funcionamiento del espacializador y realismo en la escena, el desempeño de uno se muestra en la siguiente tabla.

Capítulo 4

**Tabla 4-4-1:** Comparación de espacializadores Oculus, Steam Audio y Rosnance

Espacializador	Parámetros	Realismo de la escena
Oculus Spatializer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funciona con los parámetros definidos en el AudioSource</li> <li>• Solo funciona con audios mono</li> </ul>	Este queda descartado ya que solo funciona con audios mono, y las

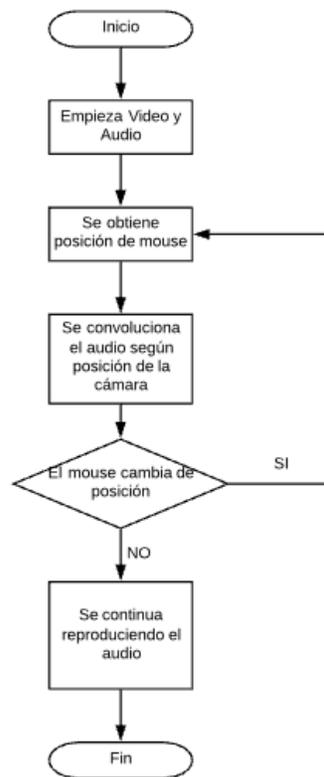
		técnicas de grabación utilizadas fueron estéreo.
Steam Audio Spatializer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funciona con los parámetros definidos en el AudioSource</li> <li>• No especifica si los audios deben ser mono o estéreo</li> </ul>	Este brinda mucho realismo a la escena y mantiene la espacialidad de los audios estéreo.
Resonance Spatializer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Además de tener en cuenta los parámetros definidos en el AudioSource, debe añadirse el script de Resonance AudioSource que trae el Plug-in</li> <li>• No especifica si los audios deben ser mono o estéreo</li> </ul>	Este tiene un mayor nivel de dificultad para su utilización ya que deben modificarse los parámetros de: Directividad del receptor y directividad de la fuente, adicionalmente la espacialización no se acerca tanto a la realidad del paisaje sonoro capturado.

Por lo anterior se decide utilizar el espacializador Steam Audio Spatializer, debido al buen trabajo con audios estereofónicos y conservación del realismo del paisaje sonoro capturado, este realismo se definió al realizar el ejercicio de escucha por cada espacializador y comparándolo con el audio original capturado, adicionalmente se realizó una prueba con los integrantes del grupo para así determinar cuál de estos espacializadores presentaba mejor rendimiento.

Después de haber seleccionado el espacializador se procedió a realizar la exportación de la escena a WebGL, para finalizar con el montaje de cada uno de los puntos grabados en la página Web.

El Diagrama de flujo del funcionamiento de la herramienta se presenta en la figura 4-2-8.

**Figura 4-2-8:** Diagrama de flujo de rotación de cámara



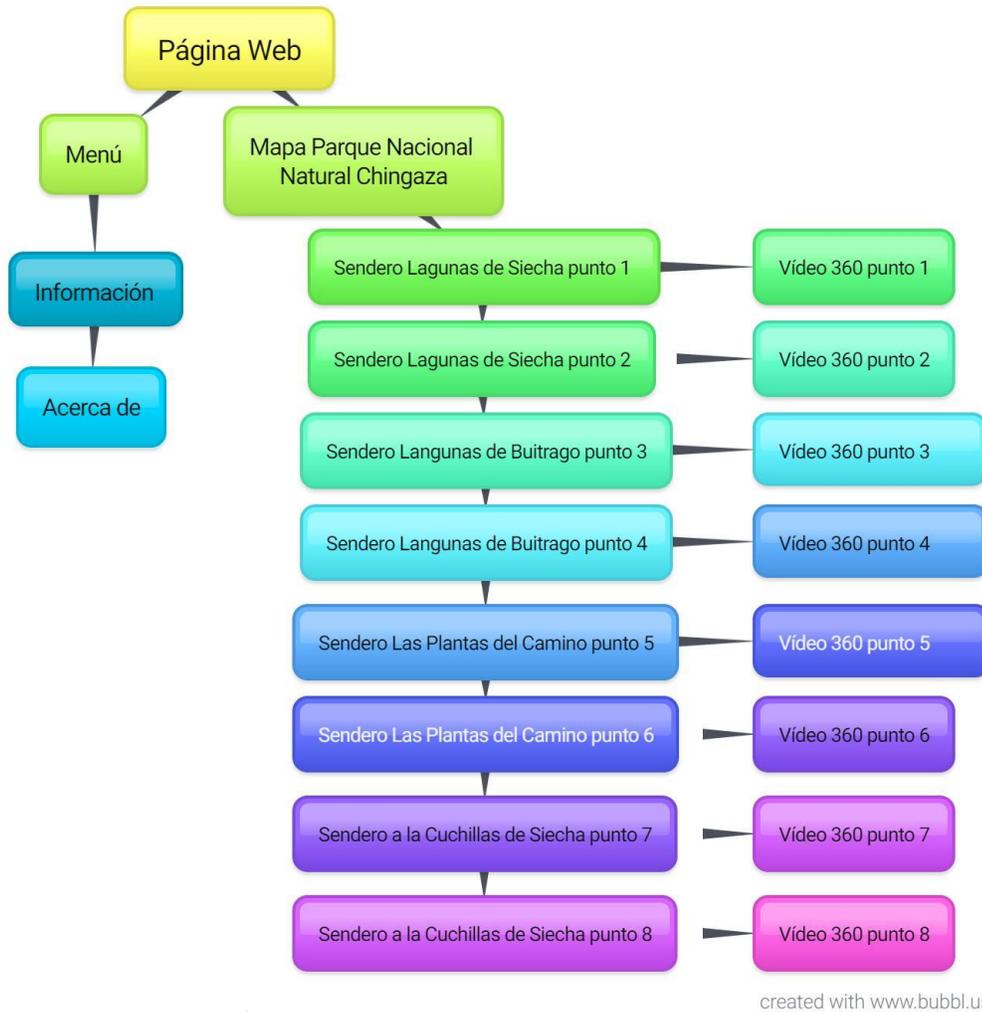
El proceso mencionado en esta etapa se realizó para cada uno de los puntos del parque donde se grabó.

#### 4.2.4 Desarrollo Página Web

En esta etapa se comenzó por desarrollar la página de inicio, la cual cuenta con un menú de información al usuario que consta de dos secciones: Información y Acerca del Proyecto, en los cuales el usuario es redirigido a una página por cada sección, donde encontrará en detalle información Capítulo 4 que e información de los objetivos y parámetros sobre los cuales se hizo el desarrollo de la plataforma virtual.

En la página de inicio se hace la presentación del mapa del parque junto a información sobre el mismo, al desplazarse hacia abajo en la página se encuentra una barra con botones interactivos que permiten la previsualización de una imagen correspondiente a cada uno de los cuatro senderos, cada imagen ofrece información sobre el sendero y dos imágenes correspondientes a los 2 puntos de grabación, dichas imágenes se encuentran enlazadas a una pestaña de apertura automática cuando son seleccionados, llevando así al usuario al video en 360 grados que se desprende de la página principal.

**Figura 4-2-9:** Diagrama de flujo de la Pagina Web



Se hizo uso del software Brackets gracias al entorno de desarrollo web gratuito y de código abierto que ofrece, fue también tenido en cuenta las cinco etapas que son usadas para la creación de una página web, por lo cual, se procedió a realizar una planificación en la cual se estructuró el contenido de cada una de las tres páginas a las que el usuario tiene acceso:

1. Home

- Elementos básicos

4 imágenes correspondientes a los senderos, 8 imágenes por cada punto de grabación enlazados a un video en 360, mapa con la ubicación de los senderos.

- Elementos secundarios

Descripción del Parque Nacional Natural Chingaza y de cada uno de los senderos, logos institucionales, barra de derechos de desarrollo web.

## 2. Acerca del Proyecto

- Elementos básicos

Permisos entregados por entidades gubernamentales, descripción de la finalidad del proyecto, video informativo sobre el Parque.

## 3. Información

- Elementos básicos

Objetivos y justificación del proyecto realizado.

Se procedió entonces a la concepción de la página web teniendo en cuenta elementos estéticos y el cumplimiento de la inclusión de todos los elementos básicos especificados en la etapa de planificación. En esta etapa del desarrollo se hizo de uso de material visual de fuente propia obtenida en el Parque para generar el estilo de carácter semi académico que se buscaba obtener.

En la imagen 4-2-10 se puede observar el bosquejo a mano alzada del esqueleto que se utilizaría para concretar el desarrollo de la página web.

**Figura 4-2-10:** Bosquejo a mano alzada Página de inicio y Acerca del Proyecto



En la etapa de construcción de la página web se realizó el desarrollo de la programación desde un proyecto en blanco, cada sección del esqueleto fue programado por separado contando con la

programación en HTML en donde se incluyeron textos e imágenes y en CSS donde se generó la ubicación espacial en pixeles, color, nitidez, tamaño y estilo de fuente separados por clases específicas contenidos en la sección; en el caso de los senderos, la programación incluyó un JavaScript en el cual se genera un efecto de expansión sobre la selección realizada, además de permitir el uso del símbolo X para deshacer dicha acción. Se buscó una coherencia entre la paleta de colores, el tema académico y los paisajes visuales incluidos con el fin de resaltar la finalidad de la página web.

El producto final de la construcción de la página puede ser observado en la sección de resultados del documento. Además de encontrar en el Anexo C el código utilizado en el desarrollo de la página web.

### **4.3 Evaluación de la Herramienta**

Finalmente, y con fin de dar cumplimiento al tercer objetivo específico, se procedió a la elaboración de una prueba subjetiva teniendo en cuenta las recomendaciones que son presentadas en el artículo ITU-R BS.1116-3, de Métodos para la evaluación subjetiva de pequeñas degradaciones en los sistemas de audio, presentado por la ITU (ITU-R, 1997).

Dicha prueba se compuso por 6 preguntas subjetivas donde, los participantes de la prueba, respondieron con el objetivo de evaluar la calidad sonora de las grabaciones realizadas con respecto a la riqueza de los detalles sonoros, el realismo de los sonidos, la profundidad de la imagen, la localización espacial y valorar el nivel de inmersión que experimentaron al hacer uso de la herramienta de 360 grados. Cada uno de esos elementos importantes en la composición de la imagen sonora y la realidad del audio, en una impresión espacial o ambiente con un sentido panorámico (Bagousse, Colomes, & Paquier, 2010). Es necesario mencionar que para el correcto funcionamiento de la herramienta implementada el sistema requiere ser usado con auriculares.

Para dicha prueba se brindaron 10 minutos con el fin de que escuchasen por lo menos 4 de los 8 puntos grabados generando aleatoriedad en la experiencia con la herramienta como sucedería en el caso de la navegación desde cualquier ordenador y posteriormente respondieran a las preguntas. Al igual que en la primera prueba realizada, la muestra tomada fue de 30 personas, de los cuales 4 eran profesor y 26 estudiantes de los semestres 8, 9 y 10. El documento utilizado en esta etapa del desarrollo del presente documento puede ser observado en el Anexo E.

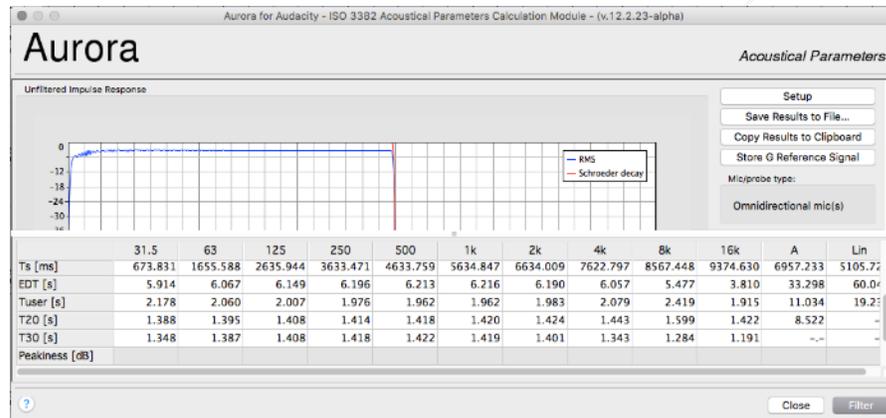
Debe realizarse la aclaración con respecto a la cantidad de sujetos de prueba. Se presenta una variación con respecto a los 9 profesores de la primera prueba realizada en la sección 4.1.4 y los 4 que presentaron la evaluación de la herramienta. Esto debido, a la no disponibilidad académica de los 5 sujetos al momento en el que se llevó a cabo la prueba.

## 5. Presentación y análisis de resultados

### 5.1 Tiempo de Reverberación Live Estudio Digital

El Live del estudio digital cuenta con unas dimensiones de 6.22 metros de largo, 5.45 metros de ancho y 6.3 metros de altura, el volumen de la sala es de 212.78 y cuenta con un área total de 214.33 m<sup>3</sup>; el acondicionamiento acústico está compuesto por absorbentes y resonadores distribuidos en las paredes de la sala.

**Figura 5-1-1:** Datos de Aurora Acoustical Parameters.



Teniendo en cuenta que la distancia crítica se calcula de la siguiente manera:

**Ecuación 8** Ecuación de Distancia Crítica

$$dc = 0.14 \cdot \sqrt{QR}$$

Y, ya que se midió el tiempo de reverberación se procede a calcular el  $\alpha$  de 500Hz y 1000Hz con la ecuación 3, teniendo en cuenta el volumen de la sala y el área total de la misma y se obtiene el  $\alpha_{mid}$ .

**Ecuación 9** Ecuación Tiempo de Reverberación

$$Rt = \frac{0.16 * V}{St * \alpha}$$

**Ecuación 10** Ecuación Coeficiente de Absorción

$$\alpha = \frac{0.16 * v}{Rt * St}$$

Posteriormente se calcula la constante de absorción de la sala con la ecuación 7.

**Ecuación 11** Ecuación Constante de Absorción

$$R = \frac{St * \alpha_{mid}}{1 - \alpha_{mid}}$$

Finalmente se calcula la distancia crítica con la ecuación 5 teniendo en cuenta los datos obtenidos anteriormente y la directividad de la fuente  $Q=1$ .

**Ecuación 12** Ecuación Distancia Crítica

$$dc = 0.14 \sqrt{Q * \frac{0.16 * V}{Rt(1-\alpha)}}$$

Podemos además observar en la tabla 5-1-1 los coeficientes de absorción para las bandas de 500 y 1000 Hz, la absorción total que se genera en las superficies de la sala, el tiempo de reverberación y la distancia crítica que se presentan. Dichas condiciones acústicas son propicias para el desarrollo de las grabaciones con cada una de las cuatro técnicas elegidas gracias al comportamiento adecuado de la sala generando una inteligibilidad de alto porcentaje.

**Tabla 5-1-1:** Datos obtenidos del Live del Estudio Digital

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
$\alpha_{500Hz}$	0,34	Sabines
$\alpha_{1000Hz}$	0,32	Sabines
$\alpha_{Mid}$	0,33	Sabines
R	104,79	m <sup>2</sup>
dc	1,43	Metros

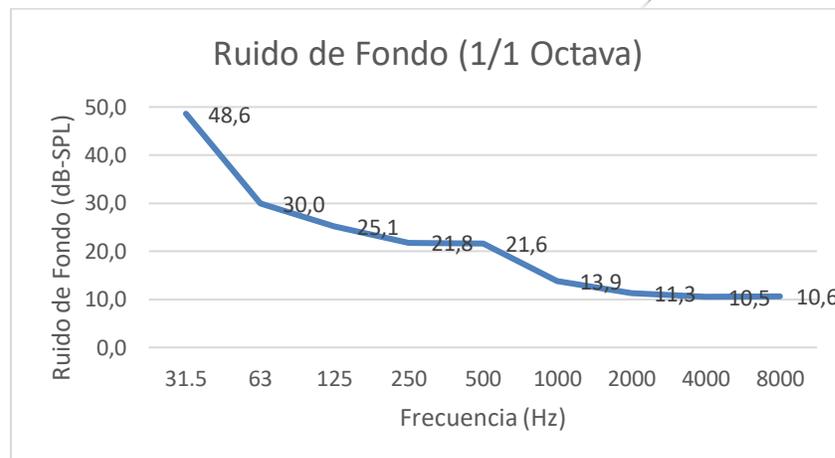
## 5.2 Medición Ruido de Fondo Estudio de Mastering

El estudio de mastering ubicado en la Universidad de San Buenaventura tiene unas dimensiones de 2,63 x 5,98 x 2,3. Cuenta con un acondicionamiento acústico con paneles absorbentes y un difusor.

La medición realizada consistió en escoger 3 puntos de manera aleatoria para posicionar el sonómetro, luego se procedió a realizar una medición de 30 segundos en cada uno de estos puntos.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la medición de ruido de fondo del estudio de mastering. En la siguiente gráfica se presentan los decibels obtenidos por octava.

**Figura 5-2-1:** Ruido de Fondo Estudio de Mastering



De la gráfica anterior se puede ver que los niveles de ruido en este estudio son bastante bajos por lo que es un lugar apropiado para realizar las pruebas con las que se va a escoger la técnica de grabación más apropiada para realizar la grabación en el Parque Nacional Natural Chingaza.

## 5.3 Resultados Pruebas Para Selección de Técnica de Grabación

Una vez finalizadas las pruebas subjetivas, se procedió a determinar cuál de estas tenía un mayor puntaje al momento de identificar el punto de dónde provenía la fuente.

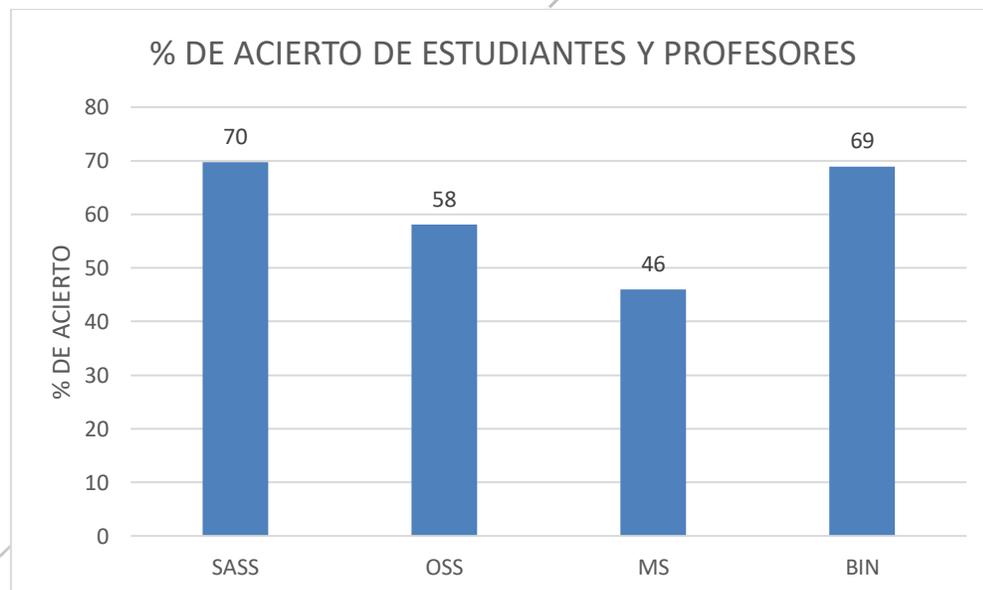
A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas. Hubo dos métodos de evaluación de las pruebas, esto con el fin de obtener información más detallada sobre cada una de las técnicas.

La primera forma de evaluación fue que cada una de las técnicas tenía como puntaje máximo 8 puntos los cuales fueron calificados de la siguiente manera:

- 1 si acertaba correctamente el lugar exacto de donde procedía el sonido.
- 0,5 si acertaba el lado del que provenía el sonido, pero no marcaba exactamente si era adelante o atrás.

Posteriormente se procedió a calcular el porcentaje de acierto obtenido para cada una de las técnicas, se obtuvieron los resultados presentados en la figura 5-3-1:

**Figura 5-3-1:** Porcentaje de Acierto Profesores y Estudiantes



De la figura 5-3-1 se puede observar que el porcentaje de aciertos en la técnica SASS fue mayor, obteniendo un 70 por ciento de acierto por parte de todos los participantes.

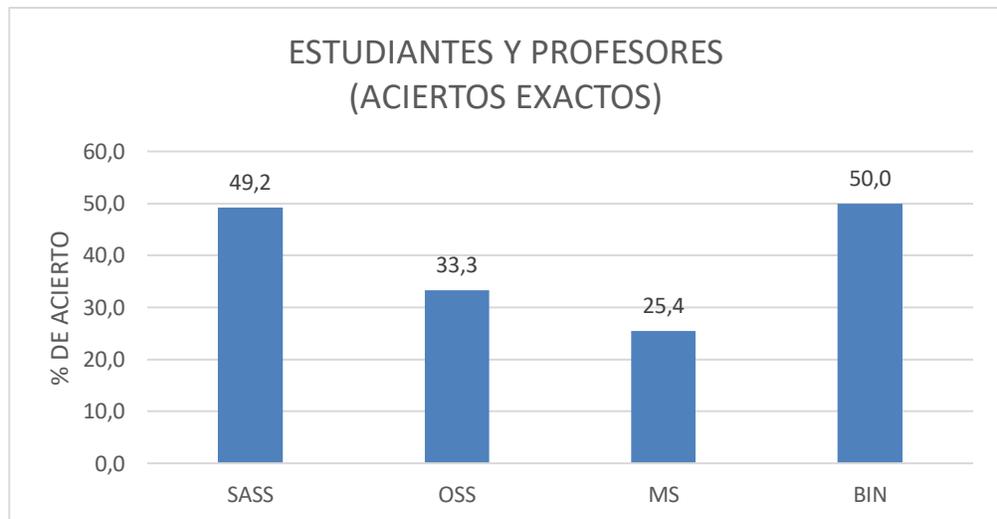
Como segunda forma de evaluación se procedió a analizar cuál de las técnicas tenía el mayor porcentaje de acierto al momento de encontrar el punto exacto de dónde provenía el sonido, para lo anterior se evaluó de la siguiente manera:

- 1 si acertaba correctamente el lugar exacto de donde procedía el sonido.

- 0 para cualquier otro caso.

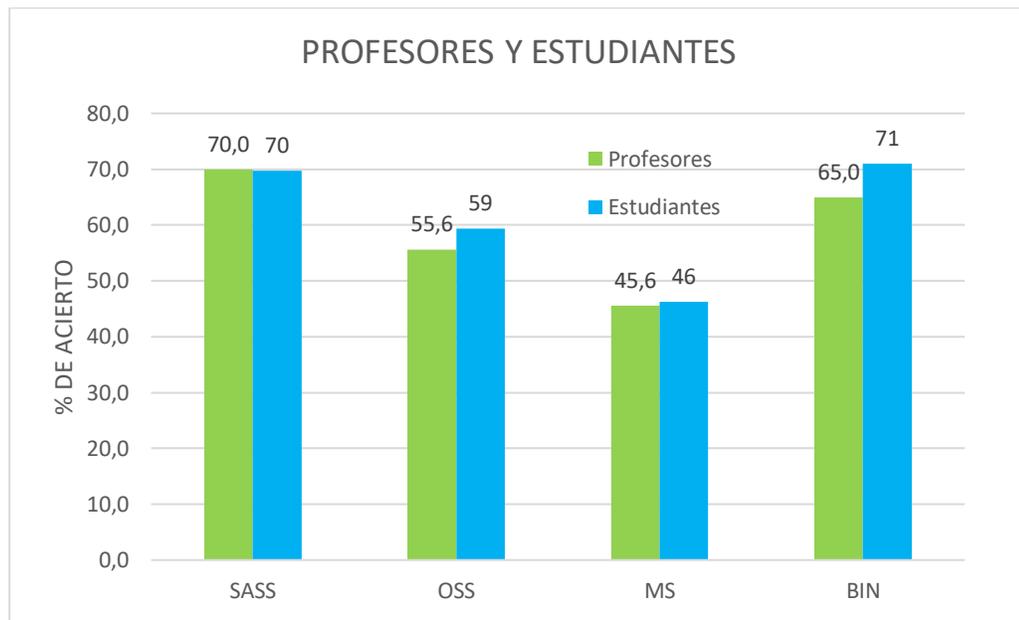
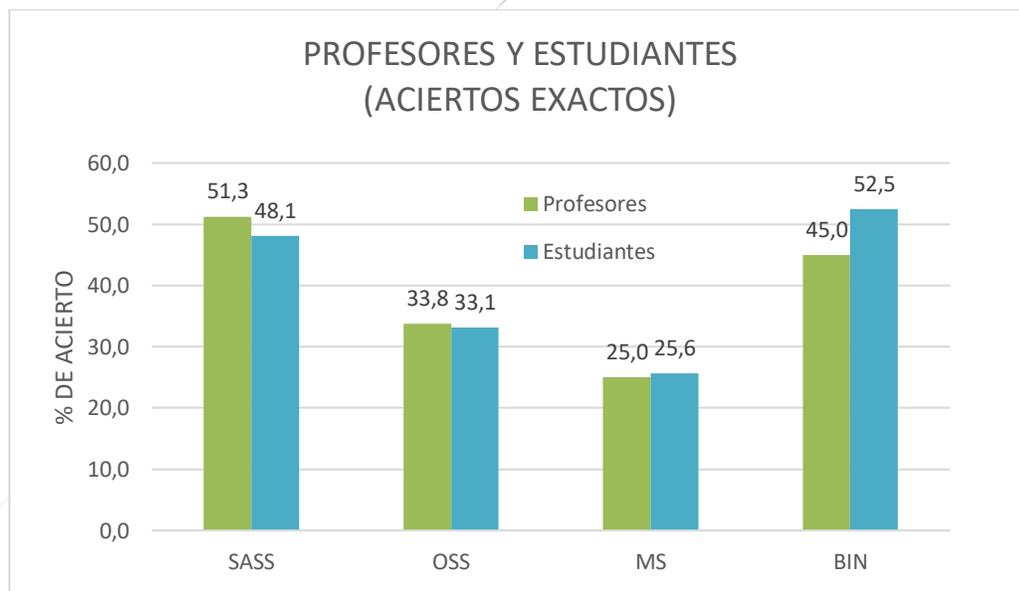
Los resultados obtenidos se presentan en la figura 5-3-2, con la cual se pudo determinar que la técnica binaural y SASS obtuvieron los porcentajes de acierto más altos con 50 y 49,2 respectivamente.

**Figura 5-3-2:** Porcentaje de Aciertos Exactos Profesores y Estudiantes



Adicionalmente, para tener un análisis más completo de las pruebas realizadas se separaron las pruebas de estudiantes y profesores para determinar si había alguna diferencia significativa en los resultados de cada grupo (estudiantes y profesores).

En las figuras 5-3-3 y 5-3-4 se puede observar el porcentaje de acierto de profesores y estudiantes por separado utilizando los mismos métodos de evaluación mencionados anteriormente, se puede observar que la diferencia entre cada uno de los grupos no es significativa. Lo anterior se evidencia en que las diferencias de porcentaje de acierto entre los grupos no son mayores a 6 puntos, siendo esta la más alta en la técnica binaural.

**Figura 5-3-3:** Porcentaje de Aciertos Profesores y Estudiantes**Figura 5-3-4:** Porcentaje de Aciertos Exactos Profesores y Estudiantes

De las pruebas realizadas se pudo concluir que las técnicas más apropiadas para realizar grabaciones de este proyecto son las técnicas SASS y la Binaural, ya que están presentando el porcentaje de acierto más alto entre las cuatro técnicas probadas.

## 5.4 Resultados Desarrollo de la Página Web

A continuación, se pueden observar las tres secciones desarrolladas para la página web.

En la figura 5-4-1 se observa la composición total de la página de Inicio desde donde se accede a cada uno de los senderos y los videos en 360 grados. En la figura 5-4-2 indica la imagen correspondiente a la página de Acerca desde el cual se puede descargar un documento con los permisos gubernamentales con los cuales se desarrolló el proyecto. La figura 5-4-3 corresponde a la sección de Información.

**Figura 5-4-1:** Página de Inicio



Figura 5-4-2: Página de Acerca del Proyecto



Home Acerca de Información

## Plataforma Virtual del Paisaje Sonoro del Parque Nacional Natural Chingaza

# Acerca del Proyecto

### Parque Nacional Natural Chingaza

Colombia es uno de los países más ricos en diversidad biológica en el mundo. Esta se ve representada en las 59 áreas pertenecientes al Sistema de Parques Nacionales Naturales. Dichos parques se encuentran protegidos por el SINAP (Sistema Nacional de Áreas de Protegidas).

El Parque Nacional Natural Chingaza goza de gran importancia a nivel ecosistémico y como sistema de reserva del acueducto de Bogotá. Es hogar de especies protegidas en peligro de extinción como el Oso Andino y el Condor, es santuario de las leyendas indígenas donde el dios de la noche usa sus mostañas en forma de serrucho para protegerse. [Más info](#)

#### Permisos Otorgados por entidades gubernamentales

De conformidad con la autorización expresa notificado por medios electrónicos sobre decisiones administrativas dentro del expediente PFFO DTOR NO. 049-18, se pone en conocimiento la Resolución No. 404 del 12 de octubre de 2018, expedida por la Subdirección de Gestión y Manejo de Parques Nacionales "POR MEDIO DE LA CUAL SE OTORGA EL PERMISO PARA LA REALIZACIÓN DE OBRAS AUDIOVISUALES Y TOMA DE FOTOGRAFÍAS A LA SEÑORA VIVIAN MARCELA HERNÁNDEZ GUACANEME AL INTERIOR DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CHINGAZA Y SE TOMAN OTRAS DETERMINACIONES - EXPEDIENTE PFFO DTOR No. 049-18"

Finalidad del proyecto

Desarrollar una herramienta virtual que contenga imagen y sonido en 360 grados del Parque Nacional Natural Chingaza para ser usado en una plataforma virtual de inmersión.

Parque Nacional Natural Chingaza

CHINGAZA

Copyright © 2018 LIBRO 70006 LOS DEBIDOS MARRADOS | COLOMBIA

Figura 5-4-3: Página de Información

The screenshot shows a website page with a header image of a forest. The main title is 'Plataforma Virtual del Paisaje Sonoro del Parque Nacional Natural Chingaza'. Below this is a large orange section titled 'Información'. Under 'Información', there are three columns of text under the heading 'Objetivos del proyecto'. The first column describes determining the best technique for capturing 360-degree audio. The second column describes defining the programming algorithm for a 360-degree audio experience. The third column describes evaluating the immersion level. Below this is a section titled 'Justificación del proyecto' with two paragraphs of text. The first paragraph discusses the importance of soundscapes and the impact of human activities. The second paragraph discusses the development of tools for sound capture. Below this is a section titled 'Realizadores del Proyecto' with three columns, each featuring a photo and bio of a team member: Andrea Perez Varela, Vivian Hernández, and MSc. Luis Hermida. At the bottom, there is a copyright notice: 'COPYRIGHT © 2018 USBBOG TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS | COLOMBIA'.

**Plataforma Virtual del Paisaje Sonoro del Parque Nacional Natural Chingaza**

## Información

### Objetivos del proyecto

- Determinar la técnica más apropiada para la captura de 360 grados del paisaje sonoro del Parque Nacional Natural Chingaza en los 2 puntos escogidos en cada uno de los 4 senderos habilitados al público.
- Definir el algoritmo de programación que permita una experiencia en 360 grados del paisaje sonoro de los senderos de Parque Nacional Natural Chingaza.
- Evaluar el nivel de inmersión que genera la herramienta implementada en la página web.

### Justificación del proyecto

La grabación e implementación de paisajes sonoros ha sido una herramienta de gran importancia que ha sido desarrollada con el objetivo de concientizar sobre la riqueza natural que se encuentra alrededor del planeta (Monacchi, 2001-2015) y que, debido a las actividades humanas, tales como la deforestación y consecuentemente el cambio climático, se encuentra en un peligro inminente el cual puede llevar a la desaparición de estos lugares junto con todas las especies que lo habitan.

Desde la Ingeniería de Sonido es importante el desarrollo de herramientas que permitan una mayor difusión de estos espacios, para que cualquier persona pueda acceder a ellos haciendo uso de herramientas de captura en 360 grados, asegurando una mayor inmersión en el espacio, generando una apropiación del lugar.

### Realizadores del Proyecto



**Andrea Perez Varela**  
Desarrollador de Tesis  
Estudiante de Ingeniería de Sonido de décimo semestre de la Universidad de San Buenaventura Sede Bogotá.  
alopez@academia.usbbog.edu.co  
Universidad de San Buenaventura



**Vivian Hernández**  
Desarrollador de Tesis  
Estudiante de Ingeniería de Sonido de décimo semestre de la Universidad de San Buenaventura Sede Bogotá.  
vmhernandez@academia.usbbog.edu.co  
Universidad de San Buenaventura



**MSc. Luis Hermida**  
Director de Tesis  
Ingeniero de Sonido de la Universidad de San Buenaventura Sede Bogotá, con estudios de Maestría en Ingeniería Acústica en la Industria y el Transporte (Universidad Politécnica de Madrid) y Maestría en Arte (Universidad de Brasilia). En la actualidad está finalizando sus estudios de doctorado en acústica con la Universidad Politécnica de Madrid.  
lhermida@usbbog.edu.co  
Universidad de San Buenaventura

COPYRIGHT © 2018 USBBOG TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS | COLOMBIA

Antes de realizar la promoción de la página web se realizó un proceso de evaluación con el fin de confirmar la calidad de las imágenes, la nitidez de los cuadros de texto, la paleta de colores, el direccionamiento correcto de los enlaces utilizados y la interactividad de la herramienta con los usuarios.

La promoción de la página web no se realizó debido a las pruebas previas a las que se debía someter la herramienta virtual en 360 grados contenida dentro de la misma.

## 5.5 Resultados Pruebas de la Página Web

Se presentan a continuación los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas para evaluar el nivel de inmersión que genera la herramienta de 360 grados implementada en la página web desarrollada.

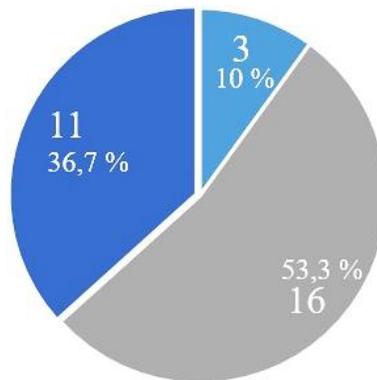
Cada una de las 6 preguntas realizadas contaban con un carácter calificativo en una escala de 1 a 5, donde según la percepción del oyente la evaluación se realizaba con la siguiente escala:

1	Muy malo
2	Malo
3	Regular
4	Bueno
5	Muy bueno

Posteriormente se procedió a calcular el porcentaje de calificación obtenida en cada una de las 6 preguntas, se obtuvieron los siguientes resultados:

1. La sensación de realidad en los audios escuchados fue:

No. de personas	Calificación
3	Regular
16	Bueno
11	Muy Bueno

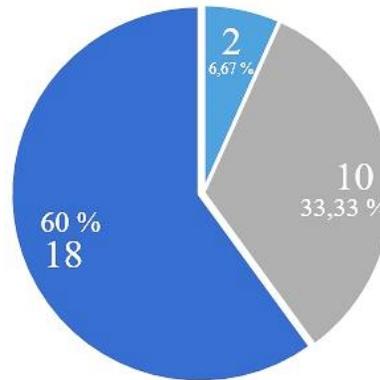


Puede observarse que la sensación de realidad de los audios fue calificada como muy buena y buena por el 90% de las personas encuestadas, demostrando que la herramienta presenta una gran fidelidad a las expectativas presentes en los encuestados.

Capítulo 5

2. La riqueza de detalles escuchados fue:

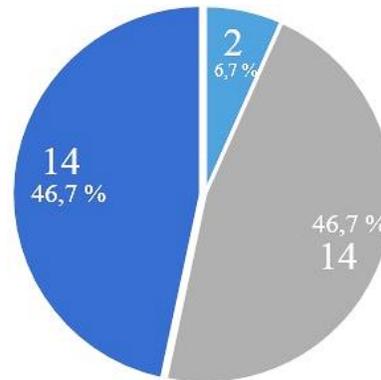
No. de personas	Calificación
2	Regular
10	Bueno
18	Muy Bueno



En cuanto a la riqueza en los detalles escuchados en los audios se puede observar que el 93% de los participantes la calificó como buena y muy buena, indicando que se conservó la calidad de los audios convolucionados implementados en el espacializador.

3. Los elementos escuchados brindaron una profundidad en la imagen:

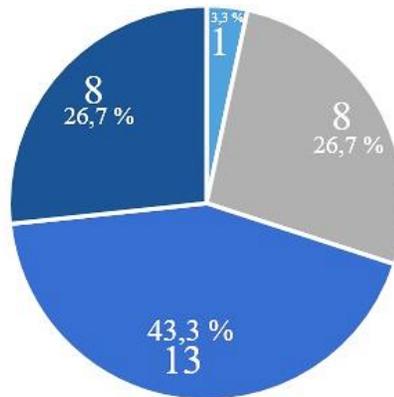
No. de personas	Calificación
2	Regular
14	Bueno
14	Muy Bueno



La profundidad que generan los audios en la imagen es evidente, ya que para el 93% de los participantes el desempeño de la herramienta fue buena o muy buena con respecto a este elemento, manifestando la importancia del audio para generar un mayor nivel de inmersión en las imágenes.

4. La localización espacial de los sonidos en el eje horizontal fue:

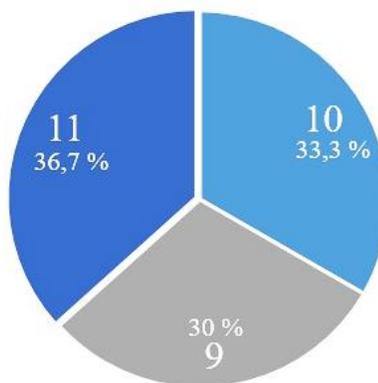
No. de personas	Calificación
1	Malo
8	Regular
13	Bueno
8	Muy Bueno



El espacializador utilizado funcionó de manera correcta ya que permitió que los usuarios pudieran rotar tanto la imagen como el video a gusto, produciendo un mayor discernimiento del paisaje sonoro que se estaba escuchando y viendo en la página.

5. La coherencia observada entre las imágenes y el sonido fue:

No. de personas	Calificación
10	Regular
9	Bueno
11	Muy Bueno



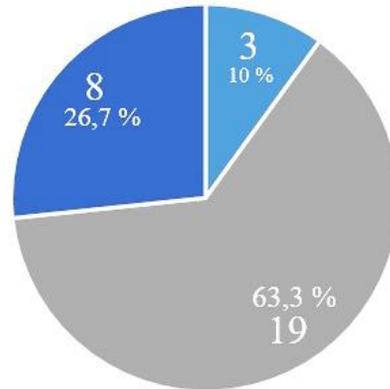
Con respecto a la coherencia presentada entre audio y video, se pudo observar que, para las personas encuestadas esta relación no era tan clara; una razón para esto, es la falta de dinamismo en la imagen con respecto a la diversidad de sonidos de los cuales visualmente identificar las fuentes es poco

probable. Igualmente cabe resaltar que el 66% de los participantes si sintió una coherencia entre

Capítulo 5

6. Con respecto a todos los elementos nombrados previamente, la experiencia de la técnica en 360 grados fue:

No. de personas	Calificación
3	Regular
19	Buena
8	Muy Buena



De las pruebas realizadas se pudo concluir que, al evaluar la inmersión que genera la herramienta, con respecto a todos los elementos que lo componen, el desempeño de la misma es calificado por el 63% de los encuestados como buena y por el 26% como muy buena, lo que indica que la herramienta cumplió con su objetivo.



## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

A partir de las actividades realizadas durante el presente proyecto se puede concluir que, es posible realizar una herramienta virtual definida en un algoritmo de trabajo que permite la inmersión audiovisual en 360 grados del Parque Nacional Natural Chingaza haciendo uso de la técnica de grabación SASS con bastante precisión. Esta herramienta virtual implementada en una página web se desempeña de la manera correcta al permitir la inmersión de los usuarios en los 4 senderos escogidos por cada uno para ser evaluados.

De las pruebas subjetivas realizadas para la evaluación del rendimiento de la herramienta implementada en la página web, que el desempeño de la herramienta dio los resultados esperados, el 60% de los encuestados calificó la experiencia en 360 grados como buena, adicionalmente el 43% calificó la localización espacial como buena más el 26% que calificó esta localización como muy buena.

Se evidenció con las pruebas realizadas a las cuatro técnicas de captura que la técnica SASS es la más adecuada para la captura en 360 grados de paisajes sonoros del Parque Natural Nacional Chingaza. A pesar de que la técnica Binaural obtuvo un puntaje similar a la SASS dentro de las pruebas realizadas; se manifestó que al efectuar grabaciones a bajas temperaturas como las desarrolladas en el Parque es difícil no escuchar la respiración del sujeto que está emulando la cabeza artificial durante la grabación.

Además, se pudo observar que la técnica SASS tiene un 70 por ciento de aciertos en la prueba realizada de ubicación de fuente, brindando seguridad con respecto a la inclusión de una parte audiovisual donde los usuarios pueden identificar con éxito la dirección desde donde proviene el estímulo auditivo.

Debido a que el motor de videojuegos Unity permite la exportación de los proyectos a formato WebGL, fue posible desarrollar la herramienta virtual con un bajo costo computacional, garantizado una espacialización efectiva del audio bajo parámetros de mediana complejidad, una implementación en la página web sin complicados procesos de acoplamiento y un manejo por parte del usuario de forma intuitiva.

El espacializador utilizado en la herramienta virtual no generó ninguna degradación en la calidad de los audios originales de manera significativa al realizar el tratamiento de la señal, ya que la riqueza de los detalles escuchados, el realismo y la profundidad de los paisajes sonoros en 360 grados fue percibida por los usuarios como buena, lo que ayudó a que la experiencia generada por la herramienta fuese evaluada como muy buena.

## **6.2 Recomendaciones**

En proyectos a futuro se podrían utilizar otros métodos de grabación diferentes a los usados en este trabajo dichas grabaciones podrían ser de tipo ambisonics, o diferentes tipos de Plug-ins que puedan variar la experiencia de los usuarios, adicionalmente se puede realizar una aplicación de realidad virtual, que permita un mayor nivel de inmersión de los paisajes presentados.

En lo concerniente a las pruebas subjetivas realizadas en este proyecto cabe resaltar que éstas fueron realizadas a personas con conocimientos suficientes para obtener un alto índice de confiabilidad en los resultados; si se quisiera, se podrían realizar pruebas a sujetos sin conocimientos respecto al tema de ubicación espacial para de esta manera con los resultados obtenidos por cada grupo fuesen comparados produciendo un estudio más amplio.

En cuanto a la herramienta, se podría realizar una comparación del nivel de inmersión que se obtiene con y sin video para así determinar cuanta importancia tiene el estímulo visual en la percepción de los sujetos de prueba, además se podrían realizar variaciones en la prueba al reproducir videos con audio espacializado y sin espacializar para identificar que tanto incide esto en la inmersión generada por la herramienta.

Es necesario resaltar que la calidad de los videos utilizados puede ser mejorado haciendo uso de otra cámara con mejor resolución al igual que la herramienta que se utilizó para generar los videos finales, brindando al usuario una visualización más nítida de las fuentes. Es necesario también nombrar las cancelaciones en varios de los audios generados por la herramienta utilizada de carácter esporádico, por lo cual se recomienda el uso del espacializador para corroborar la existencia de dichas cancelaciones a 45 grados con respecto al centro a ambos lados o hacer uso de otras herramientas de las mismas características para evitar dichos fenómenos presentados.

## A. Anexo: Ficha técnica Micrófonos d:screet 4060

- Imagen del Micrófono y Conector MicroDot



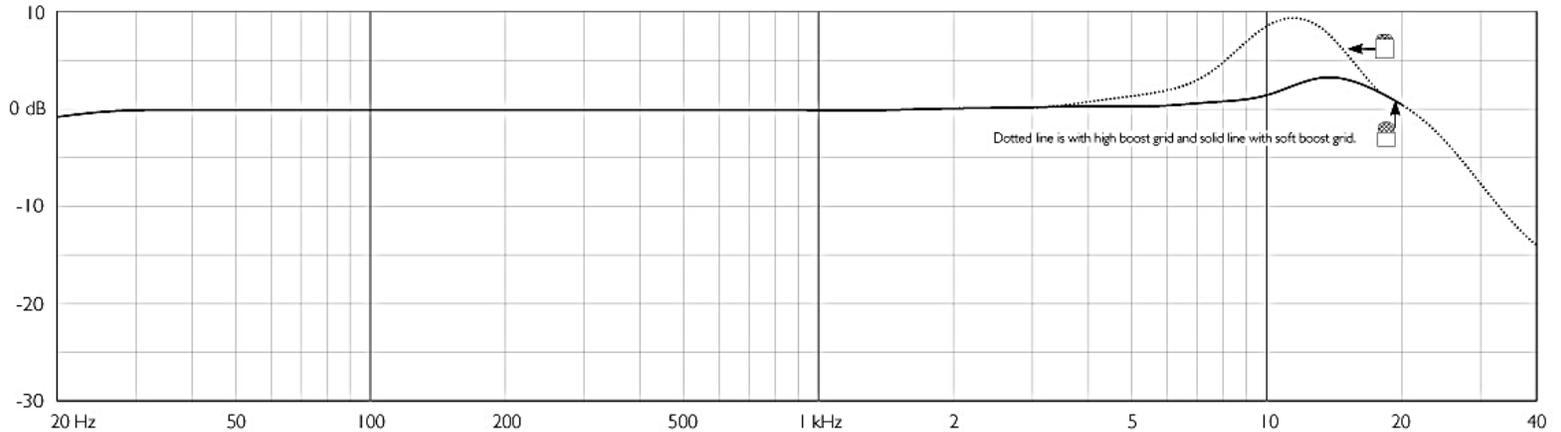
Fuente: DPA Microphones (<https://www.dpamicrophones.com/dscreet/4060-series-miniature-omnidirectional-microphone>)

- Especificaciones

Patrón Direccional	Omnidireccional
Principio de Operación	Presión
Tipo de Capsula	Condensador pre-polarizado
Rango de Frecuencia	20 Hz – 20 kHz
Sensibilidad, nominal, $\pm 3$ dB a 1 kHz	20 mV/Pa; -34 dB re. 1 V/Pa
S/N ratio (A-Weighted), re 1 kHz a 1 Pa (94 dB SPL)	Typ. 71 dB(A)
Distorsión Armónica Total (THD) - Legacy	< 1% THD después de 123 dB SPL pico; < 1% THD después de 120 dB SPL RMS seno
Distorsión Armónica Total (THD) - CORE	< 1% THD up to 129 dB SPL peak

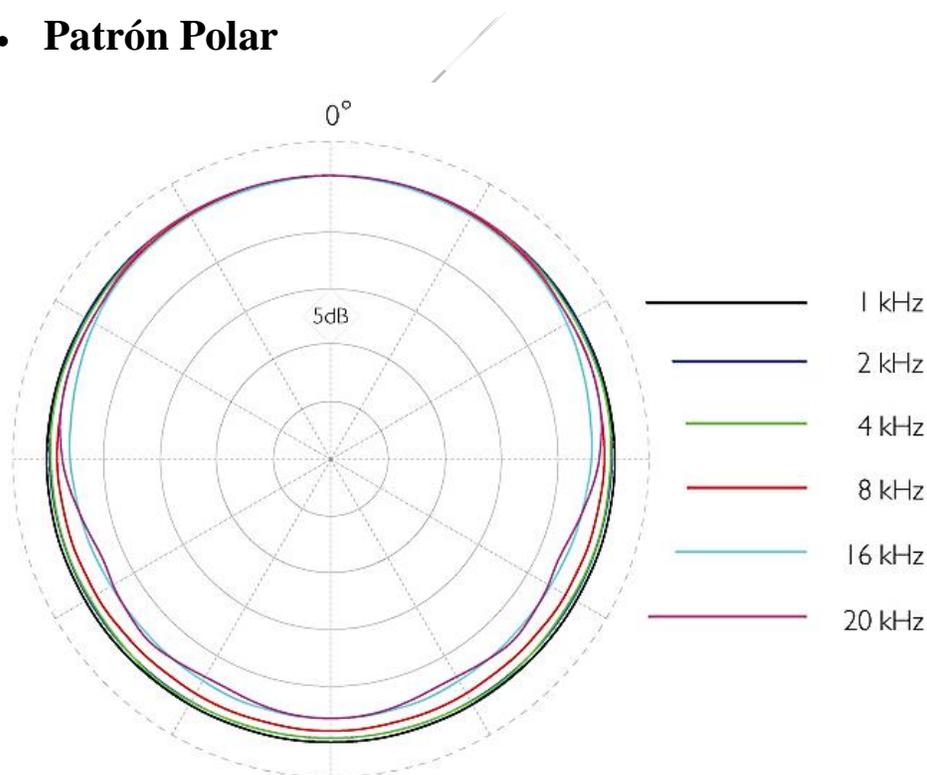
Impedancia de Salida	30 – 40 $\Omega$
Conector	MicroDot
Rango de Temperatura	-40 °C A 45 °C
Humedad Relativa	Más del 90%

## • Respuesta en Frecuencia



Fuente: DPA Microphones (<https://www.dpamicrophones.com/dscreet/4060-series-miniature-omnidirectional-microphone>)

## • Patrón Polar



Fuente: DPA Microphones (<https://www.dpamicrophones.com/dscreet/4060-series-miniature-omnidirectional-microphone>)

## B. Anexo: Evaluación subjetiva de técnicas de grabación en 360 grados

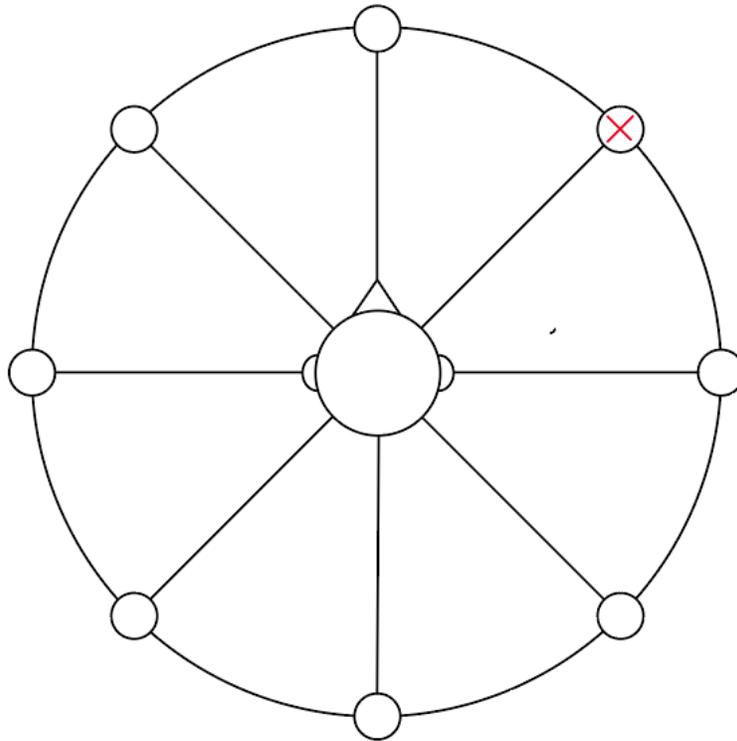
Nombre: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_ Género: F \_\_\_ M \_\_\_

Profesor \_\_\_\_\_ Estudiante \_\_\_\_\_ Semestre \_\_\_\_\_

### Evaluación subjetiva de técnicas de grabación en 360 Grados (SASS, OSS, MS Doble, Binaural)

- En la siguiente prueba escuchará 8 audios por cada una de las técnicas de grabación. Cada uno de ellos será reproducido de manera aleatoria y Usted deberá indicar dónde ubica espacialmente la señal marcando con una X dentro del círculo según se indica en el siguiente ejemplo:

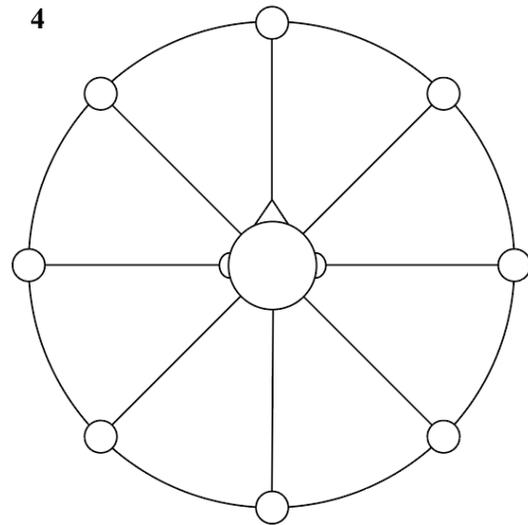
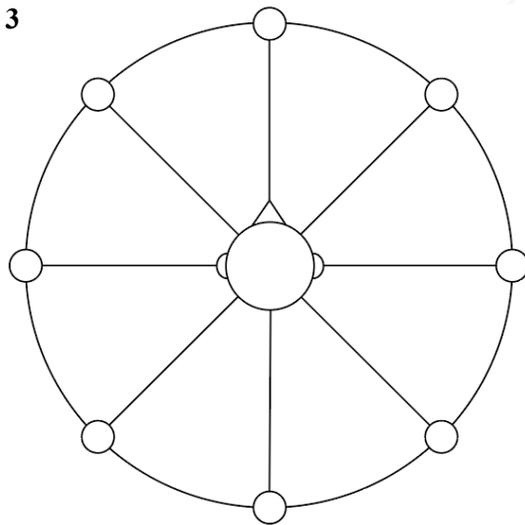
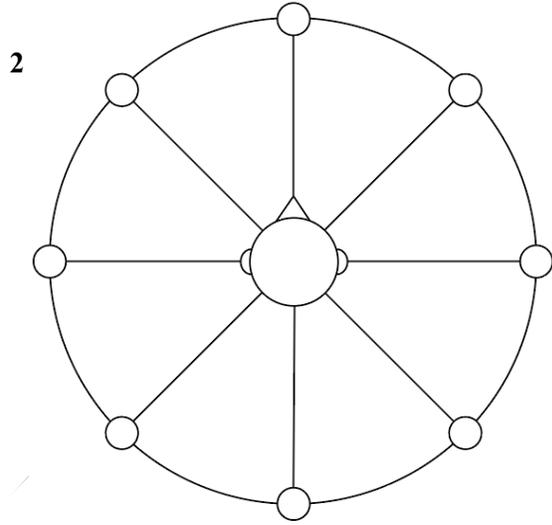
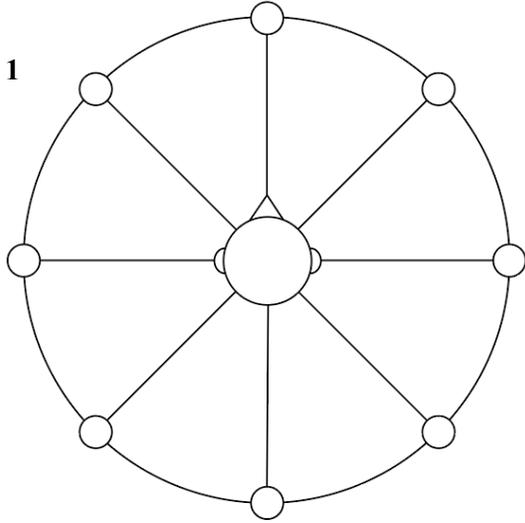


Ejemplo 1.

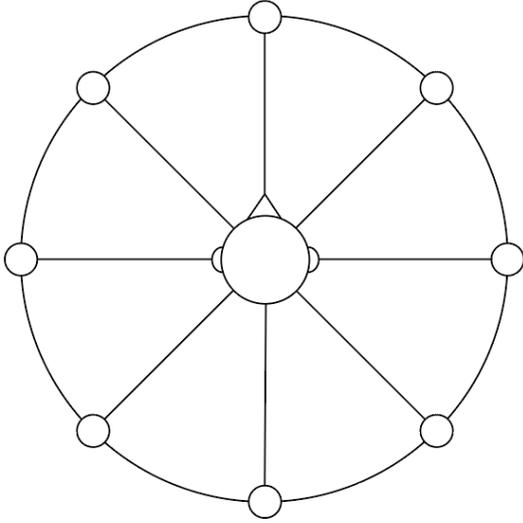
**PRUEBA DE ESCUCHA**

MARQUE CON UNA X LA UBICACIÓN ESPACIAL DE LA FUENTE.

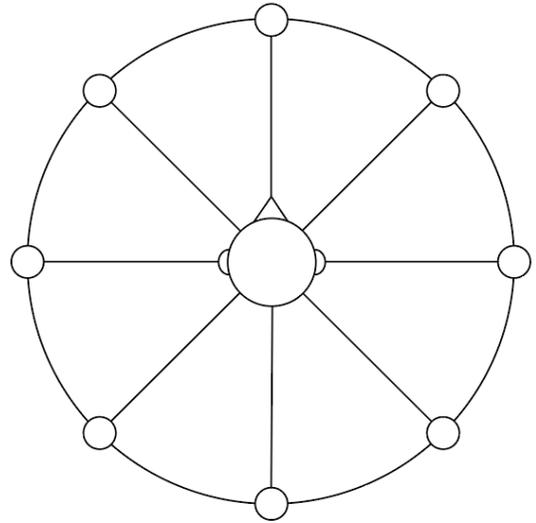
TÉCNICA 1



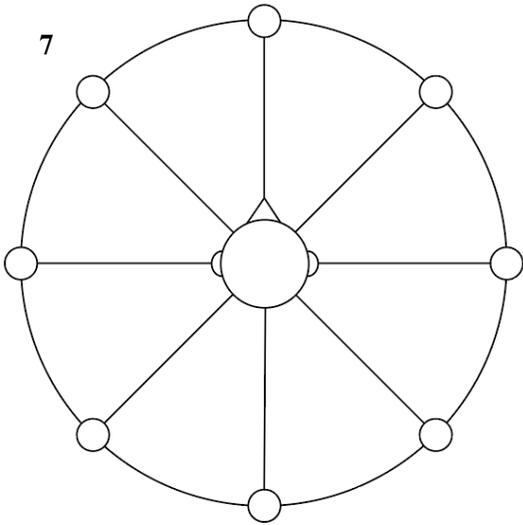
5



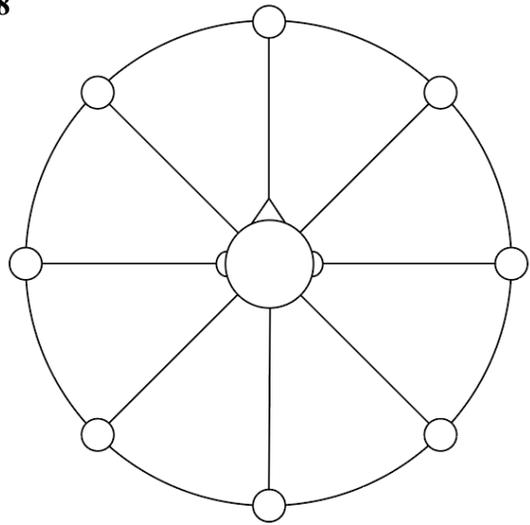
6



7



8





## C. Anexo: Código de programación utilizado en Unity

- Código para Shader que invierta los normals de la esfera

```

Shader "Custom/Flip Normals" {
    Properties {
        _MainTex ("Base (RGB)", 2D) = "white" {}
    }
    SubShader {
        Tags { "RenderType" = "Opaque" }
        Cull Off
        CGPROGRAM
        #pragma surface surf Lambert vertex:vert
        sampler2D _MainTex;
        struct Input {
            float2 uv_MainTex;
            float4 color : COLOR;
        };

        void vert(inout appdata_full v) {
            v.normal.xyz = v.normal * -1;
        }
        void surf (Input IN, inout SurfaceOutput o) {
            fixed3 result = tex2D(_MainTex, IN.uv_MainTex);
            o.Albedo = result.rgb;
            o.Alpha = 1;
        }
        ENDCG
    }
    Fallback "Diffuse"
}

```

- Código para rotar la cámara

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class CameraScript : MonoBehaviour
{
    public float speedH = 2.0f;
    public float speedV = 2.0f;
    private float yaw = 0.0f;
    private float pitch = 0.0f;
    // Use this for initialization

```

```

void Start()
{
}
// Update is called once per frame
void Update()
{
    yaw += speedH * Input.GetAxis("Mouse X");
    pitch -= speedV * Input.GetAxis("Mouse Y");
    transform.eulerAngles = new Vector3(pitch, yaw, 0.0f);
}
}

```

- **Código para cambiar imágenes cada 30ms**

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
public class Images : MonoBehaviour {
    //Se crea un arreglo de 450 posiciones donde se gurada cada // frame del video
    public Texture[] textures = new Texture[450];
    // Use this for initialization
    private IEnumerator Start()
    {
        int i = 0;
        while (true)
        {
            //Se renderiza cada frame dentro del ciclo
            GetComponent<Renderer>().material.mainTexture = textures[i];
            i++;
            if (i == textures.Length)
            {
                i = 0;
            }
            // Pausamos el método durante 30ms
            yield return new WaitForSeconds(0.033f);
        }
    }
    // Update is called once per frame
    void Update () {}
}

```

## D. Anexo: Código de programación html utilizado en Brackets

- Código para la sección Inicio

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
  <link rel="stylesheet" href="icon.css">
</style>
* {
  box-sizing: border-box;
}

body {
  margin: 0; font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
}

.text {
  background-color: rgb(0,0,0); /* Fallback color */ background-color: rgba(0,0,0, 0.3); /* Black
w/opacity/see-through */
  color: white; font-weight: bold; font-size: 3vw; border: 10px solid #f1f1f1; position: absolute;
/* Stay fixed */
  top: 50%; left: 50%; transform: translate(-50%, -50%); z-index: 2;
  width: 70%; padding: 10px; text-align: center; margin: 0 auto;
}

.container3 {
  padding: 20px; background-image: url("fondo11.jpg");
  background-size: cover; position: relative; height: 300px;
}

/* Closable button inside the container tab */
.closebtn {
  float: right; color: black;
  font-size: 35px; cursor: pointer;
}

img.hover-shadow {
  transition: 0.3s;
}

.hover-shadow: hover {
  box-shadow: 10px 20px 80px 0 rgba(0, 0, 0, 0.2), 0 20px 20px 0 rgba(0, 0, 0, 0.19);
}

```

```

}
/* Footer */
.footer {
padding: 20px; text-align: center;
background: #ddd; font-family: Charter;
}

</style>
</head>

<body>

<!-- The Encabezado Section -->
<div class="image-container">
<div class="text">Plataforma Virtual del Paisaje Sonoro del Parque Nacional Natural
Chingaza</div>

<!-- The Parque Section -->
<div class="container4">
<div class="row">
<h1 class="xlarge-font" style="color:#666600"><b>Parque Nacional Natural
Chingaza</b></h1>
<p style="font-family: century;color:#663300;"><span style="font-size:36px;">Refugio de
Fauna y Flora.</span></p>
<p style="text-align: justify;font-family: cambria;">Ubicado en la cordillera oriental de los
Andes y una extensión de 76.600 hectáreas, se caracteriza por ser un tesoro natural y cultural en el
corazón del territorio Colombiano.</p>
<p style="text-align: justify;font-family: cambria;" >Creado en el año de 1977 se conforma de
11 municipios entre los territorios de los departamentos de Cundinamarca y Meta.</p>
</div>
<div class="column-33">

</div> </div>

<!-- Senderos Section -->
<div class="container" style="background-color:rgba(102,102,0,0.2);">
<h2><b>Puntos de Escucha</b></h2>
<div class="row">
<!-- Four columns -->
<div class="row1">
<div class="column" onclick="openTab('b1');" style="background-
image:url(IMG_3854.jpg);">Sendero Lagunas de Buitrago</div>
<div class="column" onclick="openTab('b2');" style="background-
image:url(IMG_3918.jpg);">Sendero Laguna Seca</div>
<div class="column" onclick="openTab('b3');" style="background-
image:url(IMG_3940.jpg);">Sendero Lagunas de Suasie</div>
<div class="column1" onclick="openTab('b4');" style="background-
image:url(IMG_3886.jpg);">Sendero Las Plantas del Camino</div>

```



```

<div class="column-30">
  <h2 style="color: black">Sendero Laguna de Chingaza</h2>
  < ...>
</div>
  <div class="column-img">
  < ...>
</div>

<script>
function openTab(tabName) {
  var i, x;
  x = document.getElementsByClassName("containerTab");
  for (i = 0; i < x.length; i++) {
    x[i].style.display = "none";
  }
  document.getElementById(tabName).style.display = "block";
}
</script>
</div>
</div>

<!-- The Imagenes Section -->
<div class="container3">
</div>

<!-- Pie de pagina -->
<div class="footer">
  <h2 style="font-size: 10px">COPYRIGHT © 2018 USBBOG TODOS LOS DERECHOS
RESERVADOS | COLOMBIA</h2>
</div>

</body>
</html>

```

- **Código para la sección Acerca de**

```

<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <title>Plataforma Virtual del Parquen Nacional Natural Chingaza</title>
    <link rel="stylesheet" href="icon.css">
    <meta charset="utf-8">
  </head>
  <style>
  * {
    box-sizing: border-box;
  }
  body {

```

```

margin: 0; font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
}

.text {
background-color: rgb(0,0,0); /* Fallback color */ background-color: rgba(0,0,0, 0.3); /* Black
w/opacity/see-through */
color: white; font-weight: bold; font-size: 3vw; border: 10px solid #f1f1f1;
position: absolute; /* Stay fixed */ top: 65%; left: 50%; transform: translate(-50%, -50%);
z-index: 2; width: 70%; padding: 10px; text-align: center; margin: 0 auto;
}

<body>

  <div class="image-container">
    <div class="text">Plataforma Virtual del Paisaje Sonoro del Parque Nacional Natural
    Chingaza</div>
  </div>
  <!-- The Parque Section -->
  <div class="container3">
    <div class="row">
      <h1 class="xlarge-font" style="font-size:36px; font-family: century;
color:#0066CC"><b>Parque Nacional Natural Chingaza</b></h1>
      <p style="font-size:16px; font-family: cambria; text-align: justify;"> Colombia es uno de los
países más ricos en diversidad biológica en el mundo.</p>
      <p style="font-size:16px; font-family: cambria; text-align: justify;">El Parque Nacional
Nautral Chingaza goza de gran importancia a nivel ecosistemático y como sistema de reserva del
acueducto de Bogotá.</p>
    </div> </div> </div>

  <!-- The Permisos Section -->
  <div class="container">
    <div class="pg" style="background-color:#99CC99" >
      </div>
      <h2>Permisos Otorgados por entidades gubernamentales</h2>
      <p style="padding-right: 200px; padding-left: 200px; text-align: justify; font-size: 20px;">De
conformidad con la autorización expresa notificado por medios electrónicos sobre decisiones
administrativas dentro del expediente PFFO DTOR NO. 049-18, se pone en conocimiento la
Resolución No. 404 del 12 de octubre de 2018."</p>

      <div class="container">
        <div class="row">
          <p style="font-size:20px; font-family: cambria;">Desarrollar una herramienta virtual que
contenga imagen y sonido en 360 grados del Parque Nacional Natural Chingaza para ser usado en
una plataforma virtual de inmersión.</p>
        </div> </div>
        <iframe width="560" height="315"
          src="https://www.youtube.com/embed/iN9kN2cK-BA
          frameborder="0"
          allow="accelerometer; autoplay; encrypted-media; gyroscope; picture-in-picture"
          allowfullscreen></iframe>
        </div> </div> </div>

```

```
<!-- Pie de pagina -->
<div class="footer">
  <h2 style="font-size: 10px">COPYRIGHT © 2018 USBBOG TODOS LOS DERECHOS
  RESERVADOS | COLOMBIA</h2>
</div>

</body>
</html>
```

- **Código para la sección Información**

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <title>Plataforma Virtual del Parquen Nacional Natural Chingaza</title>
    <link rel="stylesheet" href="icon.css">
    <meta charset="utf-8">
  </head>
  <style>
    * {
      box-sizing: border-box;
    }

    body {
      margin: 0; font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
    }
    /* Needed to position the navbar */
    position: relative;

    /* Position the navbar container inside the image */
    .container {
      position: absolute;
      margin: 20px; width: auto;
    }

    /* Navbar links */
    .topnav a {
      float: left; color: #f2f2f2; text-align: center;
      padding: 14px 16px; text-decoration: none; font-size: 17px;
    }

    .topnav a:hover {
      background-color: #ddd;
      color: black;
    }

    @media screen and (max-width: 550px) {
      .column {
        width: 100%; display: block; }
    }
  </style>
</body>
</html>
```

```

}

.card {
  box-shadow: 0 4px 8px 0 rgba(0, 0, 0, 0.2);
}

.container { padding: 0 30px;}
.container::after, .row1::after {
  content: ""; clear: both; display: table;
}

.title { color: grey;}

.button {
  border: none; outline: 0; display: inline-block; padding: 8px;
  color: white; background-color: #000; text-align: center; width: 100%;
}

/* Footer */
.footer {
  padding: 20px; text-align: center; background: #ddd; font-family: Charter;
}

<body>
  <div class="image-container">
    <div class="text">Plataforma Virtual del Paisaje Sonoro del Parque Nacional Natural
Chingaza</div>
  </div>

  <div class="tit">    <h1>Información</h1>
</div>

  <div class="fp">    <h2>Objetivos del proyecto</h2>
</div>

  <div class="container3">
    <div class="row">
      <p style="font-size:20px">•    Determinar la técnica más apropiada para la captura de
360 gados del paisaje sonoro del Parque Nacional Natural Chingaza en los 2 puntos escogidos en
cada uno de los 4 senderos habilitados al público. </p>    </div>
      <p style="font-size:20px">•    Definir el algoritmo de programación que permita una
experiencia en 360 grados del paisaje sonoro de los senderos de Parque Natural Nacional
Chingaza.</p>    </div>
      <p style="font-size:20px">•    Evaluar el nivel de inmersión que genera la herramienta
implementada en la página web.</p>
    </div>    </div>    </div>

  <div class="container">
    <div class="jp" style="background-color:#FFCC99">
      <h2 style="font-size:24px">Justificación del proyecto</h2>

```

```
<p style="font-size:20px">La grabación e implementación de paisajes sonoros ha sido una
herramienta de gran importancia que ha sido desarrollada con el objetivo de concientizar </p>
```

```
<p style="font-size:20px">Desde la Ingeniería de Sonido es importante el desarrollo de
herramientas que permitan una mayor difusión de estos espacios.</p>
```

```
</div> </div>
```

```
<div class="fp"> <h2>Realizadores del Proyecto</h2>
</div>
```

```
<div class="column">
<div class="card"> 
<div class="container"> <h2>Andrea Perez Varela</h2>
<p class="title">Desarrollador de Tesis</p>
<p style="text-align: justify;">Estudiante de Ingeniería de Sonido de décimo semestre de
la Universidad de San Buenaventura Sede Bogotá.</p>
<p>ajperez@academia.usbbog.edu.co</p>
<p><button class="button">Universidad de San Buenaventura</button></p>
</div> </div> </div>
```

```
<div class="column">
<div class="card"> 
<div class="container"> <h2>Vivian Hernández</h2>
<p class="title">Desarrollador de Tesis</p>
<p style="text-align: justify;">...</p>
<p>vmhernandez@academia.usbbog.edu.co</p>
<p><button class="button">Universidad de San Buenaventura</button></p>
</div> </div> </div>
```

```
<div class="column">
<div class="card"> 
<div class="container"> <h2>MSc. Luis Hermida</h2>
<p class="title">Director de Tesis</p>
<p style="text-align: justify;">...</p>
<p>lhermida@usbbog.edu.co</p>
<p><button class="button">Universidad de San Buenaventura</button></p>
</div> </div> </div> </div>
```

```
<!-- Pie de pagina -->
```

```
<div class="footer">
```

```
<h2 style="font-size: 10px">COPYRIGHT © 2018 USBBOG TODOS LOS DERECHOS
RESERVADOS | COLOMBIA</h2>
```

```
</div>
```

```
</body>
```

```
</html>
```

## E. Anexo: Evaluación subjetiva de la grabación en 360 grados

Nombre: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_ Género: F \_\_\_ M \_\_\_

Profesor \_\_\_\_\_ Estudiante \_\_\_\_\_ Semestre \_\_\_\_\_

### Evaluación subjetiva de la grabación en 360 Grados

- En la siguiente prueba escuchará 8 audios, cada uno corresponde a uno de los ocho puntos escogidos para ser documentado del Parque Nacional Natural Chingaza y Usted deberá responder a las siguientes preguntas subjetivas, con el objetivo de evaluar la calidad de las grabaciones realizadas y valorar el nivel de inmersión sonora.

#### Ejemplo 1.

Con respecto al nivel de presión sonora en los dispositivos de escucha usted cree que esto afecta la prueba de manera:

<del>1</del>	2	3	4	5
--------------	---	---	---	---

Donde 1 es nada, 2 es poco, 3 es relevante, 4 es notable y 5 es mucho.

Para responder las siguientes preguntas recuerde que:

1	Muy malo
2	Malo
3	Regular
4	Bueno
5	Muy bueno

1. La sensación de realidad en los audios escuchados fue:

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
----------	----------	----------	----------	----------

2. La riqueza de detalles escuchados fueron:

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
----------	----------	----------	----------	----------

3. Los elementos escuchados brindaron una profundidad en la imagen:

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
----------	----------	----------	----------	----------

4. La localización espacial de los sonidos en el eje horizontal fue:

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
----------	----------	----------	----------	----------

5. La coherencia observada entre las imágenes y el sonido fue:

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
----------	----------	----------	----------	----------

6. Con respecto a todos los elementos nombrados previamente, la experiencia de la técnica en 360 grados fue:

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
----------	----------	----------	----------	----------

## Referencias

- Bagousse, S. Le, Colomes, C., & Paquier, M. (2010). State of the Art on Subjective Assessment of Spatial Sound Quality. In *Audio Engineering Society Conference: 38th International Conference: Sound Quality Evaluation*. <https://doi.org/10.1121/1.382579>
- Barlett. (1991). *Stereo Microphone Techniques*. Stoneham, Massachusetts: Reed Publishing (USA).
- Barlett, B. Billingsley, M. (2001). An Improved Stereo Microphone Array Using Boundary Technology: Theoretical Aspects. *J. Audio Engineers Society*, XXVIII, 7–8.
- Bates, E., & Boland, F. M. (2016). Spatial Music, Virtual Reality, and 360 Media. Retrieved from <http://bibliotecadigital.usb.edu.co:2198/tmpFiles/elib/20171029/18496.pdf>
- Betchkal, D. (2013). *Acoustic Monitoring Report , Denali National Park and Preserve – 2012*.
- CIPIC/IDAV Interface Laboratory. (2001). HRTF Data – The CIPIC Interface Laboratory Home Page. Retrieved August 31, 2018, from <https://www.ece.ucdavis.edu/cipic/spatial-sound/hrtf-data/>
- Cuervo, R. (2015). *CON-TRASTE-SONORO · Catálogo de Obras Artísticas*. Retrieved from <http://catalogodeobras.javeriana.edu.co/catalogodeobras/items/show/128>
- dscreet™ 4060 Series Miniature Omnidirectional Microphone. (2018). Retrieved January 29, 2019, from <https://www.dpamicrophones.com/dscreet/4060-series-miniature-omnidirectional-microphone>
- Delgado, J. (2012). Algunos paisajes sonoros de Colombia .pdf. Retrieved September 1, 2017, from <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbXhdG1vc2ZlcmFzc29ub3Jhc2RlY29sb21iaWF8Z3g6NzVmY2Q0YTlhY2I1NTE0ZQ>
- Farina, A. (2014). *Soundscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7374-5>
- Garcia, A. (2002). Etapas en la creación de un sitio web. *Biblos*, 14, 1–18.

- 
- Google Developers. (2018). Fundamental Concepts | Resonance Audio | Google Developers. Retrieved November 17, 2018, from <https://developers.google.com/resonance-audio/discover/concepts>
- Grau, O. (2003). Virtual Art; From Illusion To Immersion. *Journal of Chemical Information and Modeling*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Haas, J. (n.d.). *A History of the Unity Game Engine An Interactive Qualifying Project Submitted to the Faculty of WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE in partial fulfillment of the requirements for graduation*. Retrieved from [https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-030614-143124/unrestricted/Haas\\_IQP\\_Final.pdf](https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-030614-143124/unrestricted/Haas_IQP_Final.pdf)
- Halbe, A., & Joshi, A. R. (2015). A novel approach to HTML page creation using neural network. *Procedia Computer Science*, 45(C), 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.122>
- Holman, T. (2008). *Sourround Sound: Up And Running*. Burlington, Massachusetts: Elsevier Inc.
- ITU-R. (1997). ITU-R BS.1116-1: Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems. *International Telecommunication Union, Geneva*. <https://doi.org/10.1126/science.280.5370.1741>
- Jecklin, J. (1981). A Different Way to Record Classical Music. *Workforce Management*, 29, 1–19. <https://doi.org/10.1093/ajae/aaq049>
- Jenny, C., Majdak, P., & Reuter, C. (2018). *SOFA Native Spatializer Plugin for Unity-Exchangeable HRTFs in Virtual Reality*. Retrieved from <http://recursosdigitales.usb.edu.co:2190/tmpFiles/elib/20181002/19519.pdf>
- Kang, J. S.-F. B. (2017). *Soundscape and The Build Enviroment*. Boca ratón, Florida: CRC Press.
- Madole, D., & Begault, D. (1995a). 3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia. *Computer Music Journal*. <https://doi.org/10.2307/3680997>
- Madole, D., & Begault, D. (1995b). 3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia. *Computer Music Journal* (Vol. 19). <https://doi.org/10.2307/3680997>
- Miller, N. P. (2008). US National Parks and management of park soundscapes: A review. *Applied Acoustics*, 69(2), 77–92. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2007.04.008>

- Minguell, M. E. (2002). Interactividad e interacción. *RELATEC: Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 1(1), 15–25. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1252603&info=resumen&idioma=POR>
- Monacchi, D. (n.d.). Fragments of extinction | Fragments of Extinction. Retrieved October 3, 2017, from <http://www.fragmentsofextinction.org/fragments-of-extinction/>
- Monacchi, D. (2014). *Fragments Of Extinction: The Sonic Heritage Of Ecosystems*. MIT Press. Retrieved from <http://www.fragmentsofextinction.org/wp-content/uploads/2016/08/Pieghevole-finale-2016-PM-tracciati-rasterizzati-web.pdf>
- Otto, N., Amman, S., Eaton, C., & Lake, S. (1999). *Guidelines for Jury Evaluations of Automotive Sounds*. SAE Technical Paper Series. <https://doi.org/1999-01-1822>
- Owsinski, B. (2005). *Recording Engineer's HANDBOOK*. Retrieved from [http://www.zenza.se/Proaudio/Thomson Proaudio- The Recording Engineers Handbook .pdf](http://www.zenza.se/Proaudio/Thomson%20Proaudio-The%20Recording%20Engineers%20Handbook.pdf)
- Potisk, P. (2015). *Head-Related Transfer Function*. Retrieved from [http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2014\\_2015/Seminar\\_Ia\\_Head-Related\\_\\_Transfer\\_Function\\_Tilen\\_Potisk.pdf](http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2014_2015/Seminar_Ia_Head-Related__Transfer_Function_Tilen_Potisk.pdf)
- Schafer, R. M. (1969). *The New Soundscape: A Handbook For The Morden Music Teacher*. Scarborough, Ontario: BMI Canada.
- SUBDIRECCIÓN DE SOSTENIBILIDAD Y NEGOCIOS AMBIENTALES. (2017). Retrieved from <https://storage.googleapis.com/pnn-web/uploads/2013/11/Informe-Año-2016.-Final.pdf>
- Truax, B. (1999). *The Handbook of Acoustic Ecology*. <https://doi.org/http://www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/index.html>
- Unity Technologies. (2018). *Unity - Manual: Audio Spatializer SDK*. Retrieved October 2, 2018, from <https://docs.unity3d.com/Manual/AudioSpatializerSDK.html>
- Valve Corporation. (2017). *Steam Audio Unity Plugin 2.0-beta.16*. Retrieved November 17, 2018, from [https://valvesoftware.github.io/steam-audio/doc/phonon\\_unity.html](https://valvesoftware.github.io/steam-audio/doc/phonon_unity.html)
- Vargas Rios, O. (2003). *PARQUE NACIONAL NATURAL CHINGAZA*. *Parque Nacional Natural Chinagaza*. Retrieved from

[https://www.researchgate.net/profile/Orlando\\_Vargas2/publication/259482394\\_PARQUE\\_NACIONAL\\_NATURAL\\_CHINGAZA/links/00b4952c1f5778923f000000/PARQUE-NACIONAL-NATURAL-CHINGAZA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Orlando_Vargas2/publication/259482394_PARQUE_NACIONAL_NATURAL_CHINGAZA/links/00b4952c1f5778923f000000/PARQUE-NACIONAL-NATURAL-CHINGAZA.pdf)

W3schools. (2018). Retrieved from <https://www.w3schools.com/html/default.asp>

Wrightson, K. (1999). An introduction to acoustic ecology. *Journal of Electroacoustic Music*.  
<https://doi.org/10.1088/0022-3735/20/8/001>