



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

Proyecto de Investigación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Forestal.

Título del Proyecto de Investigación:

USO DE RPAS (REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEM) EN EL MONITOREO
DE PLANTACIONES FORESTALES EN LA FINCA EXPERIMENTAL LA MARÍA,
PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

Autor:

Kenett Alfonso Romero Cedeño

Directora del Proyecto de Investigación:

Ing. María Lorena Cadme, MSc.

Mocache – Los Ríos - Ecuador

2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Romero Cedeño Kenett Alfonso**, 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.

Romero Cedeño Kenett Alfonso
C.I.:1206774760

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La suscrita, **Ing. María Lorena Cadme Arévalo M.Sc.** Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Romero Cedeño Kenett Alfonso** realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “ **USO DE RPAS (REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEM) EN EL MONITOREO DE PLANTACIONES FORESTALES EN LA FINCA EXPERIMENTAL LA MARÍA, PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**” previo a la obtención del título de Ingeniero Forestal, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. María Lorena Cadme Arévalo M.Sc.
Directora del Proyecto de Investigación

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

CERTIFICACIÓN

La suscrita **Ing. María Lorena Cadme Arévalo M.Sc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, en calidad de directora del Proyecto de Investigación “**USO DE RPAS (REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEM) EN EL MONITOREO DE PLANTACIONES FORESTALES EN LA FINCA EXPERIMENTAL LA MARÍA, PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**” del estudiante **Romero Cedeño Kenett Alfonso** de la carrera de Ingeniería Forestal. **CERTIFICA:** el cumplimiento de los parámetros establecidos por la SENESCYT, y se evidencia el reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico (URKUND) con un porcentaje de coincidencia del 1%.



Document Information

Analyzed document	TESIS KENETT ROMERO C...docx (D166028035)
Submitted	2023-05-05 19:11:00
Submitted by	
Submitter email	mcadme@uteq.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	mcadme.uteq@analysis.urkund.com

Ing. María Lorena Cadme Arévalo M.Sc.
Directora del Proyecto de Investigación



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**USO DE RPAS (REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEM) EN EL
MONITOREO DE PLANTACIONES FORESTALES EN LA FINCA
EXPERIMENTAL LA MARÍA, PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA
ESTATAL DE QUEVEDO**

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del
título de Ingeniera Forestal.

Aprobado por:

Ing. José Luis Muñoz Marcillo Ph.D.
Presidente del Tribunal

Ing. Fabricio Fabian Meza Bone Ph.D.
Integrante del Tribunal

Ing. Cruz Rosero Nicolas Javier Ph.D.
Integrante del Tribunal

Mocache – Los Ríos – Ecuador

2023

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme salud, sabiduría e inteligencia para poder culminar mis estudios universitarios.

A los docentes que me han formado en mi vida universitaria y a las siguientes personas:

Dr. Carlos Amaya por aportar con todo su conocimiento en tecnología de drones y establecimiento de la programación YOLO, que permitió culminar esta investigación.

Ing. María Lorena Cadme, tutora de mi tesis, quien en todo momento estuvo a mi lado, como amiga, madre y apoyo incondicional en mi formación profesional, especialmente en todo el proceso de elaboración y ejecución del presente trabajo investigativo. Gracias por acompañarme en todos mis recorridos, registro de datos y análisis de los mismos.

Ing. Santiago Romero, por ser parte integrante de este proyecto de investigación y brindarme su apoyo facilitado su dron y ser mi guía en el manejo de los drones y análisis de la información.

Ing. Ángel Cedeño y **Lic. Jorge Chiluisa**, quienes me facilitaron los drones para los ensayos previos del trabajo investigativo.

A **mis amigos Diana, Karelys y Marlon** por siempre estar presente en las buenas y en las malas, por siempre tenerme paciencia, por escucharme en todas mis inquietudes cotidianas y ser siempre mi mano amiga.

Y a todas estas personas que de una u otra forma me apoyaron, les agradezco de todo corazón.

Kenett

DEDICATORIA

El actual trabajo está dedicado a mis padres: **Alfonso** e **Isaura**, quienes han sido el pilar fundamental de mi formación como persona. Gracias, por su paciencia, confianza, apoyo y amor entregado a lo largo de mi vida.

A mi hermana **Darla**, por ser esa persona ideal en quien confío y a quien deseo darle los mejores ejemplos a seguir. Sé que llegarás muy alto y serás una guía para la familia.

A mis abuelitos, **Alfonso (+)**, **Rosita (+)**, **Mery** y **Germán**, por ser los grandes forjadores de nuestra familia, con valores y deseos de salir adelante en la vida.

A mis familiares, que aun estando lejos, siempre estuvieron presentes en todas las facetas de mi crecimiento profesional. Gracias por el apoyo incondicional.

A la Ing. María Lorena Cadme, por estar siempre ahí, empujándome para salir adelante, por sus ejemplos y consejos. Gracias oír confiar en mí. He cumplido con esta fase profesional y seguiré adelante para seguir siendo su hijo adoptivo.

Kenett

RESUMEN EJECUTIVO

La presente Investigación se desarrolló en las instalaciones de la finca experimental La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, con el objetivo de identificar la viabilidad del uso de RPAs en el monitoreo de plantaciones forestales diagnosticando el estado actual del manejo de RPAs en la actividad forestal y definir las características de la cobertura vegetal arbórea de la finca antes mencionada. El área vegetal objeto de estudio corresponde a un aproximado de 17 Has, localizadas en las coordenadas: 666781.916E - 9879909.569N 17M que mantiene una laguna separada en tres secciones, con un total de 1,918 has, dos cienagas separadas entre sí por caminos rurales que constituyen 1,156 has. Se realizó los sobrevuelos con los RPAs: Mavic Pro, Mavic 2 Pro y Mavic Air 2 y el procesamiento de las imágenes se realizó con la aplicación móvil DroneDeploy, el mismo que se utilizó para diseñar el plan de vuelo, debido a que esa aplicación aparte de crear el plan de vuelo, también permite crear la ortofoto (unión de todas las fotos registradas por el dron). Se utilizó el detector de objetos YOLO considerado rápido y preciso, lo que lo hace ideal para aplicaciones de visión artificial lo que permitió crear sistemas de reconocimiento de objetos en tiempo real.

Palabras claves: RPAs, YOLO, Cobertura vegetal, Ortofoto, Plan de vuelo

ABSTRACT

The present investigation was developed in the facilities of the experimental farm La María of the State Technical University of Quevedo, with the objective of identifying the viability of the use of RPAs in the monitoring of forest plantations, diagnosing the current state of the management of RPAs in the activity. forestry and define the characteristics of the tree cover of the aforementioned farm. The plant area under study corresponds to approximately 17 hectares, located at the coordinates: 666781.916E - 9879909.569N 17M, which maintains a lagoon separated into three sections, with a total of 1,918 hectares, two swamps separated by rural roads that they constitute 1,156 has. The overflights were carried out with the RPAs: Mavic Pro, Mavic 2 Pro and Mavic Air 2 and the processing of the images was carried out with the DroneDeploy mobile application, the same one that was used to design the flight plan, because that application apart After creating the flight plan, it also allows you to create the orthophoto (union of all the photos recorded by the drone). The YOLO object detector considered fast and precise was used, which makes it ideal for artificial vision applications, which allowed the creation of object recognition systems in real time.

Keywords: RPAs, YOLO, Vegetation cover, Orthophoto, Flight plan

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.....	iv
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO.....	viii
ABSTRACT	ix
CÓDIGO DUBLIN.....	xvi
Introducción.....	1
CAPÍTULO I CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
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.....	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
1.3. Justificación	6
CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1. Marco teórico.....	9
2.1.1. Los recursos forestales en el mundo.....	9
2.2.2. Los recursos forestales del Ecuador	9
2.2.3. Problemática de las plantaciones.....	11
2.2.4. Estudio de vegetación	11
2.2.5. Inventarios de vegetación	12
2.2.6. RPAs	13
2.2.7. Sensores	27
2.2.8. Yolo	27

2.2.9. Fotogrametría digital	28
2.2.10. Procesador de imágenes.....	28
2.2.11. Bordes	31
2.2.12. Filtros	32
2.2.13. Imágenes Rgb.....	33
2.2.14. Redes neuronales	33
2.2.15. Clasificadores	34
2.2.16. Machine learning.....	34
2.2.17. Sistema de Información Geográfica (SIG)	35
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.1. Materiales y métodos	38
3.1.1. Localización.....	38
3.1.2. Condiciones meteorológicas.....	38
3.2. Tipo de investigación.....	39
3.3. Métodos de investigación	39
3.3.1. Deductivo	39
3.4. Técnicas de investigación	39
3.4.1. Campo	39
3.4.2. Observación	39
3.5. Fuentes de recopilación	39
3.5.1. Fuentes primarias	39
3.5.2. Fuentes secundarias	40
3.6. Diseño de investigación	40
3.6.1. Delimitación del área de estudio.	40
3.6.2. Plan de vuelo.	41
3.6.3. Modificación de la zona de trabajo.	41
3.6.4. Toma de imágenes.	42
3.6.4.1. Procesamiento de las imágenes.	43
3.6.4.2. Contabilización de especies forestales.....	43
3.6.5. Validación del conteo de las especies forestales.	44
3.6.6. Sistema de Información Geográfica (SIG):	44

3.6.7. Consola de Python	44
3.6.7.1. Ejecución del script.....	45
3.7. Instrumentos de la investigación	46
3.7.1. Colecta y manejo de la información	46
3.7.2. Variables a evaluar.....	47
3.7.3. Población y muestra	47
3.7.4. Consideraciones éticas	47
3.8. Recursos y materiales	47
3.8.1. Materiales de oficina	47
3.8.2. Equipos y software.....	48
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	49
4.1. Estado actual del uso de RPAs en la actividad forestal	50
4.2. Características de la cobertura vegetal arborea.....	51
4.3. Inventario de la flora arborea.....	57
4.4. Características paisajística	70
CAPÍTULO V DISCUSIÓN	71
5.1. Discusión	72
5.1.1. Estado actual el uso de RPAs en la actividad forestal	72
5.1.2. Características de la cobertura vegetal arborea.....	76
5.1.3. Inventario arboreo.....	77
5.1.4. Características paisajística	79
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
6.1. Conclusiones.....	83
6.2. Recomendaciones	84
CAPÍTULO VII BIBLIOGRAFÍA	85
7.1. Bibliografía.....	86
CAPTULO VIII ANEXOS	96

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. <i>Modelo de RPAs de navegación a control remoto</i>	14
Figura 2. <i>RPAs de ala fija</i>	15
Figura 3. <i>RPAs multirrotor</i>	15
Figura 4. <i>RPAs multirrotor o Multicópteros</i>	15
Figura 5. <i>Ejemplos de multirrotores con diferentes tipos de configuración de brazos</i>	16
Figura 6. <i>Diferentes aplicaciones de RPAs</i>	17
Figura 7. <i>Ejemplos componentes del RPAs</i>	18
Figura 8. <i>Conteo de árboles de Melina de 5 meses de edad</i>	25
Figura 9. <i>Trayectoria de vuelo para ortoimágenes</i>	26
Figura 10. <i>Componentes de un SIG</i>	36
Figura 11. <i>Ubicación del lugar de estudio</i>	38
Figura 12. <i>Mapa de cobertura vegetal</i>	56
Figura 13. <i>Registro fotográfico de la zona forestal</i>	59
Figura 14. <i>Registro fotográfico de la zona forestal</i>	59
Figura 15. <i>Registro fotográfico de la zona forestal</i>	60
Figura 16. <i>Registro fotográfico de la zona de producción animal</i>	60
Figura 17. <i>Registro fotográfico de la zona de producción animal</i>	61
Figura 18. <i>Registro fotográfico de la zona forestal</i>	61
Figura 19. <i>Registro fotográfico de la zona forestal</i>	62
Figura 20. <i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna</i>	62
Figura 21. <i>Registro fotográfico de la zona forestal</i>	63
Figura 22. <i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna</i>	63
Figura 23. <i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna</i>	64
Figura 24. <i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la ciénaga</i>	64

Figura 25.	<i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la ciénaga</i>	65
Figura 26.	<i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna.....</i>	65
Figura 27.	<i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna.....</i>	66
Figura 28.	<i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna.....</i>	66
Figura 29.	<i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna.....</i>	67
Figura 30.	<i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la ciénaga</i>	67
Figura 31.	<i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la ciénaga</i>	68
Figura 32.	<i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la ciénaga</i>	68
Figura 33.	<i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna.....</i>	69
Figura 34.	<i>Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna.....</i>	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tipos de Muestreo de Vegetación</i>	12
Tabla 2. <i>Condiciones meteorológicas de la finca experimental La María</i>	38
Tabla 3. <i>Usos asignados a los RPAs en la actividad forestal</i>	50
Tabla 4. <i>Usos de suelo</i>	52
Tabla 5. <i>Total de porcentaje de uso de suelos en el área de estudio</i>	55
Tabla 6. <i>Inventario de la flora arborea. Finca La María, propiedad de la UTEQ</i>	57
Tabla 7. <i>Especies forestales localizadas en el área de estudio por colores</i>	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Identificación de la zona de estudio.</i>	97
Anexo 2. <i>Establecimiento del plan de vuelo en la aplicación RPAsdeploy</i>	97
Anexo 3. <i>Sobrevuelo con RPAs en el área de la finca experimental La María</i>	98
Anexo 4. <i>Equipos de RPAs</i>	98
Anexo 5. <i>Sobrevuelo</i>	99
Anexo 6. <i>Equipo de trabajo y manejo de RPAs</i>	99

CÓDIGO DUBLIN

Título:	USO DE RPAS (REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEM) EN EL MONITOREO DE PLANTACIONES FORESTALES EN LA FINCA EXPERIMENTAL LA MARÍA, PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO				
Autor:	Romero Cedeño Kenett Alfonso				
Palabras clave:	RPAs	YOLO	Cobertura vegetal	Ortofoto	Plan de vuelo
Fecha de publicación:					
Editorial:					
Resumen:	La presente Investigación se desarrolló en las instalaciones de la finca experimental La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, con el objetivo de identificar la viabilidad del uso de RPAs en el monitoreo de plantaciones forestales diagnosticando el estado actual del manejo de RPAs en la actividad forestal y definir las características de la cobertura vegetal arbórea de la finca antes mencionada. El área vegetal objeto de estudio corresponde a un aproximado de 17 Has, localizadas en las coordenadas: 666781.916E - 9879909.569N 17M que mantiene una laguna separada en tres secciones, con un total de 1,918 has, dos cienagas separadas entre sí por caminos rurales que constituyen 1,156 has. Se realizó los sobrevuelos con los RPAs: Mavic Pro, Mavic 2 Pro y Mavic Air 2 y el procesamiento de las imágenes se realizó con la aplicación móvil DroneDeploy, el mismo que se utilizó para diseñar el plan de vuelo, debido a que esa aplicación aparte de crear el plan de vuelo, también permite crear la ortofoto (unión de todas las fotos registradas por el dron). Se utilizó el detector de objetos YOLO considerado rápido y preciso, lo que lo hace ideal para aplicaciones de visión artificial lo que permitió crear sistemas de reconocimiento de objetos en tiempo real.				
Descripción:	115 hojas: dimensión, 29 x 21 + CD				
URL:					

Introducción

Los bosques representan un pilar fundamental para el bienestar de los ecosistemas, de los factores bióticos y abióticos que los componen, y de sus funciones ecológicas. Sin embargo, los efectos de la variabilidad climática en los ecosistemas forestales y las capacidades de plasticidad de la vegetación confieren la necesidad de monitorear los procesos ecológicos que ahí ocurren. Para mejorar el entendimiento de sus procesos vitales es necesario contar con tecnologías de vanguardia, una de las cuales son los vehículos aéreos no tripulados (VANT) que desempeñan un papel fundamental (1).

Los RPAs (Remotely Piloted Aircraft System), por sus siglas en inglés), UAV (Unmanned Aerial Vehicle, por sus siglas en inglés) o, comúnmente llamados RPAs VANT (vehículos aéreos no tripulados), (2, 3) son una tecnología en auge en los últimos años. Esto se debe al gran número de aplicaciones que se están desarrollando, sobre todo en escenarios exteriores, donde se dispone información GPS para su geolocalización. En escenarios interiores, al no disponer de información GPS, la localización y la navegación tiene que hacer uso de otros sensores para dicha navegación y localización (2). Si bien, los RPAs se han usado para diferentes tareas y servicios; existe un vacío de información sobre el estado del arte de los enfoques, usos y tendencias en la gestión forestal.

El presente proyecto de investigación pretende estudiar tres tipos de RPAs en el monitoreo de plantaciones forestales con el fin de obtener mayor información de, parámetros con importancia silvícola: número de árboles, tamaño de copa, estimación de volumen y análisis de viabilidad.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

La toma y análisis de información para generar inventarios forestales o para la planificación en la agricultura se ha realizado hace mucho tiempo de forma manual con investigadores directamente en el terreno. Esto ocasiona que los estudios sean extensos y costosos (3). Además, los estudios silvícolas mantienen una considerable dificultad por la complejidad propia que mantienen los sistemas naturales. Estos estudios se han realizado con técnicas convencionales, que limitan las actividades de monitoreo para obtener información a nivel de árbol individual, número de árboles, tamaño de copa, estimación de volumen y análisis de viabilidad, los cuales son muy complicados o de alto riesgo, requieren mayor tiempo en la recopilación de datos y no mantienen la exactitud requerida, dificultando la toma de decisiones en la gestión forestal.

En la finca La Represa se han realizado estudios de las especies forestales de especies amenazadas y de aquellas que mantienen interés comercial por sus propiedades físico-mecánicas, se la realizado la evaluación sanitaria y productiva de genotipos de cacao, la estimación volumétrica y del carbono de la biomasa aérea de la cobertura forestal del sector 2, la determinación del volumen de especies forestales, aporte de biomasa de hojas al suelo; entre otras.

En el año 2005 se realizó el plan de desarrollo estratégico y en el 2018 el estudio sobre el sistema de gestión ambiental para el manejo de plantaciones forestales, sin embargo, existen limitados trabajos investigativos en las plantaciones forestales existentes en la finca “La María”, ni se ha identificado el nivel de árbol individual, número de árboles, tamaño de copa, volumen de segmentación, identificación de árboles, clasificación de árboles, ubicación de árboles en polígonos, identificación de copas y análisis de viabilidad para dirigir una adecuada gestión forestal de los recursos existentes en la finca La María, de propiedad de la UTEQ.

El objetivo de este proyecto es determinar si el uso de RPAs permite realizar de manera ágil el trabajo de monitoreo de plantaciones forestales, con menos costo y obtener más información de la finca “La María”, propiedad de la UTEQ; así como, obtener en un periodo corto, información silvícola relevante para viabilizar el monitoreo de la plantación forestal.

Diagnóstico

Los estudios realizados en la Finca Experimental “La María” de propiedad de la UTEQ, no proveen información actualizada del área silvícola, número de árboles y tamaño de copa; lo que limita la toma de decisiones y una adecuada gestión forestal.

Pronóstico

El uso de RPAs en el ámbito forestal cada vez se llevará más el protagonismo, por reducir el tiempo empleado, su gran versatilidad y capacidad de adaptación en todo terreno.

1.1.2. Formulación del problema

¿En qué medida el uso de RPAs permitirá obtener en un periodo corto, información silvícola relevante para viabilizar el monitoreo de la plantación forestal de la finca La María de propiedad de la UTEQ?

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿El uso de RPAs permite obtener información de importancia silvícola?
- ¿Cómo se caracteriza la cobertura vegetal arbórea en la finca “La María”?
- ¿Existe un inventario de la flora forestal en la finca “La María”?
- ¿La finca La María tiene áreas de interés paisajístico?

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo General*

Identificar la viabilidad del uso de RPAs en el monitoreo de plantaciones forestales localizadas en la finca “La María”.

1.2.2. *Objetivos Específicos*

Realizar un diagnóstico del estado actual del uso de RPAs en la actividad forestal

Identificar las características de la cobertura vegetal arbórea de la finca La María

Realizar el inventario de la flora arbórea

Determinar las características paisajísticas del área de estudio

1.3. Justificación

La variabilidad climática plantea importantes retos que actualmente enfrenta el entendimiento de los ecosistemas forestales, por lo que es necesario contar con tecnologías de vanguardia, como los vehículos aéreos no tripulados (VANT), que desempeñan un papel fundamental (4), en la realización de diferentes tareas y servicios y, en investigaciones relacionados al sector agrícola (5). Sin embargo, existe limitada información y estudios del uso de los VANT en el estudio, monitoreo y gestión forestal.

Tradicionalmente, este monitoreo se realiza por medio de trabajo de campo, es decir, los forestales acuden a las plantaciones y usan GPS, cintas diamétricas e hipsómetros, por ejemplo, para obtener información como área, estado sanitario, número de árboles y altura de los árboles. La recopilación de datos de monitoreo de plantaciones es una práctica mucho más cara, ya que requiere de mayor tiempo y recursos (6).

La información localizada refiere que los VANT tienen un gran potencial, ya que pueden desplazarse por zonas de alto riesgo y difícil acceso superando cualquier tipo de obstáculos, ofreciendo imágenes aéreas o recogiendo gran variedad de datos sin poner en peligro la vida de tripulación alguna (7). Permiten realizar monitoreo en periodos cortos, para obtener información a nivel de árbol individual, parámetros con importancia silvícola: número de árboles, tamaño de copa, estimación de volumen y análisis de viabilidad (8). Se ha reportado su uso para sobrevolar los bosques tropicales y se ha identificado un gran potencial para la mejora del monitoreo forestal comunitario, cambios de cobertura forestal, para la medición del carbono con miras a apoyar los esfuerzos de mitigación del cambio climático (9). Sin embargo, a pesar de su creciente utilización (12, 13), aún existen vacíos de información sobre la situación, tendencias y áreas de oportunidad de aplicación en estudios forestales (10).

En ese sentido, el uso de los RPAs aporta nuevas posibilidades para la obtención y estimación de datos con mayor exactitud y menor tiempo (11), contribuyendo de esta manera al desarrollo de un nuevo método que viabiliza determinar con precisión las características

de los bosques y los tratamientos a nivel de rodales, subrodales o árboles individuales conocida como la silvicultura de precisión (12).

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco teórico

2.1.1. *Los recursos forestales en el mundo*

Los bosques cubren el 31% de la superficie terrestre mundial, la superficie forestal total es de 4,06 mil millones de hectáreas, más de la mitad de los bosques del mundo se encuentran en tan solo cinco países (Brasil, Canadá, China, Federación de Rusia). La mayor parte del bosque (45%) se encuentra en los trópicos, seguido de las zonas boreales, templadas y subtropicales (13).

Casi la mitad de la superficie forestal se mantienen relativamente intacta, mientras que el 9% se encuentra en forma de fragmentos con poca o nula conectividad entre ellos. Aproximadamente el 80% de la superficie forestal mundial se encuentra en fragmentos de más de un millón de hectáreas. El 20% restante se distribuye en más de 34 millones de fragmentos por todo el mundo, más del 34% de los bosques del mundo son bosques primarios (13).

La deforestación y la degradación forestal siguen avanzando a un ritmo alarmante, se estima que desde 1990, se han perdido unos 420 millones de hectáreas de bosques a causa del cambio climático de usos de la tierra, entre 2015 y 2020, se estima que la tasa de deforestación fue de 10 millones de hectáreas al año, la superficie de los bosques primarios ha disminuido en más de 80 millones de hectáreas desde 1990. Más de 100 millones de hectáreas de bosques se están viendo afectadas por incendios forestales, plagas, enfermedades, especies invasoras, sequías y fenómenos meteorológicos adversos (14).

2.2.2. *Los recursos forestales del Ecuador*

El Ecuador tiene una superficie terrestre de 2835000 hectáreas (aprox. 256370 km²) de las cuales, se estima que 14,4 millones de hectáreas (130002 km²) de tierra son de uso preferentemente forestal, es decir, más del 50% del territorio nacional; correspondiendo a plantaciones forestales alrededor de 164000 has, que representan el 1,14% de la superficie forestal del Ecuador (15).

Se estima que tres millones de hectáreas son tierras de uso potencial forestal, las que pueden ser cubiertas con árboles para fines de producción o protección. Los bosques naturales y plantados, cumplen una importante función en la preservación del equilibrio ecológico, por lo que su aprovechamiento se encuentra regulado y protegido con el fin de asegurar el mantenimiento de los diversos ecosistemas (15).

Gran parte de la producción de madera de bosques plantados tiene la finalidad de abastecer la industria maderera local que se ha desarrollado considerablemente, tanto en el corte de troncos como en la madera procesada para construcciones, muebles, madera contrachapada y aglomerada, así como la industria de las manufacturas de madera, la madera que se destina a la exportación tiene mercados como Japón, India, Estados Unidos (16).

a) Especies de mayor aprovechamiento en el Ecuador

Dentro de los diversos ecosistemas en el país, se encuentran especies forestales de importancia económica que son aprovechadas constantemente. Checa y Grijalva (17), señalan que al menos 750 especies forestales son aprovechadas anualmente, un 48% para obtención de PFNM, 45% para PFM y 7% para leña. Las diez principales especies utilizadas con valor maderable autorizadas por el Ministerio del Ambiente son:

- Especies nativas: *Ochroma pyramidale* (balsa), *Cordia alliodora* (laurel), *Pallalesta discolor* (pigue), *Brosimum utile* (sande) y *Virola sebifera* (chalviande).
- Especies exóticas: *Eucalyptus globulus* (eucalipto), *Pinus radiata* y *P. patula* (pino), *Schizolobium parahybum* (pachaco), *Tecnona grandis* (teca) y *Gmelina arborea* (melina).

b) Recursos forestales en la provincia de Los Ríos

En la provincia, existen bosques industriales y protectores, plantándose aproximadamente 2245 hectáreas. Hasta el 2015 se han sembrado bosques en toda la

provincia y en la actualidad ya no se practica este rubro debido a la falta de dinero. Las especies forestales que están en peligro de extinción son laurel, Fernán Sánchez, marañón, caoba, pachaco, balsa, guayacán, cedro, pechiche (18).

2.2.3. Problemática de las plantaciones

La agricultura tradicional es vulnerable a diferentes eventos de tipo climático, también a la presencia de enfermedades y plagas perjudiciales y resilientes a agroquímicos comunes. Por ello se implementan nuevas tecnologías como alternativas de manejo, 2 monitoreo y control de los cultivos agrícolas en diferentes etapas de su desarrollo, con el objetivo de disminuir costos y aumentar la productividad (19).

En la actualidad, las plantaciones forestales se encuentran sometidos a una fuerte presión debido a la creciente demanda de productos y servicios agrícolas, lo cual a menudo produce la degradación y conversión a formas insostenibles de uso de la tierra. La tala indiscriminada o el manejo adecuado producen una degradación severa, su capacidad de funcionar como reguladores del medio ambiente también se pierde (20).

2.2.4. Estudio de vegetación

La recolección de información sobre la flora, ya sea en áreas forestales o agrícolas para generar inventarios forestales o para la planificación en la agricultura se realizan de forma manual, son extensos y costosos. Sin embargo, se pueden aplicar diferentes metodologías; ya sean bibliográficas, manuales en campo o mediante sensores remotos o vuelos aéreos no tripulado con equipo RPAs para disminuir el tiempo requerido y obtener información relevante que viabilice la toma de decisiones adecuadas en el manejo de la plantación, entre ellas, la metodología bibliográfica, la cual consiste, en la revisión de estadísticas o inventarios previamente realizados y, la metodología manual que es realizada mediante sensores remotos poseen diferentes procedimientos, los cuales se detallan más adelante (3).

2.2.5. Inventarios de vegetación

Los inventarios son bienes o mercancías almacenada requerida para satisfacer una necesidad existente o futura. Se utiliza para contar los diferentes tipos de plantas y la cantidad exacta más o menos de cada tipo, presentes en un lugar determinado (21).

Para realizar el conteo de especies arbóreas existen diferentes metodologías; estas pueden ser bibliográficas, manuales en campo o mediante sensores remotos o vuelos aéreos no tripulados mediante equipo RPAs. La metodología manual en campo posee diferentes tipos de muestreo, como menciona (22).

a) Tipo de muestreo de vegetación

Tabla 1.

Tipos de Muestreo de Vegetación

TIPO	CARACTERÍSTICA
Transectos	Es un método rápido y heterogéneo. Se forma un rectángulo en el lugar de medición. Se miden parámetros como la altura de la planta, abundancia, diámetro de altura de pecho y frecuencia
Transectos variables	Este método permite muestrear un número determinado de individuos a lo largo de un transecto con un ancho determinado. Es utilizado para muestrear cualquier tipo de planta.
Cuadrantes	Es uno de los métodos más comunes. Se coloca un cuadrado sobre la vegetación con el fin de determinar la densidad, cobertura y frecuencia de las plantas. Es un método homogéneo
Punto Centro Cuadrado	Se utiliza principalmente para muestreo de árboles. Tiene la ventaja de ser rápido, poco equipo y mano de obra. Se establece un punto central y a partir de ello se debe generar cuatro cuadrantes, en donde se ubica al árbol más cercano al punto central. Se obtienen los parámetros de especie, densidad diámetro de altura de pecho y frecuencia.

Punto de intercepción	Se utiliza para la determinación de estructuras y composición vegetal. Es apto para muestrear vegetación graminoide y arbustiva. Este método utiliza una varilla delgada con escala graduada; ésta se coloca en forma vertical para registrar aquellas plantas que se interceptan en las diferentes alturas
Fitosociológico	Se utiliza para áreas homogéneas y se debe tener conocimiento previo de todas las especies que existen en la zona. Se asignan categorías de cobertura a cada especie. Es un método subjetivo.

Fuente: (22); (3).

2.2.6. *RPAs*

La palabra RPAs significa zángano, refiriéndose a la abeja macho de una colmena, sin embargo, cabe mencionar que existen varios términos para referirse a este robot aéreo, anteriormente se le conocían como ROA que significa aeronave pilotada remotamente o en la actualidad mencionados como UAV vehículo aéreo no tripulado y UAS refiriéndose a sistema aéreo no tripulado (23).

Un RPAs es un vehículo aéreo no tripulado reutilizable (UAV). Este es capaz de mantener un nivel de vuelo controlado mediante la fuerza ejercida normalmente por hélices propulsadas por motores de explosión o reacción. Los primeros RPAs surgieron durante la primera guerra mundial y se utilizaron en la segunda para entrenar a los operarios que manejaban los cañones antiaéreos. La única característica que diferencia a los RPAs de los misiles con control remoto, es que los primeros son reutilizables. Es por esta razón por la que los misiles no son considerados UAV (2).

Estas plataformas tecnológicas operan de manera autónoma; mediante control o pilotaje remoto. Puede aportar información muy precisa con alto nivel de detalle y a un precio bajo en comparación con otras tecnologías, por lo que su uso podría provocar un ahorro de tiempo, mano de obra y dinero (24).

Según Aguilar (25), los costos varían de acuerdo a los distintos modelos de hélices múltiples con rangos de autonomía baja, hasta modelos de ala fija con autonomía mayor, con diferentes capacidades de carga y posibilidades de instalación de sensores y otros componentes con los que estos pueden contar.

a) Características generales del RPAs

Existe una amplia variedad de formas, tamaños, configuraciones y características en el diseño de los RPAs. Se pueden encontrar desde helicópteros, RPAs con forma de avión o multirrotor (2).

En la industria se encuentran muchos diseños de RPAs, sin embargo, según un artículo de Magazine (26), el más utilizado se ilustra en la Figura 6, y es el que se caracteriza por incluir en sus extremos cuatro propulsores eléctricos dando soporte al vuelo, además la utilización de baterías pequeñas incorporadas, un fuselaje conformado por una placa lógica que consiste en los sistemas de navegación y control del prototipo, acondicionado con un chip GPS y una computadora que recibe las instrucciones de navegación del control manual.

Figura 1.

Modelo de RPAs de navegación a control remoto



Entre las características más relevantes de un RPAs para su maniobrabilidad es que está compuesto o diseñado generalmente con material de polipropileno ya que reduce su peso y tiene gran resistencia; se conduce por medio de radiocontrol para recibir instrucciones de sus tareas y actividades, su nivel de autonomía es gracias a su electrónica incorporada conformada por sensores de nivel y de altura, al giroscopio y al GPS (27).

b) **Tipo del RPAs (VANT's)**

Los RPAs se clasifican por su estructura en dos tipos: de ala fija y multirrotor

Figura 2.

RPAs de ala fija



Fuente: (28)

Figura 3.

RPAs multirrotor



Fuente: (28).

Figura 4.

RPAs multirrotor o Multicópteros

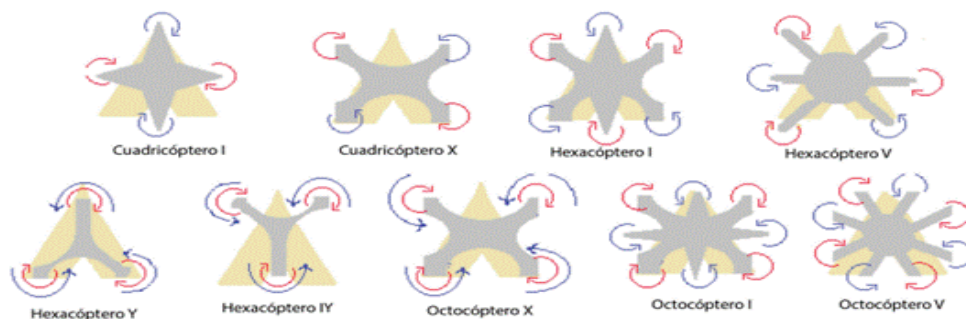
tipo	forma	
tricópteros		
cuadricoptero		
hexacopteros		
octocopteros		

Fuente: (28).

Además, se pueden clasificar según su tamaño en micro y mini VANT's: de ala fija o multi-rotor, que cuentan con distintas ventajas de implementación en diferentes entornos o tareas específicas. Por su parte Tang, Shao (29), clasificaron los RPAs en dos categorías de acuerdo con las técnicas de despegue y aterrizaje: los aviones no tripulados de ala fija (aviones) los cuales tienen características de despegue y aterrizaje horizontal, y las aeronaves de rotor o RPAs de ala giratoria (helicópteros y autogiros) que realizan el despegue y aterrizaje de forma vertical (figura 5). Asimismo, mencionan que los RPAs de ala fija requieren de una pista para despegar y aterrizar, mientras que los equipos más pequeños pueden hacerlo manualmente o utilizando soportes terrestres.

Figura 5.

Ejemplos de multirrotores con diferentes tipos de configuración de brazos



Fuente: (29).

c) **Uso o aplicaciones del RPAs**

Según Escamilla (30), los RPAs pueden realizar sus labores de forma autónoma o controlada remotamente por un operador, “la autonomía se relaciona con los algoritmos de control que poseen estos vehículos para responder de manera satisfactoria al encontrarse en eventos inesperados o aleatorios” así como se clasifican en dos categorías o aplicaciones como son el ámbito militar y el ámbito civil.

En un inicio los RPAs fueron diseñados para usos militares, adecuados para temas de espionajes, misiones de reconocimiento y patrullar territorios detectando situaciones de riesgo (31). Actualmente los RPAs son utilizados en misiones de inteligencia, vigilancia,

supervisión, monitoreo de terrenos y filmación, ya que pueden ser equipados con múltiples sensores y cámaras (32).

Figura 6.

Diferentes aplicaciones de RPAs



Fuente: (2)

d) Ventajas y desventajas del RPAs

Ventajas:

- Las nuevas tecnologías mejoran continuamente en términos de resolución espacial, espectral y temporal, sin embargo, cada una de ellas tiene beneficios y limitaciones en cuanto a factores operacionales, tecnológicos y económicos (33).
- Proporcionan una alta resolución temporal gracias a la facilidad de repetición de los vuelos, un menor costo operativo para proyectos pequeños, recopilación de datos de alta precisión y buena resolución espacial puesto que al operar a baja altura generan poca interferencia atmosférica y no se ven afectados por la nubosidad, no se presentan riesgos humanos para la tripulación al usar este tipo de tecnología y muestran gran facilidad de uso para operadores no especializados (28, 33, 38, 37, 39).

Desventajas:

- Presenta poca cobertura, podría mostrar restricciones de operación debido a las regulaciones de cada país, es sensible a las condiciones ambientales adversas y muestra dificultad para reconstruir o procesar imágenes de áreas muy homogéneas (33).

- Los pilotos deben estar capacitados para hacer que el equipo vuele de la mejor manera (34).
- Existen limitaciones en cuanto al equipo de cómputo requerido para el procesamiento adecuado de las imágenes capturadas (35).

e) Componentes del RPAs

A continuación, se dará una descripción breve de los componentes básicos y partes principales que conforman un RPAs (36).

Figura 7.

Ejemplos componentes del RPAs



Fuente: (37).

f) Importancia de los RPAs en la obtención de información

Los avances tecnológicos permiten simplificar varios aspectos de la vida. Para el caso de estudio el utilizar técnicas de detección remota, imágenes obtenidas a partir de vehículos aéreos no tripulados y la automatización de procesos; ofrece la ventaja de recabar información útil del campo sin la necesidad de trabajar directamente en él. En donde esta

información puede ser digitalizada, almacenada y georreferenciada. Estos mecanismos pueden disminuir los lapsos de recopilación y análisis de datos. Además, que permite facilitar el trabajo en zonas de difícil acceso o en áreas muy extensas. Al mismo tiempo que disminuyen los costos de viáticos del personal y equipamiento de muestreo (3).

En 2012, la revista académica arbitrada *Tropical Conservation Science* publicó un artículo en el que anunciaba los “albores de la ecología con RPAs” y consideraba esta tecnología aérea como una alternativa al mapeo por teledetección satelital, gracias a sus costos competitivos y ventajas fotográficas. Desde entonces, los RPAs han volado velozmente a través de una nube de emprendimientos, tanto de desarrolladores como de investigadores de todos los campos, quienes están descubriendo cómo lograr una utilización óptima de estos dispositivos en su sector, además de la gestión forestal y paisajística. Como en el caso de toda tecnología disruptiva, el uso de RPAs para la investigación del paisaje forestal conlleva pros, contras, cuestiones éticas y horizontes prometedores (38).

g) Aplicaciones del RPAs

Los RPAs están siendo de gran utilidad en distintos sectores gracias a sus capacidades y mecanismos avanzados facilitando tareas que anteriormente eran de gran riesgo para las personas, por su potencial en desplazamiento sobre terrenos de difícil acceso, su tamaño y su equipamiento de alta tecnología, lo anterior teniendo en cuenta que la mayor utilidad se le ha dado con fines militares, sin embargo, en la actualidad son empleados en otros ámbitos como medio ambiente, agricultura, ganadería, seguridad, logística, comunicación, etc (39).

A continuación, se describen los usos y aplicaciones más comunes en el ámbito profesional:

- **Ingeniería civil:** El uso de esta tecnología que más se destacada en la ingeniería son las mediciones topográficas en terrenos de difícil acceso, con el detalle y la gran calidad en la toma de fotografías en zonas puntuales, y el uso de un láser infrarrojo que escanea el terreno para luego realizar una descripción detallada registrando la información en un plano

o un mapa (7). Otras aplicaciones que se identifican en este ámbito, de acuerdo a lo publicado por Dron Planet (40) son:

- Análisis del suelo y topografía
 - Imágenes y tomas aéreas
 - RPAs equipados con cámaras termografías para conocer de forma precisa la temperatura de la superficie del terreno
 - Observación y escaneo en tiempo real para la construcción de carreteras
- **Medio ambiente:** En este sector se están empleando RPAs para vigilancia de reservas naturales con grabaciones de video y toma de imágenes detectando cazadores que vulneran las zonas protegidas, además se monitorean y localizan las especies en tiempo real generando información de los diferentes ecosistemas. También mediante tecnología de vanguardia se monitorea la actividad volcánica y se detectan incendios forestales, incluso en algunos casos ya son utilizados en siembras masivas de árboles para evitar la deforestación (41).

En Colombia Cárdenas *et al.* (42), realizaron un estudio sobre contaminantes atmosféricos utilizando sensores a bordo de un dron. Encontraron información interesante sobre las diferencias en concentración de gases a diferentes altitudes (42). A pesar de que el estudio se hizo de manera puntual, promete ser una metodología replicable para estudiar la concentración de gases de efecto invernadero en la tropósfera.

También en Perú, Balsley *et al.* (43), llevaron a cabo un estudio donde se desarrolló un modelo de dron para el monitoreo de temperatura, viento y turbulencia en la capa atmosférica baja (entre 0 y 1300 msnm). En dicho estudio se pudo obtener información precisa para poder plantear de modo general algunos aspectos relevantes sobre el comportamiento de esas variables atmosféricas en la zona de estudio (43). Quizás los resultados más relevantes de este estudio residen en el hecho de saber que se puede obtener información precisa y de calidad a través de una monitorización continua con un dron de bajo costo.

En México, Bandini *et al.* (44), llevaron a cabo un estudio en el cual se pudo obtener datos de la profundidad del agua y mediciones de batimetría a través de información proveniente de RPAs. Permitiendo así, conocer el comportamiento de las lagunas y cenotes conectados a través de cavernas sumergidas y flujo difuso en la Península de Yucatán.

- **Vida silvestre:** En este campo de aplicación Koh y Wich (24), lograron identificar la ubicación actual de los animales para el monitoreo de especies de fauna silvestre con el fin de obtener información que ayude a detallar sobre su comportamiento, distribución, abundancia, hábitat y utilización de los recursos.

Han *et al.* (45), utilizaron diferentes modelos de RPAs para el monitoreo de aves acuáticas y su entorno, estableciendo una metodología diferente en términos del conteo e identificación de aves. En su estudio pudieron determinar alturas de vuelo óptimas para el dron y mejoras en la toma de datos a través de lentes que permitieran un mejor enfoque para facilitar la identificación de las aves.

Ivosevic *et al.* (46), llevaron a cabo un estudio similar, pero con mariposas. Ellos utilizaron un dron comercial de bajo costo para el monitoreo de la especie *Libythea celtis*, obteniendo resultados promisorios en el uso de esta tecnología para el monitoreo de fauna.

- **Aguas y ríos:** Existe un gran potencial de aplicación de este tipo de tecnología para el monitoreo de corredores ribereños para estimar la posible extensión de crecida de los ríos sobre su propio lecho comparando fotografías aéreas del sitio de las estaciones seca y lluviosa (25).

Zhao *et al.* (47), presentan un método innovador que integra el uso de RPAs y monitoreo en campo para estimar el índice e-flow, utilizado para conocer respecto al manejo sostenible del agua. En dicho estudio se obtuvo estimaciones que demuestran las capacidades

el uso de RPAs para investigación aplicada. Por su parte Langhammer y Vacková (48), desarrollaron una metodología para la detección rápida de los efectos geomorfológicos ante situaciones de inundación mediante el análisis de productos derivados de vuelos con RPAs.

También se ha utilizado esta tecnología para el monitoreo de la morfología de ríos y la erosión en las riberas (49). Bandini *et al.* (50), utilizaron diferentes sensores a bordo de un dron para estimar niveles de agua en ríos y lagos, obteniendo resultados satisfactorios; un estudio similar se llevó a cabo en México (44).

- **Minería:** Las compañías mineras están utilizando RPAs para realizar labores de monitoreo, levantamiento topográfico y mapeo 3D, adicionalmente se emplean para sistemas de vigilancia en los terrenos y las excavaciones garantizando la seguridad vial, control de tráfico y las condiciones de las carreteras. Empresas como BHP Billiton, líder mundial en la producción de mineral de hierro, carbón y cobre, utiliza esta tecnología en varias labores de su proceso, como por ejemplo “se utilizan para garantizar que las áreas estén despejadas antes de que ocurra una explosión y para rastrear los humos después de la explosión” (51).

- **Desastres naturales:** Los RPAs muestran un gran potencial para la obtención de datos en zonas afectadas por los desastres naturales. De acuerdo con George *et al.* (52), evaluar los daños en situaciones de emergencia como por ejemplo el sismo ocurrido en septiembre del 2017 en Tehuantepec, México, conlleva muchos esfuerzos, costos y tiempo. Es por esto que este tipo de tecnología, al sobrevolar las zonas de difícil acceso, permite obtener información para evaluar los daños en las edificaciones afectadas sin poner en riesgo la vida de quien realice la labor. También es útil para elaborar mapas de zonas de riesgo y rutas para suministrar donativos a los damnificados, y ubicar edificios derrumbados o bloqueos en las carreteras.

- **Emergencia y rescate:** Su gran utilidad y ayuda en este campo destaca la rapidez con que llega a lugares de difícil acceso, gracias a su equipamiento de alta tecnología puede realizar reconocimiento y la localización de víctimas en caso de catástrofes, incluso facilitar

la asistencia médica por el traslado de medicamentos, material de emergencia y desfibrilador en caso de ser requerido (53).

- **Periodismo:** En este ámbito se destaca lo indicado por Fernández (54), “El uso de RPAs en el periodismo permite la obtención de imágenes aéreas de difícil cobertura, con un consiguiente abaratamiento de costes, perspectiva, rapidez, movilidad y mayor seguridad para los periodistas”
- **Logística:** Su aplicación y utilidad en el ámbito logístico es en la entrega y distribución de la mercancía, como también son empleados para procesos internos como el control de inventarios realizando lecturas de las referencias almacenadas, el movimiento de artículos dentro de la planta, vigilancia y monitoreo en los almacenes para evitar pérdidas y robos (55).
- **Geología:** Desde el punto de vista geológico, el uso de los RPAs muestra gran variedad de ventajas gracias a que pueden ser utilizados en zonas de difícil acceso y a las distintas tecnologías que se les pueden incorporar, puesto que permite obtener información de afloramientos, cálculo y análisis de parámetros de la superficie terrestre, estudiar las formas del terreno, obtener ortofotografías y modelos digitales de la topografía con alta resolución que son de gran utilidad para conocer los procesos geológicos, entre otras (56).
- **Agricultura:** Una de las principales formas de emplearlo en la agricultura consiste en monitorear cientos de hectáreas de forma mucho más rápida que lo convencional, equipándolo con plaguicidas y pesticidas, realizando la fumigación de los cultivos de forma mucho más precisa, ahorrando costos ya que no malgasta el producto y disminuyendo el impacto ambiental con la utilización de cámaras infrarrojas incorporadas que detectan las zonas del cultivo que necesitan fumigarse, además, mediante imágenes y escaneo se detectan plagas y malas hierbas de forma temprana, así se evita la propagación a lo largo del cultivo.

Su empleo ha permitido realizar modelos tridimensionales del terreno, planificar el establecimiento, la producción y el monitoreo de cultivos, detectar plagas, enfermedades, deficiencias nutricionales (25), realizar estimaciones de volumen, crear modelos de irrigación y drenaje, y detectar otros cambios en los cultivos que de otra manera no son visibles para el ojo humano (57).

Austin (58), menciona que los vehículos aéreos no tripulados son utilizados en agricultura en la siembra, fumigación y monitoreo de cultivos, puesto que es posible utilizar cámaras infrarrojas y de color para detectar la aparición de alguna enfermedad a través de cambios en el color en los cultivos. En Japón, se los utiliza para sembrar arroz y fumigar posteriormente el cultivo. Berrío-Meneses *et al.* (19), mencionan que su implementación se plantea como alternativas de manejo, monitoreo y control de los cultivos agrícolas en diferentes etapas de su desarrollo con el fin de mejorar la producción y disminuir costos.

- **Forestal:** su uso en la actividad forestal ha sido limitado y su interés es reciente. Según Guevara-Bonilla *et al.* (59), se ha enfocado en mejorar procesos productivos en los campos agrícolas y forestales, tales como:

- **Uso de la tierra, monitoreo de actividades y cálculo de áreas:** A partir de RPAs se ha obtenido información precisa a partir de sensores especializados y se ha integrado al sistema de monitoreo en tierra (60).
- **Conteo de árboles:** A partir de las imágenes realizadas y de la creación de nubes de puntos se desarrolló un algoritmo que permite el conteo de árboles en plantaciones recién establecidas. Esta herramienta fue desarrollada en conjunto con las escuelas de Ingeniería Forestal, Electrónica y Computadores y permitiría realizar muestreos para determinar la mortalidad inicial en el establecimiento de plantaciones cubriendo mayores áreas de forma más rápida (figura 8).

- **Estimación de alturas:** A partir del modelo digital de superficie y del modelo digital de elevación, se puede generar un modelo de altura del dosel que permite estimar las alturas de los árboles.
- **Cuantificación de la erosión:** Arriola *et al.* (61), desarrollaron una metodología que posibilita la cuantificación de erosión a partir de una base de datos de modelos de elevación digital con alta resolución espacial y temporal.

Figura 8.

Conteo de árboles de Melina de 5 meses de edad por medio de una interpretación algorítmica de una ortofoto tomada con un dron Mavic Pro, Los Chiles, Costa Rica



Fuente: (59).

- **Otras actividades:** Algunos ganaderos han encontrado utilidad en este tipo de tecnología para el monitoreo y conducción de rebaños, ubicación de ganado y verificación de cercas (58). Además, administradores pesqueros han visto beneficios en los RPAs para reducir tiempos y costos en patrullaje, así como método de disuasión y captura de embarcaciones ilegales de pesca en aguas protegidas (57).

Esta tecnología también se ha utilizado para estimar la erosión a través del análisis temporal de Modelos de Elevación Digital generados en vuelos con RPAs (62).

Obanawa *et al.* (63), estudiaron el impacto de las olas del mar versus el de movimientos telúricos sobre acantilados próximos al mar a través del análisis multitemporal de mediciones topográficas a bordo de RPAs y en tierra, llegando a sugerir que la erosión producto del oleaje es mayor que el provocado por movimientos telúricos.

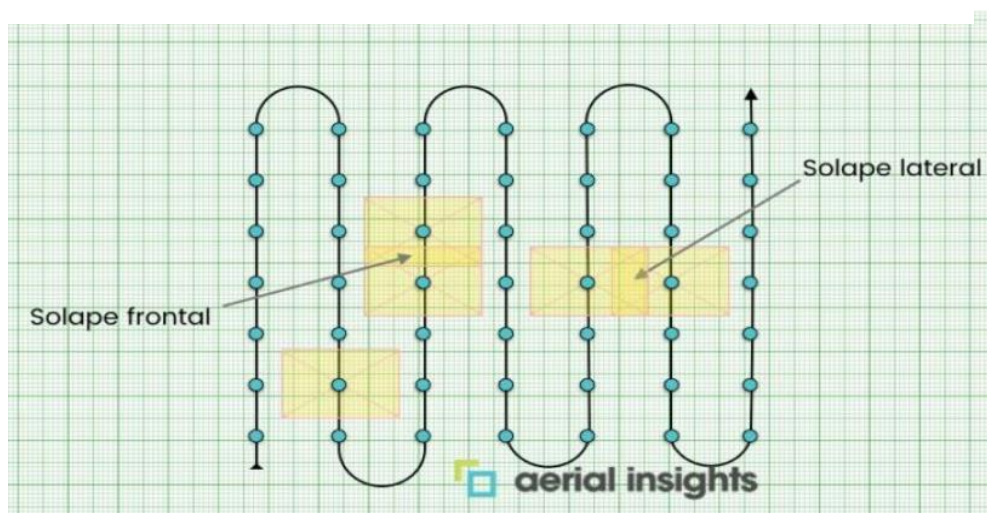
El uso de RPAs para llevar a cabo análisis comparativo para el monitoreo en las costas ha demostrado tener un gran potencial a través de la generación de modelos de superficie (64). Esto ha tenido gran relevancia para conocer el impacto de cambio climático en estas zonas.

h) Plan de vuelo del RPAs

Para realizar fotogrametrías con RPAs, se debe establecer un plan de vuelo. Este se refiere a la trayectoria que debe seguir (Figura 9). Esta aplicación se encuentra disponible para ser descargada desde cualquier Smartphone o Tablet. Se tiene conocimiento que la empresa de RPAsDeploy se ha asociado con los principales fabricantes de RPAs, como es el caso de DJI, para que su software llegue a una gran variedad de usuarios y pueda utilizarse para diferentes propósitos (3).

Figura 9.

Trayectoria de vuelo para ortoimágenes



Fuente: (70, 5).

2.2.7. Sensores

Los sensores remotos o UAV, tiene la ventaja de abarcar áreas extensas. La detección de árboles mediante procesamiento digital de imágenes puede realizarse mediante segmentación espectral, utilización de modelos de elevación y reconocimiento de formas geométricas. Se puede analizar imágenes a distintas escalas para obtener una mejor segmentación (65). Permite la recopilación de datos en el terreno para obtener imágenes digitalizadas con información geográfica, la cual puede ser almacenada, administrada y analizada utilizando los Sistemas de Información Geográfica (3).

2.2.8. Yolo

YOLO es un acrónimo de «You Only Look Once» (72, 73, 74, 75, 76). Es un modelo muy popular y de alto rendimiento en el campo de detección de objetos, es considerado como la tecnología de punta en detecciones en tiempo real (FPS) (66). Es un detector de objetos rápido y preciso, lo que lo hace ideal para aplicaciones de visión artificial. Permite crear sistemas de reconocimiento de objetos en tiempo real muy rápidos y precisos. Sin embargo, para un buen funcionamiento de estos sistemas se requiere del uso de GPU's potente (66).

Existen algunas versiones de YOLO. La versión tres es una red con varias capas convolucionales para realizar la reducción de dimensión que mejora la predicción a través del uso de múltiples escalas. Su proceso se aprecia en el momento de la detección de objetos pequeños (67). En esta investigación se utilizó la versión cinco (YOLO-v5), la cual, es la quinta generación de los detectores de una sola etapa (68), por lo que provee información más exacta que la versión anterior.

La técnica utiliza un tipo de red neuronal convolucional llamada Darknet para la clasificación de imágenes y agrega una parte de detección, un "pequeño cuadrado" que contiene la posición x e y, la altura y el ancho del objeto encontrado.

La dificultad de esta tarea es enorme: poder ubicar una región de la imagen, que para una red neuronal es solo una matriz de píxeles de colores, ubicar y clasificar múltiples objetos. YOLO hace todo "de una sola vez" con su red convolucional. Basado en el conocido conjunto de datos COCO, clasifica y detecta 80 categorías y etiquetas de objetos diferentes y localiza hasta 1000 objetos en imágenes (69).

2.2.9. Fotogrametría digital

La fotogrametría es una herramienta capaz de grabar, medir e interpretar información de objetos y su entorno mediante imágenes fotográficas, patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos. Dentro de la fotogrametría se pueden identificar cuatro etapas: analógica, analítica, digital y utilización de cámaras grandes (70). La fotogrametría se puede considerar la tecnología precursora de la teledetección.

2.2.10. Procesador de imágenes

El Pix4DMapper es un software de fotogrametría que permite generar ortomosaicos y convertir imágenes RGB obtenidas con RPAs en mapas 2D y modelados 3D. Los trabajos que realiza se encuentran georreferenciados y pueden utilizarse posteriormente en diferentes aplicaciones o softwares (71). De igual forma Agisoft PhotoScan permite elaborar mosaicos con las imágenes aéreas obtenidas mediante UAV. Es una herramienta con alto potencial de gestión espacial para construir ortomosaicos y MDT.¹⁷ este procesador es ideal para trabajar con imágenes obtenidas por cámaras fotogramétricas, es decir que posean valores RGB (72).

Los procesadores de imágenes más utilizados como Pix4DMapper y el Agisoft PhotoScan. Se usan dos procesadores porque el Pix4DMapper después 16 días de prueba gratuita requiere una actualización de la licencia. en ella para diferentes propósitos; investigativos, de producción o de conservación. Permitirá el conteo automatizado de las especies arbóreas.

Para este efecto se debe:

- Descargar y ejecutar el programa en una computadora.
- Previamente se deberá guardar las imágenes obtenidas con el RPAs al igual que los puntos de control establecidos en el polígono, los cuales tendrán información de las coordenadas en donde se realiza el plan de vuelo.
- Las imágenes y los puntos de control se guardarán en carpetas separadas y estarán contenidas en una carpeta madre.

Se seguirá todos los pasos direccionales del programa, según se indica:

- Se procede a abrirlo, en la opción Proyecto y se selecciona nuevo proyecto, en donde se debe escoger la ubicación de la carpeta madre.
- Se coloca un nombre al proyecto.
- Seleccionar siguiente y se añaden todas las imágenes, avanzar hasta la opción de sistema de coordenadas de salida, escoger la unidad de medida de metros y activar la opción de auto detectado.
- En la plantilla de opciones de procesamiento, seleccionar el tipo de documento que se desea generar, para este caso se elige Ag RGB, verificar que antes de finalizar esté desactivada la opción de iniciar procesamiento ahora.
- Para agilizar el proceso se selecciona las opciones automatic marking y aplicar. Es necesario definirlos como puntos de control, por lo que se les define en la opción tipo como tales. A pesar de que ya ha concluido el procesamiento inicial, se requiere realizar una reoptimización por las definiciones dadas. Para eso se selecciona la opción de procesar y reoptimizar.

- Se trabaja con la nube de puntos, para lo cual se escoge la escala de imagen por defecto que tiene un valor 1/2, densidad de puntos óptima, número de emparejamiento mínimo de 3 y exportar malla de puntos en formato LAS. Se abre la ventana de procesamiento y se escoge la etapa de nube de puntos y malla. Se debe ejecutar la clasificación de la nube de puntos de terreno, esta función se ubica en la opción “procesar”.
- Se abre la ventana de opciones de procesamiento, para esta etapa se deben colocar los valores por defecto de MDS y ortomosaico. Hay que tener en cuenta que este programa ofrece un tiempo de prueba gratuita pero después de 16 días pide una actualización de licencia con costo.

Agisoft PhotoScan es un programa gratuito que se utilizará para el procesamiento de imágenes, para ello se utiliza el siguiente procedimiento:

- Descargar e instalar el programa. Dentro del programa se deben habilitar tres espacios: el área de trabajo, el de las imágenes y el de las referencias. Se abre la carpeta en donde estén las imágenes obtenidas del UAV.
- Se seleccionan todas y se arrastran al área de trabajo del procesador. Previamente debe estar habilitada la opción de “cámara”, puesto que permite la identificación de las fotogrametrías por puntos en el área de imágenes y con ello decidir si hay alguna imagen que se desea eliminar.
- Abrir la opción de calibración de cámara, en donde los valores están parametrizados. En el área de trabajo se abre la opción de seleccionar sistema de coordenadas para verificar que sea el mismo que se tiene en las coordenadas de los puntos de control.
- Se procede a abrir el archivo de puntos de control en el área de trabajo. Se activa la opción de puntos de control para que se los pueda visualizar en el área de imágenes.

- Se guarda el archivo en la misma carpeta de las imágenes fotogramétricas. Se abre la ventana de flujo de trabajo para orientar las imágenes, se activan las opciones, se escoge la precisión máxima, se da clic en aceptar y se espera para que las imágenes se procesen. Inmediatamente se sobrepone la nube de puntos.

2.2.11. Bordes

Los bordes de una imagen digital se pueden definir como transiciones entre dos regiones de niveles de gris significativamente distintos. Suministran una valiosa información sobre las fronteras de los objetos y puede ser utilizada para segmentar la imagen, reconocer objetos, etc.

a) Detección de bordes

La detección de bordes se ha convertido un proceso fundamental en la industria de la metrología ya que define las fronteras de la característica a ser medida. La precisión en la detección del borde mejora la precisión en los procesos en curso y los procedimientos de control de calidad (73).

La mayoría de las técnicas para detectar bordes emplean operadores locales basados en distintas aproximaciones discretas de la primera y segunda derivada de los niveles de grises de la imagen. La detección de bordes es una técnica de análisis digital que se puede aplicar a imágenes de muestras 2-D y 3-D. Un borde puede ser llamado como la frontera entre dos regiones diferentes en una imagen. Un borde puede ser el resultado de cambios en la absorción de la luz, textura, etc., y en su forma más simple, puede ser identificado grabando los cambios en la intensidad de luz sobre un número de píxeles (73).

2.2.12. Filtros

a) Filtros paso bajo

Se usan con la finalidad de suavizar los contrastes espaciales que se puedan encontrar en una imagen. Este tipo de filtro tiene como finalidad dejar pasar o mantener intocables los diversos componentes de baja frecuencia. Uno de los más utilizados es el que cuya máscara de convolución tiene una dimensión de 3x3 con nueve coeficientes que corresponden a 1/9, es decir (74):

$$\begin{matrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{matrix}$$

El filtro de paso bajo en imágenes se usa con la finalidad de restaurar errores aleatorios que se presentan en los niveles de brillo de imágenes. También se reduce la variabilidad espacial previo o posterior a la cosificación de categorías (74). Se pueden destacar los siguientes filtros de paso bajo más comunes (75):

- **Media:** se considera el valor de cada uno de los píxeles, del cual se sustituyen por la media de los píxeles por el valor de los píxeles vecinos.

$$g(x,y) = \frac{1}{N_w} \sum_{(i,j) \in W} f_{ij}(x,y)$$

- **Mediano:** el valor de un píxel de entrada se sustituirá por la mediana de los valores de los píxeles de su vecindario.
- **Moda:** cada uno de los píxeles se reemplazarán por el valor más común del vecindario.

b) Filtros paso alto

Pretende aislar los diversos componentes de alta frecuencia de una imagen (74). Este filtro tiene la capacidad de resaltar los bordes de los objetos. Se requiere realizar un escalado de intensidad con un intervalo (0, L-1) para reasignar los valores negativos. Este filtro tendrá un coeficiente positivo en el centro y negativos en la periferia (75):

c) -1 -1 -1

d) -1 8 -1

e) -1 -1 -1

2.2.13. Imágenes Rgb

Son modos de color a los estándares (las normas y recomendaciones comúnmente aceptadas) que se usan para representar los colores. Las imágenes digitales, las impresiones o las pinturas se rigen por un modo de color. El espacio de color RGB está formado por los colores luz primarios: Rojo, Verde y Azul. RGB son las siglas en inglés de Red, Green y Blue. Este sistema es el más adecuado para representar las imágenes que se muestran en monitores y que, finalmente, serán impresas papel fotográfico (76).

Las imágenes RGB utilizan tres colores para reproducir en pantalla hasta 16,7 millones de colores. RGB es el modo por defecto para las imágenes de Photoshop y, por lo general, el modo en el que vienen configuradas nuestras cámaras de fotos, aunque ambos perfiles pueden cambiarse (76).

2.2.14. Redes neuronales

Una red neuronal es un modelo computacional que utiliza un sistema de capas internas y externas conectadas a través de unas estructuras denominadas unidades y que en conjunto simulan la arquitectura de las conexiones entre neuronas dentro del cerebro humano. Una vez que estas redes neuronales atravesaron el proceso de aprendizaje sobre un conjunto de datos conocidos se convierten en algoritmos capaces de predecir, en un rango previamente establecido, el comportamiento que pudieran tener un conjunto del mismo tipo de datos de los cuales solo se conocen las etapas previas y no los desenlaces en el comportamiento (77).

2.2.15. Clasificadores

La clasificación en teledetección es, por tanto, un caso particular del problema general de clasificar N individuos en un conjunto de K clases en función de una serie de variables cuantitativas (X_1, X_2, X_n). Para resolver este problema se necesita una medida de la semejanza o diferencia entre los diferentes individuos y entre los individuos y las clases. Dos individuos muy parecidos pertenecerán probablemente a la misma clase, mientras que dos individuos distintos pertenecerán a diferentes clases (76).

a) KNN

Es un clasificador de aprendizaje supervisado no paramétrico, que utiliza la proximidad para hacer clasificaciones o predicciones sobre la agrupación de un punto de datos individual. Si bien se puede usar para problemas de regresión o clasificación, generalmente se usa como un algoritmo de clasificación, partiendo de la suposición de que se pueden encontrar puntos similares cerca uno del otro (78).

2.2.16. Machine learning

Los inicios de Machine learning están remontados al año 1943. cuando los estudiosos matemáticos Walter Pitts y el neurofisiólogo Warren McCulloch, dieron a conocer su trabajo enfocado a lo que hoy conocemos como inteligencia artificial, en concreto proponían analizar el cerebro como un organismo computacional. En concreto el término hace referencia directa al aprendizaje automatizado, pero cuyo de estudio es la Inteligencia Artificial que, a través de algoritmos, dota a los ordenadores de la capacidad de identificar patrones en datos masivos y elaborar predicciones (79).

El aprendizaje automatizado es más habitual, ya que las maquinas son capaces de aprender por si solas (80). Con la creación de los modelos machine learning se pueden clasificar las tomas Satelitales (81). Se puede hacer uso de los siguientes (82):

- **Random forest (RF):** se puede clasificar una multitud de árboles a partir del resultado de árboles individuales con muestra aleatoria para lograr minimizar el error y aumentar la generalización.
- **Support vector machine (SVM):** se hace uso de un hiperplano para lograr separar las clases mediante un vector, este método se usa en clasificación y regresión.

2.2.17. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica permiten analizar y representar toda información que haya sido geolocalizada. El National Center for Geographic Information and Analysis de USA los define como “Sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión”. El fundamento de un SIG, es poder representar en un mapa digital diferentes variables u objetos, que corresponden a entradas en una base de datos (83).

Según, Universidad de Murcia (83), los datos geográficos poseen tres tipos de componentes:

- **Espacial:** Es la información referente a la localización, posición de objetos y uso de coordenadas. Ejemplo: área, longitud, volumen. Se puede representar mediante un modelo vectorial; ya sea a través de puntos, líneas o polígonos. También puede representarse mediante un modelo ráster; a través de filas y columnas, las cuales forman un mallado de celdas.
- **De atributo o variables:** Son las características asociadas a un tema específico en cuanto a un determinado objeto. En otras palabras, se puede entender como la forma de medir los atributos. Se conoce que existen variables de tipo discreta, continua, fundamental y derivada.

- **Temporal:** Fenómenos geográficos en un periodo de tiempo

Figura 10.

Componentes de un SIG



Fuente: (84)

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

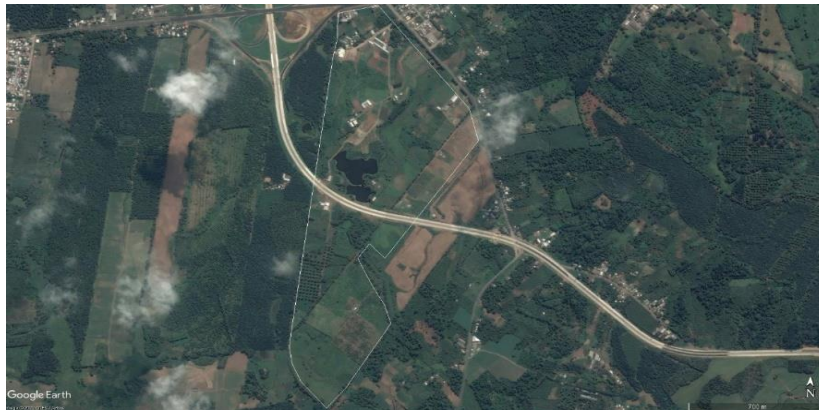
3.1. Materiales y métodos

3.1.1. Localización

El presente trabajo de investigación se realizó en la finca “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicada en el km 7 ½ vía Quevedo–El Empalme, perteneciente a la provincia de Los Ríos, cantón Mocache, la cual está situada en las coordenadas, longitud 1° 02′ 24″ y de longitud oeste de 70° 26′ 36″.

Figura 11.

Ubicación del lugar de estudio



3.1.2. Condiciones meteorológicas

Las condiciones meteorológicas de la Finca Experimental “La María” son las que se detallan en la tabla 2.

Tabla 2.

Condiciones meteorológicas de la finca experimental La María

PARÁMETRO A MEDIR	PROMEDIO
Altitud ms.n.m.	73
Temperatura °C	25,01
Humedad relativa %	84,2
Precipitación, mm	1501
Valor de pH del suelo	5,7
Topografía	Irregular
Evaporación, mm	1031,9

Fuente: (85).

3.2. Tipo de investigación

Para cumplir con los objetivos del proyecto de investigación se aplicará la metodología experimental y de evaluación para las variables: número de árboles, tamaño de copa, volumen de segmentación, identificación de árboles, clasificación de árboles, ubicación de árboles en polígonos, identificación de copas y análisis de viabilidad para dirigir una adecuada gestión forestal de los recursos existentes en la finca La María, de propiedad de la UTEQ.

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. *Deductivo*

De este método se puede contar las variables tomadas en cuenta, llegando a considerar las posibles conclusiones lógicas de los datos obtenidos en el campo.

3.4. Técnicas de investigación

3.4.1. *Campo*

Consistió como método principal del proyecto, ya que al ser un experimento práctico su ejecución debe ser dada en un área específica como lo es la Finca Experimental “La María”.

3.4.2. *Observación*

La observación permitió visualizar y analizar las variables obtenidas para poder explicar y describir el comportamiento del estudio de investigación.

3.5. Fuentes de recopilación

3.5.1. *Fuentes primarias*

Por medio de la observación de las variables tratadas en el estudio se pudo obtener los datos necesarios para llevar a cabo la conclusión de los resultados.

3.5.2. Fuentes secundarias

Consistió en la búsqueda de información pertinente a través de los diferentes medios digitales de divulgación científica, libros, periódicos, entre otros.

3.6. Diseño de investigación

En la presente investigación se trabajará con RPAs, también conocidos como vehículos aéreos no tripulados o Sistema de Aeronaves Tripuladas por Control Remoto. Es importante considerar que cuando nos referimos a un UAV incluye el vehículo aéreo y los sensores que ayudan a controlar su vuelo, así como de sistemas que determinan su rumbo y trayectoria, y equipos que permiten recolectar información para ser transmitida a los centros de control (3). La base fundamental de esta investigación es innovar en el área de detección de características arbóreas y de su cuantificación, mediante un script que realice esta función de manera automatizada, lo cual permitirá cumplir los objetivos planteados.

3.6.1. Delimitación del área de estudio.

Se consideró como área de investigación la finca La María, la cual mantiene 104 hectáreas. Se realizó salidas de campo y se delimitó el área de estudio correspondiendo a un aproximado de 17 has. la evaluación ecológica rápida (EER) determinó puntos representativos, los cuales incluyen áreas con especies forestales y cultivos agrícolas. Se validó la información obtenida en el recorrido observacional (fase de diagnóstico y levantamiento de la información) con la obtenida en el RPAs. Los RPAs utilizados corresponden a los modelos de la marca DJI: Mavic 2 Pro y Mavic Pro, Mavic Air 2, los cuales son equipos sumamente sofisticados y eficientes.

Se realizó la georeferenciación del área de estudio mediante el uso de sensores remotos y procesos digitales. Se obtuvo imágenes que permitieron identificar, describir y cuantificar la cobertura vegetal.

3.6.2. Plan de vuelo.

Si bien, la metodología de aerial insights (86); refiere los pasos y el esquema para determinar la trayectoria que debe seguir el UAV (Figura 3), en esta investigación se utilizará la aplicación móvil de RPAsDeploy, la cual permite crear planes de vuelo. Para ello, se utilizará la metodología propuesta por (3).

- Realizar la descarga de la aplicación en una computadora Macbook Air y se creará una cuenta vinculada con los RPAs
- Mantener acceso a internet de banda ancha y activado el GPS.
- Una vez instalado el programa se procederá a abrir la opción de configuraciones, seleccionar unidades métricas y crear el plan de vuelo, de acuerdo a las especificaciones del programa, según se detalla: se escoge la primera opción “plan a map flight”.
- Se despliega una nueva lista de opciones a configurar y en la parte derecha de la pantalla se visualiza un mapa global similar al de Google Earth, en el que se puede ampliar las áreas en donde se desea realizar el vuelo.
- Se coloca un nombre al plan de vuelo.

Se ha planteado realizar un vuelo a una altura de 60 metros para considerar en el estudio todas las especies arbóreas existentes en la finca La María, la cual dependió de las características del área delimitada y, al hecho de que es la altura máxima permitida en Ecuador es de 122m.

3.6.3. Modificación de la zona de trabajo.

Se aplicará la metodología de León (3), la cual indica algunas consideraciones que deben aplicarse durante la investigación:

- Se modificará las zonas de trabajo mediante la colocación de puntos de control alrededor de su perímetro, formando un polígono.
- La información acerca del tiempo de vuelo, el área total en hectáreas, el número de imágenes a obtener y la cantidad de baterías que requiere el vuelo; dependerán de la extensión del polígono.
- La cantidad de puntos se editará en base a las necesidades del vuelo. En esta etapa se definirá la altitud del vuelo.
- En la opción de “Advanced” se procederá a configurar el porcentaje y dirección del solapamiento vertical y horizontal, por lo que se atenderá la recomendación de aplicar un valor del 75%. La dirección se establecerá en el valor preciso para que el vuelo optimice el uso de baterías.
- Se trabajará con la velocidad máxima de los RPAs, la cual oscila entre 15 a 18m/s. Después se escoge el punto en donde se requiere que inicie la toma de imágenes, es recomendable dejar que inicie en el vértice más lejano, para que el último punto registrado sea el de despegue y aterrizaje.
- Se selecciona la opción de “Preflight Checklist” para verificar que los requisitos de permisos, del RPAs, de la cámara, del controlador y del plan de vuelo estén activados.
- Finalmente se lleva a cabo el vuelo.

3.6.4. Toma de imágenes.

Se realizó la toma de imágenes mediante RPAs en los predios de la finca La María, con el fin de disminuir los tiempos, costos de toma y análisis de muestras; aumentar la precisión y exactitud en la identificación de las especies existentes en el área de estudio, debido a que la herramienta desarrollada es de código abierto, se abre la posibilidad de generar cambios.

Se debe considerar que las cámaras de los RPAs utilizados, no son cámaras multiespectrales sino cámaras fotogramétricas, por lo que las imágenes que se obtendrán poseen la composición de color RGB. Esta composición sirve para establecer en base a la conversión del espacio de color, dónde existe un objeto y en dónde no.

Se realizará el estudio mediante el uso de tres sistemas de RPAs para identificar la diferencia de la información obtenida entre ellos. El primero corresponderá a un vuelo no tripulado con Mavic 2, el segundo con Mavic Pro y el tercero con Mavic Air 2 a una altura de 60 metros. La imagen permitirá identificar todas las especies arbóreas existentes en el área de estudio y comparar los resultados obtenidos en los dos RPAs a fin de determinar cuál de los dos brinda mayor información silvícola.

El área de vuelo tiene una extensión aproximada de 17 hectáreas. Sin embargo, para la prueba de conteo de las especies arbóreas tanto manual como automatizado por el script; se trabajará solo con una sección de la imagen para agilizar el procesamiento de la información.

3.6.4.1. Procesamiento de las imágenes.

El procesamiento de las imágenes se realizó con la aplicación móvil DroneDeploy, el mismo que se utilizó para diseñar el plan de vuelo, debido a que esa aplicación aparte de crear el plan de vuelo, también permite crear la ortofoto (unión de todas las fotos registradas por el dron).

3.6.4.2. Contabilización de especies forestales.

Para la identificación y contabilización de especies vegetales se utilizará diferentes herramientas dentro de los SIG, tal como lo es Google Colab, el cual permite ejecutar plugin o script a través de la consola de Python, ya que es un script de código abierto y puede ser modificado por el usuario, de acuerdo a la información obtenida y el objetivo de la

investigación. La generación de códigos en el lenguaje de Python, utiliza módulos y clases de la Interfaz de programación de aplicaciones (API). Esto permite automatizar los distintos parámetros, considerando la información recabada por el UAV.

3.6.5. Validación del conteo de las especies forestales.

Para poder determinar la fiabilidad de la herramienta desarrollada se deberá contabilizar el número de especies arbóreas manualmente, para compararlo con el valor que se obtenga de forma automática tras la ejecución del script. Para este efecto, se debe aplicar la metodología de cuadrantes, se utiliza este método porque permite identificar individuos de una misma especie en un área homogénea.

Se realizó validación de la información con consulta a experto del área forestal, Ing. Walter Cox, docente de la UTEQ, quien revisó la información fotográfica e identificó las especies existentes que fueron localizadas en el recorrido observacional que permitió establecer el inventario de la flora del área estudiada.

3.6.6. Sistema de Información Geográfica (SIG):

Se analizará los componentes: espacial, de atributo o variables y temporal.

3.6.7. Consola de Python

Se pueden ejecutar comandos de la forma más rápida posible, tiene acceso a la API (Application Programming Interfaces), historial de comandos y autocompletado. Se pueden considerar como una buena posibilidad de explorar el Python integrado de Blender. Hace uso de pequeños fragmentos de códigos de Python que pueden seguir una secuencia de comandos más grandes (87).

La consola permite hacer uso de diferentes capacidades de lenguaje sin la necesidad de crear un módulo. Es utilizada como una calculadora poderosa, con sus capacidades similares a la del lenguaje Matlab en diversas tareas. Python cuenta con una librería estándar, cubriendo las necesidades del programador. Se da cobertura de manera intuitiva a tópicos como (88):

- Cadena
- Estructura de datos
- Funciones numéricas y matemáticas
- Compresión de datos
- Formato de archivos
- Criptografía
- Servicios de los Sistemas Operativos
- Comunicación entre procesos
- Manejo de datos de internet
- Servicios multimedia
- Manejo de excepciones
- Visualización, gestión, edición y análisis de datos

3.6.7.1. Ejecución del script.

Permitirá la verificación de la fiabilidad de la herramienta, para ello, se debe ejecutar por lo menos tres veces por cada imagen de prueba, con la finalidad de obtener varios resultados que permitan realizar un cálculo estadístico. A continuación, se indica el proceso a ejecutar:

- Al ejecutarse el código, aparece una pantalla con el nombre de “Clasificador de árboles”, a partir del cual se puede dar inicio al conteo de los mismos.
- Se procederá a dar clic en el botón de “Iniciar conteo” en donde se abre una pantalla de los documentos existentes en la computadora, se debe seleccionar la imagen con la cual se va a realizar la prueba. Es necesario tomar en cuenta que se debe crear una carpeta que contenga la imagen de prueba, puesto que dentro de esta carpeta se

almacenan los resultados. A partir de este momento, el script trabaja automáticamente. La herramienta genera un aviso de las tareas que se están ejecutando en la consola de Python.

- Se debe considerar que el script, aparentemente tiene un fallo en el momento de la ejecución, puesto que pareciera que no está trabajando, incluso el QGIS llega a ralentizarse y a pararse en su totalidad; sin embargo, sí está funcionando, por lo cual se recomienda dejar que la aplicación se continúe ejecutando por debajo del programa.
- Para comprobar que se está ejecutando correctamente, se puede abrir el administrador de tareas mediante el comando de teclas (Ctrl+shift+Esc) y observar el porcentaje de uso por el CPU. El tiempo aproximado de análisis y generación de resultados es de treinta minutos a 1 hora dependiendo de la computadora con la que se trabaje.
- Al finalizar la ejecución de la herramienta, se guardarán todos los archivos resultantes en la carpeta en donde se encuentra la imagen de prueba.
- Finalmente, se abrirán los archivos formato TIF y el Shapefile de “copas” en el QGIS, para una correcta visualización de la información analizada.

De las 15 especies identificadas en la zona de estudio, se seleccionaron cinco especies, por lo que se diseñó una base de datos de aproximadamente 1000 fotografías que fueron ingresadas para trabajar con la “Programación deYOLO”.

3.7. Instrumentos de la investigación

3.7.1. *Colecta y manejo de la información*

Se coleccionará la información de campo con ayuda de los RPAs: Mavic 2 Pro, Mavic Pro y Mavic Air 2. Se procesará utilizando la aplicación móvil de DroneDeploy, cámaras fotogramétricas de UAV, procesador de imágenes: DroneDeploy y Google Colab.

3.7.2. Variables a evaluar

Las variables para evaluar en el estudio serán: número de árboles, tamaño de copa, volumen de segmentación, identificación de árboles, clasificación de árboles, ubicación de árboles en polígonos, identificación de copas y análisis de viabilidad para dirigir una adecuada gestión forestal de los recursos existentes en la finca La María, de propiedad de la UTEQ.

3.7.3. Población y muestra

Las poblaciones de especies arbóreas con las que se ha decidido trabajar son diferentes para cada área de estudio.

3.7.4. Consideraciones éticas

Para la realización de toma de imágenes aéreas en la finca Experimental La María, se ha conversado con el Ing. Eduardo Pinto para que permita el acceso de los RPAs y la toma de imágenes y datos, así como se remitirá comunicación al Sr. Rector para tener el respectivo permiso y validación de la misma.

3.8. Recursos y materiales

3.8.1. Materiales de oficina

- Internet
- Cuaderno
- Lapiceros
- Marcadores
- Hojas A4
- Impresora

3.8.2. *Equipos y software*

- Computador
- RPAs DJI: Mavic 2 Pro, Mavic Pro y Mavic Air 2.
- RPAsDeploy
- Cámaras fotogramétricas de UAV
- Procesador de imágenes: DroneDeploy y Consola de Phyton

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Estado actual del uso de RPAs en la actividad forestal

El uso de sensores remotos, el análisis satelital, la medición de datos *in situ* han sido las principales herramientas empleadas para la monitorización y el estudio de los recursos naturales (59) y propiedades ambientales a partir de imágenes. Sin embargo, a pesar de su gran uso, todavía presenta barreras técnicas como lo son la obtención de información periódica (a nivel de días u horas) en áreas específicas de terreno (29).

Los RPAs, son una tecnología de bajo costo capaz de recolectar información de manera rápida y precisa, con alta resolución espacial (59). Se desarrollaron a principios del siglo XX con fines militares. Mantienen diferentes tamaños, formas y capacidades de operación, con un amplio espectro de aplicaciones civiles y de investigación (38, 3). En la última década adquirieron creciente interés y uso por su gran potencial para aplicaciones ambientales y de conservación (24).

El interés en los RPAs destinados a la obtención de información en la actividad forestal es muy reciente, por lo que existen limitados reportes. Según la información de (8), se puede obtener información: a nivel de árbol individual y parámetros con importancia silvícola: número de árboles, tamaño de copa, estimación de volumen y análisis de viabilidad. En la tabla 3 se reporta los usos atribuidos a los RPAs en la actividad forestal.

Tabla 3.

Usos asignados a los RPAs en la actividad forestal

USO ASIGNADO
Investigar la salud de los bosques (89)
Elaborar inventarios para clasificar y valorar la flora y fauna de la zona. (89)
Planificar la gestión forestal (89)
Ofrecer una respuesta rápida sobre acciones con impacto ambiental, como la tala ilegal o los temporales, por ejemplo (89)
Cartografías de usos del suelo (89)
Reforestación. (89)
Ayudar al desarrollo de la biodiversidad en distintas áreas de producción (89)
Aportar características ecológicas, biológicas y paisajísticas del lugar. (89)

Prevenir posibles riesgos de inundaciones. (89)
Detectar enfermedades y plagas de la flora. (89)
Colaborar en la minimización del impacto ambiental negativo (89).
Analizar las copas de los árboles. (89)
Mejorar procesos productivos (59)
Caracterización del uso de la tierra, (60)
Monitoreo de actividades forestales (60)
Monitoreo del estado de bosques y plantaciones forestales (60)
Cálculo de áreas (60)
Conteo de árboles (25)
Estimación de alturas (25)
Cuantificación de la erosión (61)
Detectar las áreas donde existen individuos enfermos (90)
Detectar automáticamente árboles individuales en distintos tipos de bosque (91)

4.2. Características de la cobertura vegetal arborea

Se realizó los sobrevuelos con los RPAs: Mavic Pro, Mavic 2 Pro y Mavic Air 2, detectándose que los RPAs Mavic Pro, Mavic Air 2; presenta, en el caso del primer modelo un problema de humedad en el lente y en el segundo modelo menor calidad en las fotos lo que no viabiliza imágenes claras que permitan identificar la información requerida.

En el caso del modelo Mavic 2 Pro, fue el que presento un mejor resultado al momento de la toma de fotos mostrando una gran nitidez y claridad en ellas.

El estudio de la cobertura vegetal empleando la aplicación dronedeploy y la información obtenida con el RPAs permitió georreferenciar, tratar y clasificar las imágenes *in situ*, realizar el análisis digital de las imágenes y sensores y, diseñar el mapa de cobertura vegetal de la zona objeto de estudio (Figura 11), el cual comprende una amplia gama de biomasa con diferentes características fisonómicas y ambientales.

El área vegetal objeto de estudio corresponde a un aproximado de 17 Has, localizadas en las coordenadas: 666781.916E - 9879909.569N 17M. Mantiene una laguna separada en tres secciones, con un total de 1,918 has, dos cienagas separadas entre sí por caminos rurales

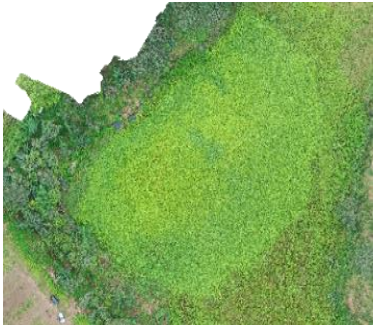
que constituyen 1,156 has. Tanto la laguna como las cienagas mantienen en su entorno especies como *Cecropia peltata* L (guarumo), *Tabebuia chrysantha* (guayacan), *Muntingia calabura* (niguito), *Tectona grandis* L. (teca) y *Triplaris cumingiana* (fernán sánchez); un área de producción animal (conejos, chivos y cuyes) de aproximadamente 253,7230 m². El área de cobertura vegetal corresponde a 9,306 has.

El mapa de uso del suelo y cobertura del suelo obtenidos mediante las imágenes de los RPAs, reportan el tipo de formación vegetal, correspondiendo a cultivos de especies agrícolas, forestales, cultivos de paja, herbáceas y protectoras de recursos hídricos (laguna y cienaga).

Tabla 4.

Usos de suelo

	Primera sección de la laguna. Constituye un área de 11093816.9031 y un perímetro de 17063.8495 correspondiente a 1,109 Has.
	Segunda sección de la laguna. Constituye un área de 3210941.0618 y un perímetro de 7177.4493 correspondiente a 321,09 m².

	Tercera sección de la laguna. Constituye un área de 4875765.2784 y un perímetro de 9974.5158 correspondiente a 487,57 m².
	Primera cienaga separada. Constituye un área de 4405725.5115 y un perímetro de 8234.2418 correspondiente a 440,57 m².
	Segunda cienaga separada. Constituye un área de 7164442.8089 y un perímetro de 10732.4927 correspondiente a 716,44 m².
	Zona de producción animal. Constituye un área de 2537230.6994 y un perímetro de 10271.7770 correspondiente a 253,72 m².

	Zonas de producción agrícola. Constituye un área de 10958812,7123, 6352884,2799, 692362,2434 y un perímetro de 15604,3869, 12573,4945, 3147,6280 correspondiente a 1,095 Ha, 635,28 m² y 69,23 m²; dando un total de 1,799 Ha.
	Zonas forestales. Constituye un área de 5669689.7562, 11389654,8465, 2527003,7630, 8731496,2972 y un perímetro de 24210,9996, 17291,0448, 9240,0946, 14081,4212 correspondiente a 566,96 m², 1,138 Ha, 252,70 m² y 873,14 m²; dando un total de 2,830 Ha.

Tabla 5.*Total de porcentaje de uso de suelos en el área de estudio*

Uso de suelo	Porcentaje
Áreas agropecuarias	1,492%
Cuerpos de agua	11,28%
Ciénagas	6,80%
Zonas agrícolas	10,58%
Área forestal	16,65%
Zonas arbustivas	53,19%
TOTAL	100%

Las áreas agropecuarias representan el 1,492% del área de estudio con 17 hectáreas, los cuerpos de agua que representan el 11,28%, las ciénagas un 6,80%, las zonas agrícolas con 1,799 hectáreas representan el 10,58%, el área forestal con 16,65% y las zonas arbustivas con un 53,19% el cual mantiene una mínima presencia de suelo desnudo destinada a caminos y áreas de estacionamiento vehicular.

El recorrido observacional determinó que presenta una característica de manipulación antrópica debido al incremento de cultivos agrícolas para practicas de investigación de las carreras agropecuarias y, la construcción de unidades académicas y administrativas, modificando los patrones de comportamiento de las especies como unidades espaciales.

La cobertura vegetal tiene mayor presencia de las especies agrícolas: *Musa paradisiaca* (platano) y *Theobroma cacao* (cacao) forestales: *Cecropia peltata* L. (guarumo), *Swietenia macrophylla* (caoba), *Tabebuia chrysantha* (guayacan), *Tectona grandis* (teca), *Triplaris cumingiana* (fernán sanchez), *Cedrela odorata* (cedro), *Maclura tinctoria* (L.) (moral fino), *Colubrina arborescens* (caoba de manabí) y frutales: *Citrus clementina* (mandarina), *Spondias purpurea* (ciruela). Se considera que existen escenarios tendenciales por las actividades académicas de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, que influirán en la presencia de estas especies en los años próximos.

Figura 12.

Mapa de cobertura vegetal



4.3. Inventario de la flora arborea

El recorrido observacional y los sobrevuelos realizados con el RPAs Mavic 2 Pro, determinó que mantiene como característica de cobertura la presencia de especies forestales y agrícolas.

En el recorrido observacional con el acompañamiento del Ing Eduardo Pinto, Administrador de la Finca La María, se identificó las especies existentes en el área estudiada (Tabla 6), las mismas que fueron validadas por el Ing. For. Waler García Cox, docente de la UTEQ.

Tabla 6.

Inventario de la flora arborea. Finca La María, propiedad de la UTEQ

No	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	GÉNERO	FAMILIA	NO. INDIVIDUOS	OBSERVACIONES
1	Guarumo	<i>Cecropia peltata L.</i>	Cecropia	Urticaceae	53	
2	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	Swietenia	Meliaceae	356	
3	Guayacan	<i>Tabebuia chrysantha</i>	Tabebuia	Bignoniaceae	11	
4	Niguito	<i>Muntingia calabura</i>	Muntingia	Muntingiaceae	4	
5	Teca	<i>Tectona grandis</i>	Tectona	Lamiaceae	19	
6	Platano	<i>Musa paradisiaca</i>	Musa	Musaceae	123	
7	Fernan Sanchez	<i>Triplaris cumingiana</i>	Triplaris	Polygonaceae	5	
8	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Cedrela	Meliaceae	6	Árboles poco desarrollados
9	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	Theobroma	Malvaceae	808	
10	Tulipan africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Spathodea	Bignoniaceae	1	
11	Platanillo	<i>Heliconia</i>	Heliconia	Heliconiaceae	64	
12	Moral fino	<i>Maclura tinctoria (L.)</i>	Maclura	Moraceae	23	Árboles poco desarrollados
13	Mandarín a	<i>Citrus clementina</i>	Citrus	Rutaceae	8	
14	Ciruela	<i>Spondias purpurea</i>	Spondias	Anacardiaceae	7	
15	Caoba de Manabi	<i>Colubrina arborescens</i>	Colubrina	Ramnaceae	49	

Los sobrevuelos realizados por los drones de la marca DJI: Mavic 2 Pro, Mavic Pro, Mavic Air 2, presentaron limitada visibilidad de las especies arboreas. Los mejores resultados se obtuvieron con el dron Mavic 2 Pro.

Se diseñó una base de datos de aproximadamente 1000 fotografías de las cinco especies seleccionadas, que fueron ingresadas para trabajar con la “Programación deYOLO”.

Los resultados obtenidos permitieron identificar que la programación de YOLO aplicada en la consola de PYTHON permitió detectar e identificar correctamente ciertas poblaciones de las especies de Guayacán (*Tabebuia chrysantha*) y Caoba (*Swietenia macrophylla*); sin embargo, las otras especies como Niguito (*Muntingia calabura*), Teca (*Tectona grandis*), Guarumo (*Cecropia peltata L.*) les asumía nombres diferentes. En la tabla 7 se presenta el nombre común y color asignado en la imagen de las especies.

Tabla 7.

Especies forestales localizadas en el área de estudio por colores

No.	NOMBRE COMÚN	COLOR ASIGNADO EN EL RECUADRO DE LA IMAGEN
1	Teca	Verde claro
2	Guayacán	Naranja
3	Caoba	Rojo
4	Niguito	Amarillo
5	Guarumo	Rosado

Las imágenes presentadas a continuación reportan las especies detectadas por la Programación de YOLO y el color asignado a las mismas.

Figura 13.

Registro fotográfico de la zona forestal

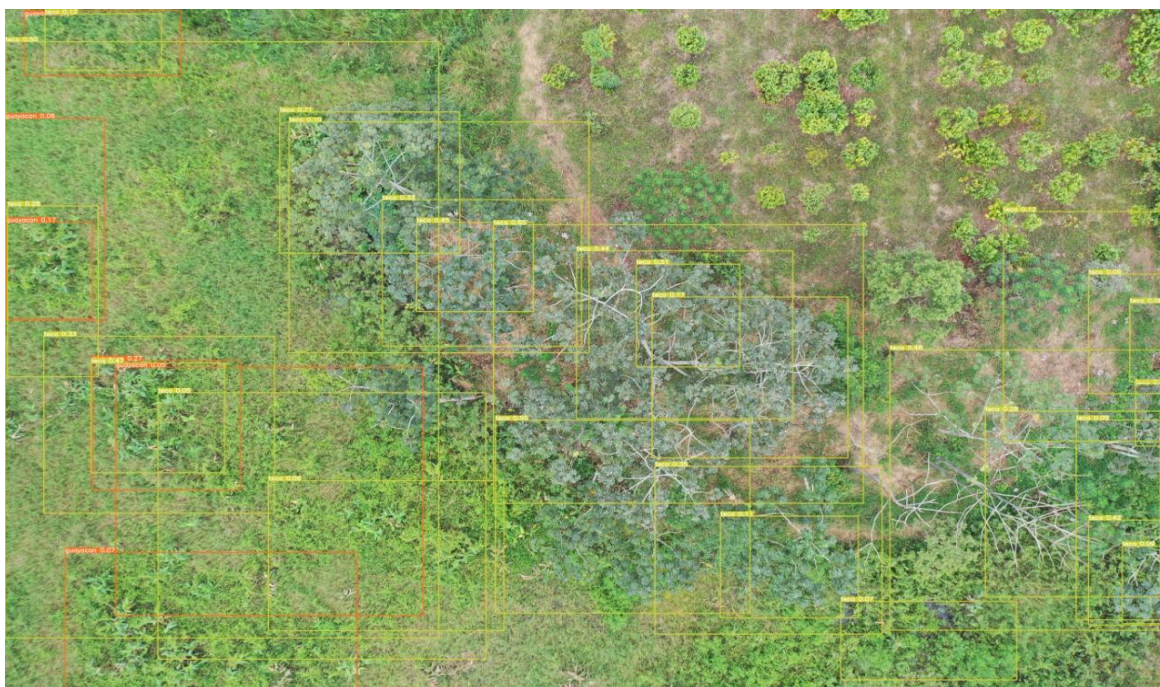


Figura 14.

Registro fotográfico de la zona forestal



Figura 15.

Registro fotográfico de la zona forestal



Figura 16.

Registro fotográfico de la zona de producción animal



Figura 17.

Registro fotográfico de la zona de producción animal



Figura 18.

Registro fotográfico de la zona forestal



Figura 19.

Registro fotográfico de la zona forestal

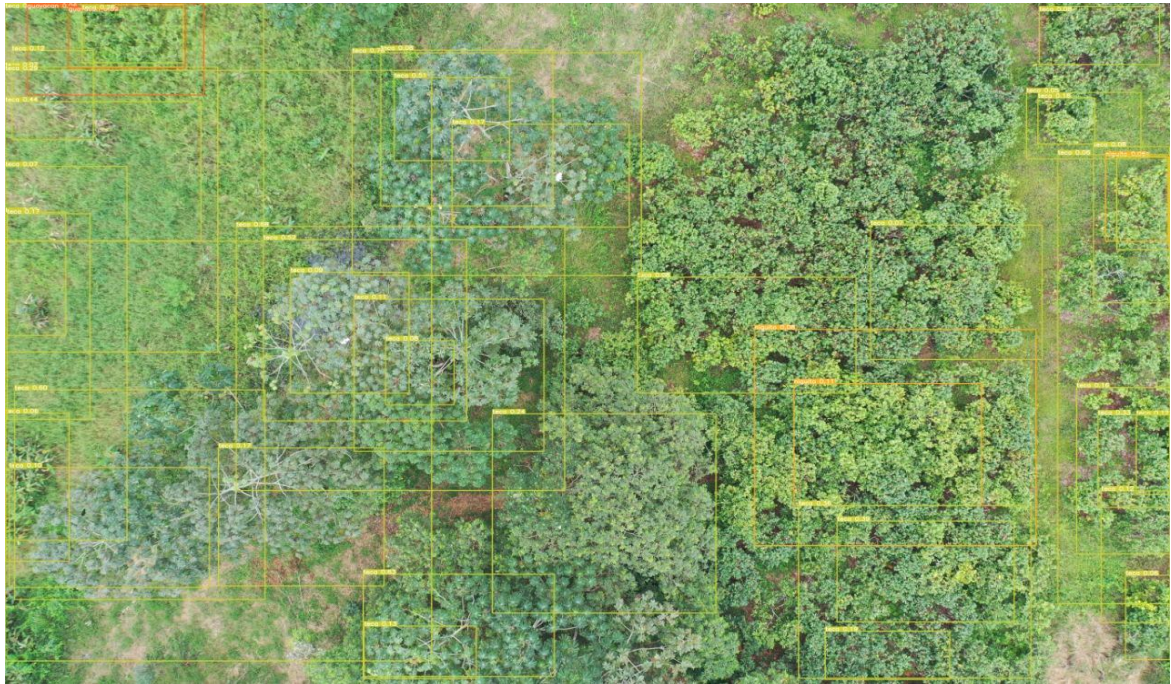


Figura 20.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna



Figura 21.

Registro fotográfico de la zona forestal



Figura 22.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna

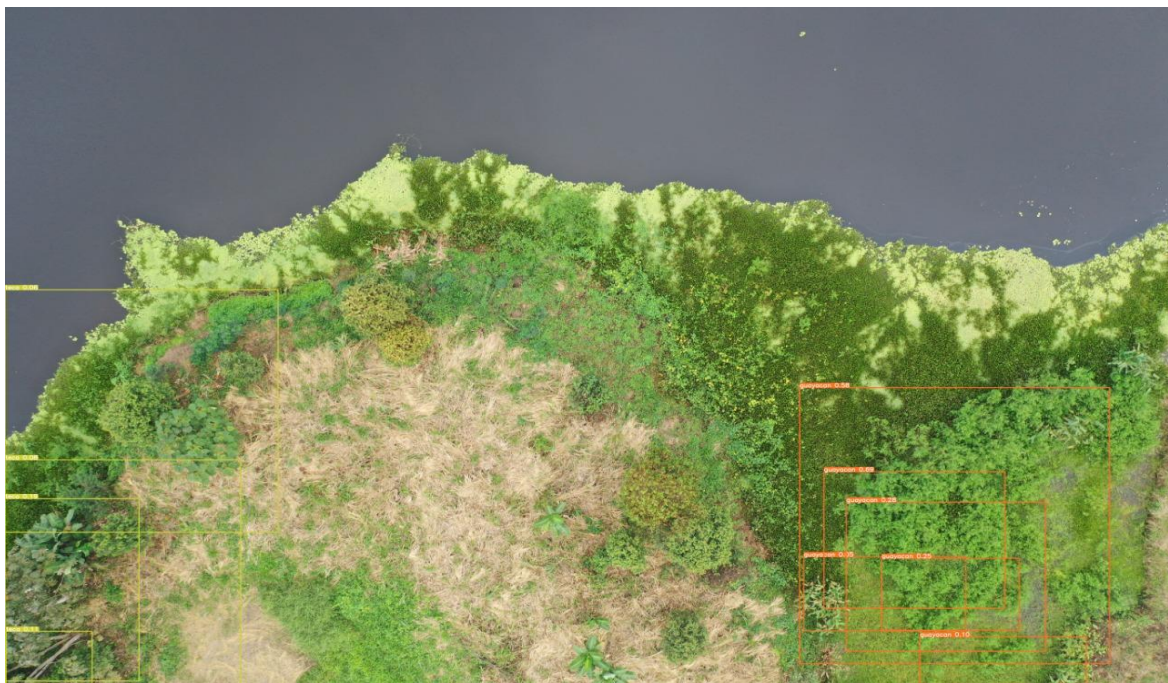


Figura 23.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna

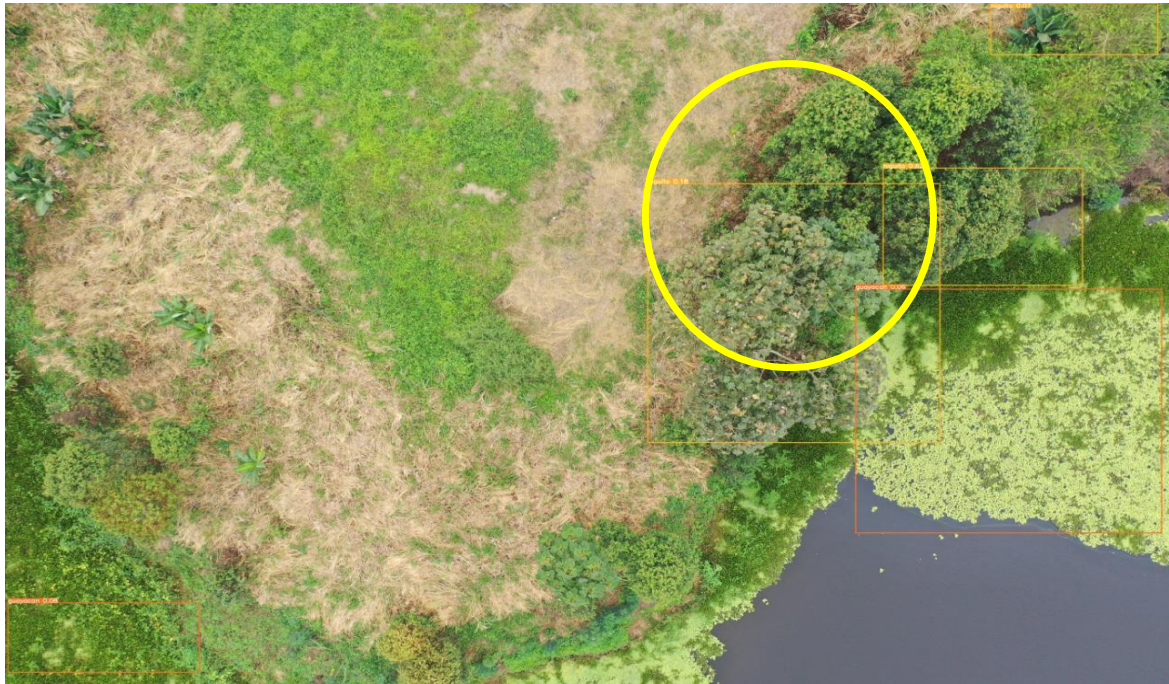


Figura 24.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la ciénaga

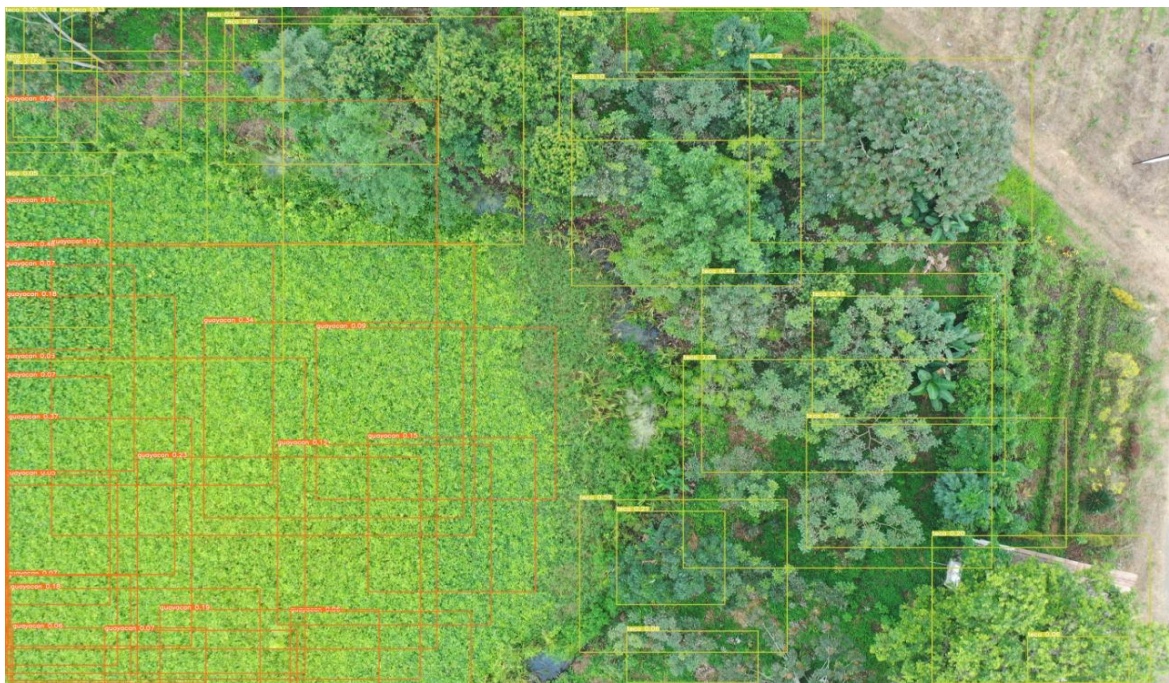


Figura 25.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la ciénaga



Figura 26.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna



Figura 27.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna



Figura 28.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna



Figura 29.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna



Figura 30.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la ciénaga



Figura 31.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la ciénaga



Figura 32.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la ciénaga



Figura 33.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna



Figura 34.

Registro fotográfico de la zona forestal cercana a la laguna



4.4. Características paisajística

El área de estudio mantiene el uso y manejo del territorio con espacios verdes conformados por cultivos agrícolas, forestales y frutales contribuyendo al equilibrio de los factores bióticos y abióticos, manteniendo homogeneidad en el paisaje y la existencia de especies biológicas diversas. Se observa que no existe problemas de deforestación, fragmentación y degradación de los bosques, los cuales representan el mayor indicador del paisaje y los sistemas terrestres.

Estos resultados se completaron y verificaron con la información obtenida en el recorrido observacional *in situ*.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Discusión

5.1.1. *Estado actual el uso de RPAs en la actividad forestal*

Se ha referido su uso para el conteo y medición de árboles, monitoreo del estado de bosques y plantaciones forestales, caracterización del uso de la tierra, estudios de fotointerpretación, identificación de especies, estado fitosanitario de los individuos y evaluación del estrés hídrico de la cobertura vegetal (25).

Diversos estudios muestran su aplicación para la planificación y manejo forestal sostenible, estudios de dinámica y estructura del bosque, determinación de volumen, mapeo, detección de infestación de plagas, conteo de árboles y determinación de altura del dosel (92). Además, se refieren actividades con gran potencial en el futuro como la detección de especies en rodales, evaluación de la perturbación de los bosques, identificación de brechas en los claros como indicadores de biodiversidad (29), entre otros.

Por otra parte, UNAM (93), refiere su uso para sobrevolar los bosques tropicales, como potencial para la mejora del monitoreo forestal comunitario, ara Controlar los cambios de cobertura forestal, para medición del carbono con miras a apoyar los esfuerzos de mitigación del cambio climático.

Koh y Wich (24), en su estudio lograron detectar con el uso de esta tecnología, distintas actividades humanas que afectan los recursos naturales como lo son los incendios forestales y la tala de árboles, Yuan *et al.* (94), propusieron un método que utiliza imágenes RGB y patrones de movimiento para detectar incendios forestales. Los autores afirman que una combinación de este método con otras técnicas podría disminuir la tasa de falsos positivos. Con este tipo de metodologías se podría detectar focos de incendio incipientes para una rápida atención del mismo, a la vez que puede ofrecer información relevante en la toma de decisiones respecto al manejo y adecuada atención de un siniestro. Según Guevara-Bonilla *et al.* (59), en Costa Rica el uso de RPAs se ha enfocado en mejorar procesos productivos en los campos agrícola y forestal.

A pesar de que en regiones como Europa o Asia la cantidad de trabajos científicos enfocados en el uso y aplicaciones de los RPAs es extenso y ha sido bien documentado, el desarrollo de aplicaciones en la región de América Latina es incipiente y la mayoría de estudios se concentran en cuatro países: Brasil, Perú, Colombia y Costa Rica. Los estudios científicos realizados hasta el momento se han enfocado principalmente en el campo forestal y agronómico (59).

En Brasil en el trabajo de Vivaldini *et al.* (90), en el cual desarrollaron un marco de referencia para poder planificar vuelos de una manera más eficiente con el fin de detectar las áreas donde existen individuos de eucalipto enfermos. El estudio realizado por Klein-Hentz (91), en dos de los sitios de estudio en Paraná, Brasil, plantación de eucalipto joven y plantación adulta de eucaliptos y pinos, aseguraron haber desarrollado una herramienta que permite detectar automáticamente árboles individuales en conjuntos de datos obtenidos de vehículos aéreos no tripulados (UAV) obteniendo resultados satisfactorios en distintos tipos de bosque. En este estudio también se comprobaron los resultados de esta herramienta en bosque natural.

Aguilar (25), menciona el uso de los RPAs en el sector forestal para el conteo y medición de árboles, monitoreo del estado de bosques y plantaciones forestales, caracterización del uso de la tierra, estudios de fotointerpretación, identificación de especies, estado fitosanitario de los individuos y evaluación del estrés hídrico de la cobertura vegetal.

La posibilidad de volar en cualquier momento necesario y de adquirir imágenes de alta resolución espacial ofrece la oportunidad de estudiar la identificación de las plantas, lo que ha sido difícil con los sistemas ordinarios de teledetección por satélite. Banu *et al.* (92), reportaron diversos estudios de las aplicaciones de los RPAs para la planificación y manejo forestal sostenible, estudios de dinámica y estructura del bosque, determinación de volumen, mapeo, detección de infestación de plagas, conteo de árboles y determinación de altura del dosel.

Se los ha aplicado en la estimación de parámetros dendrométricos. Los estudios realizados en Canadá y en países europeos estimaron la altura de los árboles, la anchura de la copa, el área basal, el número de tallos; y de modelar el volumen bruto de las existencias y la biomasa sobre el suelo (104, 105, 106, 107).

Zahawi *et al.* (95), realizaron el seguimiento de la restauración de los bosques tropicales en Costa Rica con RPAs, lograron predecir la altura del dosel y la biomasa por encima del suelo con el mismo nivel de precisión que los sistemas LiDAR. Clasificaron las especies de árboles y la cuantificaron los vacíos espaciales en los bosques.

Burchfield (96), logró cartografiar árboles y arbustos invasores en el este de Kansas (Estados Unidos). Las imágenes multitemporales diferenciaron las especies de árboles en el sur de Bélgica (97).

Getzin *et al.* (98), utilizaron imágenes para analizar los patrones de huecos en el dosel de los bosques en Alemania. Este estudio de los patrones espaciales de huecos en el dosel de los bosques es relevante como indicador de biodiversidad. Se determinaron la altura del dosel de una mezcla de rodales de frondosas de edad desigual con predominio de robles y rodales de coníferas de edad uniforme en Bélgica y Estados Unidos (112, 113).

En Brasil, se integró el uso de imágenes provenientes de RPAs y datos de campo para estudiar cómo ha impactado la actividad humana a la biodiversidad en la Amazonía (99). Algunas comunidades indígenas de Panamá han usado la tecnología de los RPAs para la protección y conservación de los recursos naturales documentando la ocupación y conversión de las zonas boscosas y la tala ilegal mediante el monitoreo de las tierras en territorios indígenas (100).

Tienen potencial para el seguimiento de la recuperación tras un incendio y la protección de los bosques. Han contribuido a la vigilancia de los incendios forestales, especialmente en entornos topográficos difíciles (116, 117). Generan información sobre el estado de la vegetación, el estrés hídrico y los índices de riesgo antes de que se produzca un incendio. Los RPAs con sensores infrarrojos y visibles permiten la detección y monitorización de incendios.

Se ha estudiado la estructura de los incendios forestales y detectó el comportamiento en tiempo real, como la ubicación y la forma del frente de fuego, la velocidad de propagación y la altura de las llamas del incendio (118, 119).

Ayudan a vigilar la salud de los bosques y a cartografiar enfermedades forestales. Se han utilizado los sensores visibles e infrarrojos para elaborar mapas de infestación de plagas en Alemania (101). Son herramientas vitales para la reconstrucción en 3D para la modelización del crecimiento (102). Se estudió los patrones estacionales de cambio de la vegetación de los humedales (103).

El manejo de las plantaciones forestales supone un reto a la hora de realizar su cartografía y monitorear desde el terreno, lo que ha motivado en Colombia a utilizar RPAS, para recoger datos y realizar el inventario forestal, contornos de la plantación y el volumen de madera en pie, las cuales fueron validadas con mediciones comunes en parcelas de campo para obtener datos de control y una mayor verificación de los datos. La información obtenida facilitó la rectificación precisa con ortofotos del mosaico del paisaje, así como la validación estadística de los datos del dron. A partir de esto, se creó un modelo digital del dosel arbóreo, la superficie y el terreno. Para el seguimiento y como base para futuras actividades de gestión se determinaron características como el volumen de madera en pie, el número de árboles, la altura de los árboles, el DAP (diámetro a la altura del pecho) y el incremento medio anual (IMA) (104).

Se define que los RPAS tienen importancia para estudiar las condiciones del hábitat y comprender el estado de la biodiversidad (105). Por ello, se espera un crecimiento en el uso de RPAs para estudiar la dinámica de los bosques, la composición de las especies de los rodales, las perturbaciones y otros atributos de los bosques (92). Como un apoyo a la gestión forestal participativa, especialmente en los países en desarrollo, que permita evaluar los impactos de intervención y como herramienta de planificación de nuevas acciones. Se considera que mejorarán los planes de gestión forestal comunitaria en los trópicos del planeta (106).

Usar RPAs para evaluar las plantaciones forestales representaría múltiples beneficios, de acuerdo con un grupo de investigadores que desarrolló un protocolo que agilizaría los tiempos del muestreo y reduciría los costos del proceso a los dueños de las fincas. Calcular áreas, número de árboles por hectáreas, ancho de copa y altura de los árboles, área efectiva y el estado sanitario de las plantaciones, será más sencillo con la utilización de este protocolo, que establece una serie de lineamientos para desarrollar la tecnología de cómo emplear los RPAs (107).

5.1.2. *Características de la cobertura vegetal arborea*

Las áreas agropecuarias representan el 1,492% del área de estudio con 17 hectáreas, los cuerpos de agua que representan el 11,28%, las ciénagas un 6,80%, las zonas agrícolas con 1,799 hectáreas representan el 10,58%, el área forestal con 16,65% y las zonas arbustivas con un 53,19% el cual mantiene una mínima presencia de suelo desnudo destinada a caminos y áreas de estacionamiento vehicular.

De acuerdo a Durán-Zuazo y Rodríguez-Ptequezuelo (108), la cobertura vegetal agrega materia orgánica, amortiguan energía del impacto de las gotas de lluvia. Su aporte de hojaraz ca, ramas proveen rugosidad a la superficie del suelo y reducen la escorrentía superficial. (109) refiere que los troncos y tallos actúan como obstáculos durante el arrastre de partículas promoviendo la sedimentación.

Las raíces incrementan la capacidad de infiltración del agua hacia el subsuelo evitando movimientos de masa o deslizamientos severos. Los cambios, ya sean naturales o antrópicos, influyen en los procesos de agregación de suelo, de infiltración y en el proceso de erosión (110). Además, McHugh *et al.* (111), refiere que el impacto de las fuerzas erosivas es menos agresivo en suelos con coberturas arbóreas.

5.1.3. Inventario arboreo

En el recorrido de observación se determinó una mayor presencia de las especies nativas: *Swietenia macrophylla* (caoba) con 356 individuos, seguida de *Cecropia peltata* L (guarumo) con 53 individuos, *Tabebuia chrysantha* (guayacan) con 11 individuos y, *Triplaris cumingiana* (fernán Sánchez) con cinco individuos y, las cuales son significativamente abundantes en esa zona de la finca. *Maclura tinctoria* (L.) conocida como moral fino, mantiene 23 individuos; sin embargo, no es una especie nativa del Ecuador.

Los RAPs están siendo muy utilizados en varios campos de las ciencias la ingeniería civil (7), (40); medio ambiente (41), (42), (43), (44); vida silvestre (24), (45), (46); aguas y ríos (25), (44), (47), (48), (49), (50); minería (51); desastres naturales (52); emergencia y rescate (53); periodismo (54); logística (55); geología (56); agricultura (19), (25), (57), (58); forestal (59), (60), (61) y, otras actividades (57), (62), (63), (64).

Sin embargo, su uso en la obtención de datos de especies forestales es limitado. Se ha referido su aplicación para determinar el uso de la tierra, monitoreo de actividades y cálculo de áreas, en el conteo de árboles, la estimación de altura y la cuantificación de la erosión. Existe escasa información sobre la posibilidad de determinar la especie por género y familia. En esta investigación no se pudo analizar y determinar el número de individuos ya que la población existente en el área de estudio correspondía a una diversidad de especies forestales, agrícolas y otras especies ornamentales silvestres como platanillo y tulipán africano.

Los resultados obtenidos en esta investigación determinaron que la programación de YOLO aplicada en la consola de PYTHON detectó e identificó ciertas poblaciones de Guayacán y Caoba. A las especies de Niguito, Teca y Guarumo, les asumió nombre diferentes.

El reconocimiento de objetos en imágenes ha sido una tarea tradicionalmente compleja para los sistemas computacionales y la dificultad se incrementa si se desea realizar en tiempo real. Si bien YOLO v3 y YOLO v5 es considerada como una tecnología de punta en la detección de objetos en tiempo real y brinda alto rendimiento en la detección de objetos, requiere de un GPU's, la versión 5 provee información más exacta que la versión anterior.

Barba (67), refiere que se debe considerar problemas en la obtención de la información debido a la variación en una o varias clases e instancias de objetos, ya que el objeto al presentarse muestra información sobre diferentes horarios de captura del objeto, ubicaciones, condición de clima, el tipo de cámara, fondos, iluminación y distancia, lo cual produce importantes cambios en la apariencia del objeto tal como: pose, la oclusión (un objeto oculta a otro), punto de vista, iluminación, sombras, desenfoque y movimiento. La variación de clases se puede evidenciar también en el color, la textura, la forma, el tamaño y la resolución. Si los objetos se encuentran muy alejados y la resolución de la imagen es baja, esto ocasiona dificultades en ubicar correctamente los objetos.

Se ha referido que las condiciones atmosféricas, el exceso de sol, las lluvias, la niebla o la neblina cambian las condiciones de iluminación y la recepción de la información en los sistemas de detección (131, 132, 133).

Liu *et al.* (112), refiere que la detección de objetos es el proceso de determinar si en una imagen existe o no la presencia de objetos, y de ser efectivo esto, se tiene que encontrar su ubicación y la categoría a la que pertenece cada uno de ellos. Mayor cantidad de investigaciones se realizan sobre objetos bien estructurados como: carros, bicicletas, aviones,

motos, etc. y, articulados como personas y animales, que sobre ambientes no estructurados como el pasto, nubes, cielo, etc. en el que se puede incluir las especies forestales.

Lo expuesto anteriormente, valida los resultados obtenidos, ya que: 1) se realizó el sobrevuelo del dron en a las 09H00, en un horario que presentó alta nubosidad y viento leve; 2) al momento de registrar el material fotográfico, la resolución de las imágenes captadas por el dron que se ingreso a la programación de YOLO, correspondía a 20 megapíxeles; 3) que las especies existentes en el área mantenía diferente color, textura, forma y tamaño: 4) que el objeto de la investigación correspondía a ambientes no estructurados (vegetación).

El resultado de una investigación sobre el uso de frameworks en la detección de objetos, Barba-Guaman *et al.* (113), menciona algunos retos que existen y hace énfasis que es necesario buscar el “detector ideal”, el cual, al ser implementado a través de algoritmos de propósito general, brinde alta exactitud y eficiencia en el proceso de localización y reconocimiento de objetos, manteniendo un equilibrio en el rendimiento y la eficiencia en relación al tiempo de ejecución, uso de la memoria y la capacidad de almacenar grandes cantidades de información ya que se trabaja con una gran base de datos (imágenes o videos).

El uso futuro de este tipo de tecnologías parece apuntar a una mayor automatización en la captura de datos, mejoras en el rendimiento de los tiempos de vuelo y sistemas automatizados con algoritmos complejos capaces de ofrecer información en tiempo real (59).

5.1.4. Características paisajística

La zona estudiada se encuentra circundante a la carretera Quevedo-Mocache, con zonas pobladas a su alrededor con el consecuente desarrollo de zonas urbanas. Se mantiene áreas cultivadas con especies agrícolas y forestales. Mantiene un agroecosistema, conformado por una comunidad predominante de estratos agrícolas, seguido de arbustivos y herbáceos. El 80% del suelo mantiene característica plana (0° a 1°) y, el 20% pendiente suave (3° a 5°).

Los resultados obtenidos de los RPAs informan que en el lugar de estudio se visualizaron varios usos de suelo: zona de laguna, zona de ciénaga, zona de producción animal, zona de producción agrícola y zonas forestales, los cuales son factores determinantes en la vegetación y el paisaje existente en el mismo.

La cobertura vegetal es un indicador ambiental que representa visualmente la calidad del paisaje y su ambiente (114) y aporta al equilibrio ecosistémico. Su pérdida por el uso del suelo e inadecuados sistemas agrícolas conlleva al deterioro del suelo (115). Diferentes mecanismos de representación visual, cognitivos y emocionales condicionan nuestra manera de conocer, percibir y experimentar la realidad (116).

Entre las especies localizadas, el guarumo, aporta a mantener la capacidad de almacenamiento de agua en la laguna, las cienagas y el suelo. De acuerdo a Urrego *et al.* (117), es una especie registrada en bosques aluviales inundados, mostrando fuerte influencia en la composición florística de los humedales forestales.

Según Zavala-Cruz *et al.* (118), el género *Cecropia* es una de las especies más representativas en zonas con vegetación secundaria ya que se desarrolla en zonas donde la vegetación arbórea fue removida para el establecimiento de alguna actividad productiva y que una vez abandonada, permite el ulterior desarrollo de vegetación leñosa, Vidal *et al.* (119) refiere que la familia *Cecropia* son consideradas como especies multiuso. *Cecropia peltata* también ha sido referida como especie remediadora de suelos contaminados con mercurio.

Los espacios verdes contribuyen al mantenimiento de la diversidad biológica y de los servicios ecosistémicos (142, 143, 144, 145). El paisaje es el producto de numerosas interacciones entre los factores bióticos, abióticos y sociales (120), en el cual el uso y manejo del territorio es el factor más determinante en los procesos de deforestación, fragmentación y degradación de los bosques (121), principalmente en las zonas de fácil acceso (122). Es por esto que el uso del suelo realizada por el hombre la hace más simple y con mayor

homogeneidad en el paisaje, constituyéndose en el principal determinante de las medidas del paisaje y el indicador más sensible de los sistemas terrestres (123).

Las especies detectadas aportan al paisaje existente en el área de estudio. El paisaje es la expresión formal del espacio y de los territorios y refleja la visión que la población tiene sobre su entorno: surge de la interacción de elementos sociales, procesos naturales, acciones culturales y construcciones humanas, en los cuales las vías de comunicación tienen el protagonismo en la visión o el impacto que la cultura del hombre tiene sobre su espacio geográfico (124), a su vez, puntualiza que la calidad visual del paisaje geográfico es un reconocido factor de localización de actividades económicas con características singulares.

El potencial de los RPAs para ayudar a comprender, monitorear y detectar amenazas a escala de paisaje abre una alternativa prometedora para el manejo y conservación de especies vegetales (agrícolas y forestales), es cada vez más amplia. Las imágenes RGB y los datos hiperespectrales ofrecen varias ventajas para monitorear los cambios en los patrones de distribución y supervivencia de las especies. Las imágenes RGB se pueden usar para el monitoreo anual de áreas seleccionadas, y las imágenes hiperespectrales se pueden aplicar para el monitoreo de cinco años a nivel de paisaje, con la ventaja de todas las otras aplicaciones conocidas de estos datos (por ejemplo, señales bioquímicas de cambio y detección de especies invasoras). Las direcciones futuras podrían construirse a partir de este método y explorar el mapeo de rasgos de plantas utilizando imágenes hiperespectrales transmitidas por RPAs (125).

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El uso de los RPAs en el manejo de los recursos naturales y la actividad forestal, cada día tiene mayor aplicabilidad por el bajo costo del equipo, su fácil manejo, su versatilidad, el amplio potencial para incrementar la eficiencia de los datos obtenidos.
- Durante los vuelos y toma de datos se observó presencia permanente de nubes; sin embargo, al sobrevolar a 60 m de altura se posibilitó el registro de un aproximado de 1000 imágenes y se obtuvo mayor cobertura que facilitó el análisis y procesamiento de la información.
- El RPAs, modelo Mavic Pro presentó un problema de humedad en el lente de la cámara. El modelo Mavic Air 2 permitió realizar la toma de datos con normalidad; sin embargo, el modelo Mavic 2 Pro realizó la toma de datos con muy buena calidad en las fotografías.
- La nubosidad existente impidió que el dron registre con claridad las imágenes que fueron ingresadas a la programación de YOLO aplicada en la consola de PYTHON, por lo que le dificultó detectar y diferenciar tres de las cinco especies seleccionadas.
- El área mantiene 1,799 Has de cultivos agrícolas, 2,830 has de cultivo forestal, 1,918 has dedicados a la laguna, ciénagas 1,157 has, áreas agropecuarias 253,72 m² y el resto corresponde a zonas arbustivas con presencia de suelo desnudo destinada a caminos y áreas de estacionamiento vehicular 9,042 has.
- Se identificó 15 especies forestales correspondiendo dos a la familia Meliaceae (caoba con 356 individuos y cedro con 6 individuos)
- El espacio paisajístico presenta varios usos de suelo: zona de laguna, zona de ciénaga, zona de producción animal, zona de producción agrícola y zonas forestales.

6.2. Recomendaciones

- Es necesario realizar el sobrevuelo en periodos sin nubosidad para obtener mayor cobertura; sin embargo, en caso de mayor nubosidad, se debe tomar registros de imágenes en diferentes fechas y la compilación espacial.
- Se recomienda utilizar el RPAs, modelo Mavic 2 Pro ya que mantiene una mayor calidad en las fotos y tiene una considerable duración de la batería a comparación de los otros dos modelos.
- Asumir nuevos retos que identifique el “detector ideal” para la detección e identificación de especies forestales en sistemas agroforestales, el cual brinde alta exactitud y eficiencia en el proceso de localización y reconocimiento de objetos; así como, que mantenga equilibrio en el rendimiento y eficiencia en relación al tiempo de ejecución, uso de la memoria y la capacidad de almacenar grandes cantidades de información.
- Se debe realizar más investigaciones para validar los estudios que se encuentran en fase experimental y su uso en la actividad forestal.
- Se recomienda recuperar las lagunas y promover mayor número de especies agrícolas y forestales que viabilicen un hábitat para una diversidad de especies vegetales y animales, de tal forma que pueda ser utilizada con fines turísticos y medioambiental.

CAPÍTULO VII
BIBLIOGRAFÍA

7.1. Bibliografía

1. Gallardo-Salazar JL, Pompa-García M, Aguirre-Serrano PM, Meléndez-Soto A. Drones: tecnología con futuro promisorio en la gestión forestal. *Revista Mexicana de ciencias forestales*. 2021; 11(61): p. 27-50.
2. Montano Oliván L. Navegación de un quadcopter basada en información de un sensor de rango láser. 2016 febrero 5..
3. León Erazo DE. desarrollo de una herramienta mediante un sistema de información geográfica para el conteo de especies automatizado. 2019 febrero..
4. Gallardo-Salazar JL, Pompa-García M, Aguirre-Salado CA, López-Serrano PM, Meléndez-Soto A. Drones: tecnología con futuro promisorio en la gestión forestal. *Revista Mexicana de ciencias forestales*. 2020; 11(61): p. 27-50.
5. Montilla-Pacheco AdJ, Antonio Pacheco H, Pastrán-Calles FRRPIR. Pollination with drones: A successful response to the decline of entomophiles pollinators? *Scientia Agropecuaria*. 2021; 12(4): p. 509-516.
6. G. Solano S. Hoy en el TEC. [Online].; 2022. Available from: <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2022/04/21/ingenieros-potencian-uso-drones-plantaciones-forestales>.
7. González Herrera R, Ucán Navarrete JP, Sánchez y Pinto I, Medina Esquivel R, Árcega Cabrera F, Zetina Moguel C, et al. Drones y aplicaciones en la ingeniería. *Interciencia*. 2019; 44(6): p. 326-331.
8. Vásquez-García I, Cetina-Alcalá VM, Campos-Bolaños R, Casal-Ángeles LF. Evaluación de plantaciones forestales en tres comunidades de la mixteca alta oaxaqueña. *Agroproductividad*. 2016; 9(2).
9. McCall M. investigador senior de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2015 agosto 19..
10. Beloev IH. A Review on Current and Emerging Application Possibilities for Unmanned Aerial Vehicles. *Acta Technologica Agriculturae*. 2016; 19(3): p. 70-76.
11. Chianucci F, Disperati L, Guzzi D, Bianchini D:NV, Lastri C, Rindinella A, et al. Estimation of canopy attributes in beech forests using true colour digital images from

- a small fixed-wing UAV. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2016; 47: p. 60-68.
12. Holopainen M, Vastaranta M, Hyypä J. Outlook for the Next Generation's Precision Forestry in Finland. *Forests*. 2014; 5(7): p. 1682-1694.
 13. FAO. El estado de los bosques del mundo Buenos Aires: ONU; 2020.
 14. ITTO. Reseña bienal y evaluación de la situación mundial de las maderas. Buenos Aires;; 2018.
 15. Ecuador Forestal. Planificación estratégica plantaciones forestales en el Ecuador. Planeacion estratégica. Quito;; 2012.
 16. Cisnero P. Recursos arbóreos y arbustivos tropicales. *Complicadores*. 2018; 1: p. 106-111.
 17. Checa X, Grijalva J. El estado de los recursos genéticos forestales en el mundo. Informe nacional. Quito;; 2012.
 18. Carrera D. Caracterización de especies forestales de la granja "San Pablo" de la Facultad de Ciencias Aprovechamientos. Trabajo experimental. Babahoyo;; 2016.
 19. Berrío V, Mosquera J, Alzate D. ResearchGate. [Online].; 2015 [cited 2022 Abril. Available from: https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/1647.
 20. Departamento de Montes. Inventario Forestal Nacional. Manual de Campo. Guatemala;; 2004.
 21. Ballou RH. Logística. En R. H. Ballou, Administración de la cadena de suministro Mexico: PEARSON EDUCACIÓN; 2004.
 22. Mostacedo B, Fredericksen T. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal Santa Cruz de la Sierra: BOLFOR; 2000.
 23. Cantos O. Drones y su aplicación en seguridad y salud en el trabajo. Tesis. ; 2015.
 24. Koh L, Wich. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical Conservation Science*. 2012; II(5): p. 121-132.
 25. Aguilar L. Evaluación de bosques tropicales mediante el uso de tecnología VANT. *Revista Germinar*. 2016;(19): p. 14-15.

26. Magazine U. Los Drones: Características, Aplicaciones y Tendencias. [Online].; 2017 [cited 2022 junio 20. Available from: <http://universitariomagazine.com/site/index.php/eventos/universitariostravel/los-drones-caracteristicas-aplicaciones-y-tendencias>.
27. Maquinas y Herramientas.. Drones. Una introducción, características y cómo su inclusión cambia la forma de trabajo. [Online].; 2022. Available from: <https://www.demaquinasyherramientas.com/novedades/drones-introduccion>.
28. González E. México Exportador de Drones a República de Chile. 2017..
29. Tang , Shao. Drone remote sensing for forestry research. 2015 December..
30. Escamilla R. Diseño, construcción, instrumentación y control de un vehículo aéreo no tripulado. 2010..
31. Guzmán Alarcón WY. Estado del Arte de la Implementación del Dron en las Actividades Logísticas. 2020..
32. Granillo Macías R, Gonzáles Hernández IJ, Simón-Marmolejo I, Santana Robles F. Aplicaciones de vehículos aéreos no tripulados en la logística. Ingenio y Conciencia. 2019; 6.
33. Pádua , Vanko , Hruska , Adao , JJ , Peres , et al. UAS, sensors and data processing in agroforestry: a review towards practical applications. 2017..
34. Méndez A, Vélez , Scaramuzza , Villaroel. Los drones como herramienta para el monitoreo de cultivos. Revista de la bolsa de comercio de Rosario. 2015;(1524): p. 6-10.
35. Arriola-Valverde , Ferenz-Appel , Rimolo-Donadio. Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos autónomos no tripulados. 2018..
36. Benitez E. ¿Cuáles son las partes de un dron? [Online].; 2018 [cited 2022 marzo 5. Available from: <https://dronprofesional.com/blog/cuales-son-las-partes-de-un-dron/>.
37. LLaguno Sánchez I. Movimiento autónomo de un dron. 2018..
38. Lipyon G. uso de drones para la investigación forestal. 2018 octubre 6..
39. Salgado R. Tecnología dron. 2019..
40. Dron Planet. El papel de los drones en la ingeniería civil. [Online].; 2016 [cited 2022 junio 1. Available from: <http://www.dronplanet.com/el-papel-de-los-drones-en-la-ingenieria-civil/>.

41. Departamento de Comunicación. Aplicaciones y Operación con Drones /RPAS Universidad de Valencia. [Online].; 2015 [cited 2022 marzo 17. Available from: <https://www.uv.es/uvweb/grado-ingenieria-multimedia/es/actualidad/presentacion-diploma-aplicaciones-operacion-drones/rpas-1285923362077/Novetat.html?id=1285947685982>.
42. Cárdenas , Rivera , Gómez , Valencia , Acosta HA, Correa. Short communication: Pollution-andgreenhouse gases measurement system. 2018..
43. Balsley , Lawrence , Woodman , Fritts. Fine-scale characteristics of temperature, wind, and turbulence in the lower atmosphere (0-1300 m) over the south Peruvian coast. 2013..
44. Bandini , López-Tamayo , Merediz-Alonso , Olesen , Jakobsen , Wang , et al. Unmanned aerial vehicle observations of water surfaces elevation and bathymetry in the cenotes and lagoons of the Yucatán Peninsula, Mexico. 2018..
45. Han YG, Yoo SH, Kwon. Possibility of applying unmanned aerial vehicle (UAV) and mapping software for the monitoring of waterbirds and their habitats. 2017..
46. Ivosevic , Han YG, Yoo SH, Kwon. Monitoring butterflies with an unmanned aerial vehicle: current possibilities and future potentials. 2017..
47. Zhao , Zhang , Yang , Liu , Xiang , Sun , et al. Calculating e-flow using UAV and ground monitoring. 2017..
48. Langhammer , Vacková. Detection and mapping of the geomorphic effects of flooding using UAV photogrammetry. 2018..
49. Hemmelder , Marra , Markies , De Jong. Monitoring river morphology and bank erosion using UAV imagery- A case study of the river Buech, Hautes-Alpes, France. 2018..
50. Bandini , Jakobsen , Olesen , Reyna-Gutierrez JA, Bauer-Gottwein. Measuring water level in rivers and lakes from lightweight Unmanned Aerial Vehicles. 2017..
51. Flores OM. Minería en línea. [Online].; 2018 [cited 2022 marzo 21. Available from: <https://mineriaenlinea.com/2018/04/los-drones-continuan-cambiando-a-la-mineria/>.
52. George , Reyes , Rondón , Huechacona , Moctezuma , Proust. Mapeando el desastre: Uso de drones para la ubicación y evaluación de daño después de un sismo de alta magnitud en el sureste de México. 2017..

53. Díaz J. Dirección General del Sistema Estatal de Informática. [Online].; 2022 [cited 2022 junio 13. Available from: https://dgsei.edomex.gob.mx/tecnotips/los_drones_y_sus_aplicaciones#:~:text=Iniciamente%20fueron%20desarrollados%20para%20ser,exactitud%20que%20un%20avi%C3%B3n%20normal.
54. Fernández A. Periodismo y drones. 2018..
55. Giusti F. DispatchTrack. [Online].; 2022 [cited 2022 junio 3. Available from: <https://www.beetrack.com/es/blog/drones-en-procesos-logisticos.>
56. Fernández-Lozano , Gutiérrez-Alonso. Aplicaciones geológicas de los drones. 2016..
57. Greenwood. Drones en el horizonte: la nueva frontera de la innovación agrícola. 2016..
58. Austin. Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment. 2010..
59. Guevara-Bonilla M, Meza-Leandro AS, Esquivel-Segura EA, Arias-Aguilar D, Tapia-Arenas A, Masis-Meléndez F. Use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for the monitoring and management on natural resources: a synthesis. Revista Tecnología en Marcha. 2020 octubre-diciembre; 33(4): p. 77-88.
60. Díaz JA, Pieri , Wright , Sorensen , Kline-Shoder , Arkin , et al. Unmanned aerial mass spectrometer system for in-situ volcanic plume analysis. 2015..
61. Arriola , Villagra , Méndez-Morales , Gómez , Milton SQ, Rímolo-Donadío. Desarrollo y validación de una metodología para la cuantificación de la erosión hídrica a través de fotogrametría UAS. 2019..
62. Pineux , Lisein , Swerts , Bièlders , Lejeune , Colinet , et al. Can DEM time series produced by UAV be used to quantify diffuse erosion in an agricultural watershed? 2017..
63. Obanawa , Hayakawa. Variations in volumetric erosion rates of bedrock cliffs on a small inaccessible coastal island determined using measurements by an unmanned aerial vehicle with structure-from-motion and terrestrial laser scanning. 2018..
64. Clark. Small unmanned aerial systems comparative analysis for the application to coastal erosion monitoring. 2017..

65. Falk D, Campos A. Algoritmo semiautomático para el conteo de árboles en plantaciones forestales mediante el uso de imágenes aéreas. 2014..
66. Miranda Pérez , Solano Arias , Méndez Porras. Introducción al Aprendizaje Automático con YOLO. Revista de la Facultad de Ingenierías y Tecnologías de la Información y Comunicación. 2019 Diciembre; 2(6).
67. Barba Guaman R. Uso de técnicas deep learning para reconocimiento de objetos en áreas rurales. 2021..
68. Jocher , Stoken , Borovec , NanoCode012 , Chaurasia , TaoXie , et al. ultralytics/yolov5: v5.0 - YOLOv5-P6 1280 models, AWS, Supervise.ly and YouTube integrations. 2021..
69. Bagnato. aprendemachinelearning.com. [Online].; 2020 [cited 2022 10 28. Available from: <https://www.aprendemachinelearning.com/deteccion-de-objetos-con-python-yolo-keras-tutorial/#>.
70. Centro Europeo de Postgrado. ¿Qué es la fotogrametría analítica y digital? [Online].; s/f [cited 2022 marzo 21. Available from: <https://www.ceupe.com/blog/fotogrametria-analitica-y-digital.html>.
71. ACRE. ACRE Surveying Solutions. Obtenido de Software de procesamiento der. [Online].; s/f [cited 2022 junio 13. Available from: <https://grupoacre.es/catalogo-productos/pix4dmapper/>.
72. Gis&Beers. Agisoft PhotoScan, ortomosaicos para drones. [Online].; 2016 [cited 2022 junio 3. Available from: <http://www.gisandbeers.com/agisoft-photoscan-ortomosaicos-para-drones/>.
73. Betancour J, Mora J, Viera J. Detección de bordes utilizando la matriz de co-ocurrencia: aplicación a la segmentación de imágenes de frutos de café. Dyna. 2010; 77(164): p. 240-250.
74. Aldalur B, Santamaría M. Realce de imágenes: filtrado espacial. Revista de Teledetección. 2002; 17: p. 31-42.
75. Ruiz L. Universidad Politécnica de València. [Online].; 2018 [cited 2022 octubre 11. Available from: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103650/Ruiz%20-%20Realce%20de%20im%C3%A1genes%20en%20teledetecci%C3%B3n%3A%20%28II%29%20Operadores%20espaciales.pdf?sequence=1>.

76. Páramo J. Revisión sobre la detección del color rojo en imágenes digitales independiente de su luminosidad y tonalidad. Revista Científica. 2016;; p. 139-148.
77. Rojas KR. Redes neuronales y series de tiempo: Una aplicación en valores. Tesis de Grado. Quito: Universidad San Francisco de Quito USFQ; 2018.
78. Zapata A, Perez S, Mora J. Método basado en clasificadores k-NN parametrizados con algoritmos genéticos y la estimación de la. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. 2014;(70): p. 220-232.
79. Hinestroza D. El machine learning a través de los tiempos, y los aportes a la humanidad. Pereira: Universidad Libre Seccional Pereira, Facultad de ingeniería en sistemas; 2018.
80. Valdés L, Baquero J. Deep Learning aplicado a imagenes satelitales como herramienta de detección de Viviendas Sin Servicio de energía en el caserío Media Luna-Uribia-Guajira. 2019..
81. Diaz S, Barragán A. Interpretación de imágenes de satélite con técnicas de Machine Learning para el monitoreo de cultivos. 2020..
82. Guirado E, Martínez J. Potencial de la inteligencia artificial para avanzar en el estudio de la desertificación. Ecosistemas. 2021; 30(3): p. 1-10.
83. Universidad de Murcia. SIG y teledetección. 2017..
84. Fuenmayor Canal JM. Componentes de un SIG. 2021..
85. INIAP. Condiciones agrometeorológicas. Quevedo;; 2014.
86. aerial insights. Cómo planificar capturas de drone. [Online].; 2019 [cited 2022 junio 23]. Available from: <https://www.aerial-insights.co/blog/como-planificar-capturas-de-dron/>.
87. Blender. Consola Python. [Online].; 2022 [cited 2022 octubre 11]. Available from: https://docs.blender.org/manual/es/latest/editors/python_console.html#:~:text=La%20consola%20de%20Python%20es,es%20t%C3%ADpico%20de%20Python%203.
88. Challenger I, Díaz Y, Becerra R. El lenguaje de programación Python/The programming language Python. Ciencias Holguín. 2014; 10(2): p. 1-13.
89. UMILES. [Online].; 2020. Available from: <https://umilesgroup.com/drones-para-uso-forestal-todo-lo-que-debes-saber/>.

90. Vivaldini , Martinelli , Guizilini , Souza , Oliveira , Ramos. UAV route planning for active disease classification. 2019..
91. Klein-Hentz , Dalla Corte , Péllico , Strager , Schoeninger. Tree detection: automatic tree detection using UAV-based data. 2018..
92. Banu , Borlea , Banu. The use of drones in Forestry. 2016..
93. investigador senior de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2015 agosto 19..
94. Yuan , Liu , Zhang. Aerial images-based forest fire detection for firefighting using optical remote sensing techniques and unmanned aerial vehicle. 2017..
95. Zahawi RA, Duran G, Kormann U. Sixty-seven years of land-use change in southern Costa Rica. 2015..
96. Burchfield DR. MAPPING EASTERN REDCEDAR (JUNIPERUS VIRGINIANA L.) AND QUANTIFYING ITS BIOMASS IN RILEY COUNTY, KANSAS. 2014..
97. Michez A, Piégay H, Lisein , Claessens H, Lejeune P. Classification of riparian forest species and health condition using multi-temporal and hyperspatial imagery from unmanned aerial system. 2016..
98. Getzin S, Wiegand T, Hubbell S. Stochastically driven adult–recruit associations of tree species on Barro Colorado Island. 2014..
99. Baena S, Soydt D, Moat. UAV's pursuit of plant conservation-real world experiences. 2018..
100. Tushev N, Bewick , Ellis. Documentando la ocupación ilegal de tierras desde el aire. 2016..
101. Lehmann JR, Nieberding , Prinz , Knoth. Analysis of Unmanned Aerial System-Based CIR Images in Forestry—A New Perspective to Monitor Pest Infestation Levels. 2015..
102. Gatzolis , Lienard , Vogs , Strigul. 3D Tree Dimensionality Assessment Using Photogrammetry and Small Unmanned Aerial Vehicles. 2015..
103. Marcaccio , Markle , Chow-Fraser. UNMANNED AERIAL VEHICLES PRODUCE HIGH-RESOLUTION, SEASONALLY-RELEVANT IMAGERY FOR CLASSIFYING WETLAND VEGETATION. 2015..

104. FORLIANCE. Evaluación del crecimiento de las plantaciones forestales mediante el uso de drones, Colombia. [Online].; 2022. Available from: <https://forliance.com/about-us/projects/evaluacion-del-crecimiento-de-las-plantaciones-forestales-mediante-el-uso-de-drones-colombia?lang=es>.
105. Cabrera Rosero AF. Evaluación del uso de los drones como herramienta de apoyo para un efectivo control y. 2021..
106. Paneque-Gálvez , McCall , Napoletano , Wich , Koh. Small Drones for Community-Based Forest Monitoring: An Assessment of Their Feasibility and Potential in Tropical Areas. 2014..
107. La República. Uso de drones reduciría tiempo y costo de evaluaciones en plantaciones forestales. [Online].; 2022 [cited 2022 julio 1. Available from: <https://www.larepublica.net/noticia/uso-de-drones-reduciria-tiempo-y-costo-de-evaluaciones-en-plantaciones-forestales>.
108. Durán-Zuazo VH, Rodríguez-Ptequezuelo CR. Soil-erosión y runoff prevention by plant covers. *Agronomy for Sustainable Development*. 2008; 28: p. 65-86.
109. Viles HA. The agency of organic beings: A selective review of recent work in biogeomorphology. In *Sons JW&, editor.. Inglaterra; 1990. p. 518.*
110. Bois-Fayos C, Martínez-Mena M, Arnau-Rosalén E, Calvo-Cases A, Castillo V, Albaladejo J. Causes y underlying processes of measurement variability in field erosion plots in Mediterranean conditions. *Earth Surface Processes y Landformsss.* ; 32: p. 85-101.
111. McHugh M, Clarke M, Duzant J, Morgan R, Rickson J. *Jhon Willey & Sons Inc.* 2005;; p. 563-570.
112. Liu L, Ouyang W, Wang X, Fieguth P, Chen J, Liu X, et al. Deep Learning for Generic Object Detection: A Survey. 2020..
113. Barba-Guaman , Naranjo , Ortiz. Deep Learning Framework for Vehicle and Pedestrian Detection in Rural Roads on an Embedded GPU. *Electronics*. 2020 Marzo 31; 9(589).
114. Martínez J. árboles en la ciudad, fundamenos de una política ambiental basada en el arbolado urbanona. MOPT ed. Madrid, España; 1992.
115. Maza Chamba CV. Clasificación y análisis de la cobertura vegetal sobre la subcuenca Zamora Huayco-cantón Loja. 2009..

116. Cárdenas-Pérez RE, Godoy-Urbe GM, Figueroa Gutierrez EE. Aerial Image as a Pictorial Representation of the Topographic Photointerpretation of the Province of BíoBío. *Pensamiento, palabra y obra*. 2020;(21): p. 124-141.
117. Urrego LE, Bernal G, Polanía DH, Ramírez LF. Pollen distribution on surface sediments of a Colombian Caribbean mangrove. *Rev Palaeobot Palynol*. 2009; 156: p. 358-371.
118. Zavala-Cruz J, CAO, OCAI, PLDJ, JLJF, SGSea. Capacidad de uso del suelo urbano en Tabasco con base en suelo, uso actual y vegetación. 2009..
119. Vidal J, Marrugo J, Jaramillo B, Perez L. Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (*cecropiampeltata*). *Ingeniería y Desarrollo*. 2010 enero-junio;(27): p. 113-129.
120. Torres-Gómez M, Delgado L, Martín V, Bustamante O. Estructura del paisaje a lo largo de gradientes urbano-rurales en la cuenca del río Aisén (Región de Aisén, Chile). 2009..
121. Armenteras D, Vargas O. Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. 2016..
122. Vergara G, Galloso J. Efecto de factores físico-sociales sobre la degradación del bosque nativo. 2004..
123. Peng , Mi K, Qing F, Xue D. Identification of the main factors determining landscape metrics in semi-arid agro-pastoral ecotone. 2016..
124. Serrano. Valoración escénica de paisaje periurbano con utilidad en planeamiento territorial. Estudio de caso en la Región Metropolitana de Barcelona. 2015..
125. Garzón-López CX, Lasso E. Clasificación de especies en un ecosistema alpino tropical utilizando imágenes RGB e hiperespectrales transmitidas por UAV. *Drones*. 2020..

CAPTULO VIII
ANEXOS

Anexo 1.

Identificación de la zona de estudio.



Anexo 2.

Establecimiento del plan de vuelo en la aplicación dronedeploy



Anexo 3.

Sobrevuelo con RPAs en el área establecida de la finca experimental La María



Anexo 4.

Equipos de RPAs



Anexo 5.

Sobrevuelo



Anexo 6.

Equipo de trabajo y manejo de RPAs

