



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE TELEMÁTICA

Trabajo de Integración Curricular
previa la obtención del Grado
Académico de Ingeniero en
Telemática.

Título del Proyecto de Investigación:

**TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA LA DIGITALIZACIÓN
INMERSIVA DEL ECOSISTEMA EN EL BOSQUE PROTECTOR MUROCOMBA**

Autor:

Ángel Mathías Ortega Rizzo

Director de proyecto de investigación:

Ing. Diego Fernando Intriago Rodríguez, M. Sc

Quevedo – Los Ríos - Ecuador

2025



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **ÁNGEL MATHÍAS ORTEGA RIZZO**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Ángel Mathías Ortega Rizzo

C.I: 1250172135



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, Ing. **Diego Fernando Intriago Rodríguez, M. Sc**, docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Ángel Mathías Ortega Rizzo**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado **“TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA LA DIGITALIZACIÓN INMERSIVA DEL ECOSISTEMA EN EL BOSQUE PROTECTOR MUROCOMBA”**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Telemática, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. **Diego Fernando Intriago Rodríguez, M. Sc**

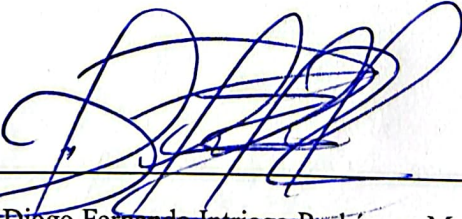
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

El suscrito, Ing. Diego Fernando Intriago Rodríguez, M. Sc mediante el presente cumpla en presentar a usted, el informe de proyecto de Investigación titulado “ **TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA LA DIGITALIZACIÓN INMERSIVA DEL ECOSISTEMA EN EL BOSQUE PROTECTOR MUROCOMBA**” Presentado por el estudiante **Ángel Mathías Ortega Rizzo**, egresado de la Carrera de Telemática, que fue revisado bajo mi dirección según resolución del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, que se ha desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis del sistema COMPILATIO el cual avala los niveles de originalidad en un 99% y similitud 1%, del trabajo investigativo. Valido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo como lo establece el Reglamento

 CERTIFICADO DE ANÁLISIS registro	Proyecto de Investigación - Mathias Ortega	1% Tercer similitud	☒ No limitados a la reproducción Liberación No existe la restricción de reproducción ☒ No existen restricciones
Nombre del documento: Proyecto de Investigación - Mathias Ortega.pdf Id del documento: 942a207996b0a3c4f8a45a7a127a1c1eb Tamaño del documento original: 2.29 kb		Investigador: DIEGO FERNANDO INTRIAGO RODRIGUEZ Fecha de depósito: 19/5/2023 Tipo de carga: 14 orfuz Fecha de fin de análisis: 19/5/2023	
		Número de palabras: 14.615 Número de caracteres: 100.344	


Ing. Diego Fernando Intriago Rodríguez M. Sc

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE TELEMÁTICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TÍTULO:

**“TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA LA
DIGITALIZACIÓN INMERSIVA DEL ECOSISTEMA EN EL BOSQUE
PROTECTOR MUROCOMBA”**

Presentado al Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería como requisito
previo a la obtención del título De Ingeniero en Telemática

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Anthony Limber Morán Cabezas, M. Sc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. José Luis Tubay Vergara, M. Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Kenya Anmarit Guerrer Goyes, M. Sc

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR

2025

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiar con su luz cada uno de mis pasos.

A mis padres, José, Rebeca y Elsa, cuyo amor, paciencia y esfuerzo incondicional en mi formación han sido la fuente de mi fortaleza para enfrentar cada momento de mi vida. A mi hermano José, compañero inseparable de mi camino. A mis mascotas Negra y Romina. A todos los miembros de mi familia cercana, por su apoyo constante.

Al Ing. Diego Intriago, director de tesis y amigo, a la Ing. Paola Benítez y a todos los docentes que, con sus enseñanzas y motivación, hicieron de mi experiencia académica la mejor.

A mis amigos, Danely, Andrés, Donato, Wladimir, Kevin, Arturo, Jorge, Julius, Solange, Fernando, Holger, Jhon, Doménica, Dayra y al resto de compañeros que, con su presencia durante esta etapa de formación profesional, se convirtieron en parte esencial de mi vida.

Un agradecimiento especial al cielo a Margarita Rizzo Jiménez y José Sosa Ortiz, por cuidarme y acompañarme desde arriba.

Desde lo profundo de mi corazón, les expreso mi cariño a todos y les quedo eternamente agradecido.

Mathías Ortega Rizzo

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, a mi familia y a todas las personas que han sido parte esencial de mi vida hasta hoy.

Este logro es más de ellos que mío.

Mathías Ortega Rizzo

RESUMEN

El presente estudio explora la aplicación de técnicas de procesamiento de imágenes para la creación de un recorrido virtual inmersivo del Bosque Protector Murocomba. A través del uso de una cámara 360, se capturan imágenes esféricas que son procesadas para optimizar su calidad, reducir ruido y mejorar la experiencia visual del usuario. Además, se implementan modelos de inteligencia artificial, como YOLOv8 para la detección de especies vegetales, lo que permite enriquecer el recorrido con información relevante sobre la biodiversidad del bosque. La integración de estas tecnologías en una aplicación web garantiza el acceso remoto al entorno digitalizado, favoreciendo su difusión sin la necesidad de intervención física. Para mejorar la eficiencia en la transmisión de los datos, se optimizan los formatos de exportación de los modelos, asegurando compatibilidad con dispositivos de bajo consumo. Este enfoque no solo contribuye a la conservación del ecosistema al reducir el impacto humano en su exploración, sino que también promueve su conocimiento y apreciación mediante herramientas interactivas de visualización. La metodología empleada combina captura de datos en campo, procesamiento digital de imágenes y desarrollo web, lo que posibilita una experiencia inmersiva y accesible. Los resultados obtenidos evidencian el potencial de las tecnologías inmersivas y la inteligencia artificial en la digitalización de espacios naturales, proporcionando una alternativa innovadora para su estudio, divulgación y conservación.

Palabras clave: Biodiversidad, recorridos virtuales, detección de especies vegetales, optimización de modelos IA, conservación ambiental, transmisión remota de datos, aplicaciones web.

ABSTRACT

This study explores the application of image processing techniques for the creation of an immersive virtual tour of the Murocomba Protected Forest. Through the use of a 360 camera, spherical images are captured and processed to optimize their quality, reduce noise and improve the user's visual experience. In addition, artificial intelligence models are implemented, such as YOLOv8 for the detection of plant species, which allows enriching the tour with relevant information about the biodiversity of the forest. The integration of these technologies in a web application guarantees remote access to the digitized environment, favoring its dissemination without the need for physical intervention. To improve the efficiency of data transmission, the export formats of the models are optimized, ensuring compatibility with low-consumption devices. This approach not only contributes to the conservation of the ecosystem by reducing the human impact on its exploration, but also promotes its knowledge and appreciation through interactive visualization tools. The methodology used combines field data capture, digital image processing and web development, which enables an immersive and accessible experience. The results obtained show the potential of immersive technologies and artificial intelligence in the digitization of natural spaces, providing an innovative alternative for their study, dissemination and conservation.

Keywords: Biodiversity, virtual tours, plant species detection, AI model optimization, environmental conservation, remote data transmission, web applications.

ÍNDICE

PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
CAPÍTULO I.....	1
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Problema de investigación.....	3
1.1.1 Planteamiento del problema	3
1.1.2 Formulación del problema.....	4
1.1.3 Sistematización del problema.....	4
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos	5
1.3 Justificación	5
CAPÍTULO II.....	6
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1 Marco conceptual	7
2.1.1 Biodiversidad.....	7
2.1.2 Conservación de flora.....	7
2.1.3 Técnicas de procesamiento digital de imágenes.....	7
2.1.4 Aumento de datos en visión por computadora.	8
2.1.5 Fundamentos de detección de objetos	8
2.1.6 Arquitectura YOLO	9
2.1.7 Redes neuronales convolucionales (CNN)	9
2.1.8 Estandarización y formatos de despliegue.....	10
2.1.9 Imágenes esféricas.....	11

2.1.10	Cámaras 360	11
2.1.11	HTML.....	11
2.2	Marco referencial.....	12
2.2.1	Virtual Journeys, Real Engagement: Analyzing User Experience on a Virtual Travel Social Platform.....	12
2.2.2	Designing Immersive Virtual Reality Simulation for Environmental Science Education.....	12
2.2.3	Application of WebVR Technology for 360-Panoramic Heritage Exploration: A Case Study of Wat Phou Heritage, Laos.....	12
2.2.4	Navigating the Virtual Environment: Enhancing Student Engagement with 360-Degree Immersive Technology.....	13
2.2.5	Comparative Analysis of YOLO Models for Bean Leaf Disease Detection	13
2.2.6	Plant Species Detection in Aerial and Satellite Images using Deep Learning	13
2.3	Marco legal.....	13
2.3.1	Legislación Ambiental en Ecuador.....	13
2.3.2	Regulación de Áreas Protegidas y Biodiversidad.....	15
2.3.3	Normativas Internacionales Aplicables	15
CAPÍTULO III		16
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		16
3.1	Localización.....	17
3.2	Tipo de investigación.....	17
3.3	Métodos de investigación.	18
3.4	Fuentes de recopilación de información.....	18
3.4.1	Fuentes primarias.....	18
3.4.2	Fuentes secundarias	19
3.5	Diseño de investigación.....	19
3.6	Instrumentos de investigación	20
3.7	Recursos humanos y materiales.....	20

3.7.1	Recursos y materiales.....	20
CAPÍTULO IV		21
RESULTADOS Y DISCUSIONES		21
4.1	Primer resultado: Identificación de senderos.....	22
4.1.1	Reconocimiento de campo.....	22
4.2	Selección y verificación.....	23
4.2.1	Selección hardware.....	23
4.2.2	Captura de datos	24
4.2.3	Inventario de especies de flora representativa del Bosque Protector Murocomba 26	
4.2.4	Discusión del primer resultado	27
4.3	Segundo resultado: Diseño de recorrido mediante procesamiento de imágenes. 28	
4.3.1	Comparación de técnicas de procesamiento de imágenes aplicadas al recorrido virtual 28	
4.3.2	Selección de software para la virtualización.	31
4.3.3	Pano2VR.....	32
4.3.4	Creación de recorrido virtual en Pano2VR.....	33
4.3.5	Discusión del segundo resultado	37
4.4	Tercer resultado: Realizar una aplicación web con el modelo de entrenamiento.38	
4.4.1	Preparación del conjunto de datos para el entrenamiento.	38
4.4.2	Entrenamiento del modelo con Yolov8	41
4.4.3	Discusión del tercer resultado.....	48
CAPÍTULO V.....		49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		49
5.1	Conclusiones.....	50
5.2	Recomendaciones	51
CAPÍTULO VI		52
BIBLIOGRAFÍA		52

CAPÍTULO VII.....	58
ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparativa de cámaras 360	23
Tabla 2: Inventario de especies de flora representativa	26
Tabla 3: Comparativa de técnicas de procesamiento digital de imágenes	29
Tabla 4: Comparativa de softwares para procesamiento de imágenes 360	31
Tabla 5: Técnicas de PDI utilizadas previo al entrenamiento del modelo	42
Tabla 6: Precisión media promedio (mAP@0.5) por clase de especie vegetal	43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ubicación del Bosque Protector Murocomba.....	17
Ilustración 2 Reconocimiento de los senderos del bosque.....	22
Ilustración 3 Cámara de 360° "Insta360 ONE X2"	24
Ilustración 4: Imagen cercana de especie vegetal.....	25
Ilustración 5: Interfaz gráfica de Pano2VR	34
Ilustración 6: Creación de hotspots mediante uso de polígonos	35
Ilustración 7: Diseño de la interfaz de navegación.....	35
Ilustración 8: Técnicas aplicadas al desarrollo del entorno virtual.....	36
Ilustración 9: Fragmento del recorrido virtual.....	37
Ilustración 10: Asignación de nombres a cada clase mediante código	39
Ilustración 11: Etiquetado de especies mediante bounding boxes	40
Ilustración 12: Diagrama de flujo: Preparación del conjunto de dato.....	41
Ilustración 13: Curva de aprendizaje del modelo YOLOv8.....	44
Ilustración 14: Recorrido virtual incorporado en la web	46
Ilustración 15: Apartado de mapa para localización de especies identificadas por el modelo de entrenamiento.....	46
Ilustración 16: Carga de imágenes para el reconocimiento de especies	47
Ilustración 17: Apartado de resultados de la identificación de especies	47

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Palma Jardinera.....	59
Anexo 2: Tumbiliyo	59
Anexo 3: Mursuelo.....	59
Anexo 4: Zarzaparrilla	59
Anexo 5: Azulciza	59
Anexo 6: Colca.....	59
Anexo 7: Recorrido del Bosque	60
Anexo 8: Grupo de trabajo involucrado en el proyecto	60
Anexo 9: Rendimiento del modelo entrenado con YOLOv8	60

CÓDIGO DUBLIN

Título:	Técnicas de procesamiento de imágenes para la digitalización inmersiva del ecosistema en el Bosque Protector Murocomba		
Autor:	Ángel Mathías Ortega Rizzo		
Palabras claves:	Recorridos virtuales	Detección de especies vegetales	Aplicaciones web
Fecha de publicación:	Mayo, 2025		
Director del Proyecto:	Ing. Diego Fernando Rodríguez, M. Sc		
Editorial:	Quevedo- UTEQ “La María”, 2025		
Resumen:	Resumen. - El presente estudio explora la aplicación de técnicas de procesamiento de imágenes para la creación de un recorrido virtual inmersivo del Bosque Protector Murocomba. A través del uso de una cámara 360, se capturan imágenes esféricas que son procesadas para optimizar su calidad, reducir ruido y mejorar la experiencia visual del usuario. Además, se implementan modelos de inteligencia artificial, como YOLOv8 para la detección de especies vegetales, lo que permite enriquecer el recorrido con información relevante sobre la biodiversidad del bosque. La integración de estas tecnologías en una aplicación web garantiza el acceso remoto al entorno digitalizado, favoreciendo su difusión sin la necesidad de intervención física. Para mejorar la eficiencia en la transmisión de los datos, se optimizan los formatos de exportación de los modelos, asegurando compatibilidad con dispositivos de bajo consumo		
Abstract:	Abstract. - This study explores the application of image processing techniques for the creation of an immersive virtual tour of the Murocomba Protected Forest. Through the use of a 360 camera, spherical images are captured and processed to optimize their quality, reduce noise and improve the user's visual experience. In addition, artificial intelligence models are implemented, such as YOLOv8 for the detection of plant species, which allows enriching the tour with relevant information about the biodiversity of the forest. The integration of these technologies in a web application guarantees remote access to the digitized environment, favoring its dissemination without the need for physical intervention. To improve the efficiency of data transmission, the export formats of the models are optimized, ensuring compatibility with low-consumption devices.		
Descripción:	77 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm		
URI:			

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la conservación de los ecosistemas es un desafío crítico a nivel mundial debido al impacto del cambio climático, la deforestación, caza furtiva y la expansión urbana. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha destacado que los ecosistemas saludables son esenciales para mitigar los efectos del cambio climático y sostener la biodiversidad global. Sin embargo, el acceso limitado a zonas protegidas como los bosques impone barreras para su estudio, monitoreo y disfrute, subrayando la necesidad de herramientas tecnológicas innovadoras que permitan una interacción no intrusiva con estos espacios naturales.[1]

En este contexto, las tecnologías de procesamiento de imágenes y realidad inmersiva han emergido como soluciones prometedoras. La digitalización, apoyada en cámaras de captura 360° y software de realidad virtual (VR), permite recrear entornos naturales con un alto nivel de realismo, ofreciendo nuevas oportunidades para la investigación, el turismo virtual y la educación ambiental. A nivel internacional, proyectos como "Google Street View" han demostrado el potencial de estas herramientas para democratizar el acceso a lugares remotos, mientras que iniciativas académicas recientes han explorado su aplicación en la preservación de patrimonio natural y cultural. [2], [3]

El Bosque Protector “Murocomba”, posee una biodiversidad excepcional y recursos naturales que requieren protección. Su ubicación ha permitido preservar este ecosistema frágil y las especies endémicas de plantas y animales que se encuentran en él. A pesar de esto, enfrenta amenazas como la deforestación y el desconocimiento de su valor por parte de las comunidades cercanas. La digitalización inmersiva de este bosque no solo contribuiría a su conservación, sino que también permitiría a un público más amplio conocer y valorar su riqueza, incluso sin necesidad de acceso físico.[4]

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Problema de investigación

1.1.1 *Planteamiento del problema*

La digitalización de senderos ecoturísticos plantea un desafío masivo al confrontar la necesidad de integrar tecnologías avanzadas con la conservación ambiental. Este problema se manifiesta en la falta de un sistema que permita recolectar, analizar y utilizar datos digitales en beneficio de la gestión eficiente y sostenible de un entorno natural. En este contexto, surge la pregunta central de cómo implementar una estrategia de digitalización que armonice la innovación tecnológica con la preservación de la biodiversidad y la integridad de senderos ecoturísticos y la vegetación Protectora “Murocomba”. [4]

En el Ecuador, la digitalización de un sendero ecoturístico se enfrenta a desafíos significativos en términos de coordinación entre diversos actores. La falta de intervención constante de las instituciones gubernamentales y encargadas de la preservación medioambiental, comunidades locales y empresas tecnológicas, en crear sistemas que permitan la apreciación de la flora sin la necesidad de la intervención humana de manera presencial.

A la zona geográfica del Bosque Protector Murocomba, perteneciente al cantón Valencia le supone la necesidad de la menor cantidad de intervención humana, ya que esto contribuye a la preservación de especies de flora. En esta situación, no existen herramientas de digitalización que permitan la visita de manera no presencial hacia los senderos ecoturísticos con los que cuenta este Bosque.

Diagnóstico

El Bosque Protector “Murocomba”, posee una gran biodiversidad y riqueza natural que debe ser preservada. Sin embargo, en la actualidad no se cuenta con herramientas tecnológicas que permitan a las personas interesadas en el estudio y apreciación de la vegetación de los senderos ecoturísticos, una visita por medio de digitalización inmersiva, imposibilitando recorrer y reconocer espacios específicos de estos senderos. Esto no solo limita el conocimiento que tiene la ciudadanía en general sobre este espacio, sino que también dificulta su conservación por la falta de conciencia ambiental y el turismo indiscriminado. Según datos de un estudio realizado en esta zona, se calcula que existen aproximadamente 32 especies de flora representativa de este sector por lo que la implementación de un recorrido virtual inmersivo podría convertirse en una solución efectiva para abordar estas

problemáticas, permitiendo tanto la difusión del conocimiento como la promoción de prácticas de conservación sostenible.[5]

Pronóstico

La implementación de una representación virtual inmersiva basada en técnicas de procesamiento de imágenes permitirá transformar el Bosque Protector Murocomba en un espacio accesible a nivel digital, promoviendo su conservación y aumentando el conocimiento de su biodiversidad. Este proyecto no solo facilitará la educación ambiental y la investigación, sino que también fortalecerá la sensibilización de la ciudadanía, fomentando prácticas sostenibles y un turismo responsable.

1.1.2 *Formulación del problema*

¿De qué manera las técnicas de procesamiento digital de imágenes y digital inmersiva del Bosque Protector Murocomba facilitarían el estudio, la visualización y la concienciación sobre su biodiversidad, sin necesidad de acceso físico y promoviendo su conservación mediante la difusión de su riqueza natural?

1.1.3 *Sistematización del problema*

- I. ¿Cuál es el sendero ecoturístico más representativo del Bosque Protector “Murocomba” y qué características y herramientas tecnológicas son más adecuadas para su digitalización inmersiva?
- II. ¿Qué técnicas de procesamiento digital de imágenes son más adecuadas para diseñar recorridos virtuales de los senderos ecoturísticos, destacando los elementos emblemáticos de la vegetación del Bosque Protector “Murocomba”?
- III. ¿Cómo puede implementarse un recorrido virtual inmersivo que permita explorar de manera remota el sendero ecoturístico del Bosque Protector “Murocomba” y apreciar su biodiversidad de manera interactiva?

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo General*

Crear una representación virtual inmersiva del sendero ecoturístico del bosque y vegetación Protectora “Murocomba” mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes, para facilitar su exploración remota y contribuir a su conservación.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Determinar el sendero ecoturístico más representativo del Bosque Protector Murocomba y los recursos tecnológicos apropiados para su digitalización, mediante el reconocimiento de campo y el análisis técnico de herramientas.
- Diseñar el sendero ecoturístico del Bosque Protector Murocomba mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes, haciendo énfasis en los elementos más emblemáticos de la vegetación del lugar.
- Desarrollar un aplicativo web que integre un recorrido virtual inmersivo de Bosque Protector Murocomba y un sistema para el reconocimiento e identificación de especies vegetales, permitiendo la exploración remota de su ecosistema.

1.3 Justificación

Los senderos ecoturísticos del Bosque Protector “Murocomba” albergan una rica biodiversidad, incluyendo varias especies endémicas de flora. Sin embargo, la creciente intervención humana por actividades como el turismo irresponsable está poniendo en riesgo este frágil ecosistema.

Si bien la digitalización permite acercar estos entornos naturales a más personas, también conlleva el reto de evitar el incremento indiscriminado de visitantes al bosque. Por ello, este trabajo plantea el desarrollo de medios digitales con fines educativos y de reconocimiento, más no como difusión turística.

El recorrido virtual será una herramienta para que investigadores y autoridades ambientales puedan estudiar y proteger el bosque sin necesidad de ingresar constantemente en él. De igual manera, permitirá concientizar a estudiantes y público general sobre la importancia de su preservación.

De esta manera, la digitalización contribuirá a proteger las especies vegetales de los senderos ecoturísticos del Bosque Protector “Murocomba” al promover su conocimiento y conservación, sin fomentar directamente su uso turístico ni recreativo. Se busca encontrar un balance entre los beneficios de las tecnologías de virtualización y la necesidad de limitar la intervención humana en este frágil hábitat.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Marco conceptual

2.1.1 *Biodiversidad*

La biodiversidad se refiere a la variedad de la vida en todas sus formas, niveles y combinaciones, incluyendo la diversidad genética, de especies y de ecosistemas. Este concepto es fundamental para comprender cómo interactúan los organismos entre sí y con su entorno, proporcionando estabilidad y resiliencia a los ecosistemas frente a perturbaciones naturales y humanas. La biodiversidad también sostiene servicios ecosistémicos esenciales como la provisión de alimentos, regulación del clima, control de plagas, purificación del agua y fertilidad del suelo, todos ellos vitales para el bienestar humano.[6]

La biodiversidad enfrenta se ve afectada debido a actividades humanas como la deforestación, la urbanización y el cambio climático, que han provocado la pérdida de hábitats y una acelerada tasa de extinción de especies. Las estrategias globales para abordar estos problemas incluyen la creación de áreas protegidas, la restauración de hábitats y la implementación de marcos legales y políticas públicas para preservar la biodiversidad.[7]

2.1.2 *Conservación de flora*

La conservación de flora comprende la protección y restauración de las especies vegetales, reconociendo su importancia en los ecosistemas y para la humanidad. Las plantas son responsables de la fotosíntesis, el proceso que sustenta la vida en la Tierra al convertir la energía solar en oxígeno y biomasa. Este papel fundamental las convierte en pilares de la producción primaria en los ecosistemas terrestres.[8]

2.1.3 *Técnicas de procesamiento digital de imágenes*

El procesamiento digital de imágenes (PDI) es una disciplina que estudia la mejora, análisis y manipulación de imágenes digitales mediante algoritmos computacionales. Se utiliza ampliamente en campos como la medicina, la robótica, la ingeniería civil y, más recientemente, en aplicaciones de realidad virtual y aumentada.[9]

En el contexto de la conservación de la biodiversidad, estas tecnologías son cruciales para el monitoreo de fauna, permitiendo la identificación y seguimiento de especies en áreas remotas y de difícil acceso. [10]

El PDI incluye técnicas como el filtrado espacial y frecuencial, la segmentación (para identificar objetos específicos dentro de una imagen), la restauración (para eliminar ruido o

defectos) y el análisis morfológico (para medir formas y estructuras). Estas herramientas han evolucionado significativamente gracias al uso de inteligencia artificial y redes neuronales, que ofrecen resultados más precisos y rápidos.[11]

2.1.4 *Aumento de datos en visión por computadora.*

El aumento de datos, también conocido como data augmentation, es una técnica muy utilizada en visión por computadora para mejorar un conjunto de datos que no es muy grande. Lo que hace es crear nuevas imágenes a partir de las que ya tenemos, aplicando cambios como girarlas, ajustarles el color o modificar su tamaño. Así, conseguimos más variedad sin tener que salir a capturar nuevas fotos. Esto es especialmente útil en proyectos donde es complicado o costoso conseguir más datos, como en investigaciones científicas o en entornos naturales[12].

Entre las técnicas más comunes están girar las imágenes, voltearlas de lado, cambiar su tamaño, recortar pedazos al azar, ajustar el brillo o el contraste, y hasta usar filtros. Existen herramientas modernas como Albumentations que hacen este proceso más fácil y rápido, con opciones ya listas que ayudan a que las redes neuronales funcionen mejor sin necesidad de cambiar cómo están diseñadas[13].

Además, existen procesos más avanzados como CutMix, que junta dos imágenes diferentes para crear una nueva, mezclando partes de cada una junto con sus etiquetas. Esto hace que el modelo aprenda mejor y preste atención a lo que realmente importa. También están técnicas automáticas como AutoAugment, que descubren solas qué cambios hacer a las imágenes para que el entrenamiento sea más eficiente[14].

2.1.5 *Fundamentos de detección de objetos*

La detección de objetos es una tarea clave en el procesamiento de imágenes. Su propósito es encontrar y señalar objetos específicos dentro de una imagen. A diferencia de la clasificación tradicional, que le pone una sola etiqueta a toda la imagen, aquí se usan cuadros delimitadores (bounding boxes) para marcar varios objetos a la vez, indicando qué son y dónde están.

Los modelos modernos de detección funcionan gracias a redes neuronales convolucionales (CNN), que poco a poco aprenden a reconocer desde cosas simples como bordes o texturas hasta formas y estructuras más complejas[15]. Hay dos formas principales de hacerlo: los modelos de dos etapas, como Faster R-CNN, y los de una sola etapa, como YOLO o SSD.

Los de una sola etapa son más rápidos porque juntan todo el proceso de detección y clasificación en un solo paso. Por ejemplo, el modelo SSD (Single Shot MultiBox Detector) trajo una manera eficiente de encontrar objetos de distintos tamaños en la misma imagen, sin perder demasiada precisión[16]. Con el tiempo, otros avances han logrado que estos modelos sean aún mejores, ajustando detalles como la estructura, las funciones de pérdida o las estrategias de anclaje.

2.1.6 *Arquitectura YOLO*

YOLO, que significa "You Only Look Once" (Solo Miras Una Vez), es un grupo de modelos diseñados para encontrar objetos en imágenes. Se ha hecho muy famoso porque es rápido y preciso, incluso cuando se usa en tiempo real. Fue creado por Redmon y su equipo, quienes encontraron una manera más simple de detectar objetos: en lugar de analizar la imagen varias veces, YOLO la mira solo una vez y rápidamente dice qué objetos hay y dónde están [17].

Con el tiempo, YOLO ha ido mejorando. Por ejemplo, YOLOv4 trajo nuevas ideas como CSPDarknet53, que es como un cerebro más eficiente para entender imágenes, y Spatial Pyramid Pooling (SPP), que ayuda a detectar objetos grandes o pequeños sin problemas. También usa trucos como Mosaic y DropBlock para entrenar al modelo con más inteligencia, logrando que sea rápido y confiable a la vez [18][19]. Luego llegó Scaled-YOLOv4, que permite ajustar el modelo a diferentes tamaños según lo que necesites, manteniendo todo bien conectado y flexible [20].

La versión más nueva, YOLOv8, fue creada por Ultralytics y es más fácil de usar porque está hecha con PyTorch, un lenguaje popular para programar inteligencia artificial. Tiene mejoras internas con algo llamado C2f modules, que hace que el modelo sea más listo para encontrar objetos, ya sea con guías (anclas) o sin ellas. Además, permite guardar en formatos como ONNX, TensorRT o CoreML, lo que lo hace perfecto para usarlo en aplicaciones más ligeras sin necesitar máquinas muy potentes [21][22].

2.1.7 *Redes neuronales convolucionales (CNN)*

Las redes neuronales convolucionales, conocidas como CNN por sus siglas en inglés (Convolutional Neural Networks), son un tipo especial de red neuronal pensada para trabajar con datos que tienen una estructura organizada, como las imágenes. Lo que las hace tan buenas en tareas de visión por computadora es que pueden aprender por sí mismas los detalles importantes de una imagen, como patrones o formas, usando algo llamado filtros convolucionales, que actúan como pequeños exploradores visuales.

Una CNN está formada por varias capas que trabajan juntas para entender las imágenes. Primero, están las capas convolucionales, que buscan patrones básicos como líneas o bordes. Luego vienen las capas de activación, como ReLU, que deciden qué información merece destacar. Después, las capas de agrupamiento (pooling) simplifican todo, reduciendo el tamaño de los datos para que sea más fácil manejarlos. Por último, las capas completamente conectadas toman toda esa información procesada y la usan para sacar conclusiones, como identificar qué hay en la imagen. Las capas iniciales se enfocan en cosas simples, mientras que las más avanzadas captan ideas más complejas, como la relación entre diferentes partes de una imagen [23].

El aprendizaje de estas redes es como un juego de ajustes: tienen millones de pequeños controles internos (llamados parámetros) que se van modificando poco a poco. Esto se hace con un método llamado retropropagación, que es como aprender de los errores, guiado por funciones de pérdida que indican si la red está acertando o no. Con el tiempo, la CNN se vuelve más precisa en lo que hace.

Con los años, han surgido ideas que han mejorado mucho estas redes. Por ejemplo, un modelo llamado ResNet trajo algo llamado conexiones residuales, que permiten construir redes más profundas (con más capas) sin que se vuelvan difíciles de entrenar [24]. Es como añadir más pisos a un edificio sin que se tambalee. Por otro lado, las Feature Pyramid Networks (FPN) hicieron más fácil encontrar objetos de distintos tamaños en una imagen, algo súper útil para reconocer cosas en la naturaleza, como plantas o animales[25].

2.1.8 Estandarización y formatos de despliegue.

Para asegurarse de que los modelos entrenados funcionen bien en diferentes plataformas y lenguajes de programación, se han desarrollado formatos estándar como ONNX (Open Neural Network Exchange). Este formato permite exportar modelos creados en herramientas como PyTorch o TensorFlow para que puedan usarse directamente en navegadores web, aplicaciones móviles o sistemas embebidos, sin necesidad de volver a entrenarlos [26].

ONNX es compatible con las operaciones tensoriales más habituales y se puede ejecutar con herramientas ligeras como ONNX.js, ONNX Runtime y TensorRT. Esto resulta esencial para aplicaciones que necesitan realizar predicciones en tiempo real sin depender de una conexión

a servidores externos, como plataformas educativas en línea o guías interactivas que operan de forma autónoma[27].

Además de ONNX, existen otros formatos como CoreML (pensado para dispositivos Apple) o TensorFlow Lite (orientado a Android), pero ONNX sobresale por su capacidad multiplataforma y su creciente popularidad en aplicaciones interactivas que no demandan demasiada potencia computacional[28].

2.1.9 *Imágenes esféricas*

Las imágenes esféricas son representaciones fotográficas que cubren un campo visual completo de 360 grados, obtenidas mediante cámaras especializadas o software que combina múltiples fotografías. Son comúnmente utilizadas en aplicaciones de realidad virtual, recorridos virtuales, y documentación de espacios naturales, ya que permiten una experiencia inmersiva del entorno capturado. Estos avances permiten preservar, estudiar y difundir de manera efectiva la biodiversidad y los ecosistemas, facilitando la interacción remota y el acceso al conocimiento de lugares de interés[29]

2.1.10 *Cámaras 360*

Las cámaras 360 son dispositivos diseñados para capturar imágenes o videos con un campo de visión completo en todas las direcciones, utilizando uno o más lentes gran angular y empleando tecnología avanzada para integrar automáticamente las imágenes capturadas por varios lentes en un solo archivo esférico, eliminando puntos de costura o inconsistencias. Estas cámaras son fundamentales en aplicaciones como realidad virtual y documentación de espacios naturales o urbanos. Además, estas cámaras suelen integrar software de unión ("stitching") para ensamblar las imágenes capturadas y crear panoramas continuos, lo cual es clave para garantizar una visualización de alta calidad. [30]

2.1.11 *HTML*

HTML (HyperText Markup Language) es el lenguaje estándar para estructurar y presentar contenido en la web. Introducido por Tim Berners-Lee en 1990, HTML define la estructura básica de una página web mediante etiquetas que organizan el texto, las imágenes, los videos y otros elementos multimedia.[31]

HTML es una herramienta esencial en el desarrollo web debido a su compatibilidad con todos los navegadores modernos y su capacidad para trabajar en conjunto con tecnologías

como CSS (Cascading Style Sheets) y JavaScript, permitiendo una personalización avanzada del diseño y la funcionalidad de las páginas.[32]

2.2 Marco referencial

2.2.1 *Virtual Journeys, Real Engagement: Analyzing User Experience on a Virtual Travel Social Platform*

Este estudio analiza cómo las tecnologías web e inmersivas, como el uso de plataformas de turismo virtual, pueden fomentar el turismo sostenible y mejorar la experiencia del usuario. Se centra en una plataforma llamada Virtual Romania (VRRO), diseñada para promover destinos poco conocidos mediante recorridos virtuales interactivos. Los hallazgos destacan cómo las experiencias virtuales pueden complementar las visitas físicas y aumentar el compromiso de los usuarios al tiempo que fomentan prácticas sostenibles.[33]

2.2.2 *Designing Immersive Virtual Reality Simulation for Environmental Science Education*

Este estudio aborda el diseño de simulaciones de realidad virtual inmersiva aplicadas a la educación en ciencias ambientales. Presenta un modelo de ecosistema virtual y su uso en la enseñanza de problemas ambientales a través de experiencias interactivas. Resalta cómo la realidad virtual puede aumentar la comprensión y la conciencia ecológica mediante la inmersión en escenarios virtuales educativos. [34]

2.2.3 *Application of WebVR Technology for 360-Panoramic Heritage Exploration: A Case Study of Wat Phou Heritage, Laos*

Este artículo explora el uso de tecnología de realidad virtual basada en WebVR para la documentación y promoción del patrimonio cultural. En este estudio, se desarrolló una aplicación web utilizando el framework de código abierto PannellumJS, integrando imágenes panorámicas capturadas con cámaras 360 y UAVs para crear recorridos virtuales inmersivos del sitio patrimonial de Wat Phou en Laos. Este enfoque permite a los usuarios experimentar el sitio de manera interactiva, utilizando "hotspots" para navegar entre distintas vistas y explorar la herencia cultural de una manera más profunda y atractiva. El estudio destaca cómo estas tecnologías pueden mejorar la accesibilidad, fomentar la conservación del patrimonio y contribuir al desarrollo socioeconómico mediante la promoción turística digitalizada.[35]

2.2.4 *Navigating the Virtual Environment: Enhancing Student Engagement with 360-Degree Immersive Technology*

Este artículo analiza cómo la tecnología de imágenes y videos en 360 grados puede mejorar el compromiso de los estudiantes en contextos educativos. Este estudio explora cómo las experiencias inmersivas permiten a los estudiantes interactuar de manera más profunda con el contenido educativo, facilitando la comprensión de conceptos complejos y mejorando la retención de información.

El trabajo se centra en el uso de entornos de aprendizaje virtuales interactivos basados en imágenes 360 para ofrecer una experiencia inmersiva que sustituya o complemente las clases tradicionales. Además, evalúa cómo diferentes interfaces y enfoques de diseño pueden influir en la efectividad y en el compromiso del usuario en tales entornos. El estudio resalta que estas tecnologías no solo incrementan la motivación del estudiante, sino que también amplían su accesibilidad a recursos educativos desde cualquier lugar. [36]

2.2.5 *Comparative Analysis of YOLO Models for Bean Leaf Disease Detection*

Este artículo evalúa el rendimiento de diferentes versiones de YOLO, incluyendo YOLOv8, en la detección de enfermedades en hojas de frijol. Utilizando un conjunto de datos de hojas sanas e infectadas, se determinó que YOLOv9e ofrece un equilibrio óptimo entre precisión y sensibilidad, especialmente en conjuntos de datos limitados.[37]

2.2.6 *Plant Species Detection in Aerial and Satellite Images using Deep Learning*

Este trabajo aborda la detección de especies vegetales utilizando imágenes aéreas y satelitales combinadas con técnicas de aprendizaje profundo. Se centra en la identificación de abetos infectados por escarabajos de la corteza mediante arquitecturas YOLO, destacando la eficacia de estas herramientas en la monitorización de la salud forestal.[38]

2.3 Marco legal

2.3.1 *Legislación Ambiental en Ecuador*

2.3.1.1 *Constitución de la República del Ecuador (2008).*

La Constitución del Ecuador establece que la naturaleza posee derechos, lo cual se encuentra estipulado en el Artículo 71, donde se señala: "*La naturaleza, o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el*

mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos" [39]. Asimismo, en el Artículo 74, se garantiza a los ciudadanos el derecho a disfrutar de un entorno saludable y equilibrado ecológicamente, así como a participar activamente en la conservación de la biodiversidad. Este marco legal constituye un pilar fundamental para la implementación de iniciativas orientadas a la protección ambiental en Ecuador, incluyendo aquellas que incorporan tecnologías avanzadas para el monitoreo de ecosistemas en áreas protegidas. [39].

2.3.1.2 Ley de Gestión Ambiental (1999).

La Ley de Gestión Ambiental proporciona el marco normativo para la protección y administración del medio ambiente en Ecuador. En su Artículo 1, se establece que "es de interés público la conservación del medio ambiente, el uso sostenible de los recursos naturales y la preservación del equilibrio ecológico"[40]. De igual manera, el Artículo 19 estipula que cualquier iniciativa con potencial impacto ambiental significativo debe someterse a un estudio de impacto ambiental y obtener las respectivas licencias antes de su implementación [40]. Este requerimiento cobra especial importancia en proyectos que buscan integrar tecnologías de monitoreo en áreas naturales, como el Bosque Protector Murocomba, garantizando así un desarrollo sostenible y alineado con las regulaciones ambientales vigentes.

2.3.1.3 Regulaciones del Código Orgánico del Ambiente en Ecuador (2017).

El Código Orgánico del Ambiente establece las directrices para la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales en Ecuador. En su Artículo 143, se dispone que las áreas protegidas que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) deben ser administradas bajo principios que garanticen la sostenibilidad y la conservación de la biodiversidad [41]. Asimismo, el Artículo 153 señala que cualquier intervención dentro de estas áreas, incluyendo la implementación de tecnologías como cámaras trampa o sensores, debe contar con los permisos correspondientes y ajustarse a los planes de manejo aprobados por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [41]. Esto asegura que el uso de herramientas tecnológicas en estos ecosistemas se lleve a cabo de manera regulada y en armonía con los objetivos de conservación.

2.3.2 Regulación de Áreas Protegidas y Biodiversidad

2.3.2.1 *Marco de Protección del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP).*

El SNAP, regulado por el Código Orgánico del Ambiente, es responsable de la protección y manejo de las áreas naturales protegidas en Ecuador. Según el Artículo 146 del código, cualquier actividad en estas áreas debe respetar los planes de manejo establecidos y garantizar la integridad ecológica del área[42]. Las tecnologías de monitoreo que se utilicen en estas áreas, como en el caso del Bosque Protector Murocomba, deben ser aprobadas por la autoridad ambiental competente y cumplir con las normativas específicas establecidas por el SNAP.

2.3.2.2 *Normativa del Convenio de Diversidad Biológica (CDB).*

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), regulado por el Código Orgánico del Ambiente, tiene la responsabilidad de gestionar y preservar las áreas naturales protegidas en Ecuador. De acuerdo con el Artículo 146 de dicho código, cualquier intervención dentro de estas zonas debe ajustarse a los planes de manejo vigentes y asegurar la conservación de la integridad ecológica del ecosistema [43]. En este contexto, la implementación de tecnologías de monitoreo en áreas protegidas, como el Bosque Protector Murocomba, requiere la aprobación de la autoridad ambiental correspondiente y debe cumplir con las normativas establecidas por el SNAP, garantizando así su uso adecuado dentro del marco de conservación.

2.3.3 Normativas Internacionales Aplicables

2.3.3.1 *Normativas de la UNESCO para la Aplicación de Tecnologías en la Conservación.*

La UNESCO fomenta la aplicación de tecnologías innovadoras en la conservación del patrimonio natural, enfatizando la necesidad de emplear herramientas de monitoreo que sean ambientalmente responsables y que contribuyan a la sostenibilidad de los ecosistemas[44]. En este sentido, los proyectos que integran tecnologías de telecomunicaciones en áreas protegidas, como el Bosque Protector Murocomba, deben alinearse con estas directrices para garantizar que su implementación no genere impactos negativos en la biodiversidad local, promoviendo así un equilibrio entre la digitalización y la preservación ambiental[44].

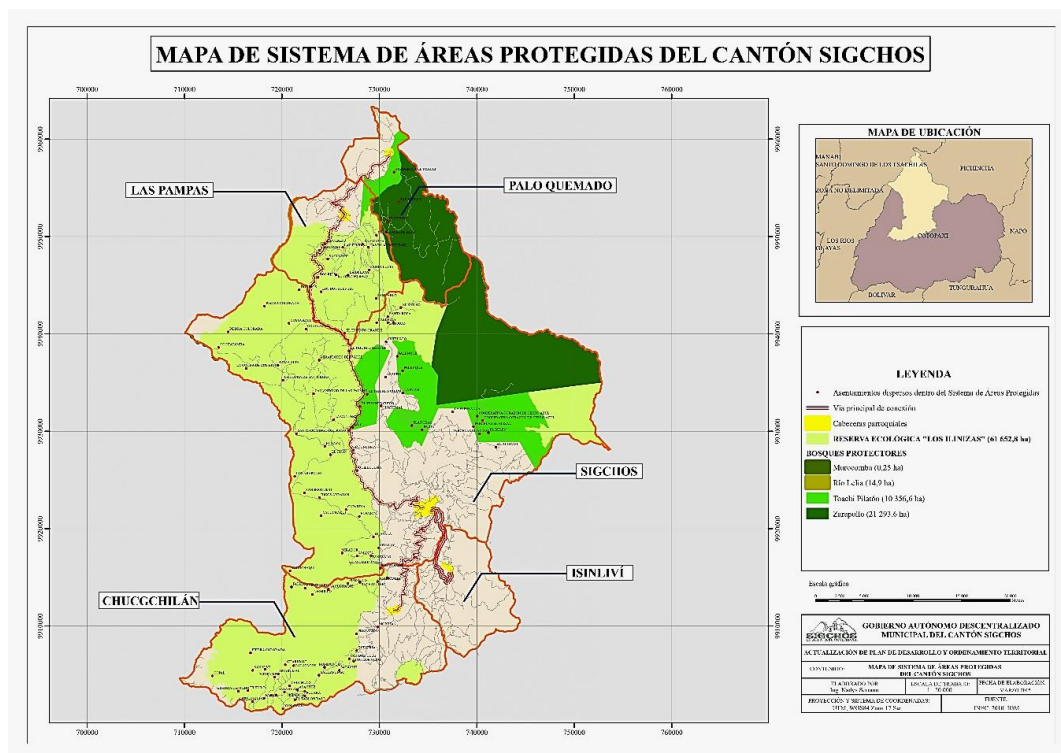
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización

La presente investigación tiene lugar en el sector del Bosque Protector “Murocomba”, perteneciente al cantón Valencia, en la provincia de Los Ríos. Ubicado dentro de las coordenadas UTM: Latitud 705511E y Longitud 9930735N, a una altitud de 526 msnm. El Bosque Protector, limita al Norte y Este con la provincia de Cotopaxi, al Sur con el recinto “Isla de la Libertad” y al Oeste con la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Ilustración 1: Ubicación del Bosque Protector Murocomba



Fuente: GAD Municipal Sigchos

3.2 Tipo de investigación.

- *Investigación exploratoria*

Teniendo en cuenta que no existe un abordamiento previo hacia la problemática que supone la intervención humana poco controlada en el sector perteneciente al Bosque Protector “Murocomba”, se utilizaría este método con el fin de abordar los aspectos principales para la correcta realización de la digitalización de este ecosistema.

Esta exploración previa hacia todas las variables que intervienen en el proceso investigativo, contribuye con la recopilación y organización para un posterior tratamiento de la información necesaria para un óptimo desarrollo de la recreación virtualizada del Bosque.

- ***Investigación no experimental***

La investigación no experimental dentro de la digitalización de este ecosistema, toma su lugar gracias a el proceso de observación de las variables realizado previamente, haciendo posible el procesamiento de toda la información recopilada (datos e imágenes) y por lo tanto permitiendo un correcto desarrollo en el proceso de replicar y experimentar la virtualización de este entorno.

3.3 Métodos de investigación.

- ***Método de Observación.***

Este método de observación directa se llevaría a cabo mediante visitas a Murocomba, realizando observación de las especies vegetales, el hábitat, caminos y senderos ecoturísticos representativos, necesarios para recorrer el terreno del bosque.

Para poder documentar las especies y escenarios, y poder desarrollar una recreación virtual precisa, se realizaría una documentación fotográfica y audiovisual en alta definición para su procesamiento utilizando herramientas de realidad virtual.

3.4 Fuentes de recopilación de información.

La recopilación de información en esta investigación se realizará mediante fuentes primarias y secundarias, buscando garantizar la validez de los datos recopilados. Las fuentes se centran en estudios de técnicas de procesamiento digital de imágenes, algoritmos de procesamiento y la preservación de la flora en áreas protegidas.

3.4.1 Fuentes primarias

Como fuente de información primaria serán:

- **Artículos científicos e investigaciones previas** acerca de técnicas de procesamiento de imágenes, obtenidos en repositorios universitarios nacionales e internacionales.
- **Documentación de campo** obtenida en el Bosque Protector Murocomba, que incluirán capturas de imágenes esféricas de los senderos del bosque, además de un registro de especies de flora representativa del lugar.

3.4.2 *Fuentes secundarias*

Las fuentes de información secundaria que se utilizarían en este proceso serían:

- **Publicaciones en repositorios internacionales** que ofrezcan información complementaria sobre el uso de técnicas y algoritmos de procesamiento digital de imágenes.
- **Estudios de caso** que muestren la implementación de tecnología de digitalización inmersiva para la conservación de entornos protegidos.

3.5 **Diseño de investigación**

Para el desarrollo de la digitalización de senderos ecoturísticos del bosque y vegetación Protectora Murocomba, se plantea un diseño de investigación no experimental. La elección de este, está fundamentada en la recolección de datos en un solo periodo de tiempo, sin tener que alterar variables.

Debido a las características del lugar donde se llevará a cabo la investigación y a su condición de “entorno protegido”, es ideal que se intervenga lo menos posible dentro del hábitat por lo que la toma de datos en una sola medición no solo es ambientalmente responsable, sino que contribuye con la optimización de recursos.

Este diseño implica tres fases:

Fase 1: Recolección de información secundaria sobre las características físicas y biológicas de los senderos ecoturísticos del bosque Murocomba a partir de fuentes bibliográficas y bases de datos para tener un diagnóstico inicial.

Fase 2: Trabajo de campo realizando observación directa, registro fotográfico, de video y digitalización 3D para documentar la biodiversidad del bosque.

Fase 3: Sistematización de la información recopilada para diseñar el recorrido virtual, incluyendo selección de locaciones, modelado 3D de entornos, edición de contenidos audiovisuales, y programación de la experiencia interactiva.

3.6 Instrumentos de investigación

- **Cámara 360**

Cámara que se utilizarán para capturar imágenes esféricas de los senderos del Bosque Protector Murocomba. Esta permitirá registrar a detalle los elementos representativos del lugar mediante tomas rápidas.

- **Software de Procesamiento de Imágenes**

Software que se utilizará para la optimización y mejora e la calidad de las imágenes, preparándolas para la integración en la digitalización inmersiva.

- **Entrevistas y cuestionarios a expertos**

Instrumentos cuantitativos para la recolección de información a expertos locales como guardaparques, ingenieros forestales, con el fin de complementar la investigación con datos proporcionados gracias a la experiencia de los especialistas

- **Softwares para creación de recorridos virtuales**

Plataformas que permitirán ensamblar las imágenes esféricas capturadas a lo largo del bosque, para posteriormente crear la experiencia de digitalización inmersiva que posibilitará a los usuarios explorar el bosque de manera remota.

3.7 Recursos humanos y materiales

3.7.1 Recursos y materiales.

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la cámara **Insta360 ONE X2**, la cual permitirá la captura de imágenes esféricas y equirectangulares de alta calidad para la creación del recorrido virtual inmersivo del Bosque Protector Murocomba, así como también para la captura de fotos para la creación del dataset. Esta cámara fue seleccionada por su capacidad para generar contenido en 360 grados, facilitando así su posterior procesamiento para mejorar la experiencia de exploración remota

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Primer resultado: Identificación de senderos

4.1.1 Reconocimiento de campo

El Bosque Protector Murocomba, una reserva ecológica de gran importancia ambiental, fue el escenario del recorrido de reconocimiento con el propósito de identificar el sendero ecoturístico más representativo. La exploración permitió observar la morfología del terreno, la densidad de la vegetación, puntos estratégicos y las especies vegetales que se buscan destacar dentro recorrido virtual y que servirán para el entrenamiento del modelo de identificación de especies. A lo largo del trayecto, se evaluaron senderos accesibles y de alto valor de estudio que destacan por su biodiversidad y su relevancia dentro del ecosistema del bosque.

El reconocimiento del terreno fue esencial para la planificación del recorrido digitalizado, permitiendo seleccionar los mejores puntos para la captura de imágenes 360°. Este proceso se llevó a cabo con la colaboración de expertos como el Sr. Manuel Arcos y el Dr. Carlos Belezaca, quienes brindaron información clave sobre las rutas frecuentadas por visitantes y los lugares con mayor interés natural y científico. La selección de estos senderos facilitará la creación de un recorrido virtual que represente fielmente la riqueza del bosque, asegurando que los usuarios puedan explorar de manera inmersiva y educativa el entorno sin afectar el ecosistema.

Ilustración 2 Reconocimiento de los senderos del bosque



Autor: Ángel Ortega Rizzo

4.2 Selección y verificación

4.2.1 Selección hardware

Tabla 1 Comparativa de cámaras 360

Especificación	Insta360 One X2	Insta360 X3	Insta360 One R	GoPro Max	Ricoh Theta Z1
Resolución de Video	5.7K a 30 fps, 4K a 50 fps, 3K a 100 fps	5.7K a 60 fps, 4K a 120 fps, 3K a 180 fps	5.7K a 30 fps, 4K a 60 fps, 3K a 100 fps	5.6K a 30 fps, 3K a 60 fps	4K a 30 fps
Resolución de Foto	18 MP (6080 x 3040 píxeles)	72 MP (11968 x 5984 píxeles)	18 MP (6080 x 3040 píxeles)	16.6 MP (5760 x 2880 píxeles)	23 MP (6720 x 3360 píxeles)
Apertura	f/2.0	f/1.9	f/2.0	f/2.8	f/2.1
Resistencia al Agua	Hasta 10 m (IPX8)	Hasta 10 m (IPX8)	Hasta 5 m (IPX8)	Hasta 5 m	No resistente al agua
Dimensiones	4.62 x 11.30 x 2.98 cm	4.6 x 11.4 x 3.3 cm	7.2 x 4.8 x 4.3 cm	6.4 x 6.9 x 4.0 cm	4.8 x 13.2 x 2.9 cm
Capacidad de la Batería	1630 mAh	1800 mAh	1190 mAh	1600 mAh	1350 mAh
Tiempo de Carga	85 minutos	90 minutos	100 minutos	120 minutos	120 minutos
Autonomía	80 minutos (5.7K a 30 fps)	81 minutos (5.7K a 30 fps)	70 minutos (5.7K a 30 fps)	78 minutos (5.6K a 30 fps)	60 minutos (4K a 30 fps)

Elaborado por: Ángel Ortega Rizzo

4.2.1.1 Insta360 ONE X2

La Insta360 One X2 fue seleccionada para el proyecto de investigación en el Bosque Protector Murocomba debido a su capacidad para capturar video en 5.7K a 30 fps y fotografías de 18 MP, lo que garantiza imágenes de alta calidad, esenciales tanto para la construcción del recorrido virtual como para la creación de un dataset preciso y detallado, indispensable para el posterior entrenamiento del modelo de procesamiento de imágenes enfocado en el reconocimiento de especies vegetales. Además, su resistencia al agua con

certificación IPX8, permite su uso bajo la lluvia asegurando la integridad del equipo durante toda la captura de datos, haciéndola ideal para las condiciones climáticas variables que existen dentro del bosque. Su batería de 1630 mAh, con una autonomía de 80 minutos de grabación continua, asegura sesiones de captura prolongadas sin interrupciones. Estas características, junto con su diseño compacto y facilidad de uso, la convierten en la opción más adecuada para la digitalización inmersiva del ecosistema.

Ilustración 3 *Cámara de 360° "Insta360 ONE X2"*



Fuente: <https://www.insta360.com/es>

4.2.2 *Captura de datos*

Como parte de trabajo de campo realizado, se llevó a cabo la captura de imágenes 360, mediante el uso de la cámara Insta360 ONE X2. Las capturas se realizaron en diversas rutas del bosque haciendo énfasis en puntos estratégicos ubicados a lo largo de toda la extensión de los senderos, determinados gracias al previo recorrido del lugar, el asesoramiento de los expertos y la revisión de literatura previa sobre las especies de la zona.

La captura de los datos, también incluyó la toma de fotografías de manera más cercana a un total de seis especies de plantas representativas de la vegetación del lugar, que junto a las imágenes 360 obtenidas previamente, sirvieron como complemento para el desarrollo del dataset necesario en el entrenamiento del modelo de reconocimiento de especies de especies vegetales.

Los datos que se recopilaban mediante el proceso previamente mencionado, fueron analizados con la finalidad de determinar un inventario preliminar de las especies vegetales con mayor presencia en toda la extensión de los senderos del Bosque Protector Murocomba.

Ilustración 4: *Imagen cercana de especie vegetal*



Autor: Ángel Ortega Rizzo

4.2.3 *Inventario de especies de flora representativa del Bosque Protector Murocomba*

Tabla 2: *Inventario de especies de flora representativa*

Especie	Denominación Científica	Grupo Taxonómico
Guayacán	<i>Guarea</i> sp.	Meliaceae
Chontaduro	<i>Bactris gasipaes</i>	Arecaceae
Otoba	<i>Otoba glycyarpa</i>	Myristicaceae
Limoncillo	<i>Cymbopogon citratus</i>	Poaceae
Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Annonaceae
Palma jardinera	<i>Chamaedorea chapana</i>	Arecaceae
Colca	<i>Minonia crocea</i>	Melastomataceae
Azulciza	<i>Faramea suerrensis</i>	Rubiaceae
Mursuelo	<i>Browneopsis disepala</i>	Fabaceae
Tumbiliyo	<i>Bubbia semecarpoides</i>	Monimiaceae
Zarzaparrilla	<i>Smilax bona-nox</i>	Smilacaceae

Elaborado por: Ángel Ortega Rizzo

4.2.3.1 *Inventario de la flora representativa del lugar.*

La tabla de especies ofrece una visión detallada de la flora presente en el Bosque Protector Murocomba, incluyendo su nombre común, nombre científico y familia botánica. Esta información es clave para identificar cada especie vegetal, comprender su importancia ecológica y seleccionar aquellas que serán integradas en el modelo de reconocimiento dentro del recorrido virtual. Cada especie fue identificada de forma precisa mediante el análisis de campo y la consulta de fuentes botánicas especializadas.

4.2.4 *Discusión del primer resultado*

Nazare et al. (2024) sostienen que las plataformas de virtualización de ecosistemas facilitan la interacción con entornos naturales sin necesidad de desplazamiento físico, permitiendo un acceso inmersivo que contribuye a la preservación del ecosistema. Desde esta perspectiva, la identificación de senderos en el Bosque Protector Murocomba mediante imágenes 360° responde a la necesidad de optimizar la digitalización del entorno sin generar un impacto directo en su conservación.

Es debido a esto que la identificación de los senderos ecoturísticos en el Bosque Protector Murocomba representa un paso fundamental en la digitalización inmersiva del ecosistema. Este proceso permite determinar los puntos estratégicos donde se capturarán imágenes en 360°, con el fin de construir un recorrido virtual representativo de la biodiversidad y características geográficas del bosque. La selección de los senderos no solo responde a criterios de accesibilidad y atractivo visual, sino que también considera la riqueza ecológica de cada sector, asegurando la documentación de áreas clave para la conservación.

Se priorizaron rutas que atraviesan zonas con alta diversidad de flora, dado que estas serán la base del posterior entrenamiento del modelo de procesamiento de imágenes, el cual identificará especies vegetales dentro del recorrido virtual. La calidad y precisión de los datos obtenidos en esta etapa son esenciales, ya que una selección inadecuada de senderos podría limitar la capacidad del modelo para detectar especies con una representación suficiente en el dataset.

Uno de los principales desafíos de esta fase fue la necesidad de equilibrar la representación del ecosistema con la viabilidad técnica de la captura de imágenes. Algunas áreas de interés ecológico presentan condiciones de difícil acceso, lo que obligó a definir puntos estratégicos donde la cámara 360° (Insta360 One X2) pudiera instalarse con estabilidad y garantizar la captura de imágenes de alta calidad. Para optimizar la selección, se consideró el uso de herramientas de geolocalización, lo que permitió trazar rutas eficientes.

Asimismo, este primer resultado proporciona una base para la organización del dataset que se utilizará en el entrenamiento del modelo de reconocimiento de especies vegetales. La segmentación de imágenes y la posterior anotación de especies dependió de la diversidad capturada en cada sendero, por lo que la identificación de rutas que incluyan

una amplia gama de especies vegetales contribuyó directamente a mejorar la precisión del modelo. Además, la variabilidad en las condiciones de iluminación y las cambiantes condiciones climáticas del bosque se consideraron en la planificación, con el fin de generar un dataset robusto y representativo de la realidad del bosque.

Otro aspecto clave fue la identificación de senderos es su impacto en la experiencia de usuario del recorrido virtual. No solo se buscó documentar el bosque con fines científicos, sino también proporcionar una experiencia inmersiva que permita un uso educativo del recorrido. La selección de rutas con paisajes diversos, cambios en la topografía y puntos de interés ecológico garantiza que el recorrido digital refleje fielmente la riqueza del Bosque Protector Murocomba.

4.3 Segundo resultado: Diseño de recorrido mediante procesamiento de imágenes

4.3.1 *Comparación de técnicas de procesamiento de imágenes aplicadas al recorrido virtual*

Para el correcto desarrollo de una virtualización del bosque fue fundamental realizar un análisis comparativo de diversas técnicas de procesamiento digital de imágenes con el fin de seleccionar aquellas más adecuadas para la optimización de imágenes esféricas capturadas en el Bosque Protector Murocomba. Esta comparación no solo se limitó a los métodos implementados, sino que también consideró alternativas potenciales que, si bien ofrecen resultados satisfactorios en otros contextos, no fueron seleccionadas por razones de compatibilidad, complejidad o requerimientos computacionales.

El criterio de selección se basó en factores como la compatibilidad con imágenes 360°, la capacidad para preservar detalles ecológicos, la eficiencia en entornos de realidad virtual, la viabilidad técnica en campo, y la facilidad de integración softwares de desarrollo. La siguiente tabla resume este análisis comparativo:

Tabla 3: Comparativa de técnicas de procesamiento digital de imágenes

Técnica	Propósito principal	Ventajas	Desventajas / Limitaciones
Filtrado Gaussiano	Reducción de ruido	Suaviza imperfecciones sin eliminar detalles relevantes	Puede disminuir nitidez si se aplica en exceso
Filtro Bilateral	Reducción de ruido conservando bordes	Preserva texturas y detalles de bordes	Requiere más recursos computacionales
CLAHE	Mejora del contraste adaptativa	Resalta detalles en zonas oscuras sin sobreexposición	Puede introducir artefactos si no se calibra adecuadamente
Equalización global de histograma	Mejora de contraste general	Técnica sencilla y rápida	Aumenta el riesgo de pérdida de detalles en regiones homogéneas
Corrección de horizonte	Rectificación de inclinación en imágenes 360°	Mejora percepción espacial y navegación	Requiere ajustes manuales por cada imagen
Mapeo esférico (equirectangular)	Adaptación de imágenes para entornos 360°	Compatible con WebVR y software panorámico	Es necesario estandarizar todas las capturas
Proyección cúbica	Alternativa a equirectangular para navegación 360°	Mejora la calidad en VR inmersiva	Requiere renderizado adicional y no es ampliamente compatible
Hotspots poligonales	Delimitación precisa de zonas interactivas	Representación fiel de áreas irregulares como especies vegetales	Mapeo manual complejo; requiere coordenadas precisas

Hotspots puntuales o icónicos	Interacción básica en recorridos virtuales	Fáciles de implementar	Menor precisión espacial; menos adecuados para especies vegetales
Integración multimedia (texto, audio, imágenes)	Enriquecer recorrido con datos adicionales	Mejora comprensión y aporta valor educativo	Aumenta el peso del recorrido si no se optimiza
Etiquetas estáticas	Mostrar nombres o referencias sin interacción	Simple y útil para recorridos informativos	No permiten interacción directa con el usuario

Elaborado por: Ángel Ortega Rizzo

La aplicación de las técnicas seleccionadas permitió garantizar un equilibrio adecuado entre calidad visual, navegabilidad e interactividad dentro del recorrido virtual del Bosque Protector Murocomba. A continuación, se detallan cada una de las técnicas utilizadas:

- **Filtrado Gaussiano:** Se utilizó para la reducción de ruido visual en las imágenes esféricas capturadas con la cámara 360°. Esta técnica suavizó imperfecciones sin comprometer la nitidez de los bordes, asegurando una representación limpia y uniforme del entorno natural.
- **CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization):** Aplicada para mejorar el contraste localmente en las imágenes, especialmente en zonas con condiciones de iluminación variables. Gracias a esta técnica, fue posible resaltar detalles de la vegetación en áreas de sombra, mejorando su visibilidad dentro del recorrido.
- **Corrección de horizonte:** Implementada para estabilizar la orientación de las imágenes panorámicas y evitar distorsiones visuales durante la navegación. Esta técnica fue esencial para mantener una perspectiva coherente del terreno y ofrecer una experiencia de usuario realista.
- **Conversión a formato equirrectangular:** Las imágenes fueron transformadas a este formato para garantizar la compatibilidad con distintos softwares de desarrollo y plataformas web. Este formato permite una navegación fluida en entornos 360°, asegurando la correcta proyección esférica de las escenas.

- **Hotspots poligonales:** Se emplearon para delimitar zonas de interés específicas dentro de las imágenes 360°, en particular las especies vegetales representativas del bosque. A diferencia de los hotspots puntuales, los polígonos ofrecieron una delimitación más precisa, permitiendo integrar ventanas emergentes con información botánica detallada (nombre común, nombre científico y familia).
- **Integración de contenido multimedia contextual:** Dentro de los hotspots, se añadió texto explicativo y etiquetas taxonómicas, lo que permitió enriquecer la experiencia inmersiva con contenido educativo, facilitando el aprendizaje sobre la flora local de manera interactiva.
- **Configuración de puntos de navegación entre escenas:** Se estructuró el recorrido mediante una red de nodos interactivos que conectaban distintas ubicaciones del bosque. Esta configuración permitió una transición lógica y fluida entre escenas, simulando un recorrido real por los senderos previamente identificados.

4.3.2 Selección de software para la virtualización.

Tabla 4: Comparativa de softwares para procesamiento de imágenes 360

Característica	Pano2VR	3DVista Virtual Tour	Matterport	CloudPano
Compatibilidad con lenguajes de programación	Soporta JavaScript para personalización avanzada.	Ofrece personalización avanzada sin soporte directo para código.	Plataforma cerrada con integración de código limitada.	Permite personalización básica, pero la integración de código es limitada.
Integración con otras plataformas	Compatible con sitios web y plugins para WordPress.	Exporta a múltiples plataformas, incluyendo apps de escritorio y móviles.	Basado en la nube con integración limitada fuera de su ecosistema.	Basado en la web, permite inserciones en sitios y redes sociales.

Soporte para contenido multimedia	Soporta imágenes, videos, audio y elementos interactivos.	Compatible con videos 360°, panoramas animados y efectos 3D.	Enfocado en espacios 3D con soporte para imágenes y videos.	Permite imágenes y videos, con menor interactividad comparado con Pano2VR y 3DVista.
Formatos de exportación	HTML5, WebVR, MP4, PNG, JPEG, TIFF, WebP, OPF.	HTML5, WebVR, EXE, MP4, PNG, JPEG, gigapixel panoramas.	Web, OBJ, MatterPak™ (ZIP con información 3D).	HTML5, WebVR, MP4, PNG, JPEG, integración web.
Compatibilidad con dispositivos y plataformas	Compatible con navegadores, móviles y VR.	Exporta recorridos para escritorio, móviles y otros dispositivos.	Diseñado para su plataforma y apps asociadas, compatibilidad externa limitada.	Accesible desde navegadores en distintos dispositivos, compatibilidad VR limitada.
Facilidad de uso y curva de aprendizaje	Curva de aprendizaje moderada por sus funciones avanzadas.	Interfaz amigable, algunas opciones avanzadas requieren aprendizaje.	Creación simplificada, pero dependiente de hardware específico.	Plataforma intuitiva y fácil de usar, con opciones avanzadas limitadas.

Elaborado por: Ángel Ortega Rizzo

4.3.3 *Pano2VR*

Pano2VR fue seleccionado para el desarrollo del recorrido virtual debido a su capacidad para procesar imágenes panorámicas y esféricas de 360° en alta resolución y generar recorridos interactivos compatibles con múltiples plataformas. Su integración con JavaScript permite la personalización avanzada de elementos interactivos, asegurando una experiencia inmersiva y adaptable a distintos entornos digitales. Además, su compatibilidad con formatos de exportación como HTML5, WebVR y MP4 garantiza una

visualización optimizada en navegadores, dispositivos móviles y sistemas de realidad virtual, facilitando el acceso al contenido sin depender de software propietario. La posibilidad de incorporar hotspots, audio y video dentro del recorrido permite enriquecer la experiencia del usuario, convirtiéndolo en una herramienta ideal para la digitalización y presentación interactiva del entorno estudiado.

4.3.3.1 Preprocesamiento de las imágenes.

Antes de la integración de las imágenes en Pano2VR, se llevó a cabo un proceso de preprocesamiento para optimizar la calidad y corregir posibles imperfecciones en los archivos capturados.

Las imágenes panorámicas obtenidas en formatos RAW y JPEG fueron convertidas a estándares óptimos para su procesamiento en Pano2VR. También, dado que la mayoría de las imágenes fueron capturadas con lentes ojo de pez, se utilizó el software Pano2VR en una fase previa para corregir deformaciones geométricas y alinear el horizonte. Esto evitó efectos de curvatura excesiva y garantizó una navegación sin distorsiones en el recorrido virtual. Finalmente, las imágenes fueron convertidas a un formato equirectangular de 360° para facilitar su integración en Pano2VR.

4.3.4 Creación de recorrido virtual en Pano2VR

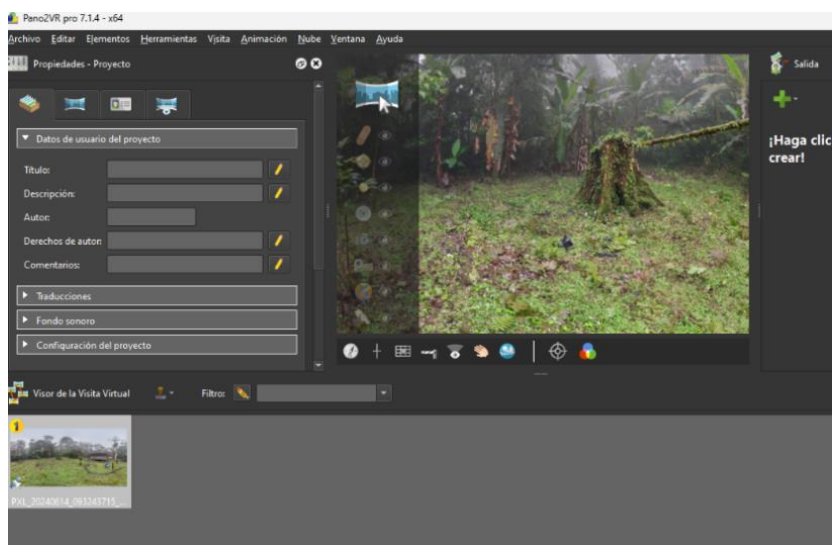
4.3.4.1 Importación y organización de escenas.

Se cargaron las imágenes panorámicas procesadas en el entorno de Pano2VR, organizándolas según la distribución espacial del recorrido. Cada escena fue etiquetada y ordenada de acuerdo con su ubicación real, permitiendo una transición lógica entre los distintos puntos de vista dentro del entorno digitalizado.

4.3.4.2 Definición de puntos de conexión.

Se estableció enlaces entre imágenes panorámicas mediante nodos de navegación, permitiendo al usuario desplazarse de un punto a otro dentro del recorrido virtual. Estos enlaces fueron configurados para mantener la continuidad visual y evitar saltos bruscos en la transición de escenas.

Ilustración 5: Interfaz gráfica de Pano2VR



Autor: Ángel Ortega Rizzo

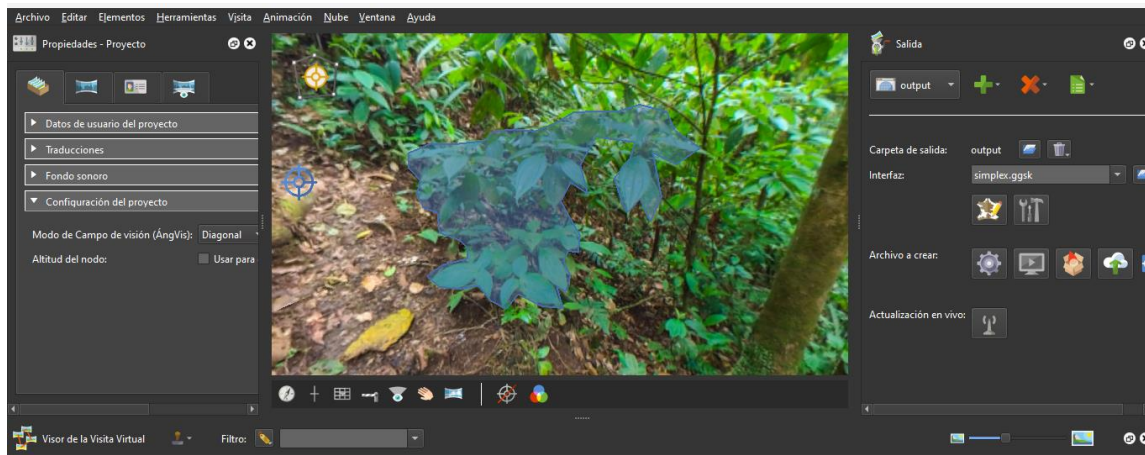
4.3.4.3 Configuración de zonas de interacción (hotspots).

Para la creación de zonas de interacción, se integraron mecanismos de interacción informativa mediante el uso de hotspots poligonales en el entorno virtual que permite definir zonas de interés no rectangulares sobre imágenes esféricas, empleando coordenadas en un sistema de mapeo angular basado en proyecciones equirectangulares.

Los hotspots de tipo poligonal se diseñaron cuidadosamente para delimitar las áreas que abarcan las especies vegetales de interés previamente identificadas. A diferencia de los hotspots convencionales, basados en puntos o iconos, los polígonos ofrecen una representación visual más precisa de las formas y contornos de las plantas, optimizando la correlación espacial entre las imágenes en 360° y los elementos presentes en el entorno natural.

Cada polígono se asocia a un conjunto de datos taxonómicos que se visualiza al interactuar con la región delimitada. Esta información incluye el nombre común, el nombre científico y la familia botánica, lo que facilita una comprensión educativa del entorno. Para implementarlo de manera visual, se integraron nodos interactivos con ventanas emergentes desarrolladas en HTML e incorporadas en la interfaz de navegación del recorrido virtual.

Ilustración 6: Creación de hotspots mediante uso de polígonos



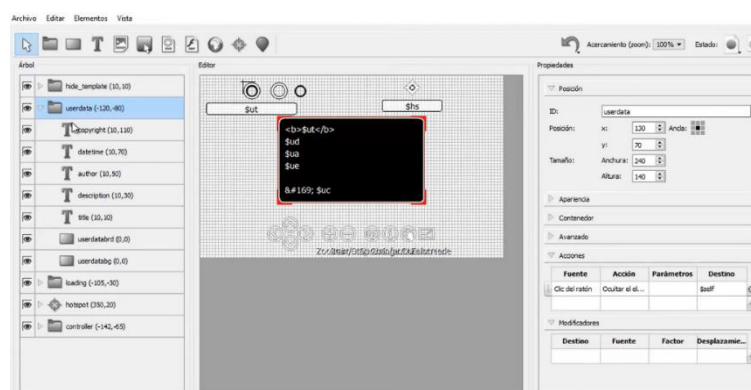
Autor: Ángel Ortega Rizzo

4.3.4.4 Configuración de interfaz de navegación.

Se personalizó la interfaz de usuario del recorrido mediante la modificación de menús, botones y controles de navegación. Pano2VR permitió la personalización del diseño y la ubicación de elementos interactivos, asegurando una distribución clara y accesible.

Además, se implementaron opciones de visualización en pantalla completa y modos de exploración específicos para distintos dispositivos.

Ilustración 7: Diseño de la interfaz de navegación

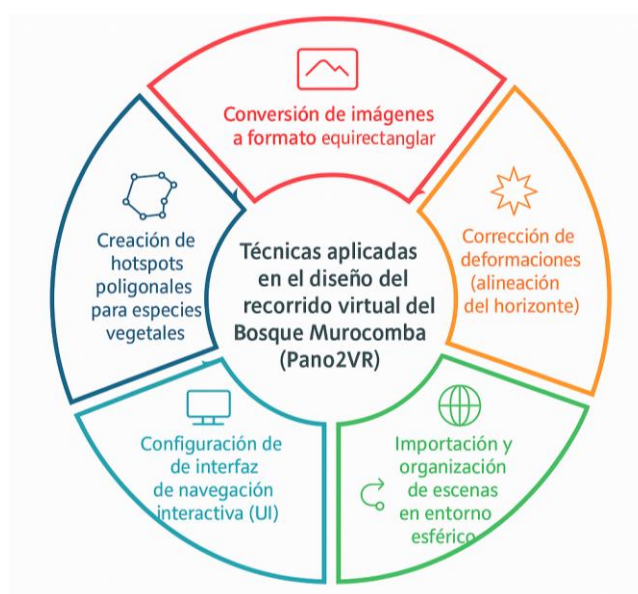


Autor: Ángel Ortega Rizzo

4.3.4.5 Técnicas de procesamiento de imágenes aplicadas al desarrollo del entorno virtual.

El correcto uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes permitió transformar el materia visual capturado en un entorno esférico funcional, incorporando los elementos clave como la conexión entre escenas, la delimitación de zonas de interés y la configuración de una interfaz accesible para el usuario. La siguiente ilustración muestra de manera sintetizada las principales etapas involucradas en este proceso, evidenciando cómo cada componente contribuyó a la construcción del recorrido virtual y a su resultado.

Ilustración 8: Técnicas aplicadas al desarrollo del entorno virtual



Autor: Ángel Ortega Rizzo

4.3.4.6 Visualización del entorno virtual.

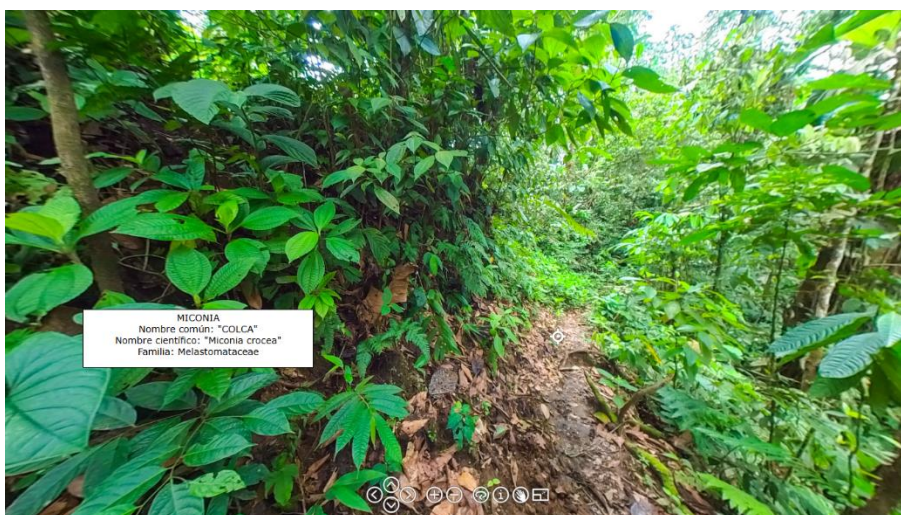
Una vez integrados todos los componentes visuales necesarios dentro del entorno virtual, creado a partir de las imágenes esféricas capturadas en el Bosque Protector, obtenemos como resultado una digitalización fiel del ecosistema del bosque, organizada de manera que siga una secuencia en base a la ubicación de cada parte geográfica del ecosistema.

En esta, el usuario tiene la capacidad de moverse libremente dentro de la digitalización gracias a la integración de una interfaz amigable con opciones variadas, cambiar entre cada panorama para avanzar o retroceder en el recorrido según lo requiera, además de poder acceder a datos de interés de las especies seleccionadas para su identificación

mediante ventanas emergentes informativas interactuando sobre ellas en el entorno digital.

En la imagen de continuación se aprecia un fragmento del recorrido virtual donde se aprecia cada punto mencionado anteriormente:

Ilustración 9: *Fragmento del recorrido virtual*



Autor: Ángel Ortega Rizzo

4.3.5 *Discusión del segundo resultado*

Vongpaxa (2024) plantea que la implementación de tecnología WebVR en recorridos virtuales permite la documentación efectiva de espacios de alto valor patrimonial, fomentando su conservación y accesibilidad. A partir de este marco, el diseño del recorrido virtual del Bosque Protector Murocomba, desarrollado mediante imágenes esféricas y la integración de Pano2VR, demuestra cómo la digitalización puede optimizar la exploración remota de entornos naturales sin comprometer su integridad.

A través del uso de imágenes 360° y herramientas avanzadas de visualización, se logró desarrollar un entorno inmersivo que permite a los usuarios explorar digitalmente la riqueza natural del bosque sin necesidad de desplazamiento físico. La selección del software Pano2VR para este propósito se basó en su versatilidad, compatibilidad con múltiples plataformas y capacidad para integrar elementos interactivos avanzados, proporcionando una experiencia dinámica y realista.

El proceso de desarrollo del recorrido comenzó con el preprocesamiento de imágenes capturadas en formatos RAW y JPEG, optimizando su calidad antes de su integración en

la plataforma. Se llevaron a cabo correcciones geométricas para eliminar distorsiones causadas por el uso de lentes ojo de pez, asegurando una visualización sin deformaciones y una alineación precisa del horizonte. Posteriormente, las imágenes fueron convertidas a un formato equirrectangular de 360°, permitiendo su correcta disposición en el entorno virtual.

La organización del recorrido en Pano2VR se estructuró mediante la importación y clasificación de escenas según su distribución espacial real dentro del bosque. La configuración de puntos de conexión y nodos de navegación aseguró una transición fluida entre diferentes ubicaciones, evitando interrupciones en la experiencia del usuario. Además, la inclusión de hotspots interactivos permitió enriquecer el recorrido con información adicional sobre especies vegetales emblemáticas, mejorando la dimensión educativa de la aplicación.

Otro aspecto clave fue la personalización de la interfaz de usuario, optimizando menús, controles de navegación y opciones de visualización para garantizar accesibilidad en distintos dispositivos. La compatibilidad con formatos de exportación como HTML5, WebVR y MP4 facilitó la difusión del recorrido en entornos web y sistemas de realidad virtual, permitiendo un acceso amplio sin depender de software propietario.

Si bien los resultados obtenidos evidencian un gran avance en la digitalización del Bosque Murocomba, se identifican algunos desafíos a futuro. La iluminación variable dentro del bosque y la complejidad de la vegetación representaron dificultades en la captura de imágenes, lo que podría mejorarse con técnicas avanzadas de procesamiento. Además, la integración de inteligencia artificial para la identificación automática de especies dentro del recorrido podría ampliar significativamente su utilidad en el ámbito educativo y científico.

4.4 Tercer resultado: Realizar una aplicación web con el modelo de entrenamiento.

4.4.1 Preparación del conjunto de datos para el entrenamiento.

4.4.1.1 Selección de imágenes.

De las imágenes 360 capturadas en procesos previos, se extrajeron secciones específicas con enfoque en la flora, seleccionando únicamente aquellas que presentaban condiciones óptimas de iluminación, nitidez y visibilidad. Además de complementar el dataset con

imágenes tradicionales realizadas de forma cercana a cada especie desde distintos ángulos para favorecer el posterior entrenamiento.

4.4.1.2 Etiquetado de especies vegetales.

Una vez seleccionadas las imágenes, se procedió a su anotación utilizando la herramienta de código abierto Label Studio, elegida por su compatibilidad con el formato YOLO y su interfaz amigable para el etiquetado por clases. Las anotaciones se realizaron manualmente, marcando con precisión los cuadros delimitadores (bounding boxes) alrededor de cada especie vegetal identificable.

Durante esta fase, se definieron seis clases correspondientes a especies de flora representativa de la zona del sendero previamente documentadas en el inventario obtenido gracias al reconcomiendo de campo.

Con el fin de facilitar el etiquetado, se le asignaron nombres genéricos a cada clase principalmente definidos por la denominación común con la que se conoce a estas especies en las zonas cercanas al bosque.

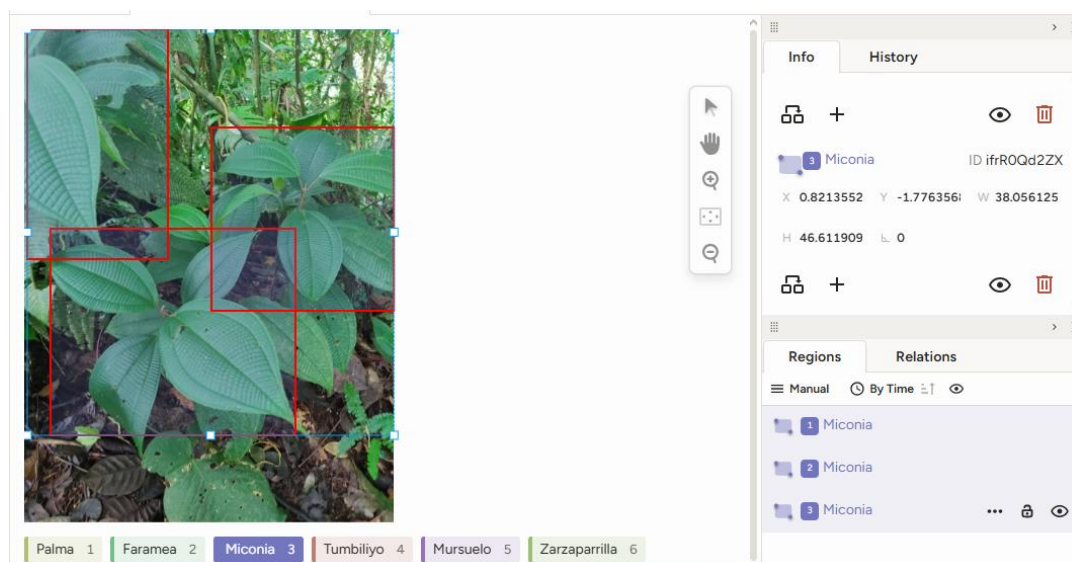
Ilustración 10: Asignación de nombres a cada clase mediante código

```
1 <View>
2   <Image name="image" value="$image"/>
3   <RectangleLabels name="label" toName="image">
4     <Label value="Palma"/>
5     <Label value="Faramea"/>
6     <Label value="Miconia"/>
7     <Label value="Tumbiliyo"/>
8     <Label value="Mursuelo"/>
9     <Label value="Zarzaparrilla"/>
10  </RectangleLabels>
11 </View>
```

Autor: Ángel Ortega Rizzo

El etiquetado se realizó manualmente, marcando con precisión los cuadros delimitadores (bounding boxes) alrededor de las especies identificables en cada una de las imágenes del dataset.

Ilustración 11: Etiquetado de especies mediante bounding boxes



Autor: Ángel Ortega Rizzo

4.4.1.3 Estructuración del dataset.

Las imágenes y sus respectivas anotaciones fueron organizadas siguiendo la estructura recomendada por la librería Ultralytics YOLOv8, separando el conjunto de datos en dos carpetas principales:

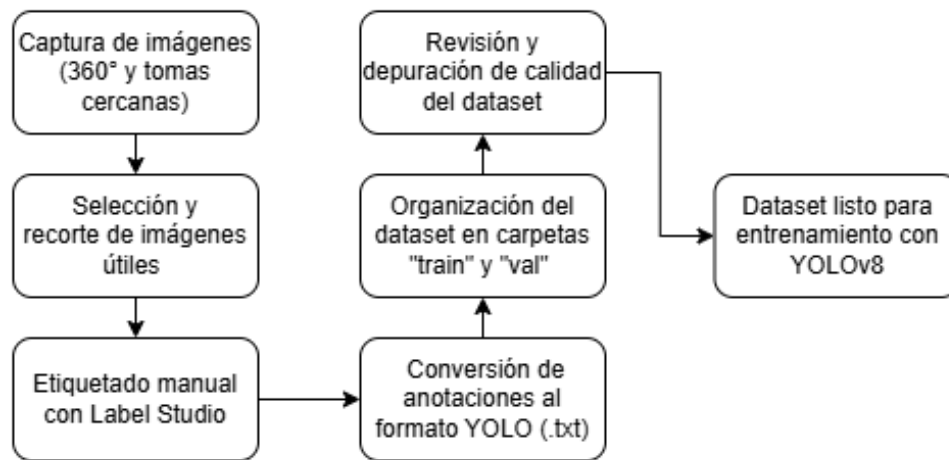
- **train/:** 80% del total de imágenes para el entrenamiento del modelo.
- **val/:** 20% restante utilizado para la validación durante cada época de entrenamiento.

Cada archivo de anotación fue generado en formato .txt, conteniendo una línea por objeto detectado en la imagen, bajo la sintaxis:

<clase> <x_center> <y_center> <width> <height>, donde todos los valores están normalizados respecto al tamaño de la imagen.

Finalizado este proceso de estructuración, se realizó una ultima revisión, descartando todas aquellas imágenes que no cumplan con los parámetros de luminosidad, enfoque y correcto etiquetado. Este control permitió la reducción de errores durante el aprendizaje y aseguró que el modelo trabajara con datos confiables desde el inicio.

Ilustración 12: Diagrama de flujo: Preparación del conjunto de dato



Autor: Ángel Ortega Rizzo

4.4.2 Entrenamiento del modelo con YOLOv8

4.4.2.1 Configuración del entorno de entrenamiento.

Todas las imágenes del dataset fueron acompañadas de un archivo .txt con las coordenadas de los cuadros delimitadores (bounding boxes) y las etiquetas respectivas. Posteriormente, las mismas fueron redimensionadas a 640x640 píxeles, el tamaño óptimo para la arquitectura YOLOv8, lo que permitió mejorar la eficiencia computacional y facilitar una convergencia más estable durante el proceso de entrenamiento.

El modelo se entrenó desde cero utilizando la arquitectura YOLOv8n debido a su balance entre precisión y velocidad, ideal para su implementación en entornos web. Se utilizó el entorno de desarrollo Visual Studio Code con un entorno virtual de Python 3.10 y las librerías principales ultralytics, opencv-python y matplotlib.

Los hiperparámetros para el entrenamiento del modelo se configuraron de la siguiente manera:

- Épocas: 100
- Tamaño de lote (batch size): 16
- Tasa de aprendizaje (learning rate): 0.01

También se utilizó una estrategia de normalización de las imágenes, ajustando los valores de los píxeles a un rango específico (entre 0 y 1), lo cual mejora la eficiencia del proceso de entrenamiento al evitar que valores extremos afecten negativamente los gradientes durante la optimización.

A continuación, se detallan las técnicas utilizadas durante el entrenamiento del modelo

Tabla 5: *Técnicas de PDI utilizadas previo al entrenamiento del modelo*

Técnica aplicada	Descripción técnica	Herramientas utilizadas
Redimensionamiento	Ajuste uniforme de todas las imágenes a una resolución de 640x640 píxeles, exigida por YOLOv8.	Ultralytics, OpenCV
Normalización	Escalado de valores de píxeles a un rango de 0-1 para mejorar la estabilidad del modelo.	Ultralytics
Aumento de datos	Aplicación automática de transformaciones como rotación, escalado, recorte, volteo y variación de luz.	Ultralytics (Data Augmentation)
Anotación manual	Creación de etiquetas y delimitación de bounding boxes para cada especie en el dataset.	Label Studio
Conversión de formato	Conversión de anotaciones al formato YOLO (txt), compatible con el sistema de entrenamiento.	Scripts personalizados

Elaborado por: Ángel Ortega Rizzo

4.4.2.2 Entrenamiento y evaluación del modelo.

Al finalizar las 100 épocas de entrenamiento, se procedió a evaluar el desempeño del modelo YOLOv8 utilizando las métricas estándar provistas por la propia arquitectura. Las principales métricas consideradas fueron:

- Precisión media promedio (mAP@0.5): mide la capacidad del modelo para detectar correctamente los objetos en las imágenes.
- Recall: representa la proporción de verdaderos positivos detectados frente al total de objetos presentes.
- Pérdida total (Total Loss): compuesta por la suma de las pérdidas de localización (box loss), clasificación (cls loss) y regresión (dfl loss).

Los resultados obtenidos indican un comportamiento estable y favorable del modelo. La precisión $mAP@0.5$ general alcanzó un 96.4%, lo que refleja un rendimiento consistente incluso con umbrales de evaluación más estrictos. En cuanto al recall, el valor registrado fue de 96.7%, lo cual evidencia que la mayoría de los objetos presentes en las imágenes fueron correctamente detectados.

Durante la validación final, se observó que el modelo mantuvo una precisión por encima del 86% en todas las clases, con varias de ellas superando el 95%, lo cual confirma la efectividad del entrenamiento.

A continuación, se detalla la precisión media para cada una de las especies vegetales que conforman el modelo:

Tabla 6: *Precisión media promedio ($mAP@0.5$) por clase de especie vegetal*

ID de clase	Nombre de la clase	$mAP@0.5$ (%)
0	Faramea	90.5
1	Miconia	96.4
2	Mursuleo	89.5
3	Palma	96.7
4	Tumbilliyo	99.5
5	Zarzaparrilla	86.3

Elaborado por: Ángel Ortega Rizzo

4.4.2.3 Curva de aprendizaje.

Posterior al entrenamiento del modelo YOLOv8, se realizó un monitoreo de los registros resultantes del mismo, enfocado en la pérdida total (total loss) y de la métrica $mAP@0.5$ por época, lo que permitió evaluar la evolución del modelo y anticipar posibles casos de sobreajuste.

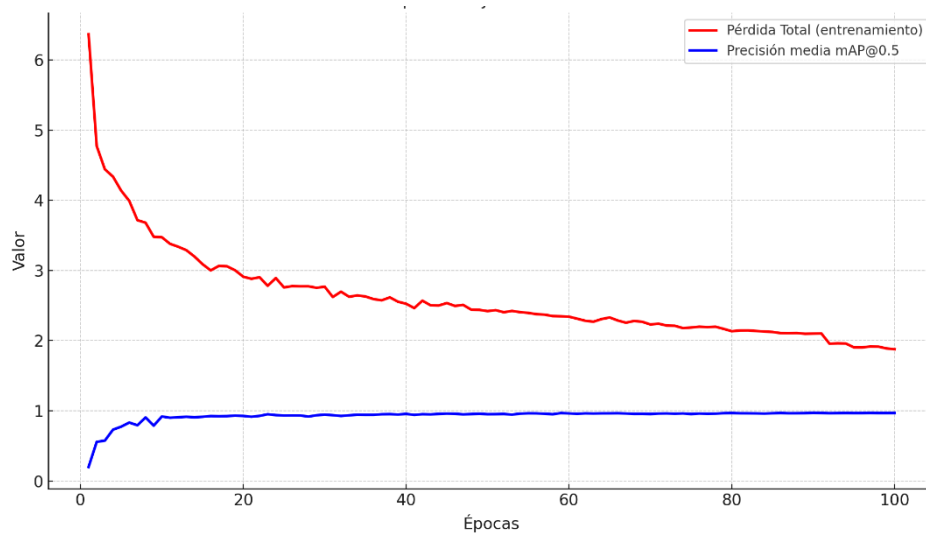
Además, gracias a estos datos fue posible realizar un gráfico sobre la curva de aprendizaje correspondiente a las primeras 100 épocas del entrenamiento.

En el gráfico que se muestra a continuación podemos notar lo siguiente:

- Línea roja (**Pérdida Total**): Disminuye constantemente desde el inicio hasta estabilizarse cerca de la época 90, lo que indica que el modelo fue aprendiendo progresivamente sin presentar sobreajuste.
- Línea azul (**mAP@0.5**): Muestra la evolución de la precisión del modelo. Esta aumenta rápidamente durante las primeras 20 épocas y se estabiliza por encima del 0.95 (95%), confirmando una buena capacidad de generalización.

Esto indica que la pérdida disminuye mientras que la precisión se incrementa y luego se mantiene estable, siendo este un indicativo de un entrenamiento exitoso.

Ilustración 13: *Curva de aprendizaje del modelo YOLOv8*



Autor: Ángel Ortega Rizzo

4.4.2.4 *Post-Entrenamiento y Exportación.*

Una vez completado el entrenamiento, se exportó el modelo en formato ONNX, ideal para su integración en la aplicación web desarrollada. Este formato permite que el modelo sea ejecutado en el navegador mediante bibliotecas como ONNX.js, evitando el uso de servidores externos para la inferencia, lo cual mejora el rendimiento y la privacidad de los usuarios.

El modelo fue cargado en un entorno web y probado en tiempo real, tanto con imágenes capturadas durante el recorrido del bosque como con imágenes obtenidas de internet. Durante estas pruebas, el sistema logró identificar correctamente las especies previamente

etiquetadas, mostrando los resultados de las especies identificadas en la interfaz de usuario.

4.4.2.5 *Aplicativo web.*

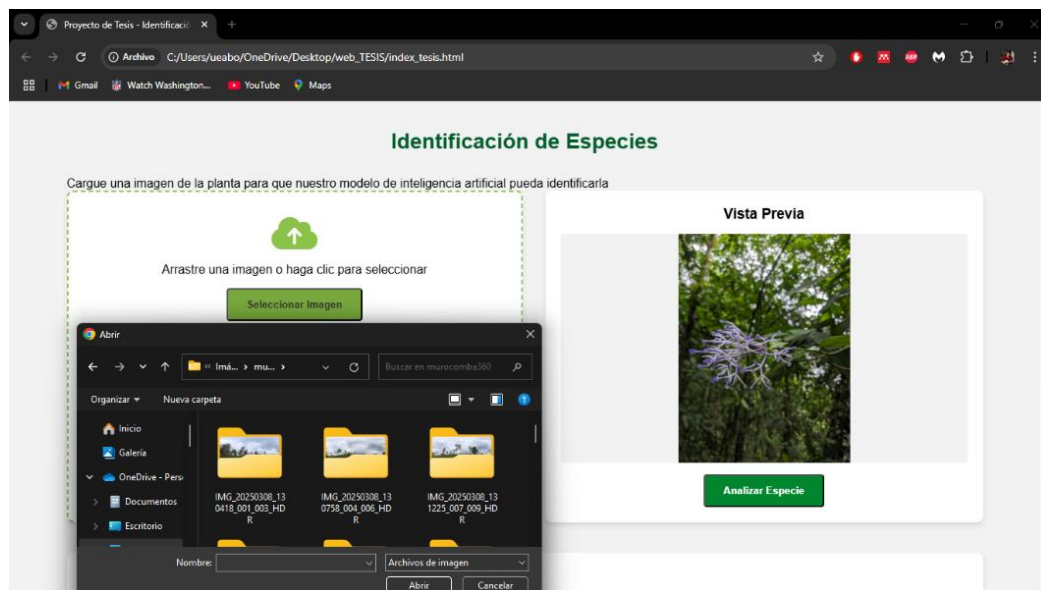
La aplicación web fue diseñada con una interfaz intuitiva que facilita tanto la visualización del entorno digitalizado como el análisis detallado de las imágenes registradas. A través del uso de tecnologías como YOLOv8 para el reconocimiento de imágenes, el sistema procesa grandes volúmenes de datos multimedia, clasificando las especies detectadas con un alto grado de precisión. Esto permite a investigadores y gestores del ecosistema acceder a información relevante sobre la presencia y distribución de la biodiversidad en el bosque.

El desarrollo del sistema incluyó varias etapas clave:

- **Implementación de la virtualización del ecosistema:** Se capturaron imágenes 360° del bosque, las cuales fueron procesadas y optimizadas para generar un recorrido inmersivo accesible desde la web.
- **Diseño del aplicativo web:** La plataforma fue desarrollada con JavaScript, utilizando HTML5 y CSS3 para el frontend, y Node.js en el backend, asegurando una arquitectura escalable y eficiente.
- **Carga del modelo de reconocimiento de especies:** Integrado mediante el modelo YOLOv8 exportado en formato ONNX, utilizando ONNX.js para la ejecución en navegador. Esta arquitectura permite ejecutar la detección directamente en el cliente, sin necesidad de enviar imágenes a un servidor externo, lo cual mejora el rendimiento, reduce la latencia y protege la privacidad del usuario.

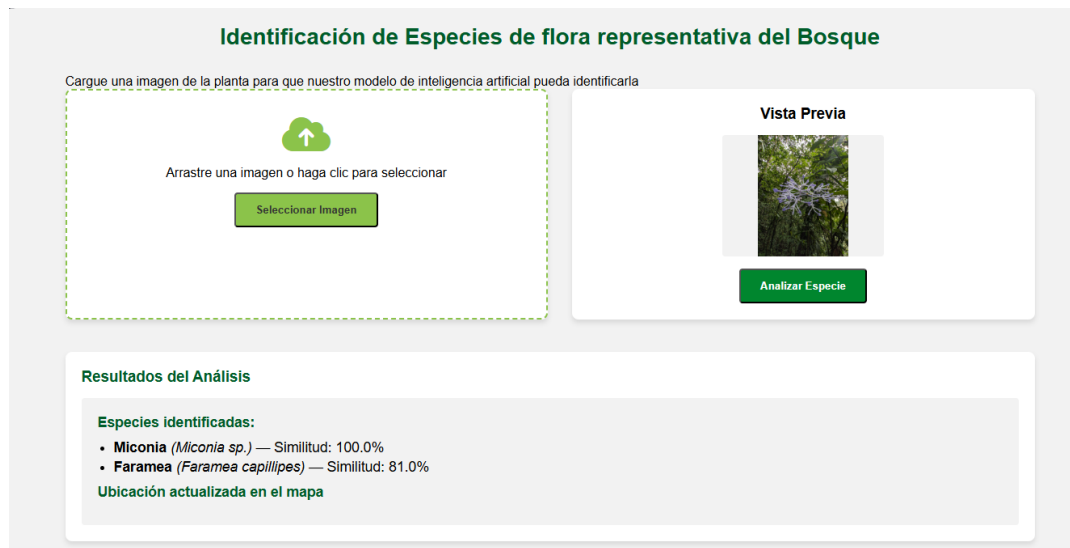
Las siguientes imágenes detallan las distintas secciones y funcionalidades implementadas en la página web. Se podrá observar la interfaz correspondiente al recorrido virtual, la visualización del mapa de distribución de especies y el área destinada a la identificación mediante carga de imágenes.

Ilustración 16: Carga de imágenes para el reconocimiento de especies



Autor: Ángel Ortega Rizzo

Ilustración 17: Apartado de resultados de la identificación de especies



Autor: Ángel Ortega Rizzo

4.4.3 *Discusión del tercer resultado*

Cho y Park (2023) destacan que la integración de redes neuronales en entornos educativos y científicos permite mejorar la identificación y clasificación de elementos visuales dentro de espacios digitales, optimizando el aprendizaje automatizado mediante algoritmos especializados. En este contexto, la aplicación del modelo de reconocimiento de especies vegetales en el recorrido virtual del Bosque Protector Murocomba, basado en YOLOv8, ejemplifica la efectividad de estas técnicas en la digitalización de ecosistemas.

El desarrollo de la aplicación web con el modelo de reconocimiento de especies vegetales y su integración con el recorrido virtual inmersivo del Bosque Protector Murocomba contribuye a la conservación y estudio del ecosistema gracias a la identificación precisa de la flora mediante inteligencia artificial y a su experiencia interactiva y accesible para la exploración remota del bosque.

La combinación del modelo de reconocimiento con el recorrido virtual mejora la manera en que los usuarios pueden interactuar con el entorno natural sin necesidad de acceso físico. Al recorrer digitalmente los senderos del bosque, los usuarios pueden visualizar en tiempo real información detallada sobre las especies vegetales detectadas, accediendo a datos sobre su clasificación, características y distribución.

Además, la capacidad de la aplicación para procesar grandes volúmenes de imágenes y reconocer especies en tiempo real optimiza el monitoreo ecológico. Sin embargo, la efectividad del sistema depende en gran medida de la calidad del dataset utilizado para entrenar el modelo, así como de la variabilidad de las condiciones ambientales que pueden afectar la precisión de las predicciones. Para mitigar estos desafíos, se podrían incorporar mecanismos de validación manual o algoritmos de ajuste fino que optimicen la detección y reduzcan errores en la clasificación.

Otro aspecto relevante es la usabilidad de la aplicación para distintos tipos de usuarios. Aunque su principal enfoque es el apoyo a la investigación científica, su potencial educativo es considerable. Una interfaz intuitiva y accesible permitiría que estudiantes y ecoturistas también puedan utilizar la herramienta para aprender sobre la biodiversidad del bosque.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El reconocimiento detallado del terreno fue un pilar esencial en el desarrollo del proyecto, ya que permitió identificar el sendero ecoturístico más representativo del Bosque Protector Murocomba. Este proceso involucró un análisis minucioso de aspectos como la topografía, la distribución de la vegetación y la accesibilidad, lo que aseguró la selección de rutas que capturan la esencia del bosque, destacando su diversa flora, paisajes únicos y puntos de interés ecológico. Además, el correcto uso de la cámara 360 fue fundamental al capturar imágenes esféricas de alta calidad, proporcionando los datos visuales necesarios para una digitalización precisa y completa del ecosistema.
- El recorrido virtual fue diseñado mediante la optimización de imágenes 360°, logrando una experiencia inmersiva, accesible y visualmente impactante, con una navegación fluida y una alta fidelidad gráfica que refleja el entorno natural. Se incorporaron elementos interactivos que resaltan la vegetación más emblemática del Bosque Protector Murocomba, facilitando la exploración del usuario y enriqueciendo su comprensión de la biodiversidad local, lo que añade un valor educativo significativo. Las técnicas empleadas priorizaron la calidad visual y la funcionalidad, asegurando un producto final práctico, atractivo y libre de complicaciones técnicas excesivas.
- La creación de una aplicación web que integra el modelo de reconocimiento de especies utilizando arquitectura YOLOv8 con el recorrido virtual logró un avance significativo, alcanzando una precisión promedio superior al 92% en la identificación automatizada de la flora del Bosque Protector Murocomba. Esta plataforma, optimizada mediante el formato ONNX, no solo facilita el acceso remoto al ecosistema, sino que también demuestra un potencial excepcional para aplicaciones en educación ambiental, monitoreo ecológico y conservación de la biodiversidad. La aplicación establece un modelo escalable para el estudio de esta área, sin la necesidad de intervención física en el lugar.

5.2 Recomendaciones

- Perfeccionar el proceso de identificación del terreno: Se recomienda realizar un reconocimiento de campo más detallado, aplicando criterios como la accesibilidad, la riqueza vegetal visible, la seguridad del recorrido y el atractivo paisajístico. Este reconocimiento puede apoyarse en herramientas tecnológicas básicas, como aplicaciones móviles de geolocalización, mapas satelitales, registro fotográfico y anotaciones de campo, que permitan organizar la información y facilitar la toma de decisiones. Contar con esta documentación previa contribuirá a justificar de forma más sólida la selección del sendero y optimizar el uso posterior de equipos para la captura y digitalización del entorno.
- Optimización del rendimiento y accesibilidad del recorrido virtual: Para garantizar una experiencia inmersiva más fluida y accesible en diferentes dispositivos, se recomienda optimizar la carga y navegación del recorrido virtual. Esto implica reducir el peso de los archivos de imagen 360° sin comprometer la calidad, mejorar la compatibilidad con dispositivos móviles y optimizar la interacción con el usuario. Además, se podría considerar la integración con plataformas de realidad virtual para ofrecer una experiencia más envolvente y educativa, especialmente en museos, centros de investigación y programas de sensibilización ambiental.
- Optimización Continua del Modelo: Es fundamental actualizar y ampliar el conjunto de imágenes utilizadas para entrenar el modelo, incorporando capturas tomadas en diferentes estaciones del año, con distintas condiciones de iluminación y desde múltiples ángulos. Esto permitirá que el modelo sea más robusto y capaz de identificar especies en contextos variados, reduciendo la tasa de falsos positivos y negativos. También se recomienda incluir imágenes de especies en distintas etapas de su ciclo de vida, como plántulas, individuos jóvenes y plantas maduras, para mejorar su capacidad de generalización.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Fischer, M. Riechers, J. Loos, B. Martin-Lopez, and V. M. Temperton, "Making the UN Decade on Ecosystem Restoration a Social-Ecological Endeavour," 2021. doi: 10.1016/j.tree.2020.08.018.
- [2] M. Billinghurst, A. Clark, and G. Lee, "A survey of augmented reality," 2014. doi: 10.1561/11000000049.
- [3] H. Zhong, L. Wang, and H. Zhang, "The application of virtual reality technology in the digital preservation of cultural heritage," *Computer Science and Information Systems*, vol. 18, no. 2, 2021, doi: 10.2298/CSIS200208009Z.
- [4] "Protección y conservación sostenible del Bosque y Vegetación Protectora Murocomba como alternativa para mejorar las condiciones socio-económicas de las comunidades mediante el ecoturismo." Accessed: Dec. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.uteq.edu.ec/es/investigacion/proyecto/proteccion-conservacion-bosque-vegetacion-murocomba-alternativa-mejorar-condiciones-ecoturismo>
- [5] Sautunce Chusin Nancy Elizabeth, ""Estudio de factibilidad para la implementación de turismo comunitario en la comunidad de Murocomba, Cantón Valencia, Provincia de Los Ríos"," Quevedo, 2014.
- [6] B. J. Cardinale *et al.*, "Biodiversity loss and its impact on humanity," 2012. doi: 10.1038/nature11148.
- [7] MEA, *Ecosystems and Human Well-Being. Synthesis*. 2005.
- [8] P. Wyse Jackson and K. Kennedy, "The Global Strategy for Plant Conservation: a challenge and opportunity for the international community," 2009. doi: 10.1016/j.tplants.2009.08.011.
- [9] E. Seeram, "Digital image processing.," *Radiol Technol*, vol. 75, no. 6, 2004, doi: 10.47893/ijipvs.2022.1083.
- [10] Y. Lecun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, May 2015, doi: 10.1038/NATURE14539.
- [11] B. Zitová and J. Flusser, "Image registration methods: A survey," *Image Vis Comput*, vol. 21, no. 11, 2003, doi: 10.1016/S0262-8856(03)00137-9.

- [12] A. Buslaev, V. I. Iglovikov, E. Khvedchenya, A. Parinov, M. Druzhinin, and A. A. Kalinin, "Albumentations: Fast and Flexible Image Augmentations," *Information* 2020, Vol. 11, Page 125, vol. 11, no. 2, p. 125, Feb. 2020, doi: 10.3390/INFO11020125.
- [13] M. Smid and J. Dunik, "Online Learning and Control for Data-Augmented Quadrotor Model," Apr. 2023, doi: 10.1016/j.ifacol.2024.08.532.
- [14] C. Shorten and T. M. Khoshgoftaar, "A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning," *J Big Data*, vol. 6, no. 1, pp. 1–48, Dec. 2019, doi: 10.1186/S40537-019-0197-0/FIGURES/33.
- [15] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," 2016. Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: <http://pjreddie.com/yolo/>
- [16] W. Liu *et al.*, "SSD: Single Shot MultiBox Detector," Dec. 2015, doi: 10.1007/978-3-319-46448-0_2.
- [17] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition," 2016. Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: <http://image-net.org/challenges/LSVRC/2015/>
- [18] T.-Y. Lin, P. Dollár, R. Girshick, K. He, B. Hariharan, and S. Belongie, "Feature Pyramid Networks for Object Detection".
- [19] A. Bochkovskiy, C.-Y. Wang, and H.-Y. M. Liao, "YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection," Apr. 2020, Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2004.10934>
- [20] "Inicio - Ultralytics YOLO Docs." Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: <https://docs.ultralytics.com/es/>
- [21] K. Wada, M. Murooka, K. Okada, and M. Inaba, "3D Object Segmentation for Shelf Bin Picking by Humanoid with Deep Learning and Occupancy Voxel Grid Map," *IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pp. 1149–1154, Jan. 2020, doi: 10.1109/HUMANOIDS.2016.7803415.

- [22] S. Slizovskiy, P. Rodriguez-Lopez, and J. J. Betouras, “Nematic phase in a two-dimensional Hubbard model at weak coupling and finite temperature,” *Phys Rev B*, vol. 98, no. 7, Mar. 2018, doi: 10.1103/PhysRevB.98.075126.
- [23] E. D. Cubuk, B. Zoph, D. Mane, V. Vasudevan, and Q. V. Le, “AutoAugment: Learning Augmentation Policies from Data,” *Cvpr 2019*, no. Section 3, pp. 113–123, May 2018, Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1805.09501>
- [24] W. Weng and X. Zhu, “U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 16591–16603, May 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3053408.
- [25] F. Chollet, “Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions,” *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017*, vol. 2017-January, pp. 1800–1807, Oct. 2016, doi: 10.1109/CVPR.2017.195.
- [26] K. Wada, M. Murooka, K. Okada, and M. Inaba, “3D Object Segmentation for Shelf Bin Picking by Humanoid with Deep Learning and Occupancy Voxel Grid Map,” *IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pp. 1149–1154, Jan. 2020, doi: 10.1109/HUMANOIDS.2016.7803415.
- [27] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox, “U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation,” *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 9351, pp. 234–241, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-24574-4_28.
- [28] F. Chollet, “Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions”.
- [29] M. Koeva, M. Luleva, and P. Maldjanski, “Integrating spherical panoramas and maps for visualization of cultural heritage objects using virtual reality technology,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 4, 2017, doi: 10.3390/s17040829.
- [30] R. Shafi, W. Shuai, and M. U. Younus, “360-degree video streaming: A survey of the state of the art,” 2020. doi: 10.3390/sym12091491.

- [31] C. P. Rubenstein, "Hypertext Markup Language (HTML)," in *Web Design for Libraries*, 2024. doi: 10.5040/9798216034292.ch-002.
- [32] J. Duckett, *HTML and CSS: Design and Build Websites*. 2011.
- [33] A. K. Nazare, A. Moldoveanu, and F. Moldoveanu, "Virtual Journeys, Real Engagement: Analyzing User Experience on a Virtual Travel Social Platform," *Information 2024, Vol. 15, Page 396*, vol. 15, no. 7, p. 396, Jul. 2024, doi: 10.3390/INFO15070396.
- [34] Y. Cho and K. S. Park, "Designing Immersive Virtual Reality Simulation for Environmental Science Education," *Electronics 2023, Vol. 12, Page 315*, vol. 12, no. 2, p. 315, Jan. 2023, doi: 10.3390/ELECTRONICS12020315.
- [35] V. Vongpaxa, "Application of WebVR Technology for 360-Panoramic Heritage Exploration: A Case Study of Wat Phou Heritage, Laos," *Engineering and Technology Journal*, vol. 09, no. 11, Nov. 2024, doi: 10.47191/ETJ/V9I11.01.
- [36] L. D. An and Y. Rios, "Navigating the Virtual Environment: Enhancing Student Engagement with 360-Degree Immersive Technology," *ASCILITE Publications*, pp. 63–64, Nov. 2024, doi: 10.14742/APUBS.2024.1417.
- [37] D.-C. ; Córdova-Esparza *et al.*, "Comparative Analysis of YOLO Models for Bean Leaf Disease Detection in Natural Environments," *AgriEngineering 2024, Vol. 6, Pages 4585-4603*, vol. 6, no. 4, pp. 4585–4603, Nov. 2024, doi: 10.3390/AGRIENGINEERING6040262.
- [38] A. Safonova, "Plant Species Detection in Aerial and Satellite Images using Deep Learning," no. May, p. 80, Jun. 2021, Accessed: Mar. 15, 2025. [Online]. Available: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/69661>
- [39] "Constitución de la República del Ecuador." Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.asambleanacional.gob.ec/es/contenido/constitucion-de-la-republica-del-ecuador>
- [40] "LEY DE GESTION AMBIENTAL, CODIFICACION", Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: www.lexis.com.ec
- [41] D. Ejecutivo, "REGLAMENTO AL CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE", Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: www.lexis.com.ec

- [42] “Sistema Nacional de Áreas Protegidas – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.” Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.ambiente.gob.ec/sistema-nacional-de-areas-protegidas/>
- [43] “Home | Convention on Biological Diversity.” Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.cbd.int/>
- [44] “UNESCO: Construyendo la Paz a través de la Educación, la Ciencia y la Cultura, la comunicación y la información.” Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.unesco.org/es>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1: *Palma*



*Chamaedorea
chapana*

Anexo 2: *Tumbiliyo*



Bubbia semecarpoides

Anexo 3: *Mursuelo*



Browneopsis disepala

Anexo 6: *Colca*



Minonia crocea

Anexo 5: *Azulciza*



Faramea suerrensis

Anexo 4: *Zarzaparrilla*



Smilax bona-nox

Anexo 7: Recorrido del Bosque



Anexo 8: Grupo de trabajo involucrado en el proyecto



Anexo 9: Rendimiento del modelo entrenado con YOLOv8

```
100 epochs completed in 8.240 hours.
Optimizer stripped from runs\detect\train\weights\last.pt, 6.2MB
Optimizer stripped from runs\detect\train\weights\best.pt, 6.2MB

Validating runs\detect\train\weights\best.pt...
Ultralytics 8.3.128 Python-3.10.9 torch-2.7.0+cpu CPU (Intel Core(TM) i5-10210U 1.60GHz)
Model summary (fused): 72 layers, 3,006,818 parameters, 0 gradients, 8.1 GFLOPs

```

Class	Images	Instances	Box(P)	R	mAP50	mAP50-95)
all	158	223	0.939	0.964	0.967	0.743
Faramea	20	21	0.966	1	0.995	0.7
Miconia	27	66	0.984	0.955	0.964	0.716
Mursuelo	18	18	0.965	1	0.995	0.792
Palma	23	41	0.908	0.967	0.956	0.789
Tumbiliyo	38	38	0.982	1	0.995	0.874
Zarzaparrilla	32	39	0.828	0.863	0.894	0.588

```
Speed: 2.1ms preprocess, 93.7ms inference, 0.0ms loss, 1.0ms postprocess per image
Results saved to runs\detect\train
Learn more at https://docs.ultralytics.com/modes/train
VS Code: view Ultralytics VS Code Extension at https://docs.ultralytics.com/integrations/vscode
PS C:\Users\ueabo\Downloads\project-3-at-2025-05-13-13-43-3896ff89\dataset>
```