



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

**COMPARACIÓN DE VARIABLES DASOMÉTRICAS OBTENIDAS
EN EL MÉTODO TRADICIONAL Y DRONES EN
PLANTACIONES DE *Pinus radiata* D. DON EN LA PARROQUIA
PALMIRA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO FORESTAL

AUTOR:

IVAN PATRICIO HUISHA MARCATOMA

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

COMPARACIÓN DE VARIABLES DASOMÉTRICAS OBTENIDAS
EN EL MÉTODO TRADICIONAL Y DRONES EN
PLANTACIONES DE *Pinus radiata* D. DON EN LA PARROQUIA
PALMIRA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO FORESTAL

AUTOR: IVAN PATRICIO HUISHA MARCATOMA

DIRECTOR: ING. HERNÁN ERIBERTO CHAMORRO SEVILLA MSc.

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Ivan Patricio Huisha Marcatoma

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Ivan Patricio Huisha Marcatoma, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 05 de junio de 2024



Ivan Patricio Huisha Marcatoma

0605574094

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **COMPARACIÓN DE VARIABLES DASOMÉTRICAS OBTENIDAS EN EL MÉTODO TRADICIONAL Y DRONES EN PLANTACIONES DE *Pinus radiata* D. DON EN LA PARROQUIA PALMIRA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, realizado por el señor: **IVAN PATRICIO HUISHA MARCATOMA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Miguel Ángel Guallpa Calva MSc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



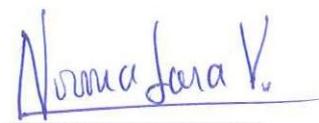
2024-06-05

Ing. Hernán Eriberto Chamorro Sevilla MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-06-05

Ing. Norma Ximena Lara Vásconez MSc.
ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-06-05

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios, por guiarme por el camino correcto en los obstáculos que se presentaron a lo largo de mi carrera universitaria. A mis padres Luis Huisha y María Marcatoma quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir más que un sueño una meta, por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Víctor, Narciza, Abel y Elva por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A la Escuela de Ingeniería Forestal, a todos los profesores por ayudarme en mi formación académica, por estar siempre apoyándome en las diferentes etapas de este proceso universitario.

Ivan Patricio Huisha Marcatoma

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un sincero agradecimiento, a Dios por siempre estar presente en los peores y mejores momentos y brindarme salud, fortaleza y la capacidad de resolver los problemas que se han presentado; a mis padres por su guía experta, su paciencia y su apoyo constante a lo largo de todo el proceso formativo de mi carrera universitaria.

También hago extenso este reconocimiento al personal académico y administrativo de la Escuela de Ingeniería Forestal, quienes me han dado las pautas para mi formación profesional especial a mis tutores, Ing. Hernán Chamorro e Ing. Norma Lara quienes supieron guiar con sus conocimientos para hacer posible la realización de esta tesis.

Asimismo, quiero agradecer a CESGAM S.A.S., FORESTECH S.A.S., y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto y por proveerme de los recursos necesarios para llevarlo a cabo.

Finalmente, quiero agradecer a mi familia y amigos por su incondicional apoyo emocional durante todo el proceso. Sus palabras de aliento y motivación han sido una fuente constante de inspiración.

Ivan Patricio Huisha Marcatoma

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos	3
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.3 Justificación	3
1.4 Hipótesis.....	4
1.4.1 <i>Hipótesis nula</i>	4
1.4.2 <i>Hipótesis alternativa</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
2.1 Descripción de la especie	5
2.1.1 <i>Descripción taxonómica</i>	5
2.1.2 <i>Descripción dendrológica</i>	5
2.2 Plantaciones forestales.....	6
2.2.1 <i>Plantaciones forestales en Ecuador</i>	7
2.2.2 <i>Distribución de las plantaciones forestales</i>	7

2.2.3	<i>Importancia en la industria forestal</i>	8
2.2.4	<i>Propósitos de las plantaciones de Pinus radiata</i>	8
2.3	Inventario forestal	9
2.4	Tipos de inventarios	9
2.4.1	<i>Método estadístico</i>	10
2.4.2	<i>Grado de detalle</i>	10
2.4.3	<i>Grado de objetivo</i>	11
2.5	<i>Diseños de muestreo</i>	13
2.5.1	<i>Al azar</i>	13
2.5.2	<i>Sistemático</i>	13
2.6	Parcela	13
2.6.1	<i>Tipos de parcelas</i>	14
2.7	Variables dasométricas	15
2.7.1	<i>Densidad (N)</i>	15
2.7.2	<i>Altura media (hm)</i>	15
2.7.3	<i>Diámetro medio (dm)</i>	16
2.7.4	<i>El área basal (G)</i>	16
2.7.5	<i>La biomasa total (Bt)</i>	17
2.8	Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	17
2.9	Drones (UAV)	18
2.10	Tipos de drones	18
2.10.1	<i>Drones Multirrotores</i>	19
2.10.2	<i>Drones de Ala fija</i>	20
2.11	Diseño del plan de vuelo	21
2.11.1	<i>Superposición</i>	21
2.11.2	<i>Variaciones de altura de vuelo</i>	22
2.11.3	<i>Tipos de cámaras</i>	24

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	26
3.1	Enfoque de la investigación	26
3.2	Caracterización del lugar	26
3.3	Alcance	27
3.4	Diseño de investigación	27
3.4.1	<i>Sistema de muestreo</i>	27
3.4.2	<i>Fases de campo</i>	28
3.5	Tipo de estudio	29
3.6	Población y muestra	29
3.7	Materiales y Equipos	30
3.7.1	<i>Materiales e instrumentos de campo</i>	30
3.7.2	<i>Equipos y softwares de oficina</i>	30
3.8	Metodología	30
3.8.1	<i>Reconocimiento del sitio</i>	30
3.8.2	<i>Levantamiento fotogramétrico</i>	30
3.8.3	<i>Entrenamiento del personal de campo</i>	31
3.8.4	<i>Diseño de sistema de muestreo sistemático</i>	31
3.8.5	<i>Instalación de parcelas</i>	31
3.8.6	<i>Levantamiento de las variables dasométricas</i>	32
3.8.7	<i>Planificación y ejecución del vuelo con Mavic 3 Multispectral</i>	33
3.8.8	<i>Procesamiento de imágenes aéreas</i>	34
3.8.9	<i>Identificación de los árboles de Pinus radiata en el área de estudio</i>	35
3.8.10	<i>Cálculo de alturas de Pinus radiata mediante DSM y DTM</i>	35
3.8.11	<i>Estimación del diámetro a la altura del pecho (DAP)</i>	36
3.8.12	<i>Validación cruzada de datos</i>	37
3.8.13	<i>Evaluación de la precisión el método tradicional</i>	37
3.8.14	<i>Validación de la tecnología Dron</i>	37
3.8.15	<i>Análisis de la rentabilidad económica</i>	38

3.8.16	<i>Evaluación de la eficiencia temporal</i>	38
3.8.17	<i>Análisis de costo-beneficio</i>	38

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	39
4.1	Procesamiento, análisis e interpretación de resultados	39
4.1.1	<i>Diagnóstico de la plantación de Pinus radiata D. Don</i>	39
4.1.2	<i>Obtención y validación de variables dasométricas por ambas metodologías</i>	39
4.1.3	<i>Costos para realizar el inventario por ambas metodologías</i>	45
4.2	Discusión	46
4.3	Comprobación de la hipótesis	48

CONCLUSIONES	49
---------------------------	----

RECOMENDACIONES	50
------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Clasificación taxonómica de la especie <i>Pinus radiata</i> D. Don.	5
Tabla 2-2: Dimensiones de las parcelas rectangulares.....	15
Tabla 1-3: Número de árboles registrados por parcela en cada plantación.....	28
Tabla 2-3: Dimensión y coordenadas de las parcelas	31
Tabla 3-3: Parámetros de captura de imágenes Aéreas con Dron (Mavic 3 Multispectral)....	38
Tabla 1-4: Estimadores estadísticos de las variables cuantitativas (método tradicional).....	39
Tabla 2-4: Estimadores estadísticos de las variables cuantitativas (Dron).	40
Tabla 3-4: Diámetro promedio de <i>Pinus radiata</i> por ambas metodologías.	40
Tabla 4-4: Altura comercial promedio por ambas metodologías.....	41
Tabla 5-4: Altura total promedio por ambas metodologías	41
Tabla 6-4: Área basal promedio por ambas metodologías.....	42
Tabla 7-4: Volumen comercial promedio por ambas metodologías	43
Tabla 8-4: Volumen total promedio por ambas metodologías.....	44
Tabla 9-4: Área de copa promedio por ambas metodologías.....	44
Tabla 10-4: Costos para realizar el inventario forestal por el método tradicional.	45
Tabla 11-4: Costos para realizar el inventario forestal mediante drones.	46
Tabla 12-4: Comparación de variables dasométricas medidas por ambas metodologías.	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2. Dron Multirrotores	20
Ilustración 2-2. Dron de Ala fija.....	21
Ilustración 3-2. Superposición de la captura de imágenes.....	22
Ilustración 4-2. Vuelo siguiendo la fluctuación de la superficie.	23
Ilustración 5-2. Vuelos perpendiculares a la pendiente.	23
Ilustración 6-2. Vuelo a una altura constante.	24
Ilustración 1-3. Mapa de la plantación de <i>Pinus radiata</i>	27
Ilustración 1-4. Dispersión de los datos de altura comercial.	41
Ilustración 2-4. Dispersión de los datos de altura total.....	42
Ilustración 3-4. Dispersión de los datos de Área basal.	42
Ilustración 4-4. Dispersión de los datos de Volumen comercial.	43
Ilustración 5-4. Dispersión de los datos de Volumen total.....	44
Ilustración 6-4. Dispersión de los datos de Área de copa.....	45

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: INFORME DE CALIDAD DEL PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

ANEXO B: DATOS OBTENIDOS MEDIANTE EL USO DE DRON (UAV) DEL INVENTARIO FORESTAL

ANEXO C: DATOS OBTENIDOS MEDIANTE EL MÉTODO TRADICIONAL DEL INVENTARIO FORESTAL

ANEXO D: MAPA DE LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO DE LA PLANTACIÓN

ANEXO E: MAPA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE MUESTREO SISTEMÁTICO

ANEXO F: PLANIFICACIÓN DEL VUELO EN DJI PILOT 2

ANEXO G: PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES TOMADAS POR M3M

ANEXO H: NUBE DE PUNTOS Y MALLA 3D

ANEXO I: MAPA DEL MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (DSM) DE LA PLANTACIÓN

ANEXO J: MAPA DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO (DTM) DE LA PLANTACIÓN

ANEXO K: MAPA DE IDENTIFICACIÓN DE LOS ARBOLES DE *Pinus radiata*

ANEXO L: HERRAMIENTA DE EXTRACT MULTI VALUES TO POINTS

ANEXO M: IZQ: DSM. DER: DTM

ANEXO N: HERRAMIENTA DE CALCULATE FIELD

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación fue comparar las variables dasométricas obtenidas mediante métodos tradicionales y el uso de drones en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en la parroquia Palmira, provincia de Chimborazo. La metodología empleada fue de tipo cuantitativa-comparativa, incluyó la recolección de datos dasométricos en campo utilizando tanto técnicas tradicionales como drones, realizando un levantamiento fotogramétrico con drones Mavic 3 Multiespectral, complementado con mediciones manuales en 15 parcelas de 500 m² cada una, distribuidas sistemáticamente en un área de 35 hectáreas. Los resultados mostraron diferencias significativas en variables como el diámetro a la altura del pecho (DAP), con promedios de 12.93 cm para el método tradicional y 12.65 cm para el uso de drones; la altura de copa (Hc), con promedios de 5.97 m y 5.15 m respectivamente; la altura total (Ht), con promedios de 7.96 m y 6.15 m; el área basal (AB), con promedios de 0.015 m² y 0.014 m²; el volumen de madera por árbol (Vc), con promedios de 0.064 m³ y 0.044 m³; y el volumen total (Vt), con promedios de 0.069 m³ y 0.051 m³. Aunque el método tradicional resultó ser muy costoso, el uso de drones no solo ofreció resultados más precisos, sino que también fue más económico, lo que subraya la importancia de considerar la precisión y calidad de los datos en la elección del método de inventario forestal. En este contexto, se concluye que, a pesar de las discrepancias en las mediciones, el uso de drones ofrece una alternativa viable y eficiente para los inventarios forestales, demostrando beneficios en términos de tiempo y costos operativos para la gestión sostenible de los recursos forestales.

Palabras clave: <PINO (*Pinus radiata*)>, <DRONES>, <DASOMETRÍA>, <INVENTARIO FORESTAL>, <LEVANTAMIENTO FOTOGRAFAMÉTRICO>.

0727-DBRA-UPT-2024

12-06-2024

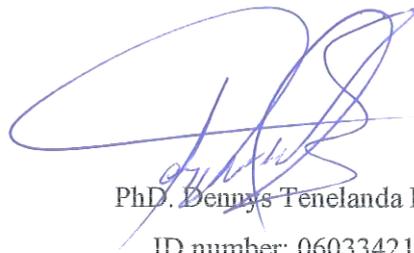


ABSTRACT

This research aimed to compare the dasometric variables obtained through traditional methods and the use of drones in *Pinus radiata* D. Don plantations in Palmira town, province of Chimborazo. The methodology used was quantitative-comparative. It included collecting dasometric data in the field using traditional techniques and drones. It carried out a photogrammetric survey with Mavic 3 Multispectral drones, complemented with manual measurements in 15 plots of 500 m² each, systematically distributed over 35 hectares. The results showed significant differences in variables such as diameter at chest height, with averages of 12.93 cm for the traditional method and 12.65 cm for the use of drones; crown height, with averages of 5.97 m and 5.15 m respectively; the total height, with averages of 7.96 m and 6.15 m; the basal area, with averages of 0.015 m² and 0.014 m²; the volume of wood per tree, with averages of 0.064 m³ and 0.044 m³; and the total volume, with averages of 0.069 m³ and 0.051 m³. Although the traditional method proved to be very expensive, the use of drones provided more accurate results. It was cheaper, underscoring the importance of considering data accuracy and quality in choosing the forest inventory method. In this context, it was concluded that, despite the measurement discrepancies, drones offer a viable and efficient alternative for forest inventories, demonstrating benefits in terms of time and operational costs for the sustainable management of forest resources.

Keywords: <PINE (*Pinus radiata*)>, <DRONES>, <DASOMETRY>, <FOREST INVENTORY>, <PHOTOGRAMMETRIC SURVEY>

Riobamba, June 17th, 2024



Ph.D. Denny's Tenelanda López

ID number: 0603342189

INTRODUCCIÓN

La cuantificación de variables dasométricas como altura, diámetro y volumen resulta indispensable para la correcta gestión y planificación de recursos en plantaciones forestales (Cabrera et al., 2014, pág. 7). El método tradicional para la medición de estas variables implica la recolección manual de datos de campo, la cual, pese a ofrecer mediciones precisas, demanda una gran inversión de tiempo y esfuerzo físico, además de ser susceptible a errores humanos (Ferreira, 1990, pág. 38; Gambetta & Bermudez, 1994, pág. 68).

En años recientes, el uso de drones equipados con cámaras y sensores de alta precisión ha emergido como una alternativa prometedora para la caracterización de inventarios forestales y la estimación de variables dasométricas de interés (Suh & Choi, 2017; Rouse et al., 1974, págs. 18-45). Gracias a su versatilidad y capacidad para capturar grandes cantidades de datos e imágenes georreferenciadas de alta resolución en poco tiempo, los drones facilitan la medición eficiente de parámetros como la altura y diámetro de los árboles incluso en terrenos de difícil acceso (Gutiérrez et al., 2017; Baena et al., 2018, págs. 2-9).

El presente estudio plantea la comparación entre las variables dasométricas obtenidas mediante mediciones manuales en campo y las estimadas utilizando drones con tecnología fotogramétrica en plantaciones de *Pinus radiata* ubicadas en la parroquia de Palmira, Ecuador. Se evaluarán métricas como la precisión, el costo operativo y el tiempo de ejecución de cada método.

Cabe señalar que el pino (*Pinus radiata* D. Don) es una especie ampliamente utilizada en plantaciones forestales de la zona por sus cualidades de rápido crecimiento y productividad (Gago et al., 2015, págs. 9-19). La parroquia de Palmira alberga una gran extensión de estas plantaciones que deben ser adecuadamente caracterizadas y gestionadas para optimizar su aprovechamiento (Baena et al., 2018, pág. 2).

En ese contexto, la integración de nuevas tecnologías *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) como los drones para la medición de variables dasométricas podría traer beneficios operativos y económicos sobre el método tradicional (Colomina & Molina, 2014, pág. 79). Si bien inicialmente la adopción de drones puede implicar ciertas inversiones de capital, su eficiencia en la recolección de datos podría compensar dichos costos a mediano y largo plazo (Lucieer et al., 2012, pág. 44).

Los resultados esperados del estudio permitirán determinar específicamente la viabilidad y ventajas que significaría implementar el uso de drones para mejorar las actuales prácticas de

inventario forestal (Westoby et al., 2012, pág. 47), contribuyendo así a una gestión más efectiva y sustentable de estos recursos naturales. El objetivo del presente trabajo fue comparar las variables dasométricas obtenidas en el método tradicional y drones en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en la parroquia Palmira, provincia de Chimborazo.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad para el monitoreo de plantaciones forestales, no existe una metodología eficiente para optimizar el tiempo en los trabajos en campo. Ante esta situación, se plantea la implementación de tecnología dron en el sector forestal para los trabajos de los inventarios forestales. La tecnología representa una oportunidad para mejorar la eficiencia y precisión en el monitoreo de las plantaciones.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo general*

Realizar la comparación de variables dasométricas obtenidas en el método tradicional y drones en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en la parroquia Palmira, provincia de Chimborazo.

1.2.2 *Objetivos específicos*

-Diagnosticar la situación actual de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don mediante drones y recorrido *in situ*.

-Obtener variables dasométricas mediante el inventario tradicional y tecnología dron.

-Evaluar los resultados obtenidos entre el método tradicional de medición y drones.

1.3 Justificación

La propuesta de investigación se orienta hacia la mejora de la eficiencia y precisión en la cuantificación de variables dasométricas en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, mediante la integración de tecnología de vehículos aéreos no tripulados (drones).

Cabe mencionar que el método tradicional de evaluación dasométrica mediante mediciones manuales ha evidenciado problemas de incertidumbre e imprecisión en ciertos contextos (Ferreira, 1990; Gambetta & Bermudez, 1994, pág. 42). También se han observado dificultades

para evaluar grandes extensiones de bosque utilizando técnicas manuales, debido a requerimientos de tiempo, esfuerzo físico y recursos elevados (Cabrera et al., 2014, pág. 10).

En contraste, estudios recientes han demostrado el potencial de los drones para la caracterización eficiente de variables dasométricas en distintos escenarios forestales (Suh & Choi, 2017; Rouse et al., 1974, pág. 76), gracias a su capacidad para recolectar datos precisos en tiempo real a bajo costo.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis nula

Los promedios de las variables dasométricas obtenidas con drones son similares a los obtenidos por métodos tradicionales de medición en terreno.

1.4.2 Hipótesis alternativa

Los promedios de las variables dasométricas obtenidas con drones son diferentes a los obtenidos por métodos tradicionales de medición en terreno.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Descripción de la especie

Pinus radiata D. Don, conocido comúnmente como pino de Monterey es una especie arbórea perteneciente a la familia de las pináceas, originaria del suroeste de los Estados Unidos, principalmente California (Naturalist, 2016, pág. 5). Por su rápido crecimiento y desarrollo es un árbol de talla media a elevada, alcanzando entre 30-50 m de altura, raramente llega a los 60 m (SIRE, 2012, pág. 1). Posee copa piramidal en su juventud y aplanada en su madurez, con ramas inferiores extendidas. El tronco es recto y cubierto por una corteza gruesa y escamosa (Vinueza, 2013, pág. 1).

2.1.1 Descripción taxonómica

Pinus radiata fue descrita y publicada en *Transactions of the linnean society of London* 1836 por David Don, por consiguiente, se presenta su clasificación botánica **Tabla 1-2**.

Tabla 1-2: Clasificación taxonómica de la especie *Pinus radiata* D. Don.

Reino:	Plantae
División:	Pinophyta
Clase:	Pinopsida
Orden:	Pinales
Familia:	Pinaceae
Género:	<i>Pinus</i>
Especie:	<i>Pinus radiata</i>
Nombre Científico:	<i>Pinus radiata</i> D. Don
Nombre Común:	Pino insigne, candelabro, Monterey

Fuente: (Trujillo, 2002; citado en Moncayo, 2021, pág. 5).

Realizado por: Huisha I, 2023.

2.1.2 Descripción dendrológica

Según Peña, (2019, pág. 11) menciona una descripción botánica más simplificada de la especie, seguidamente se presenta a continuación:

El *Pinus radiata* es un árbol de talla media a elevada alcanzando alturas de 13 a 33 m, presenta un fuste recto de 30 a 60 cm de diámetro; posee una copa densa de forma redonda a piramidal. La corteza es Áspera, hendida y escamosa, de color gris ceniciento, con 3 a 5 cm de espesor; posee cicatrices de color canela, segrega una resina transparente, presenta ramas escamosas de color grisáceo, algo glaucas y posee ramillas delgadas (López & Mateo, 2003, pág. 79).

Además, presenta conos de color cenicientos, pedúnculo de 10-15 mm, mide de 6 a 10 cm. Forma ovoides, rectos, en punta. Presenta escamas levemente duras de color café rojizo (canela por dentro de las escamas), uniformes; ápice redondeado, de 2.5 a 3 cm de largo, por 1.5 a 2 cm de ancho, con apófisis aplanadas o ligeramente levantadas, y en ella se encuentra la cúspide hundida, con una espina muy pequeña y caediza. Además, los cerotitos son notoriamente persistentes (Peña, 2019, pág. 11).

De acuerdo a Peña (2019, pág. 11) menciona que las hojas del *Pinus radiata* tienen color verde oscuro, miden entre 7 a 10 cm de largo, rígidas a gruesas. Presenta vainas persistentes anilladas de 6 a 12 cm; caen las brácteas y permanecen separadas, dejando escamas en las ramas. Posee dientes con un aserrado muy fino. Las semillas son de forma elipsoidal, levemente comprimida, de color oscura, mide unos 6 mm; posee un ala de color moreno claro, con estrías extendiéndose a lo largo de su longitud, ensanchándose hacia arriba e inclinándose en el ápice de 18 a 25 mm de largo por 6 a 8 mm de ancho (Peña, 2019, pág. 11).

2.2 Plantaciones forestales

Se definen como el establecimiento de regeneración artificial de áreas destinadas al crecimiento de árboles con fines comerciales. Este proceso implica la plantación de árboles forestales de forma artificial, ya sea mediante siembra directa o mediante la plantación de plántulas (Basantes, 2016, pág. 46). Estas plantaciones se realizan en áreas que no contine árboles, realizando por medio de planes de reforestación o gestión forestal y un adecuado manejo silvicultural (MAE, 2004; citado en Sanaguano, 2022, pág. 5).

Se dice que una masa arbórea establecida de varias especies forestales es una plantación forestal, es decir es el resultado de plantar árboles con fines comerciales a través de un plan de reforestación aplicando un adecuado manejo silvicultural (MAE, 2004; citado en Uquillas, 2022, pág. 9). Por otro lado, de acuerdo a la Normativa No. 040 emitida por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (Acuerdo Ministerial del 4 de junio de 2004), establecen lo siguiente: “Normas para

el aprovechamiento de Madera en Bosques cultivadas y de Árboles en Sistemas Agroforestales” y definen como plantaciones forestales.

Además, es una masa arbórea establecidas mediante la plantación planificada de árboles con fines comerciales, a través de un programa de reforestación o deforestación controlada, y por medio de un adecuado manejo silvicultural, que garantiza su desarrollo y productividad a lo largo del tiempo (MAE, 2004; citado en Uquillas, 2022, pág. 9).

2.2.1 Plantaciones forestales en Ecuador

Ecuador posee un área de 28'356,000 has. que aproximadamente abarca unos 256,370 km²; se estima que de los 14.4 millones de hectáreas que son unos 130,002 km² de tierra pertenecen solo a uso forestal. Por consiguiente, el 50% del territorio nacional, que abarca alrededor de 164,000 has corresponde netamente a plantaciones forestales, del cual, el 1.14% representa la superficie boscosa del Ecuador (Moncayo, 2021, pág. 7).

En el (MAE, 2010; citado en Moncayo, 2021, pág. 7) afirman que, el mayor volumen de madera proviene de las plantaciones forestales, de las cuales el 62.81% corresponde al total de madera autorizada en entre el 2007 y 2009. El aprovechamiento de la madera en la región Sierra corresponde a un 60.64 % del total de la cosecha de bosques del país, mientras que en la región de la Costa se cosecha en menor porcentaje.

Ecuador dispone de una gran variedad de climas y formaciones vegetales debido a la ubicación geográfica del país, la presencia de la Cordillera de los Andes y la influencia de corrientes marinas. A demás, varias zonas disponen de 12 horas de luz solar, durante todo el año, lo que incide en incremento de velocidad de crecimiento de especies forestales valiosas tanto nativas como exóticas, que requiere el mercado nacional e internacional (CORPEI & EXPOECUADOR, 2007; citado en Moncayo, 2021, pág. 7).

2.2.2 Distribución de las plantaciones forestales

2.2.2.1 Provincias

Pinus radiata D. Don, es una especie arbórea bien adaptada a condiciones altitudinales que oscilan entre los 1,800 y 3,500 metros sobre el nivel del mar (msnm), se destaca por su presencia predominante en los ecosistemas de las regiones montañosas del Ecuador. Específicamente, su

distribución abarca las provincias de Cotopaxi, Chimborazo, Pichincha y Loja, donde despliega su potencial ecológico y económico (Cunalema, 2022, pág. 7). Esta conífera, conocida por su nombre común de pino insigne o pino de Monterrey, ha demostrado ser una especie de gran importancia tanto en términos forestales como ambientales en estas áreas geográficas (Aguirre et al. 2019, pág. 945).

2.2.2.2 *Rango altitudinal*

El hábitat preferido de *Pinus radiata* D. Don se sitúa mayormente en altitudes que van desde los 1,800 hasta los 3,500 msnm, específicamente en la región montañosa del Ecuador. En estas áreas, la temperatura promedio oscila entre los 11 y 17 °C, creando condiciones climáticas óptimas para su desarrollo. Además, la precipitación anual en este entorno varía entre 800 y 1,300 mm, lo que contribuye significativamente a su hábitat natural y al ciclo vital de la especie (Vinueza, 2013; citado en Velástegui, 2017, pág. 13).

2.2.3 *Importancia en la industria forestal*

La especie al ser de origen exótico, ha ganado gran aprecio en la región montañosa debido a su destacada capacidad de adaptación a diversos entornos, así como a su rápido crecimiento y rentabilidad en términos de producción. Actualmente, su uso predominante se centra en la fabricación de madera prensada y tableros de fibra, actividades que han impulsado su cultivo en la zona. Además de su empleo en la industria maderera, estas coníferas son ampliamente cultivadas en prácticas de cortavientos, sistemas simbióticos, cercas vivas y en plantaciones exclusivas, evidenciando su versatilidad y utilidad en múltiples contextos forestales y agropecuarios (INIAP, 2016. pág. 27).

2.2.4 *Propósitos de las plantaciones de Pinus radiata*

El propósito fundamental de las plantaciones forestales radica en la maximización de los beneficios económicos derivados de la producción forestal, que abarcan desde la obtención de madera destinada a la industria hasta la producción de pulpa utilizada en la fabricación de papel, la elaboración de madera tríplice, tableros, aglomerados, resinas, entre otros productos; así minimizando los impactos negativos asociados a estas actividades y contribuyendo a la preservación de los recursos naturales a largo plazo. En este sentido, las plantaciones forestales se conciben como un elemento clave para el desarrollo sostenible, donde la gestión forestal

responsable juega un papel fundamental en la protección y uso racional de los ecosistemas forestales (MAE, 2007; citado en Uquillas, 2022, pág. 10).

2.3 Inventario forestal

Lara (2018, pág. 15) define como un proceso sistemático que abarca la recopilación, análisis y presentación de información detallada sobre los recursos forestales en una zona geográfica específica. Este tipo de evaluación ofrece tanto datos cualitativos como cuantitativos acerca del estado, composición, distribución y salud de los bosques. En general, los inventarios forestales abordan aspectos como la diversidad de especies, las características fisiográficas de las áreas muestreadas, las dimensiones de los árboles y estimaciones de volumen de madera, entre otros parámetros relevantes para comprender y gestionar eficazmente los recursos forestales.

Hoy en día, los inventarios forestales están evolucionando con un enfoque multipropósito, donde se emplean nuevas tecnologías para incorporar variables adicionales. Este enfoque busca proporcionar información precisa y eficaz para la evaluación y monitoreo de las condiciones tanto de las plantaciones forestales como de los bosques nativos. Esta adaptación a nuevas tecnologías y enfoques multipropósito refleja el compromiso continuo con la mejora de las prácticas de manejo forestal y la conservación de los recursos naturales (Corona *et al.* 2011, pág. 45).

En este sentido Peñalver *et al.*, (2021, pág.) mencionan que, a través de los inventarios forestales se obtiene información sobre el estado de los bosques naturales y plantaciones forestales, lo cual, permite evaluar la producción de biomasa, la biodiversidad y el secuestro de carbono. Mientras que Martín-García *et al.*, (2017, pág. 18) afirma que, para perfeccionar la precisión de las estimaciones de las variables dasométricas es necesario aumentar mediciones en campo y por ende aumenta el coste. Además, se puede mejorar la estimación de las variables poblacionales en los inventarios forestales.

Por tanto, el objetivo de los inventarios forestales y los sistemas estadísticos son fundamentales para adoptar posturas políticas idóneas en favor de la ordenación forestal sostenible. Lo cual, integran aspectos tanto ambientales como económicos en la planificación forestal, exigiendo la recopilación de una gran cantidad de información de los bosques, tanto en términos de la localización geoespacial como evolución a lo largo del tiempo (Salazar, 2011, pág. 5).

2.4 Tipos de inventarios

Según Moncayo, (2021, pág. 8) menciona que, existen diferentes clasificaciones de inventarios de acuerdo a varios criterios, como se muestra a continuación:

2.4.1 Método estadístico

2.4.1.1 Inventario al 100%

Este tipo de inventario forestal al 100% se refiere a que abarca la totalidad de la muestra, es decir, se basa en la medición y conteo de todos los individuos o elementos presentes en la población muestra (censo), teniendo en cuenta tanto sus cualidades cuantitativas como cualitativas. Este método implica el registro completo de todos los árboles que superan un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 10 cm, como señalan varios estudios especializados en el área forestal. La aplicación de este enfoque proporciona una visión detallada y completa de la composición y estructura de la población arbórea, lo que facilita la toma de decisiones en la gestión forestal y el monitoreo de la biodiversidad (Lara, 2018, pág. 16).

2.4.1.2 Inventario por muestreo

El inventario forestal por muestreo está basado en la evaluación de una muestra pequeña y representativa del bosque que se emplea principalmente para la elaboración de planes de manejo. Sin embargo, debido a consideraciones relacionadas con recursos, costos y tiempo, este método conlleva ciertas ventajas y limitaciones; aunque permite obtener resultados de manera más eficiente en comparación con un censo completo, está sujeto a un margen de error de muestreo asociado a la selección de la muestra y la extrapolación de los datos. Esta incertidumbre debe ser tomada en cuenta al interpretar los resultados y tomar decisiones de gestión forestal (INRENA-CIFOR-FONDEBOSQUE, 2003; citado en (Lara, 2018, pág. 16).

2.4.2 Grado de detalle

2.4.2.1 Inventario por reconocimiento

La evaluación a priori del potencial forestal de un área determinada implica una valoración inicial sin considerar datos ni el error estadístico potencial. En este proceso, el profesional forestal desempeña un papel crucial al determinar el área y su potencial forestal. Además, esta evaluación puede realizarse mediante métodos como vuelos aéreos, recorridos de campo o sondeos de la zona. Estos métodos proporcionan una visión general del potencial forestal de la región, aunque

es importante tener en cuenta que la falta de datos y análisis estadísticos puede limitar la precisión de las conclusiones obtenidas (CATIE, 1994; citado en (Lara, 2018, pág. 17).

2.4.2.2 Inventario exploratorio

Según CATIE, (1994) citado en (Lara, 2018, pág. 17), se caracteriza por requerir un muestreo de campo con el fin de obtener información tanto cuantitativa como cualitativa del recurso forestal. Es crucial destacar que en este tipo de inventario el error de muestreo puede fluctuar en un rango del 15% al 20% en relación con la media del volumen total, manteniendo un nivel de confianza del 95%. Este enfoque proporciona una visión inicial y detallada del potencial forestal de un área determinada, aunque es importante tener en cuenta las limitaciones asociadas con el margen de error mencionado.

2.4.2.3 Inventario semidetallado

El inventario proporciona una cantidad significativa de información confiable al realizar un censo o muestreo en un área específica, aunque no cubre todos los detalles a ser inventariados. Este tipo de inventario es especialmente adecuado para estudios de prefactibilidad, donde se requiere una evaluación detallada pero no exhaustiva del recurso forestal. Según CATIE (1994; citado en Lara, 2018, pág. 17), el margen de error de muestreo permitido en este tipo de inventario es de hasta el 15% en las mediciones de volúmenes, lo que proporciona un nivel aceptable de precisión para la toma de decisiones estratégicas en la gestión forestal.

2.4.3 Grado de objetivo

2.4.3.1 Evaluación del potencial maderero

La evaluación del potencial maderero, según CATIE (1994; citado en Lara, 2018, pág. 18), tiene como objetivo principal determinar la disponibilidad volumétrica de manera instantánea del estado actual del bosque. En este sentido, se puede enfocar tanto en el volumen total de todas las especies presentes como en especies específicas, dependiendo del tipo de uso previsto. Esencialmente, esta evaluación proporciona información crucial para la planificación y gestión forestal, permitiendo una comprensión detallada de los recursos disponibles y facilitando la toma de decisiones relacionadas con la explotación sostenible de los recursos madereros.

2.4.3.2 Planificación de la extracción

La planificación de la extracción se considera un inventario complejo, ya que no se limita únicamente a la obtención de datos del stock volumétrico. Además, implica el reconocimiento detallado de las características del área, con el objetivo de preparar futuras operaciones de extracción de manera efectiva. Este enfoque integral, como señala CATIE (1994; citado en Lara, 2018, pág. 18), requiere una evaluación exhaustiva que abarque tanto aspectos cuantitativos como cualitativos, garantizando así una planificación precisa y eficiente de las actividades de extracción forestal.

2.4.3.3 Evaluación para un plan de manejo

En este inventario, además del volumen comercial, también se considera la distribución por clases diamétricas que abarca el número de árboles, área basal y volumen total de todas las especies, partiendo de clases diamétricas menores. Por ello es fundamental recordar que el inventario destinado para planes de manejo debe proporcionar información para al menos un ciclo de corta, y también se debe considerar la dinámica del mercado de las especies maderables (INRENA-CIFOR-FONDEBOSQUE, 2003; citado en Lara, 2018, pág. 18).

2.4.3.4 Evaluación de la dinámica del bosque

Se realiza en parcelas permanentes de muestreo con el objetivo de analizar los procesos en curso y en constante evolución dentro del bosque. Esta evaluación abarca la determinación del crecimiento, mortalidad y reclutamiento de nuevas especies, tomando como referencia el diámetro previamente definido. Es crucial llevar a cabo esta evaluación, ya que proporciona información fundamental para la gestión sostenible de los bosques. Según CATIE (1994; citado en Lara, 2018, pág. 19), este enfoque permite comprender mejor la dinámica de los ecosistemas forestales y facilita la adopción de medidas adecuadas para su conservación y manejo responsable.

2.4.3.5 Aplicación de un tratamiento silvícola

Entre los principales muestreos se tienen el muestreo diagnóstico, muestreo de remanencia y muestreo silvicultural, entre otros. (INRENA-CIFOR-FONDEBOSQUE, 2003). De acuerdo a la necesidad de aplicar un tratamiento silvicultural, existe una variedad de enfoque de muestreos que pueden contribuir a dicha necesidad y determinar si es o no necesario aplicar un tratamiento.

Entre los principales enfoques están el muestreo diagnóstico, muestreo de remanencia y muestreo silvicultural (INRENA-CIFOR-FONDEBOSQUE, 2003; citado en Lara, 2018, pág. 19).

2.5 Diseños de muestreo

Tanto FAO (1966), como CATIE (1996), citado en (Lara, 2018, pág. 19) mencionan que, los diseños más utilizados en los inventarios forestales son los siguientes:

2.5.1 *Al azar*

Según lo señalado por la FAO 1966; citado en Lara (2018, pág. 20) es una técnica ampliamente utilizada en la investigación científica. Esta técnica permite la selección aleatoria de una muestra de una población, lo que reduce la posibilidad de sesgos y garantiza que todos los elementos de la población tengan igual oportunidad de ser incluidos en la muestra. En el contexto de los inventarios forestales, esta técnica contribuye significativamente a la precisión y confiabilidad de la evaluación del muestreo, permitiendo una estimación óptima de los recursos forestales disponibles.

2.5.2 *Sistemático*

El muestreo sistemático es una técnica que implica la selección de elementos de una población a intervalos fijos de manera ordenada. Este enfoque requiere contar y verificar todos los elementos de la población de manera planificada y regulada. Por lo tanto, se considera una herramienta valiosa y eficiente, especialmente en la elaboración de planes de manejo en bosques tropicales. De acuerdo con CATIE (1996; citado en Lara, 2018, pág. 20), el muestreo sistemático permite una cobertura exhaustiva y estructurada de la población, lo que facilita la toma de decisiones informadas y la gestión efectiva de los recursos forestales.

2.6 Parcela

Una parcela forestal es una unidad de área específica, generalmente de extensión menor a 1 hectárea, que se utiliza para el muestreo, las mediciones de la dinámica del bosque, la evaluación de la mortalidad y otros recursos forestales. Según el Instituto Nacional de Bosques (INAB, 2018, pág. 2), el tamaño y la disposición de las parcelas son aspectos fundamentales en el diseño de estudios científicos de campo, ya que pueden influir en la representatividad y la precisión de los datos recopilados sobre las características de los árboles.

2.6.1 Tipos de parcelas

Según el Instituto Nacional de Bosques (INAB, 2018, pág. 2), los tipos de parcelas varían en función del objetivo del inventario y las características específicas del área como la forma, tamaño y ubicación de la parcela se definen en relación con estos aspectos. Se considera que una relación menor entre el perímetro y la superficie de la parcela es más adecuada para su implementación, ya que garantiza una distribución más uniforme de la muestra y una mejor representatividad de las condiciones del bosque. Este enfoque contribuye a mejorar la precisión de los datos recopilados durante el inventario forestal.

2.6.1.1 Parcela circular

Según las recomendaciones del Instituto Nacional de Bosques (INAB, (2018, pág. 3), la parcela circular es adecuada para entornos forestales con una visibilidad óptima. Sin embargo, este tipo de parcela puede no ser práctico en terrenos inclinados. Para delimitar el área de la parcela, solo se requiere una cinta métrica, y para calcular el radio del círculo, que varía según el tamaño deseado de la parcela se aplica la siguiente fórmula (1):

$$Radio_{(m)} = \frac{\sqrt{Superficie (m^2)}}{\pi} \quad (1)$$

2.6.1.2 Parcela cuadrada

En este tipo de parcela cuadrada se utiliza en parcelas permanentes de medición (PPM) en entornos forestales donde la visibilidad no es óptima. Para delimitar esta parcela, se emplea una cinta métrica y una brújula para medir los 90° del cuadrado. La medida del lado de la parcela se determina mediante la fórmula (2) (INAB, 2018, pág. 3), este método permite establecer parcelas cuadradas de forma precisa y sistemática en inventarios forestales, garantizando una medición eficiente y confiable del área en estudio.

$$Lado de la parcela_{(m)} = \sqrt{Superficie de la parcela (m^2)} \quad (2)$$

2.6.1.3 Parcela rectangular

En su Manual técnico de planificación de inventarios forestales, el INAB, (2018, pág. 3) recomienda el uso de parcelas rectangulares en superficies inclinadas y en entornos forestales con

poca visibilidad. Además, sugiere que, en terrenos con pendientes pronunciadas, es apropiado orientar la parcela a lo largo del lado más largo y paralelo a la pendiente para capturar la mayor variabilidad de especies. Seguidamente, se presenta en la Tabla 2-2 las dimensiones de los rectángulos según el tamaño de la parcela, proporcionando una guía práctica para la delimitación adecuada de estas parcelas en diferentes condiciones topográficas.

Tabla 2-2: Dimensiones de las parcelas rectangulares.

Área (m ²)	Dimensiones (m)
1000	25 x 40
800	25 x 32
600	20 x 30
500	20 x 25
300	15 x 20

Fuente: (Hernández 2010; citando en Quijije, 2020, pág. 22).

Realizado por: Huisha I, 2023.

2.7 Variables dasométricas

2.7.1 Densidad (N)

La densidad (N) se define como el número de árboles por unidad de superficie (ha), y se calcula utilizando la fórmula (3); esta fórmula proporciona una medida precisa de la densidad de árboles en una determinada área forestal, lo que es fundamental para la gestión y planificación adecuadas de los recursos forestales (Manzanilla et al., 2022, pág. 3).

$$N = \frac{10000 \times n}{S} \quad (3)$$

donde:

N: número de árboles en una superficie

S: tamaño de la superficie o área (m²)

n: número de árboles contados o muestreados

2.7.2 Altura media (hm)

La altura media (hm), según Corral-Rivas et al., (2014, pág. 27), representa la media aritmética de las alturas totales de todos los árboles muestreados en una parcela. Se calcula utilizando la fórmula (4) que proporciona una medida representativa de la altura promedio de los árboles en

una parcela forestal, lo que es esencial para comprender la estructura vertical del bosque y su dinámica.

$$hm = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} \quad (4)$$

donde:

hm: altura media de los árboles muestreados (m)

hi: altura total del árbol i (m)

n: número total de árboles muestreados en la parcela.

2.7.3 *Diámetro medio (dm)*

El diámetro medio (dm), de acuerdo con Corral-Rivas et al., (2014, pág. 27), se define como la media aritmética de los diámetros de todos los árboles registrados en las parcelas. Se calcula mediante la fórmula (5) que proporciona una medida estadística que representa el tamaño promedio de los árboles en una parcela forestal, lo que es esencial para comprender la estructura y la composición del bosque.

$$dm = \frac{\sum_{i=1}^n dn_i}{n} \quad (5)$$

donde:

dm: diámetro medio (cm)

dni: diámetro normal del árbol i (cm)

n: número de árboles contados o muestreados

2.7.4 *El área basal (G)*

El área basal (G), según Bettinger et al., (2009, pág. 76) representa la relación de las secciones transversales de los árboles en un espacio forestal y el área que ocupan, utilizando datos diamétricos. Se calcula mediante la siguiente fórmula (6):

$$G = \sum_{i=1}^n \frac{\pi}{4} * d^2 * \frac{10000}{S} \quad (6)$$

donde:

G: área basal (m² ha⁻¹)

d: diámetro normal (cm)

S: superficie de la parcela en proyección horizontal (m²)

Además, Manzanilla et al., (2022, pág. 5) mencionan que, para el cálculo del área basal por hectárea de las categorías diamétricas, se emplea la fórmula (7):

$$G = \frac{0.7854(d)^2(n)}{10000} \quad (7)$$

donde:

G: área basal (m² ha⁻¹)

d: diámetro medio de la categoría diamétrica (cm)

n: número de árboles de la categoría por hectárea

2.7.5 La biomasa total (Bt)

La biomasa total (Bt), como afirmaron Manzanilla et al., (2022, pág. 5), proporciona una estimación de la biomasa total de un área forestal, lo que es crucial para comprender y gestionar los recursos forestales de manera sostenible y se determina utilizando la fórmula (8):

$$Bt = v \times dbm \times \delta \quad (8)$$

donde:

Bt: biomasa total

v: volumen (m³)

dbm: densidad básica de la madera (adimensional; peso anhidro/volumen verde)

δ: densidad del agua = 1 t m⁻³

2.8 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El GPS, del inglés (*Global Positioning System*", Sistema de Posicionamiento Global) es un sistema de navegación por satélite desarrollado por los Estados Unidos, formado por al menos 24 satélites operativos. Consiste en una red de satélites en órbita alrededor de la Tierra, estaciones terrestres de seguimiento y control, y receptores GPS que proporcionan servicios de

posicionamiento, navegación y cronometría gratuitos a usuarios civiles en todo el mundo (Garmin, 2022, pág. 1)

2.9 Drones (UAV)

Según Gradient, (2019, pág. 2) deriva del sustantivo inglés "*drone*", que originalmente se refería a la abeja macho o zángano. Este término se originó en los años 40, apareciendo en este año los primeros *Unmanned Combat Aerial Vehicle* (UCAV), como por ejemplo el *Killerbee* denominándolo como abeja asesina. Además, este tipo de Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV), son aeronaves que no requiere de un piloto a bordo y pueden ser controladas de forma remota o autónoma.

A través de los años esta tecnología ha tenido varias denominaciones, como *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS), *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) y *Unmanned Aircraft System* (UAS), cada una con referencia al termino de "dron". Hoy en día, este cambio refleja la evolución y la sofisticación de estos aparatos, de ser vehículos teledirigidos a ser controladas de manera remota y autónomas teniendo en cuenta la variedad de aplicaciones en la ingeniería (UMILES, 2022, pág. 7).

Además, Colomina y Molina (2014, pág. 23), sugieren que aplicación de esta tecnología de drones se destaca en ámbitos ambientales y conservación. Esta tecnología de dron proporciona información precisa de los datos, así contemplando un ahorro eficiente en el tiempo, mano de obra y costos en la ejecución de proyectos. Por tanto, los drones son herramientas eficaces en la monitorización, gestión de recursos naturales y la conservación del medio ambiente.

2.10 Tipos de drones

En el mercado actual, se pueden encontrar diversos tipos de vehículos aéreos no tripulados o drones, los cuales se clasifican principalmente en acuáticos, aéreos o terrestres. Según Rodríguez et al. (2020, pág. 31), los más comunes en el ámbito de las ingenierías son los multirrotores y los de ala fija, que pueden operarse tanto de manera autónoma como manual y son compatibles con una amplia gama de sensores, como el *Light Detection and Ranging* por sus siglas en inglés o Detección y Teledetección por Láser (LiDAR).

Según Pino (2019, pág. 75) menciona que los drones pueden tener diversos usos y aplicaciones en base a las características que poseen estos aparatos, como es el tamaño, el alcance de vuelo, la

altitud máxima y su resistencia a diferentes condiciones climáticas, entre otras. Además, estos parámetros permiten adaptar a escenarios operativos complejos, donde se requiere de este tipo de tecnología para la obtención de datos o información.

2.10.1 Drones Multirrotores

Los drones multirrotores, como se ilustra en la Ilustración 1-2, son vehículos aéreos no tripulados equipados con varios motores y hélices en los extremos de cada brazo. Esta configuración proporciona una mayor estabilidad durante el vuelo, lo que los hace ideales para una variedad de aplicaciones (Rodríguez et al., 2020, pág. 31; Huisha, 2023, pág. 19). Además, los drones multirrotores son conocidos por su capacidad de maniobra y versatilidad, lo que los convierte en una opción popular para tareas como la fotografía aérea, la vigilancia y el mapeo topográfico.

“Este tipo de dron posee un estabilizador giroscópico que permite regresar a la posición cenital de la toma del espacio, es decir resuelve el problema de alabeo del sensor” (Rodríguez et al., 2020, pág. 31).

2.10.1.1 Ventajas

Las ventajas de los drones multirrotores son significativas, su diseño les otorga una gran estabilidad y un rendimiento potente, lo que les permite realizar maniobras de vuelo con precisión y seguridad, incluso en zonas con topografías irregulares, como montañas. Además, su capacidad para mantenerse estáticos en el aire, en un lugar específico designado, brinda una versatilidad adicional para diversas aplicaciones (DJI, 2024). Esta combinación de estabilidad, rendimiento y maniobrabilidad hace que los drones multirrotores sean herramientas indispensables en campos como la fotografía aérea, la inspección de infraestructuras y la agricultura de precisión (Huisha, 2023, pág. 19).

2.10.1.2 Desventajas

A pesar de sus numerosas ventajas, los drones multirrotores también presentan algunas desventajas importantes a considerar. Uno de los principales inconvenientes es la limitada duración del vuelo debido al consumo rápido de energía. Por lo general, esta duración puede oscilar entre 15 y 45 minutos, dependiendo del tipo de vuelo y del modelo de dron. Esta limitación puede ser un factor crítico, especialmente en operaciones a gran escala o en áreas extensas, lo que

puede afectar su eficacia y utilidad, especialmente en aplicaciones como la evaluación de la dinámica forestal, donde se requiere una cobertura extensa y continua (DJI, 2024).



Ilustración 1-2. Dron Multirrotores

Fuente: (DJI, 2024).

2.10.2 Drones de Ala fija

Los drones de ala fija, representados en la Ilustración 2-2, son una categoría de drones que se distingue por su diseño similar al de un avión convencional. Estos drones están compuestos por dos alas fijas en sus extremos, lo que les permite realizar vuelos estables a velocidades significativas. A diferencia de los drones multirrotores, que utilizan múltiples hélices para mantenerse en el aire, los drones de ala fija dependen del principio aerodinámico de sustentación proporcionado por sus alas para mantener el vuelo (DJI, 2020, pág. 7).

2.10.2.1 Ventajas

Los drones de ala fija presentan diversas ventajas significativas en comparación con otros tipos de drones. Una de las principales ventajas es su mayor autonomía de vuelo y su menor consumo de energía en relación con los drones multirrotores. Esta característica les permite cubrir distancias más largas y realizar misiones de mayor duración sin necesidad de recargar baterías con frecuencia (Rodríguez et al., 2020, pág. 32). La mayor autonomía y eficiencia energética de los drones de ala fija los hacen especialmente adecuados para aplicaciones que requieren la cobertura extensa de áreas, como la cartografía aérea, la monitorización de cultivos y la vigilancia de terrenos extensos. Además, su capacidad para volar a velocidades más altas les permite completar tareas de manera más rápida y eficiente.

2.10.2.2 Desventajas

A pesar de sus numerosas ventajas, los drones de ala fija también tienen algunas limitaciones importantes que deben tenerse en cuenta. Una de las principales desventajas es su menor capacidad de carga en comparación con otros tipos de drones, lo que puede restringir la cantidad de equipos o sensores que pueden transportar durante el vuelo. Además, debido a su diseño aerodinámico como se ilustra en la Ilustración 2-2, los drones de ala fija tienden a ser menos ágiles en maniobras y más susceptibles a problemas de estabilidad, como el alabeo, cabeceo y deriva (Pino, 2019, pág. 76).



Ilustración 2-2. Dron de Ala fija
Fuente: (DJI, 2020, pág. 7).

2.11 Diseño del plan de vuelo

Al diseñar un plan de vuelo para operaciones con drones, es fundamental tener en cuenta una serie de factores clave que afectarán el éxito y la eficiencia de la misión. Estos factores incluyen la topografía del área de operación, las condiciones meteorológicas previstas, la duración de la misión, los requisitos de seguridad y las restricciones legales y reglamentarias aplicables. Por lo que es importante definir los equipos adecuados para recopilación de los datos (INAB, 2018, pág. 15).

La selección del plan de vuelo garantizará la calidad de los datos recopilados. Por lo que es necesario establecer una ruta de vuelo óptima, teniendo en cuenta los posibles obstáculos y riesgos en el entorno, así como las áreas restringidas durante la misión (DJI, 2020, pág. 10).

2.11.1 Superposición

La superposición es un concepto fundamental en la planificación de vuelo con drones, y se refiere al traslapeo entre imágenes consecutivas capturadas durante la misión. Este traslapeo puede ser tanto longitudinal, a lo largo de la trayectoria de vuelo, como transversal, cubriendo áreas adyacentes en cada imagen como se muestra en la Ilustración 3-2. La superposición es crucial para garantizar la calidad y la precisión de los datos recopilados, especialmente en aplicaciones que requieren la

generación de modelos tridimensionales o la realización de análisis detallados de imágenes (Rodríguez et al., 2020, pág. 43). Y para ello es necesario tener en cuenta:

- ✓ Baja altitud y extensa distancia focal, demandará una tasa elevada de imágenes con el fin de mantener una superposición precisa.
- ✓ Una distancia focal y una velocidad de imagen constante, conllevará al incremento en altitud y un aumento en la superposición.

Además, para lograr una superposición frontal va a depender de la velocidad del *Unmanned Aerial Vehicle* UAV/Plano, el *Ground Sample Distance* (GSD) y la resolución de píxeles de la cámara.

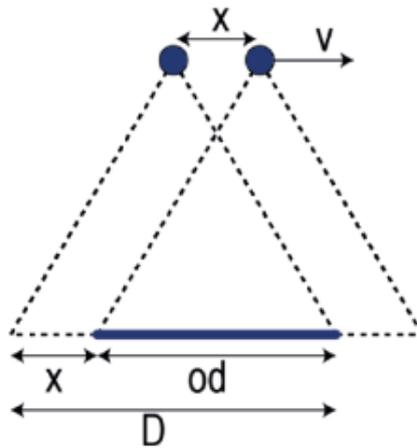


Ilustración 3-2. Superposición de la captura de imágenes.

Fuente: Rodríguez et al, 2020, pág. 43.

donde,

D = Distancia recorrida en el suelo por una imagen (m)

X = % de superposición frontal entre dos imágenes

od = superposición entre dos imágenes (m)

x = distancia entre dos posiciones de cámara (m)

v = velocidad de vuelo (m / s)

t = Velocidad de imagen (s)

2.11.2 Variaciones de altura de vuelo

En la **Ilustración 4-2** se muestra la operación del vuelo único ajustándose a la fluctuación de elevación de la superficie.

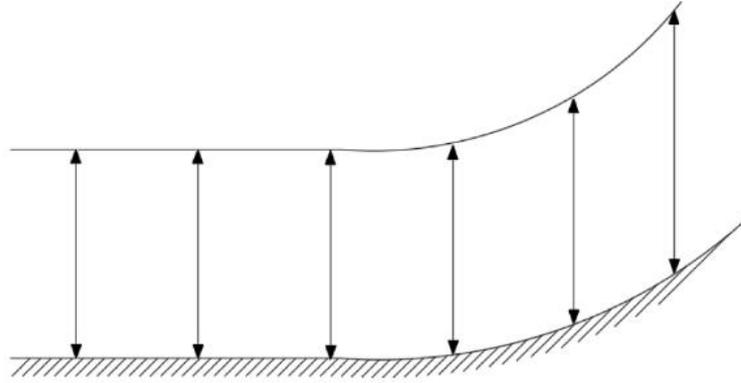


Ilustración 4-2. Vuelo siguiendo la fluctuación de la superficie.
Fuente: Rodríguez et al, 2020, pág. 44.

Además, en su investigación (Rodríguez et al., 2020, pág. 44) recomienda implementar este método, destacando que la GSD se mantendrá constante durante el transcurso del proyecto, dado que se mantiene la diferencia de altura entre el UAV y la superficie.

2.11.2.1 Múltiples vuelos a diferentes altitudes constantes

Rodríguez et al., (2020, pág. 45) en su investigación, realizó vuelos en diversas altitudes con las trayectorias perpendiculares a la pendiente, y por ello menciona que es crucial asegurar la superposición entre los vuelos **Ilustración 5-2**; y por ende determino que la GSD será aproximadamente uniforme para el proyecto, gracias a la diferencia de altura entre el UAV y la superficie.

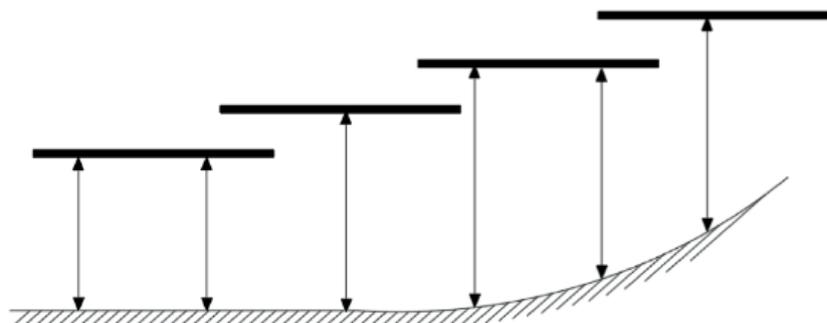


Ilustración 5-2. Vuelos perpendiculares a la pendiente.
Fuente: Rodríguez et al, 2020, pág. 45.

En términos de altitud de vuelo constante entre la diferencia de altura del UAV y la superficie; afectará el GSD y la superposición debido a las variaciones en la elevación de la superficie **Ilustración 6-2**. Además, esto puede afectar la reconstrucción e incluso fallar si la diferencia de altura es el doble o superior (Rodríguez et al., 2020, pág. 45).

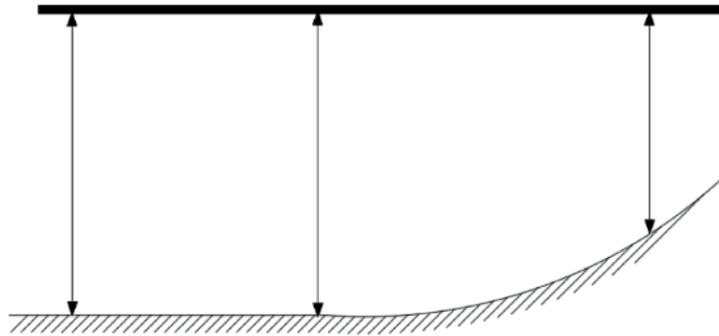


Ilustración 6-2. Vuelo a una altura constante.
Fuente: Rodríguez et al, 2020

2.11.3 Tipos de cámaras

Al elegir el tipo de cámara para aplicaciones de drones, es crucial considerar el tipo de información que se busca capturar. Según Rodríguez et al. (2020, pág. 63), se pueden identificar varios tipos de cámaras, cada una con características específicas que se adaptan a diferentes necesidades y objetivos. Estos tipos de cámaras varían en su tecnología, resolución, capacidad de captura de imágenes y otros aspectos relevantes para la adquisición de datos aéreos. A continuación, se describen algunos de los tipos de cámaras más comunes utilizados en este contexto, junto con sus características distintivas.

2.11.3.1 Térmicas

Conforme se describe en (DJI, 2022, pág. 2) todos los objetos emiten radiación infrarroja (calor), siendo esta emisión más intensa mientras se incrementa la temperatura. Este tipo de onda de radiación oscila entre unas pocas micras y varias mil micras, es decir, son considerablemente más extensa y fuera del rango visible para el ojo humano (450-750 nanómetros). Estos tipos de cámaras, comúnmente empleadas en drones, están calibradas para detectar el infrarrojo térmico, específicamente en el rango de 8 a 14 micras.

Además, la mayoría de fabricantes disponen de una versión térmica y una versión termográfica de sus dispositivos. La distinción radica en que ambas pueden detectar radiación infrarroja térmica, pero solo las termográficas permiten medir la temperatura absoluta en cada píxel. Generalmente se utilizan en inspecciones de paneles solares, agricultura de precisión, inspección industrial y en la seguridad y salvamento (Rodríguez et al., 2020, pág. 63).

2.11.3.2 Multiespectrales

Estos tipos de cámaras tienen la capacidad de capturar varios espectros de luz. Además, estas cámaras empleadas en los drones pueden registrar hasta 6 bandas espectrales. Este tipo de sensor capta imágenes multispectrales que permite calcular diferentes índices de vegetación, como, por ejemplo, *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNVDI), *Red Vegetation Index* (RVI), *Green Vegetation Index* (GVI), *Normalized Green Red Difference Index* (NGRDI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) y el *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI); esto es posible mediante la operación matemática aplicada a un conjunto específico de bandas (Rodríguez et al., 2020, pág. 64).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

Este proyecto de investigación adopta un enfoque cuantitativo-comparativo para determinar las variables dasométricas de las plantaciones de *Pinus radiata* en la hacienda Sra. Julieta Valverde en la parroquia Palmira, provincia de Chimborazo. Mediante la cuantificación de dichos parámetros entre el método tradicional de medición y del uso de dron, se pretende contrastar los valores obtenidos para ambas metodologías. El análisis estadístico resultado de este proceso comparativo entre las mediciones manuales y las realizadas con drones permitirá evaluar la precisión, eficiencia y factibilidad de implementar esta tecnología para los inventarios forestales en este tipo de plantaciones.

3.2 Caracterización del lugar

Las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don se localiza en el predio de la Sra. Julieta Valverde en la parroquia Palmira, provincia de Chimborazo, con coordenadas UTM X: 751727; Y: 9770343, Zona 17 Sur. Su extensión aproximada es de 35 ha, su altura varía desde los 3250 a 3430 m.s.n.m; presenta un clima frío andino con temperaturas desde los 6° a 12° C, como se muestra en la Ilustración 1-3.

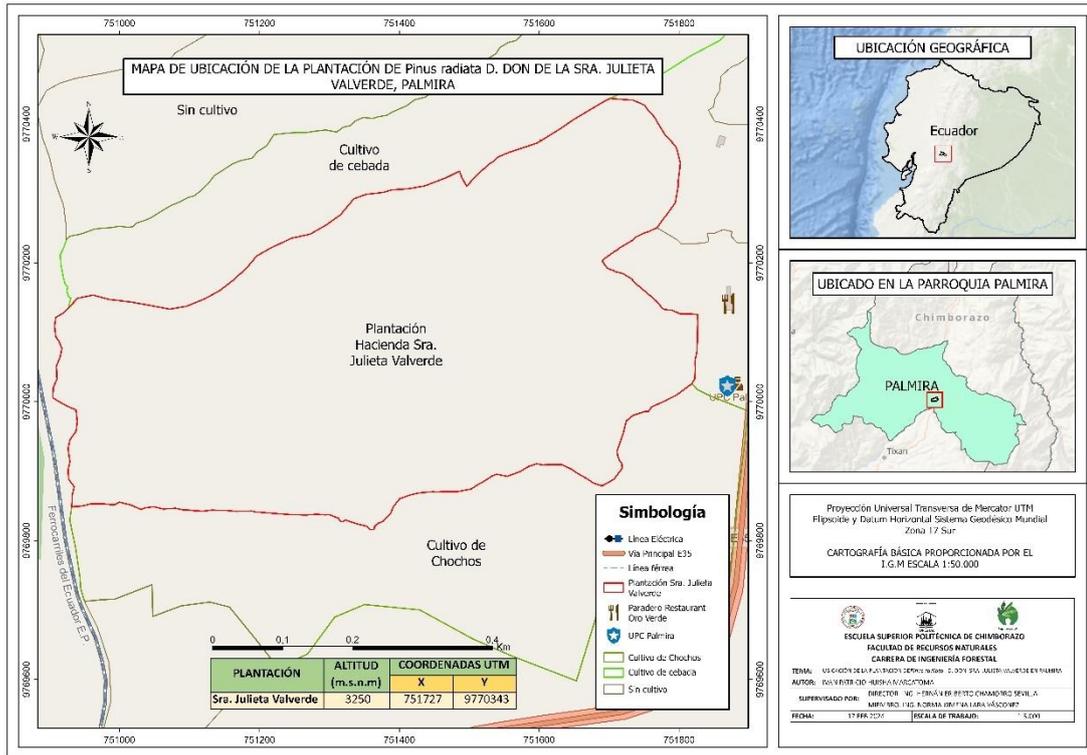


Ilustración 1-3. Mapa de la plantación de *Pinus radiata*.
Realizado por: Huisha I, 2024

3.3 Alcance

Esta investigación tiene un alcance descriptivo y comparativo, de acuerdo a los objetivos planteados centrándose en la obtención y comparación de las variables dasométricas en la plantación de *Pinus radiata* en la hacienda Sra. Julieta Valverde en la parroquia Palmira, provincia de Chimborazo.

3.4 Diseño de investigación

3.4.1 Sistema de muestreo

Para el inventario forestal se empleó el diseño de muestreo sistemático, a través del software especializado (ArcGIS Pro); con la instalación de 15 parcelas circulares de un área de 500 m² y de radio 12.62 m, en la plantación de la Sra. Julieta Valverde que se localiza en la parroquia palmira, provincia de Chimborazo, según se detalla en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3: Número de árboles registrados por parcela en cada plantación

N. Parcelas	N. Árboles
1	18
2	10
3	29
4	41
5	30
6	18
7	29
8	14
9	16
10	0
11	15
12	15
13	31
14	14
15	8

Realizado por: Huisha I, 2023.

3.4.2 Fases de campo

3.4.2.1 Preparación logística

Antes de iniciar las actividades de campo, se llevó a cabo la preparación logística que corresponde a una fase crucial al momento de realizar dichas actividades. Esto implicó una planificación detallada de todos los aspectos operativos y logísticos necesarios para ejecutar las actividades para el inventario. Por ello se coordinó entre recursos humanos, materiales, equipos e instrumentos necesarios, y se establecieron procedimientos para garantizar un flujo de trabajo sin contratiempos durante las fases subsiguientes.

3.4.2.2 Captura de datos con dron y método tradicional

Durante esta fase, se implementó los dos métodos para la recopilación de datos dasométricos. En primer lugar, se llevó a cabo el inventario tradicional en las 15 parcelas muestra de la plantación. El personal fue capacitado realizó mediciones directas utilizando instrumentos como cinta métrica para la circunferencia de la parcela, clinómetro para las alturas de los árboles y la forcípula para el DAP y así obtener datos dasométricos precisos.

Se empleó de forma simultánea la tecnología de aeronaves no tripuladas, específicamente el Mavic 3 Multiespectral, con el propósito de efectuar un levantamiento fotogramétrico minucioso de la plantación de *Pinus radiata*. Este enfoque posibilitó la adquisición de imágenes aéreas de alta resolución, abarcando variables cruciales como el diámetro, área de cobertura y altura de los

árboles. La integración de este enfoque proporcionó un conjunto exhaustivo y detallado de datos, facilitando así una comparación integral entre las metodologías empleadas.

3.4.2.3 Validación y revisión de los datos obtenidos

Se llevó a cabo la validación y revisión de los datos obtenidos por ambos métodos, asegurando su consistencia y precisión, tanto en las imágenes capturadas por los drones como en el inventario tradicional. Se realizaron comparaciones detalladas entre las mediciones obtenidas con drones y aquellas realizadas en el inventario tradicional, llevando a cabo procesos exhaustivos de revisión con correcciones para garantizar la integridad y calidad de los datos.

3.5 Tipo de estudio

Esta investigación es de tipo como comparativa, dado que incluyó visitas a las plantaciones para establecer parcelas de muestreo y recolectar datos dasométricos de los árboles mediante mediciones manuales y con drones. Posteriormente, en la oficina, se procesó la información recopilada para realizar un análisis estadístico comparativo entre las mediciones tradicionales y las realizadas con el dron (Mavic 3 Multispectral), contrastando así la precisión entre ambas metodologías y evaluando la viabilidad del uso de esta tecnología.

3.6 Población y muestra

3.6.1.1 Población objetivo

El estudio se centró en la diversidad y distribución de los árboles dentro de esta plantación, explorando cómo los métodos de medición afectan la obtención de datos precisos. La selección de esta población objetivo de 35 hectáreas permitió una exploración completa que abarcó una amplia gama de condiciones y características presentes en la plantación de *Pinus radiata*.

3.6.1.2 Muestra

Para garantizar un análisis representativo y significativo de la población objetivo, se optó por emplear un muestreo sistemático. La muestra consistió en la selección de 15 parcelas específicas, cada una con una superficie de 500 m², dentro de la plantación de *Pinus radiata* que abarca 35 hectáreas. En este enfoque, se estableció un intervalo sistemático para la selección de parcelas, asegurando una distribución equitativa a lo largo de la plantación.

3.7 Materiales y Equipos

3.7.1 *Materiales e instrumentos de campo*

Matriz de apuntes (Anexo 1), cinta métrica, forcípula, cuerda de 5 m, pintura, brocha, flexómetro, Dron Mavic 3 Multispectral, Clinómetro SUUNTO, distanciómetro, GPS, cámara fotográfica.

3.7.2 *Equipos y softwares de oficina*

Computadora, Pix4dMapper Pro, ArcGIS Pro, Hoja de cálculo.

3.8 Metodología

Para la ejecución del objetivo específico 1, se realizó un recorrido *in situ* y vuelo de dron para diagnosticar la situación actual de la plantación de *Pinus radiata*.

3.8.1 *Reconocimiento del sitio*

Para llevar a cabo el reconocimiento del sitio, se realizaron múltiples recorridos *in situ* en la plantación de *Pinus radiata* perteneciente a la Sra. Julieta Valverde, ubicada en la parroquia Palmira. Durante estos recorridos, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva del estado actual de la plantación. Se determinó que la plantación no estaba siendo manejada adecuadamente y presentaba dificultades de acceso debido a su topografía irregular. Estos hallazgos preliminares proporcionaron información crucial para la planificación y ejecución del inventario forestal, así como para el levantamiento fotogramétrico.

3.8.2 *Levantamiento fotogramétrico*

Para llevar a cabo el levantamiento fotogramétrico, se tomaron los puntos GPS utilizando dispositivos Garmin en los límites de las plantaciones, lo que permitió generar un polígono delimitando el área de la plantación. Posteriormente, utilizando software especializado como ArcGIS Pro, se realizó un análisis detallado para determinar el número óptimo de parcelas mediante un muestreo sistemático (ver Anexo D). Este proceso aseguró una planificación rigurosa y una recolección eficiente de datos para el análisis y la evaluación subsiguiente de la plantación. Para la ejecución del objetivo específico 2, se realizó el inventario tradicional y el uso de tecnología dron, posteriormente se analizó los datos obtenidos en los dos métodos.

3.8.3 *Entrenamiento del personal de campo*

En el entrenamiento del personal de campo, se instruyó al equipo conformado de 9 personas en la correcta identificación de árboles, uso adecuado de herramientas de medición y de variables dasométricas como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total y el área de la copa. Además, se enfatizó la importancia de la uniformidad en la medición, la calibración de instrumentos y el registro detallado de los datos. Posteriormente, se realizaron prácticas de campo para familiarizar al personal con equipos como clinómetros, cintas métricas y brújulas, para mejorar la precisión y la eficiencia en la recolección de datos dasométricos.

3.8.4 *Diseño de sistema de muestreo sistemático*

El diseño del sistema de muestreo sistemático se fundamentó en un enfoque ordenado y uniforme para seleccionar 15 parcelas dentro de la plantación de *Pinus radiata*, que abarcaba un área de 35 hectáreas, como se observa en el Anexo E. Cada parcela tenía un área de 500 m² (con un radio de 12.62 m) y se seleccionó según un intervalo predefinido, garantizando así una distribución equitativa y representativa a lo largo de la plantación. Este diseño proporcionó una estructura organizada para la selección de parcelas, lo que contribuyó a una muestra sistemática que capturó eficazmente la variabilidad de las variables dasométricas en la población.

3.8.5 *Instalación de parcelas*

Luego de establecer el número óptimo de parcelas mediante un muestreo sistemático utilizando el software ArcGIS Pro, se procedió a obtener las coordenadas de cada parcela como según se detalla en la Tabla 2-3. Posteriormente, se instaló en la plantación de *Pinus radiata* de 35 hectáreas, utilizando herramientas de georreferenciación como él (GPS). Esto garantizo una distribución equitativa de las 15 parcelas en la plantación. Además, se registrando las coordenadas, dimensiones y fecha de instalación.

Tabla 2-3: Dimensión y coordenadas de las parcelas

N. Parcelas	Coordenadas UTM		Área (m ²)
	X	Y	
1	750977	9769889	500
2	751128	9769891	500
3	751277	9769891	500
4	751427	9769889	500
5	751727	9770040	500
6	751576	9770042	500
7	751425	9770042	500
8	751278	9770040	500

9	751128	9770043	500
10	750975	9770042	500
11	751278	9770189	500
12	751429	9770190	500
13	751578	9770189	500
14	751578	9770341	500
15	751727	9770343	500

Realizado por: Huisha I, 2023.

3.8.6 Levantamiento de las variables dasométricas

3.8.6.1 Variables cuantitativas

Para obtener estas variables dasométricas, se registraron de forma directa con los instrumentos de medición como cinta métrica para el área y el número de árboles en la parcela, la forcípula para el DAP y el clinómetro para las alturas tanto comerciales como totales de árboles en pie.

3.8.6.2 DAP

Mediante la utilización de la cinta diamétrica, desde la base hasta 1,30 m de altura, se registró en centímetros los datos de cada uno de los árboles que se encontraron dentro de cada parcela en la plantación de *Pinus radiata*.

3.8.6.3 Altura total y comercial

Para la obtención de estas alturas, se realizó a una distancia horizontal apropiada de (12.62 m) mediante la utilización de la cinta métrica y con el uso del instrumento clinómetro forestal se observó el ápice y la base de cada uno de los árboles dentro de la parcela para las alturas totales utilizando la fórmula (9), mientras que para la altura comercial se consideró hasta un diámetro de 10 cm desde la base de cada árbol y la fórmula (10):

$$H_T = (A + B) * d \quad (9)$$

Donde,

H_T: Altura total en metros

A: Ángulo vertical al ápice

B: ángulo vertical a la base

d: distancia horizontal en metros

$$H_C = (A + B) * d \quad (10)$$

Donde,

H_C: Altura comercial en metros

A: Ángulo vertical hasta 10 cm del fuste

B: ángulo vertical a la base

d: distancia horizontal en metros

3.8.6.4 *Área de copa*

Para registrar la variable del área de la copa de los árboles, llevamos a cabo mediciones en dos direcciones como el N-S y E-O. Utilizamos una cinta métrica para tomar estas mediciones de manera precisa. Y posteriormente se aplicó la siguiente fórmula (11):

$$A_C = \frac{\pi}{4} (D_C)^2 \quad (11)$$

Donde,

A_C: Área de copa

D_C: Diámetro de copa en m²

3.8.6.5 *Área basal*

Para calcular el área basal de cada árbol, utilizamos una fórmula específica. Esta fórmula nos permite obtener una medida que refleja la sección transversal del tronco de un árbol, lo que es crucial para comprender su volumen y crecimiento. Este se determinó aplicando la siguiente fórmula (12):

$$AB = \frac{\pi * (DAP)^2}{4} \quad (12)$$

Donde,

A_B: Área basal por árbol (m²)

π: constante matemática (3,1416)

DAP: Diámetro a la altura del pecho (1,3 m)

3.8.7 *Planificación y ejecución del vuelo con Mavic 3 Multispectral*

La preparación y ejecución del vuelo se llevó a cabo mediante el uso del control del Mavic 3 Multispectral, como se observa en el Anexo F. Durante la fase de planificación del vuelo, se consideraron diversos parámetros, incluyendo una altitud de vuelo de 150 metros, lo que resultó

en la captura de las fotografías en ángulos de 176° y 90°, según como se muestra en la Ilustración 4-3. Además, se configuró el plan de vuelo para que la cámara del Mavic 3 Multiespectral, utilizada en esta investigación, capturara imágenes tanto perpendiculares como oblicuas, lo que contribuyó a mejorar la precisión del modelo 3D generado, así como del modelo digital de superficie resultante.

El vuelo realizado por el M3M fue aproximadamente de 10 minutos y 5 segundos, cubriendo un área de 35 hectáreas. El plan de vuelo diseñado abarcó una extensión mayor que el área de estudio, con la finalidad de descartar posibles distorsiones en la ortofotografía final, presentándose una menor cantidad de imágenes aéreas disponibles del área. De esta misión, se obtuvo un total de 898 imágenes que se registró de acuerdo al plan de vuelo predefinido para dicha plantación de pino.

3.8.8 *Procesamiento de imágenes aéreas*

Para el procesamiento de imágenes aéreas implicó una secuencia de pasos para obtener modelos tridimensionales del área de estudio. En primer lugar, se importaron las imágenes aéreas capturadas mediante el Mavic 3 Multiespectral a la plataforma de Pix4D, como se observa en el Anexo G. A continuación, se procedió a la calibración de la cámara, corrigiendo distorsiones y mejorando la precisión espacial de las imágenes. Luego, se llevó a cabo la identificación y marcado de puntos de control utilizando referencias terrestres y características visuales distintivas en las imágenes. Estos puntos fueron fundamentales para la georreferenciación adecuada de las imágenes. Posteriormente, se ejecutó el proceso de emparejamiento de imágenes, buscando y correlacionando puntos comunes para determinar la geometría relativa entre ellas. Finalmente, se generó los modelos 3D del terreno, Ortomosaico y nubes de puntos densas.

3.8.8.1 *Creación de malla y nubes de puntos*

Para la creación de malla y nubes de puntos, en este proceso se comenzó seleccionando las imágenes de alta resolución previamente calibradas y georreferenciadas. Luego, se utilizó el software Pix4D para generar una malla tridimensional precisa del área de estudio. Esta malla proporcionó una representación visual detallada de la superficie del terreno o estructuras presentes en el área. Además, se generó nubes de puntos densas a partir de las imágenes, las cuales ofrecieron información detallada sobre la distribución y densidad de puntos en el espacio tridimensional, como se observa en el Anexo H.

3.8.8.2 *Generación de DSM, DTM, Ortomosaico*

A partir de las imágenes aéreas obtenidas por el dron (M3M), estas fueron importadas y organizadas en un proyecto y se llevó a cabo la generación del Ortomosaico, modelo digital de superficie (DSM) y modelo digital de elevación (DTM) como se muestra en la Anexo I, las cuales fueron procesadas en dentro de la plataforma Pix4D. Donde se ejecutó el procesamiento inicial, que implica la identificación de puntos de control, la corrección de distorsiones geométricas entre otros parámetros.

Posterior al preprocesamiento de los datos y la ejecución del procesamiento inicial, se generaron tanto el DSM, que representa la superficie terrestre con objetos como los árboles, y el DTM, que elimina elementos no relacionados con el terreno. Además, se produjo un Ortomosaico georreferenciado que proporciona una vista panorámica y detallada del área mapeada. Los modelos digitales generados, fueron exportados en formatos compatibles con sistemas de información geográfica (SIG) como se muestra en la Anexo J y el informe de calidad del procesamiento de las imágenes se incluyó en el Anexo A.

3.8.9 *Identificación de los árboles de *Pinus radiata* en el área de estudio*

La identificación de los árboles de *Pinus radiata* se realizó utilizando la herramienta de *TreeDetection* en ArcGIS Pro. Inicialmente, importé el Ortomosaico a la plataforma de ArcGIS Pro y configuré los parámetros de detección para que se ajustaran específicamente a las características del *Pinus radiata*, como su forma y color de follaje. Luego, se ejecutó la herramienta de detección, que identificó automáticamente los árboles presentes en las imágenes y generó un *shapefile* de puntos. Posteriormente, se realizó una validación visual de los resultados para confirmar la precisión de la detección. A través de este proceso, se detectaron 280 plantas de pino en el área de estudio, que tiene una extensión aproximada de 35 hectáreas, como se muestra en la Anexo K.

3.8.10 *Cálculo de alturas de *Pinus radiata* mediante DSM y DTM*

Para este proceso se calculó las alturas de los pinos utilizando la metodología propuesta por Lisein et al. (2013), basada en la diferencia entre el DSM y el DTM. Esta operación se realizó en ArcGIS Pro utilizando la información proporcionada por ambos modelos:

1. **Identificación de los *Pinus radiata*:** En campo, se identificó los árboles de *Pinus radiata* y se marcó la ubicación en el GPS Garmin en un archivo de tipo “punto”.
2. **Extracción de valores múltiples a puntos:** Mediante la herramienta “*Extract Multi Values to Points*” ubicada en la caja de herramientas *ArcToolbox* se estableció parámetros en el cuadro de diálogo de la herramienta, donde se insertó el archivo *shapefile* y los dos archivos ráster (DSM y DTM), como se muestra en la Anexo L. Esta herramienta permitió obtener las altitudes correspondientes de cada punto, extrayendo los valores tanto del DSM como del DTM.
3. **Cálculo de alturas de los *Pinus radiata*:** En la tabla de atributos del *shapefile*, se creó un nuevo campo y utilizando la calculadora de campo, restamos los valores obtenidos del DSM y del DTM. El resultado de esta resta, expresado en unidades de metros sobre el nivel del mar (msnm) que representa la altura de los Pinos, como se muestra en la Anexo M.
4. En el Anexo N se detallan los parámetros necesarios para realizar el cálculo de la altura de los árboles de Pino. Los resultados obtenidos al aplicar las herramientas de cálculo a las 280 plantas medidas en el terreno se presentan en el Anexo B.

3.8.11 *Estimación del diámetro a la altura del pecho (DAP)*

Para la estimación del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) en pinos mediante el uso del dron Mavic 3M y el software Pix4Dmapper se utilizó la metodología propuesta por Huisha (2023, pág. 36), basada en técnicas avanzadas de fotogrametría y procesamiento de imágenes.

1. **Planificación y captura de imágenes:** Para empezar, se planificó el vuelo del dron asegurando un solapamiento adecuado de las imágenes, recomendándose un solapamiento frontal del 80% y lateral del 70%. Es importante realizar vuelos a diferentes alturas y ángulos para asegurar una cobertura completa del área de estudio.
2. **Procesamiento de imágenes en Pix4Dmapper:** Una vez capturadas las imágenes, se procedió a abrir Pix4Dmapper y crear un nuevo proyecto. Luego, se importaron las imágenes capturadas por el dron al software. En este punto, fue crucial configurar el proyecto seleccionando el tipo de proyecto adecuado (por ejemplo, agricultura, topografía) y ajustando parámetros como la calidad de la imagen y la precisión del GPS. Después de la configuración, se inició el procesamiento para generar un modelo tridimensional del área de estudio.
3. **Identificación y delineación de árboles:** Con el modelo tridimensional generado, se navega a la pestaña “*Point Cloud and Mesh*” en Pix4Dmapper. Utilizando herramientas de segmentación y clasificación, se identifican los árboles en la nube de puntos. Posteriormente,

se dibujaron contornos precisos alrededor de cada árbol usando las herramientas de edición disponibles en Pix4D. Este paso asegura que cada árbol esté correctamente representado en el modelo 3D.

4. **Medición del DAP:** Para medir el DAP, se seleccionó la herramienta de medición de distancia en Pix4D. Se midió el diámetro del tronco de cada árbol a una altura de 1.30 metros sobre el suelo, colocando las mediciones en varios puntos alrededor del tronco. Luego, se calculó el promedio de estas mediciones para obtener el DAP de manera precisa.
5. **Análisis y estimación:** Finalmente, se exportaron las mediciones del DAP a software estadístico. Se analizó la distribución de tamaños de los árboles. Con estos datos, se calcularon el DAP promedio, la densidad de árboles para el análisis forestal.

3.8.12 Validación cruzada de datos

Se implementó una validación cruzada de los datos recopilados mediante el inventario tradicional y la tecnología dron. Este proceso de comparación minuciosa aseguró la coherencia y confiabilidad de los resultados obtenidos por ambas metodologías. Cualquier discrepancia identificada fue abordada para garantizar la integridad de los datos. Esta validación proporcionó una base sólida para el análisis comparativo, respaldando la robustez y fiabilidad de los resultados obtenidos a través de las diferentes técnicas de recolección de datos.

Para la ejecución del objetivo específico 3, se evaluó la precisión, exactitud, la rentabilidad y los resultados obtenidos entre el método tradicional de medición y drones.

3.8.13 Evaluación de la precisión el método tradicional

Se llevó a cabo una evaluación detallada de la precisión del método tradicional de medición. Esto implicó un análisis exhaustivo de posibles fuentes de error y variabilidad asociadas con instrumentos como cintas métricas, forcípulas y los clinómetros. Se consideraron factores como la habilidad del personal, condiciones climáticas y posibles sesgos en la toma de medidas. La evaluación proporcionó una comprensión completa de la fiabilidad del método tradicional y estableció un marco para la comparación con la tecnología dron.

3.8.14 Validación de la tecnología Dron

Se realizaron pruebas de validación de la tecnología dron para evaluar su capacidad para proporcionar mediciones precisas y confiables de las variables dasométricas. Esto incluyó la

comparación directa de las mediciones de drones con las obtenidas por métodos tradicionales. Se evaluaron factores como la resolución de las imágenes, la exactitud de los sensores y la capacidad de capturar datos detallados en diferentes condiciones atmosféricas, según se detalla en Tabla 3-3. La validación garantizó la confianza en la precisión de la tecnología dron para el relevamiento forestal.

Tabla 3-3: Parámetros de captura de imágenes Aéreas con Dron (Mavic 3 Multispectral).

Resolución de las imágenes	3840x2160 a 30 fps
Sensores	4/3 CMOS; Effective pixels: 20 MP
Tiempo máximo de vuelo	45 min.
Área de estudio en un solo vuelo	2 Km ²

Realizado por: Huisha I, 2024

3.8.15 Análisis de la rentabilidad económica

Se llevó a cabo un análisis detallado de la rentabilidad económica de cada método, considerando no solo los costos directos asociados con la recolección de datos, sino también los beneficios a largo plazo y las eficiencias operativas. Se tuvieron en cuenta factores como la inversión inicial en tecnología dron, los costos de entrenamiento del personal y los ahorros potenciales en términos de tiempo y recursos. Este análisis proporcionó una visión integral de la viabilidad económica de cada enfoque.

3.8.16 Evaluación de la eficiencia temporal

Se realizó un análisis de la eficiencia temporal de cada método, considerando el tiempo necesario para la recolección de datos, el procesamiento y la generación de resultados. Se evaluaron las fases de campo, el tiempo requerido para el análisis de datos y la velocidad de generación de resultados finales. Este análisis permitió identificar posibles áreas de mejora en el método tradicional en términos de eficiencia operativa y toma de decisiones más rápidas.

3.8.17 Análisis de costo-beneficio

Se comparó los costos involucrados en ambos métodos, incluyendo equipos, software, transporte, capacitación y costos de operación; además se evaluó de manera cuantitativa las mejoras en eficiencia de costos y tiempo que implica el uso de drones en inventarios forestales en plantaciones de Pino.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

4.1.1 Diagnóstico de la plantación de *Pinus radiata* D. Don

Después de realizar el recorrido *in situ* y un vuelo de dron, se constató la carencia de manejo forestal en los últimos 10 años, lo cual conllevó una serie de desafíos en cuanto al desarrollo y la salud de los árboles. Esta falta de intervención se manifestó en la existencia de áreas con crecimiento desigual, densidades variables y señales evidentes de competencia entre ejemplares. Asimismo, la topografía circundante del terreno presentó ciertas limitaciones de acceso, lo que dificultó aún más la aplicación de prácticas de manejo adecuadas. El análisis fotogramétrico resaltó la urgente necesidad de intervención y planificación meticulosa para revitalizar la salud y productividad de la plantación.

4.1.2 Obtención y validación de variables dasométricas por ambas metodologías

4.1.2.1 Número de árboles por parcela/ha

En la Tabla 1-4 y Tabla 2-4, podemos afirmar que, a través del método tradicional y el uso de drones, respectivamente. Se analizan diversas medidas, como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura de comercial (Hc), la altura total (Ht), el área basal (AB) y los volúmenes de madera por árbol (Vc) y total (Vt), entre otras. En general, se observa una variabilidad en los valores medios (X), por ejemplo, para el DAP: 12.93 cm (método tradicional) y 12.65 cm (drones); Hc: 5.97 m (método tradicional) y 5.15 m (drones); Ht: 7.96 m (método tradicional) y 6.15 m (drones); AB: 0.015 m² (método tradicional) y 0.014 m² (drones); Vc: 0.064 m³ (método tradicional) y 0.044 m³ (drones); Vt: 0.069 m³ (método tradicional) y 0.051 m³ (drones).

Tabla 1-4: Estimadores estadísticos de las variables cuantitativas (método tradicional).

Variabes		X	S	Cv %	Límite superior	Límite inferior	Error relativo %
N. Parcelas	14						
Área neta de la plantación	19						
N. árboles/parcela		20					
N. árboles/ha		373					
DAP (cm)		12.93	4.44	34.32	13.45	12.41	4.05
Hc (m)		5.97	2.53	42.35	6.27	5.68	5.00
Ht (m)		7.96	2.88	36.17	8.30	7.62	4.27
AB (m ²)		0.015	0.013	88.79	0.016	0.013	10.47

Vc (m ³)		0.064	0.090	167.32	0.064	0.043	19.74
Vt (m ³)		0.069	0.105	152.11	0.082	0.057	17.94
Vc/ha (m ³)		20.05					
Vt/ha (m ³)		25.82					
Vc/Área neta de la plantación		385					
Vt/Área neta de la plantación		496					

X = Media; S = Desviación estándar; Cv % = Coeficiente de variación; HT = Altura total; HC = Altura comercial; DAP = Diámetro a la Altura del Pecho, AB = Área Basal; VC = Volumen comercial; VT = Volumen total.

Realizado por: Huisha I, 2024.

Tabla 2-4: Estimadores estadísticos de las variables cuantitativas (Dron).

Variables		X	S	Cv %	Límite superior	Límite inferior	Error relativo %
N. Parcelas	14						
Área neta de la plantación	19						
N. árboles/parcela		20					
N. árboles/ha		373					
DAP (cm)		12.65	4.38	34.65	13.16	12.13	4.09
Hc (m)		5.15	2.72	52.81	5.47	4.82	6.23
Ht (m)		6.15	2.72	44.21	6.47	5.82	5.22
AB (m ²)		0.014	0.013	89.76	0.016	0.013	10.59
Vc (m ³)		0.044	0.060	135.97	0.051	0.037	16.04
Vt (m ³)		0.051	0.066	128.30	0.059	0.043	15.13
Vc/ha (m ³)		16.52					
Vt/ha (m ³)		19.11					
Vc/Área neta de la plantación		317.25					
Vt/Área neta de la plantación		367.07					

X = Media; S = Desviación estándar; Cv % = Coeficiente de variación; HT = Altura total; HC = Altura comercial; DAP = Diámetro a la Altura del Pecho, AB = Área Basal; VC = Volumen comercial; VT = Volumen total.

Realizado por: Huisha I, 2024.

4.1.2.2 Diámetro promedio de los árboles de *Pinus radiata*

El diámetro medio registrado por el método tradicional es de 12.93 cm, con un máximo real observado de 13.45 cm y un mínimo de 12.41 cm. En contraste, los árboles de la plantación con el uso de dron exhiben un diámetro medio de 12.65 cm, con un máximo real de 13.16 cm y un mínimo de 12.23 cm, según se detalla en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4: Diámetro promedio de *Pinus radiata* por ambas metodologías.

Metodologías en la plantación	DAP (cm)		
	X	Lim conf (sup)	Lim conf (inf)
M. Tradicional	12.93	13.45	12.41
Uso de dron	12.65	13.16	12.13

Realizado por: Huisha I, 2024.

4.1.2.3 Altura comercial promedio de los árboles de *Pinus radiata*

En la plantación por el método tradicional exhibe una altura comercial promedio de 5.97 m, con una altura máxima observada de 6.27 m y una mínima de 5.68 m. Por otro lado, los árboles de la

plantación con el uso del dron presentan una altura comercial promedio de 5.15 m, con una medida máxima real de 5.47 m y una mínima de 4.82 m, según se detalla en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Altura comercial promedio por ambas metodologías

Metodologías en la plantación	Hc (m)		
	X	Lim conf (sup)	Lim conf (inf)
M. Tradicional	5.97	6.27	5.68
Uso de dron	5.15	5.47	4.82

Realizado por: Huisha I, 2024.

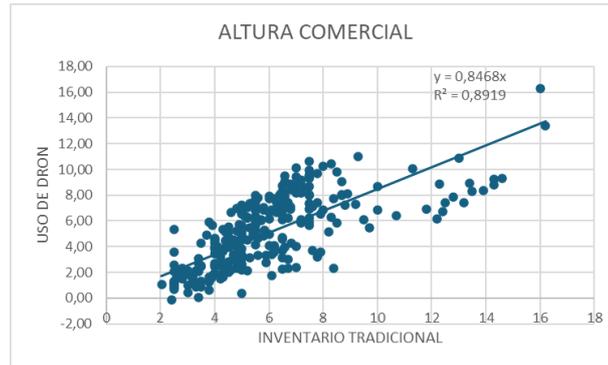


Ilustración 1-4. Dispersión de los datos de altura comercial.

Realizado por: Huisha I, 2024

Se evidencia una tendencia general de incremento en la altura comercial medida por ambos métodos, como se muestra en la Ilustración 1-4. No obstante, se observa una dispersión considerable alrededor de la línea de tendencia, indicando variabilidad en las mediciones entre los dos métodos. Se identifican algunos puntos atípicos que podrían sugerir discrepancias significativas entre las mediciones de ambos métodos.

4.1.2.4 Altura total promedio de los árboles de *Pinus radiata*

En la plantación por el método tradicional registra una altura comercial promedio de 7.96 m, con una altura máxima observada de 8.30 m y una mínima de 7.62 m. En contraste, los árboles de la plantación con el uso del dron presentan una altura total promedio de 6.15 m, con un máximo real de 6.47 m y un mínimo de 5.82 m, según se detalla en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4: Altura total promedio por ambas metodologías

Metodologías en la plantación	Ht (m)		
	X	Lim conf (sup)	Lim conf (inf)
M. Tradicional	7.96	8.30	7.62
Uso de dron	6.15	6.47	5.82

Realizado por: Huisha I, 2024.



Ilustración 2-4. Dispersión de los datos de altura total.
Realizado por: Huisha I, 2024

En la Ilustración 2-4 se observa una tendencia general de aumento en la altura total medida por ambos métodos. Sin embargo, se aprecia una dispersión significativa alrededor de la línea de tendencia, esto sugiere una variabilidad en las mediciones entre los dos métodos. Además, se identifican algunos puntos atípicos que podrían indicar discrepancias notables entre las mediciones de ambos métodos en áreas específicas.

4.1.2.5 Área basal promedio de los árboles de *Pinus radiata*

El área basal promedio de la plantación por el método tradicional se sitúa en 0.015 m², con un máximo real registrado de 0.0162 m² y un mínimo de 0.0131 m². En contraposición, los árboles de la plantación con el uso del dron presentan un promedio de 0.014 m², con un máximo real de 0.0156 m² y un mínimo de 0.0126 m², según se detalla en la Tabla 6-4.

Tabla 6-4: Área basal promedio por ambas metodologías

Metodologías en la plantación	AB (m ²)		
	X	Lim conf (sup)	Lim conf (inf)
M. Tradicional	0.015	0.0162	0.0131
Uso de dron	0.014	0.0156	0.0126

Realizado por: Huisha I, 2024.

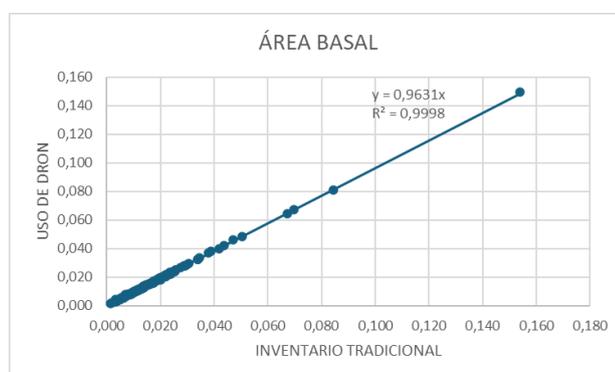


Ilustración 3-4. Dispersión de los datos de Área basal.
Realizado por: Huisha I, 2024

Los datos de área basal obtenidos entre los dos métodos muestran una correlación positiva entre las mediciones, como se muestra en la Ilustración 3-4. La mayoría de las mediciones están bastante cerca entre sí, lo que sugiere una consistencia razonable entre los dos métodos. Sin embargo, se observa cierta variabilidad en algunas mediciones, lo que podría indicar posibles discrepancias o errores en la medición.

4.1.2.6 Volumen comercial promedio de los árboles de *Pinus radiata*

El volumen comercial promedio por árbol en plantación por el método tradicional es de 0.054 m³, con un máximo real registrado de 0.064 m³ y un mínimo de 0.043 m³. En comparación, los árboles de la plantación con el uso del dron muestran un promedio de 0,044 m³, con un máximo real de 0.051 m³ y un mínimo de 0.037 m³, como se especifica en la Tabla 7-4.

Tabla 7-4: Volumen comercial promedio por ambas metodologías

Metodologías en la plantación	VC (m ³)		
	X	Lim conf (sup)	Lim conf (inf)
M. Tradicional	0.054	0.064	0.043
Uso de dron	0.044	0.051	0.037

Realizado por: Huisha I, 2024.

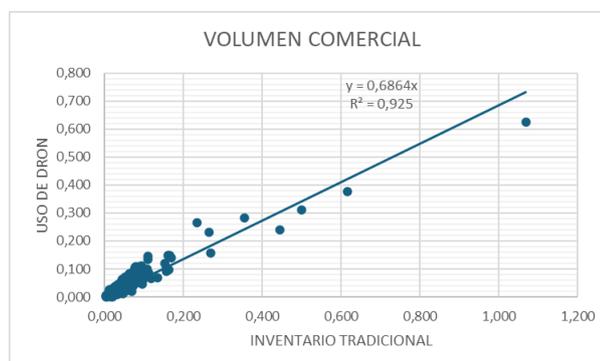


Ilustración 4-4. Dispersión de los datos de Volumen comercial.

Realizado por: Huisha I, 2024

Como se muestra en la Ilustración 4-4, hay una mayor variabilidad en las mediciones de volumen comercial en comparación con el área basal. Estos datos sugieren que los drones pueden ser una herramienta útil para estimar el volumen comercial de manera eficiente y precisa en comparación con los métodos tradicionales.

4.1.2.7 Volumen total promedio de los árboles de *Pinus radiata*

El volumen total promedio por árbol en plantación por el método tradicional se estima en 0.069 m³, con un máximo real observado de 0.082 m³ y un mínimo de 0.057 m³. Por otro lado, la

plantación con el uso del dron exhibe un diámetro promedio de 0.051 m³, con un máximo real de 0.059 m³ y un mínimo de 0.043 m³, según se detalla en la Tabla 8-4.

Tabla 8-4: Volumen total promedio por ambas metodologías.

Metodologías en la plantación	VT (m ³)		
	X	Lim conf (sup)	Lim conf (inf)
M. Tradicional	0.069	0.082	0.057
Uso de dron	0.051	0.059	0.043

Realizado por: Huisha I, 2024.

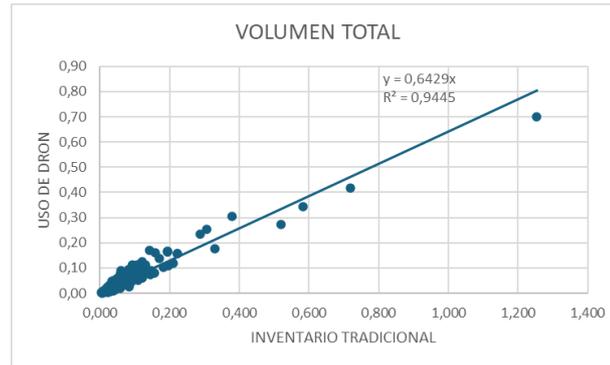


Ilustración 5-4. Dispersión de los datos de Volumen total.

Realizado por: Huisha I, 2024

Como se muestra en la Ilustración 5-4, presenta una correlación positiva en las mediciones. Sin embargo, al igual que con el volumen comercial, hay una mayor variabilidad en algunas de las mediciones de volumen total en comparación con las mediciones de área basal. A esto se atribuye varios factores, como la precisión de los equipos utilizados y la variabilidad en las condiciones del terreno.

4.1.2.8 Área de copa promedio de los árboles de *Pinus radiata*

El promedio del área de copa de los árboles entre el método tradicional de plantación se estima un volumen promedio de la copa de 11.19 m², con una amplitud observada entre 12.35 m² y 10.01 m². En contraste, la plantación asistida por drones muestra un área de copa promedio es de 9.36 m² por árbol, con una variación entre 10.46 m² y 8.27 m², según se detalla en la Tabla 9-4.

Tabla 9-4: Área de copa promedio por ambas metodologías.

Metodologías en la plantación	Área de copa (cm ²)		
	X	Lim conf (sup)	Lim conf (inf)
M. Tradicional	11.19	12.36	10.01
Uso de dron	9.36	10.46	8.27

Realizado por: Huisha I, 2024.

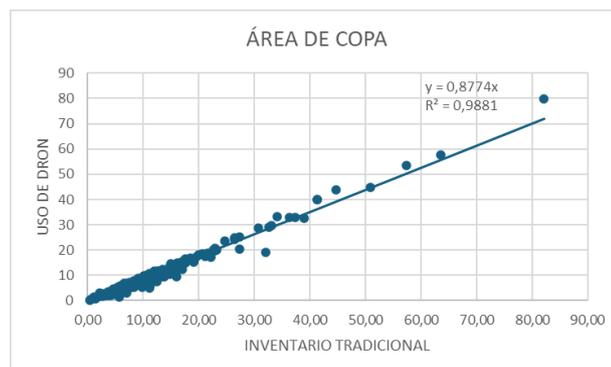


Ilustración 6-4. Dispersión de los datos de Área de copa.
Realizado por: Huisha I, 2024

Los datos de área de copa obtenidos mediante ambos métodos también muestran una correlación positiva entre las mediciones, como se muestra en la Ilustración 6-4. Sin embargo, al igual que con el volumen comercial y el volumen total, hay una variabilidad en algunas de las mediciones de área de copa en comparación con las mediciones de área basal.

4.1.3 Costos para realizar el inventario por ambas metodologías

Para esta investigación, se compararon los costos totales asociados con dos métodos diferentes para llevar a cabo un inventario forestal en una superficie de 35 hectáreas. Bajo el método tradicional, los costos ascendieron a un total de 813.50 USD, que incluyen la contratación de personal, transporte, equipos y herramientas de mediciones, y gastos de alimentación, como se detalla en la Tabla 10-4. Por otro lado, el uso de drones para el inventario forestal implicó un costo total de 600 USD, que abarcaba el costo del vuelo del dron, honorarios del piloto, transporte, alimentación y procesamiento de datos, según se detalla en la Tabla 11-4. Estos resultados destacan una diferencia significativa en los costos totales entre los dos métodos, siendo el método de uso de drones (UAV) más económico en comparación con el método tradicional, como se muestra en la Ilustración 7-4.

Tabla 10-4: Costos para realizar el inventario forestal por el método tradicional.

Concepto	Descripción	Costo (USD)
Personal	Costo de contratación de personal para la recolección de datos, análisis y gestión del inventario	180
Transporte	Gastos relacionados con el transporte de equipo y personal al lugar de muestreo	20
Equipos y herramientas de mediciones	Costo de adquisición de instrumentos para mediciones durante el inventario	586.50
Alimentación	Costo de alimentación para el personal que realiza el inventario	27
Total		813.50

Realizado por: Huisha I, 2024.

Tabla 11-4: Costos para realizar el inventario forestal mediante drones.

Concepto	Superficie (has)	Costo (USD)
Costo de vuelo del dron, piloto, transporte, alimentación y procesamiento de datos	Menor a 10 has.	300
	Entre 10 - 50 has.	600
	Entre 50 - 100 has.	900
	Entre 100 - 200 has.	1100
	Mayor a 200 has.	1400

Realizado por: Huisha I, 2024.

4.2 Discusión

En un análisis de arbolado urbano mediante el empleo de tecnología LiDAR, Yépez Rincón y Lozano García, (2018, pág. 73), destacan la eficacia de esta herramienta para la evaluación precisa de medidas como el diámetro de copa y la altura. Sin embargo, Sperlich et al., (2014, pág. 6), en su investigación que combina LiDAR y drones, precisa que la estimación de alturas es de 0.5 m. En contraste, en el presente estudio, se observa una diferencia significativa en la estimación de alturas utilizando ambos métodos. Esto sugiere que la fotogrametría con drones es una alternativa válida para obtener mediciones precisas de altura en el ámbito forestal, siendo además más accesible que el LiDAR.

En cuanto a la estimación de altura mediante fotografías aéreas tomadas con drones (UAV), se obtuvo una media de 6.15 m y una desviación estándar de 2.72. Comparando estos resultados con los obtenidos por Zurita et al., (2022, pág. 25) obtuvo una media de 8.72 m y una desviación estándar de 12.68. Y por Andersen et al. (2006, pág. 363) para una combinación de *Pinus douglas* y *Pinus ponderosa*, se observa una diferencia superior de -1.12 m en la media y una desviación estándar de 0.56.

Al realizar pruebas y comparaciones entre los datos recolectados en campo y las imágenes obtenidas mediante drones (ver Tabla 12-4), se obtuvieron resultados similares a los reportados por Iglhaut et al., (2019, pág. 159). Estos autores utilizaron fotografías de drones para predecir volúmenes en bosques forestales, incluso en ausencia de un modelo digital del terreno (MDT) de alta resolución. Por otro lado, Polewski et al., (2019, pág. 14) señalan que las especies de coníferas son más fácilmente predecibles debido a su distintiva y bien definida parte superior, mientras que las especies de latifoliadas presentan mayor complejidad debido a la falta de un patrón de forma riguroso. En consecuencia, se infiere que las herramientas empleadas son confiables para su utilización en bosques artificiales bajo manejo.

Los modelos de regresión lineal desarrollados en este estudio exhiben diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.0001$), hallazgos congruentes con los obtenidos por Pearse

et al. (2018, pág. 257). Estos autores realizaron una comparación entre imágenes satelitales y escáneres láser aerotransportados (ALS), obteniendo coeficientes de determinación (R^2) de 0.81 y 0.88 en una plantación de *Pinus radiata* en Nueva Zelanda. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de este estudio, según lo informado por Dandois y Ellis, (2013, pág. 264), considerando la variable altura (ver Tabla 12-4).

Al comparar los resultados de la desviación estándar de altura de la especie forestal (*Pinus radiata*), obtenidos tanto mediante mediciones manuales como a partir de las fotografías del dron mediante el área de copa estimada (ver Tabla 12-4), se observa una similitud con los obtenidos por Wang et al., (2019, pág. 137), quienes reportaron valores de desviación estándar entre 5.8 y 7.4, esto indica que la variable de altura es muy importante a considerar en la medición de los bosques y plantaciones forestales.

A partir del análisis de los resultados fotogramétricos (ver Ilustración 6-3), se puede concluir que, para la identificación a nivel de árbol individual, resultó más efectivo emplear la segmentación de copas mediante el Modelo Digital del Terreno (MDS), combinado con la identificación del centro de las coronas del dosel a través de la ortofoto (ver Ilustración 9-3). Esta metodología generó una representación más densa del arbolado. Sin embargo, Zurita et al., (2022, pág. 24) señalan que es importante tener en cuenta que la efectividad de este enfoque puede variar según la densidad arbustiva del rodal y las condiciones de iluminación, las cuales son influenciadas tanto por el rodal como la estructura en el dosel, especialmente en los estratos dominantes y codominantes. Además, López y Sandoval, (2023, pág. 385) mencionan que la precisión en la detección está relacionada con la altura de los árboles de referencia y la densidad arbórea. Dado que el área de estudio corresponde a un rodal bajo manejo forestal, con espacios entre los árboles, fue posible determinar los árboles, la distancia entre las copas y el área circundante. Sin embargo, Ortiz et al., (2015, pág. 126) señalan que la estimación de variables dasométricas, como el área basal, la biomasa aérea total, la cobertura arbórea y el volumen total maderable, puede lograrse con una precisión considerable a partir de datos LiDAR. Una ventaja significativa de esta técnica es la capacidad para generar mapas que revelan la variabilidad espacial de cada una de estas variables. Las estimaciones totales obtenidas se consideran altamente adecuadas, dado que los valores se encuentran dentro del intervalo de confianza estimado mediante la metodología asociada a un inventario forestal tradicional.

4.3 Comprobación de la hipótesis

Para evaluar la validez de las hipótesis planteadas, se llevó a cabo un análisis comparativo entre los datos obtenidos mediante métodos tradicionales de medición en terreno y aquellos recopilados utilizando tecnología de drones. Los resultados del análisis de significancia, mediante la prueba de hipótesis (Wilcoxon Mann-Whitney U) con un nivel de significancia establecido en 0.05, revelaron que para todas las variables dasométricas estudiadas, los valores de p fueron significativamente menores que el nivel de significancia, según se detallan en la Tabla 12-4. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que afirmaba la similitud entre los promedios de las variables obtenidas con ambos métodos. En su lugar, se acepta la hipótesis alternativa, concluyendo que existen diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de las variables dasométricas obtenidas con drones y los métodos tradicionales de medición en terreno.

Tabla 12-4: Comparación de variables dasométricas medidas por ambas metodologías.

Variables	Método tradicional				Método de dron				p (2 colas)
	X	S	L. sup	L. inf	X	S	L. sup	L. inf	
HT	7,96	2,88	8,30	7,62	6,15	2,72	6,47	5,82	<0,0001
HC	5,97	2,53	6,27	5,68	5,15	2,72	5,47	4,82	<0,0016
DAP	12,93	4,44	13,45	12,41	12,65	4,38	13,16	12,13	<0,323
AB	0,015	0,01	0,0162	0,0131	0,014	0,01	0,0156	0,0126	<0,3755
VC	0,054	0,09	0,064	0,043	0,044	0,06	0,051	0,037	<0,0121
VT	0,069	0,11	0,082	0,057	0,051	0,07	0,059	0,043	<0,0001
AC	11,19	9,92	12,36	10,01	9,36	9,36	10,46	8,27	<0,0002

X = Media; S = Desviación estándar; L. sup = Límite superior; L. inf = Límite inferior; p = Valor de significancia; HT = Altura total; HC = Altura comercial; DAP = Diámetro a la Altura del Pecho, AB = Área Basal; VC = Volumen comercial; VT = Volumen total; AC = Área de copa.

Realizado por: Huisha I, 2024.

CONCLUSIONES

Tras la evaluación *in situ* y el vuelo de drones, se identificó una falta de manejo forestal en los últimos 10 años, lo que generó desafíos en el desarrollo y salud de los árboles. Se observaron áreas con crecimiento desigual, densidades variables y competencia entre ejemplares, junto con limitaciones de acceso debido a la topografía del terreno. El análisis fotogramétrico subrayó la necesidad urgente de intervención y planificación meticulosa para revitalizar la salud y productividad de la plantación.

Tanto el método tradicional como el uso de drones permitieron obtener variables dasométricas como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura de comercial (Hc), la altura total (Ht), área de copa (Ac), el área basal (AB) y los volúmenes de madera por árbol (Vc) y total (Vt), entre otras. Por ejemplo, el DAP promedio fue de 12.93 cm para el método tradicional y 12.65 cm para el uso de drones; la altura de copa promedio fue de 5.97 m y 5.15 m, respectivamente; la altura total promedio fue de 7.96 m y 6.15 m; el área basal promedio fue de 0.015 m² y 0.014 m²; el volumen de madera por árbol promedio fue de 0.064 m³ y 0.044 m³; y el volumen total promedio fue de 0.069 m³ y 0.051 m³. Aunque se observó cierta variabilidad en los valores medios y desviaciones estándar entre los métodos, las estimaciones se mantuvieron dentro de rangos comparables, respaldando la validez y utilidad de ambos enfoques para la evaluación de variables forestales.

Para finalizar, es importante considerar los costos asociados entre ambos métodos en la obtención de variables dasométricas. Ante esto, el uso de drones resulta más factible, ya que para este método implica un costo total de 600 USD, donde cubre el vuelo del dron, honorarios del piloto, transporte, alimentación y contingencias. Por otro lado, el método tradicional, resulta muy costoso para un inventario forestal con un total de 813.50 USD, incluyendo la contratación de personal, el transporte, la adquisición de equipos y herramientas de medición, así como los gastos de alimentación del personal. En definitiva, el costo menor y la eficacia probada resulta como una opción atractiva para el inventario forestal en la aplicación método de dron.

RECOMENDACIONES

Dada la falta de manejo forestal identificada en los últimos 10 años y los desafíos observados en el desarrollo y salud de los árboles, se sugiere una intervención urgente y una planificación meticulosa para revitalizar la salud y productividad de la plantación. Esto podría incluir prácticas de manejo forestal adecuadas, como la regulación de la densidad de árboles y la competencia entre ejemplares, así como la mejora del acceso a áreas con limitaciones topográficas.

Para la obtención de variables dasométricas se recomienda incorporar técnicas más avanzadas como el uso de drones o LiDAR, teledetección o análisis geoespacial. Además, se sugiere aplicar la metodología utilizada en esta investigación para futuros estudios con el fin de abordar el manejo forestal, monitoreo y gestión de los recursos naturales de manera integral y eficiente.

Considerando la notable diferencia en costos y eficacia entre el método tradicional y el uso de drones para la recopilación de variables dasométricas, se sugiere a las instituciones y organizaciones dedicadas a la gestión forestal que adopten tecnologías avanzadas. Este estudio demuestra que la implementación de drones, específicamente el modelo M3M, es altamente eficiente para la obtención de estas variables. Se recomienda utilizar esta investigación como referencia metodológica para futuros estudios en el campo de la dasometría, con un énfasis particular en la utilización de LiDAR, dado su potencial para proporcionar datos de alta precisión y detalle en la medición y análisis forestal.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ANDERSEN, H.E., REUTEBUCH, S.E. y MCGAUGHEY, R.J.** A rigorous assessment of tree height measurements obtained using airborne lidar and conventional field methods. *Canadian Journal of Remote Sensing*, [En línea]. 2006. vol. 32, no. 5, ISSN 17127971. DOI 10.5589/m06-030.
2. **BAENA, S., BOYD, D. S., & MOAT, J.** UAVs in pursuit of plant conservation—Real world experiences. *Ecological Informatics*, [en línea]. 2018, 47, págs. 2-9. [Consulta: 19 diciembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.11.001>
3. **BASANTES, E.** Silvicultura y Fisiología Vegetal Aplicada [En línea]. 2016. Quito-Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, pág. 13-73. [Consulta: 03 enero 2024]. ISBN: 978-9978-301-36-4. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11686/1/Silvicultura.pdf>.
4. **BETTINGER, P., BOSTON, K., SIRY, J.P. y GREBNER, D.L.** *Forest Management and Planning* [en línea]. 2009. S.l.: s.n. [consulta: 19 enero 2024]. ISBN 9788578110796. Disponible en: <https://shop.elsevier.com/books/forest-management-and-planning/bettinger/978-0-12-809476-1>.
5. **CABRERA, J., LAMELAS, M. T., & MONTEALEGRE, A. L.** Estimación de variables dasométricas a partir de datos LiDAR PNOA en masas regulares de *Pinus halepensis* Mill. 2014. [Consulta: 19 diciembre 2023], págs. 7-12. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10045/46430>
6. **COLOMINA, I. y MOLINA, P.** Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. [en línea], 2014. vol. 92, ISSN 09242716. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>.
7. **CORONA, P., CHIRICI, G., MCROBERTS, RE, WINTER, S., BARBATI, A.** Contribución de los inventarios forestales a gran escala a la evaluación y el seguimiento de la biodiversidad. *Ecología y gestión forestal* 2011. 262(11): 2061-2069.
8. **CORRAL-RIVAS, J.; BRETADO, V.J. Y LÓPEZ, C.J.** Análisis de la estructura y composición del sistema permanente de monitoreo forestal del predio particular “Las Bayas” de la UJED, mpio. de Pueblo Nuevo, Durango. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. 2014. pág. 35. [Consulta: 15 diciembre 2023]. Disponible en: <https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/journal/497/4975365603/49753656003.pdf>

9. **CUNALEMA GAVILANES, MORELIA PIEDAD.** Evaluación de diferentes condiciones climáticas para el desarrollo de un injerto de hendidura de *Pinus radiata* D. Don, en la empresa aglomerados COTOPAXI S.A. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. [en línea]. 2022. UDCTFRN;33T00426. Pág. 9. [consulta: 19 enero 2024]. Disponible en: <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/18401>
10. **DANDOIS, J.P. y ELLIS, E.C.** High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision. *Remote Sensing of Environment* [en línea], 2013. vol. 136, ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2013.04.005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2013.04.005>.
11. **DJI.** Ala fija o multirroto ¿qué dron debe escoger para sus tareas de topografía aérea? [en línea]. 2020. [consulta: 19 enero 2024]. Disponible en: <https://enterprise-insights.dji.com/es/blog/drones-ala-fija-y-multirroto>.
12. **DJI.** Fundamentos de los Drones Térmicos - DJI ARS MADRID. [en línea]. 2022. [consulta: 19 enero 2024]. Disponible en: <https://djiarsmadrid.com/es/blog/dji-news/fundamentos-de-los-drones-termicos>.
13. **DJI.** DJI Mavic 3 Enterprise Series - Your Everyday Commercial Drone - DJI. [en línea]. 2024. [consulta: 19 enero 2024]. Disponible en: <https://www.dji.com/global/mavic-3-enterprise?site=brandsite&from=homepage>.
14. **FERREIRA ROJAS, OSCAR.** Manual de inventarios forestales. Siguatepeque: Escuela Nacional de Ciencias Forestales, 1990. [en línea], págs. 38-53. [Consultado el 20 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/5334>
15. **GAGO, J., DOUTHE, C., COOPMAN, R. E., GALLEGO, P. P., RIBAS-CARBO, M., FLEXAS, J., ESCALONA, J., & MEDRANO, H.** UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*, [en línea]. 2015, 153, págs. 9-19. [Consultado el 20 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.020>
16. **GAMBETTA, F., & BERMÚDEZ.** Curso inventarios forestales en bosques secos. CATIE, Turrialba (Costa Rica). Proyecto RENARM/Producción en Bosques Naturales. [en línea]. 1994. pág. 68 [Consultado el 20 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1056>
17. **GARMIN.** ¿Qué es el sistema GPS? [en línea]. 2022. pág. 1. [consulta: 12/01/2024]. Disponible en: <https://www.garmin.com/es-ES/aboutgps/>
18. **GRADIANT.** RPAS, UAS y UAV: ¿Qué son y en qué se diferencian? [en línea]. 2019. págs.

- 1-8. [consulta: 19 enero 2024]. Disponible en: <https://www.gradiant.org/blog/dron/>.
19. **GUTIÉRREZ, A. R. H., DUARTE, M. A. T., FRANCE, R. G., & LEÓN, R. R. ARBITRADA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA DE LA U. T.** El uso de drones en ciencias de la tierra. (Ensenada) [en línea]. *Reaxión*. Revista arbitrada de divulgación científica de la Universidad Tecnológica de León. 2017. pág. 6. [Consultado el 23 de octubre de 2023]. Disponible en: http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_El_uso_de_drones_en_ciencias_de_la_tierra.html
 20. **IGLHAUT, J., CABO, C., PULITI, S., PIERMATTEI, L., O'CONNOR, J. y ROSETTE, J.** Structure from Motion Photogrammetry in Forestry: a Review. *Current Forestry Reports*, 2019. vol. 5, no. 3, ISSN 21986436. DOI 10.1007/s40725-019-00094-3.
 21. **INAB.** Manual Técnico de Planificación de Inventarios Forestales. *Guatemala* [en línea], 2018. Disponible en: <https://pdfcoffee.com/manual-mapa-y-muestreo-bosque-inab-5-pdf-free.html>.
 22. **INIAP.** Estados de los recursos genéticos forestales en Ecuador [en línea]. Ecuador-Quito, 2016. [Consulta: 12/01/2024]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2742/1/iniapscpm424.pdf>
 23. **LARA, D.F.** Caracterización dasométrica del bosque San Vicente de la curia diocesana de Riobamba, ubicado en la parroquia San Isidro del cantón Guano, provincia de Chimborazo. *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo* [en línea], 2018. DOI FRN-CENID-UD;33T0203. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10368>.
 24. **LÓPEZ, G. & MATEO, J.** Catálogo de árboles y arbustos primera parte coniferales [En línea]. Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo Centro De Investigaciones Forestales. México. 2013. pág. 79. [Consulta: 1 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icap/LI_IntGenAmb/Juana_Fons/1.pdf
 25. **LÓPEZ, M. y SANDOVAL, S.** Estimation of stand density using aerial LiDAR information: Integrating the area-based-approach and individual-tree-detection methods in plantations of *Pinus radiata*. *Bosque*, 2023. vol. 44, no. 2, ISSN 07179200. DOI 10.4067/S0717-92002023000200377.
 26. **MAE.** Normativa N° 40 Acuerdo Ministerial del 4 de Junio del 2004, expedido por el ministerio de Ambiente, sobre las “Normas para el aprovechamiento de madera en bosques cultivados y de árboles en sistemas agroforestales. Quito. [en línea]. Quito-Ecuador: MAE, 2004. [Consulta: 15/10/2023]. Disponible en: <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/05/NORMASPARA-EL-APROVECHAMIENTO-DE-MADERA-EN-BOSQUES-CULTIVADOS.pdf>

27. **MANZANILLA, G.E., TREVIÑO GARZA, E.J., AGUIRRE CALDERÓN, O.A., ALANÍS RODRÍGUEZ, E., YERENA YAMALLEL, J.I. y MATA BALDERAS, J.M.** Dinámica del crecimiento en bosques templados del sur de Nuevo León, México. *Madera y Bosques* [en línea], 2022. vol. 28, no. 1, ISSN 1405-0471. DOI 10.21829/myb.2022.2812324. Disponible en: <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812324>.
28. **MARTÍN-GARCÍA, S., DIÉGUEZ-ARANDA, U., ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G., PÉREZ-CRUZADO, C., BUJÁN, S. y GONZÁLEZ-FERREIRO, E.** Estimación de las existencias maderables de *Pinus radiata* a escala provincial utilizando datos LiDAR de baja resolución. *Bosque* [en línea], 2017. vol. 38, no. 1, ISSN 07179200. DOI 10.4067/S0717-92002017000100003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000100003>.
29. **MONCAYO, X.A.** Caracterización dasométrica de dos plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, con fines de manejo en la parroquia San Andrés, cantón Guano. *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo* [en línea], 2021. DOI UDCTFRN;33T00290. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15888>.
30. **NATURALIST.** Pino de Monterrey *Pinus radiata*. [en línea]. 2016. [consulta: 19 enero 2024]. Disponible en: <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/53421-Pinus-radiata#Taxonomía>.
31. **ORTIZ-REYES, A.D., VALDEZ-LAZALDE, J.R., DE LOS SANTOS-POSADAS, H.M., ÁNGELES-PÉREZ, G., PAZ-PELLAT, F. y MARTÍNEZ-TRINIDAD, T.** Inventario y cartografía de variables del bosque con datos derivados de LiDAR: Comparación de métodos. *Madera Bosques*, 2015. vol. 21, no. 3, ISSN 14050471. DOI 10.21829/myb.2015.213461.
32. **PEÑA, D.E.** Evaluación de la eficiencia de herbicidas para el control de malezas en plantación de *Pinus radiata* D. Don, en el sector Itulcachi, parroquia Pifo, provincia de Pichincha, año 2019". *Universidad Técnica Estatal de Quevedo* [en línea], 2019. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3898>.
33. **PEÑALVER, A., AGUILAR TORRES, F.J., NEMMAOUI, A., BARZOLA, J.R.R., TOMALÁ, Á.A.T., AGUILAR TORRES, M.A. y LLANDERAL, A.** Precision and efficiency of the inventory of teak plantations in Ecuador by using terrestrial laser scanner. *Madera y Bosques* [en línea], 2021. vol. 27, no. 1, ISSN 14050471. DOI 10.21829/myb.2021.2712097. Disponible en: <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712097>.
34. **PEARSE, G.D., DASH, J.P., PERSSON, H.J. Y WATT, M.S.** Comparison of high-density LiDAR and satellite photogrammetry for forest inventory. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2018. 142, 257–267. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2018.06.006

35. **PINO, E.** Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia (Arica)* [en línea], 2019. vol. 37, no. 1, DOI 10.4067/s0718-34292019005000402. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019005000402>.
36. **POLEWSKI, P., YAO, W., CAO, L. y GAO, S.** Marker-free coregistration of UAV and backpack LiDAR point clouds in forested areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2019. vol. 147, ISSN 09242716. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2018.11.020.
37. **QUIJJE, A.K.** Determinación del volumen comercial de *Tectona grandis* L. en plantación ubicada en el sector Chial, cantón 24 de Mayo. *UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ* [en línea], 2020. Disponible en: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2225>.
38. **REYES-ZURITA, N., RODRÍGUEZ-ORTIZ, G., ENRÍQUEZ-DEL VALLE, J.R., JIMÉNEZ-COLMENARES, C.L. y RINCÓN-RAMÍREZ, J.A.** Estimación de variables dasométricas en rodales bajo manejo forestal con vehículos aéreos no tripulados. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 2022. vol. 13, no. 1, ISSN 1390-7042. DOI 10.29166/revfig.v13i1.3299.
39. **RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, J. L. Y ESPEJO TORRES, E. D.** Cartografía con drones (VANT's): (ed.). Tunja, Editorial UPTC. 2020. 1-180. Págs. 31-64. Recuperado de <https://elibro-net.proxy.esPOCH.edu.ec/es/ereader/esPOCH/193945?page=33>.
40. **ROUSE, J. W., HAAS, R. H., DEERING, D. W., SCHELL, J. A., & HARLAN, J. C.** Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation (E75-10354). [en línea], 1974, págs. 18-45. [Consulta: 2 enero 2024]. Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19750020419>
41. **SALAZAR, E.P.** Inventario florístico del bosque nativo San Lorenzo-Guaranda, en la parroquia Llagos, cantón Chunchi, provincia de Chimborazo. *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo* [en línea], 2011. DOI FRN-CENID-UD;33T0085. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/780>.
42. **SANAGUANO, R.Y.** Valoración económica de madera en una plantación de pino (*Pinus radiata*), en la parroquia Juan de Velasco, cantón Colta, en la provincia de Chimborazo. *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo* [en línea], 2022. DOI UDCTFRN;33T00414. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18203>.
43. **SPERLICH, M., KATTENBORN, T., KOCH, B. y KATTENBORN, G.** Potential of Unmanned Aerial Vehicle Based Photogrammetric Point Clouds for Automatic Single Tree

Detection. *Gemeinsame Tagung 2014 der DGfK, der DGPF, der GfGI und des GIN*, no. September 2015,

44. **SIRE, S. DE I. PARA LA R.** *Pinus radiata* D. Don. [en línea]. 2012. S.l.: s.n. [consulta: 19 enero 2024]. Disponible en: https://www.asturnatura.com/especie/pinus-radiata?expand_article=1.
45. **SUH, J., & CHOI, Y.** Mapping hazardous mining-induced sinkhole subsidence using unmanned aerial vehicle (drone) photogrammetry. *Environmental Earth Sciences*, [en línea], (2017), pág.76. [Consulta: 2 enero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6458-3>
46. **UQUILLAS, T.L.** Evaluacion de la durabilidad natural de madera aserrada de la especie *Pinus radiata* de la empresa AGLOMERADOS COTOPAXI en reaccion a un hongo xilófago. *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo* [en línea], 2022. DOI UDCTFRN;33T00427. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/18402>.
47. **VELÁSTEGUI, C.** Evaluación de tres dosis de fertilizante en plantación de *Pinus Radiata* D. Don en la Escuela de Formación de Soldados del Ecuador, Parroquia Pisque, Cantón Ambato. *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo* [en línea], 2017. DOI FRN-CENID-UD;33T0169. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7662/1/33T0169.pdf>.
48. **VINUEZA, M.** Ficha Técnica No. 13 Pino (*Pinus radiata*). *Ecuador Forestal* [en línea]. 2013. [consulta: 19 enero 2024]. Disponible en: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-13-pino-pinus-radiata/>.
49. **WANG, Y., LEHTOMÄKI, M., LIANG, X., PYÖRÄLÄ, J., KUKKO, A., JAAKKOLA, A., LIU, J., FENG, Z., CHEN, R. y HYYPPÄ, J.** Is field-measured tree height as reliable as believed – A comparison study of tree height estimates from field measurement, airborne laser scanning and terrestrial laser scanning in a boreal forest. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* [en línea], 2019. vol. 147, no. November 2018, ISSN 09242716. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2018.11.008. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.11.008>.
50. **WESTOBY, M. J., BRASINGTON, J., GLASSER, N. F., HAMBREY, M. J., & REYNOLDS, J. M.** ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, (2012). 179, 300-314, pág. 47. [Consulta: 2 enero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>.
51. **YÉPEZ RINCÓN, F.D. y LOZANO GARCÍA, D.F.** Mapeo del arbolado urbano con lidar aéreo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2018. vol. 5, no. 26, DOI



10.29298/rmcf.v5i26.290.

ANEXOS

ANEXO A: INFORME DE CALIDAD DEL PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6

 **Important:** Click on the different icons for:

-  Help to analyze the results in the Quality Report
-  Additional information about the sections

 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	PALMIRA
Processed	2024-02-14 16:23:09
Camera Model Name(s)	MBM_12.3_5280x3956_OBTIM (1581F5FKD22CMD0CGY3Y) (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.92 cm / 1.54 in
Area Covered	0.932 km ² / 93.2390 ha / 0.36 sq. mi. / 230.5178 acres
Time for Initial Processing (without report)	32m:31s

Quality Check

 Images	median of 74611 keypoints per image	
 Dataset	898 out of 898 images calibrated (100%), all images enabled	
 Camera Optimization	4.64% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
 Matching	median of 17348.9 matches per calibrated image	
 Georeferencing	yes, no 3D GCP	

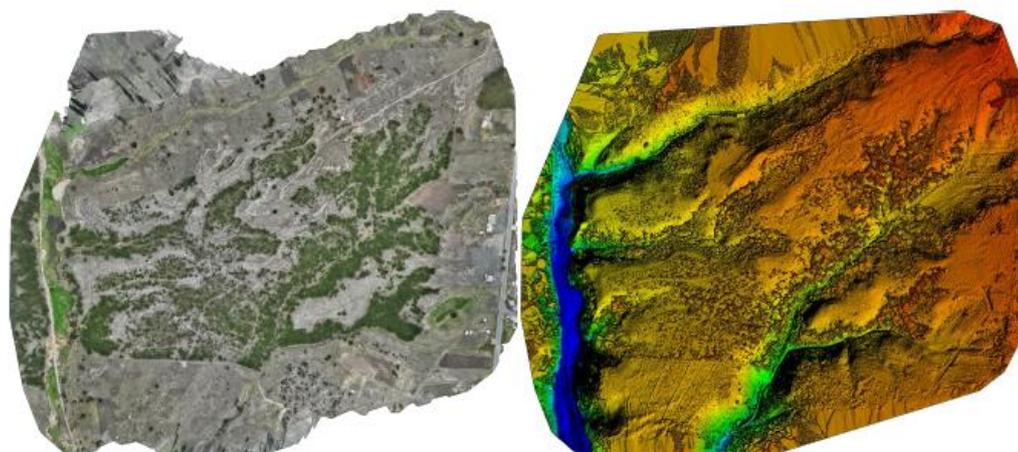


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images

898 out of 898

ANEXO B: DATOS OBTENIDOS MEDIANTE EL USO DE DRON (UAV) DEL INVENTARIO FORESTAL

N. Parcela	N. Árbol	DSM	DTM	HT	HC	HT_MT	D_HT
1	1	3251,950	3234,636	17,31	16,31	22,00	4,69
	2	3251,061	3241,171	9,89	8,89	16,60	6,71
	3	3250,110	3243,630	6,48	5,48	13,50	7,02
	4	3248,733	3239,411	9,32	8,32	16,30	6,98
	5	3249,696	3242,520	7,18	6,18	14,00	6,82
	6	3245,480	3237,549	7,93	6,93	15,00	7,07
	7	3247,293	3238,416	8,88	7,88	15,70	6,82
	9	3251,331	3241,099	10,23	9,23	16,70	6,47
	10	3252,493	3242,208	10,28	9,28	17,00	6,72
	11	3248,194	3238,838	9,36	8,36	16,30	6,94
	12	3251,485	3243,636	7,85	6,85	14,60	6,75
	13	3248,512	3238,569	9,94	8,94	16,60	6,66
	14	3249,179	3240,735	8,44	7,44	15,40	6,96
	15	3251,237	3239,381	11,86	10,86	17,30	5,44
	16	3244,710	3237,016	7,69	6,69	14,30	6,61
	17	3251,996	3242,192	9,80	8,80	16,50	6,70
	18	3252,661	3238,284	14,38	13,38	17,30	2,92
	19	3251,917	3243,476	8,44	7,44	15,50	7,06
	2	1	3264,679	3261,417	3,26	2,26	8,30
2		3264,625	3261,255	3,37	2,37	9,00	5,63
3		3264,686	3261,387	3,30	2,30	8,70	5,40
4		3265,951	3261,226	4,72	3,72	9,50	4,78
5		3265,466	3261,292	4,17	3,17	9,20	5,03
6		3268,658	3261,401	7,26	6,26	10,20	2,94
7		3263,836	3261,103	2,73	1,73	7,80	5,07
8		3262,616	3261,277	1,34	0,34	7,20	5,86
9		3265,748	3261,185	4,56	3,56	9,30	4,74
10		3264,691	3261,545	3,15	2,15	7,80	4,65
3	1	3267,258	3262,941	4,32	3,32	7,20	2,88
	2	3265,903	3262,847	3,06	2,06	5,90	2,84
	3	3266,558	3263,221	3,34	2,34	6,00	2,66
	4	3270,127	3263,038	7,09	6,09	12,40	5,31

	5	3268,982	3262,828	6,15	5,15	11,70	5,55
	6	3268,671	3263,085	5,59	4,59	10,10	4,51
	7	3266,771	3262,945	3,83	2,83	6,70	2,87
	8	3263,648	3262,783	0,87	-0,13	3,40	2,53
	9	3271,513	3263,204	8,31	7,31	12,90	4,59
	10	3265,427	3262,803	2,62	1,62	4,60	1,98
	11	3266,478	3262,740	3,74	2,74	6,68	2,94
	12	3266,262	3263,326	2,94	1,94	5,20	2,26
	13	3266,715	3263,155	3,56	2,56	6,10	2,54
	14	3267,269	3262,894	4,38	3,38	7,58	3,21
	15	3266,582	3263,112	3,47	2,47	6,00	2,53
	16	3264,769	3263,083	1,69	0,69	3,60	1,91
	17	3267,562	3262,917	4,64	3,64	8,10	3,46
	18	3266,224	3263,160	3,06	2,06	5,30	2,24
	19	3265,752	3262,837	2,91	1,91	5,10	2,19
	20	3265,725	3262,989	2,74	1,74	4,90	2,16
	21	3266,739	3263,245	3,49	2,49	6,00	2,51
	22	3266,139	3263,006	3,13	2,13	5,90	2,77
	23	3266,638	3262,959	3,68	2,68	6,30	2,62
	24	3266,653	3262,969	3,68	2,68	6,40	2,72
	25	3267,651	3263,067	4,58	3,58	7,70	3,12
	26	3265,086	3262,788	2,30	1,30	4,40	2,10
	27	3264,965	3263,091	1,87	0,87	4,10	2,23
	28	3264,756	3262,879	1,88	0,88	4,30	2,42
	29	3265,567	3262,792	2,78	1,78	5,00	2,22
	1	3259,595	3247,991	11,60	10,60	10,90	-0,70
	2	3257,271	3247,244	10,03	9,03	9,30	-0,73
	3	3258,949	3249,949	9,00	8,00	8,40	-0,60
	4	3258,811	3250,572	8,24	7,24	7,20	-1,04
	6	3257,650	3248,689	8,96	7,96	8,30	-0,66
	7	3257,277	3248,666	8,61	7,61	7,50	-1,11
	8	3257,756	3249,726	8,03	7,03	6,80	-1,23
	9	3260,701	3249,766	10,93	9,93	10,00	-0,93
	10	3258,010	3251,106	6,90	5,90	5,90	-1,00
	11	3258,422	3250,697	7,72	6,72	6,30	-1,42
	12	3259,501	3251,835	7,67	6,67	6,00	-1,67
	13	3257,265	3249,411	7,85	6,85	6,50	-1,35
	14	3259,236	3250,176	9,06	8,06	8,40	-0,66
	15	3256,045	3248,059	7,99	6,99	6,50	-1,49
	17	3257,853	3249,153	8,70	7,70	7,80	-0,90
	18	3255,441	3247,448	7,99	6,99	6,60	-1,39
	19	3261,077	3252,267	8,81	7,81	7,80	-1,01
	20	3258,297	3248,979	9,32	8,32	8,40	-0,92
	21	3257,990	3249,088	8,90	7,90	8,00	-0,90
	22	3257,844	3247,410	10,43	9,43	9,50	-0,93
	23	3261,341	3251,191	10,15	9,15	9,30	-0,85
	24	3260,438	3251,504	8,93	7,93	8,20	-0,73
	25	3258,556	3248,097	10,46	9,46	9,50	-0,96
	26	3261,938	3252,253	9,68	8,68	9,00	-0,68
	27	3259,356	3249,604	9,75	8,75	9,20	-0,55
	28	3261,700	3251,420	10,28	9,28	9,30	-0,98
	29	3259,490	3249,654	9,84	8,84	9,20	-0,64
	30	3259,553	3248,092	11,46	10,46	10,80	-0,66
	31	3260,330	3249,774	10,56	9,56	9,50	-1,06
	32	3257,223	3249,053	8,17	7,17	7,00	-1,17
	33	3260,777	3249,670	11,11	10,11	10,00	-1,11
	35	3262,633	3251,404	11,23	10,23	10,20	-1,03
	36	3259,952	3250,541	9,41	8,41	8,50	-0,91
	37	3260,627	3248,607	12,02	11,02	11,40	-0,62
	38	3257,420	3247,813	9,61	8,61	8,90	-0,71
	39	3260,012	3250,265	9,75	8,75	9,10	-0,65
	40	3256,381	3247,971	8,41	7,41	7,30	-1,11
	41	3257,979	3247,327	10,65	9,65	9,50	-1,15
	1	3279,197	3270,768	8,43	7,43	8,30	-0,13
	2	3278,071	3270,020	8,05	7,05	8,00	-0,05
	3	3276,477	3269,733	6,74	5,74	6,70	-0,04
	4	3277,040	3269,477	7,56	6,56	7,50	-0,06
	5	3277,676	3270,503	7,17	6,17	7,30	0,13
	6	3278,667	3270,272	8,39	7,39	8,20	-0,19
	7	3272,985	3269,405	3,58	2,58	4,70	1,12
	8	3279,786	3269,707	10,08	9,08	10,00	-0,08

	9	3275,093	3270,121	4,97	3,97	5,90	0,93
	10	3273,730	3269,633	4,10	3,10	4,90	0,80
	11	3275,313	3270,364	4,95	3,95	5,50	0,55
	12	3277,096	3270,314	6,78	5,78	7,00	0,22
	13	3278,021	3270,013	8,01	7,01	7,90	-0,11
	14	3277,693	3270,046	7,65	6,65	7,50	-0,15
	15	3279,185	3270,005	9,18	8,18	8,60	-0,58
	16	3276,160	3269,284	6,88	5,88	7,00	0,12
	17	3279,025	3270,669	8,36	7,36	8,00	-0,36
	18	3276,335	3270,145	6,19	5,19	6,50	0,31
	19	3277,818	3269,104	8,71	7,71	8,50	-0,21
	20	3278,222	3270,383	7,84	6,84	7,70	-0,14
	21	3276,049	3269,020	7,03	6,03	7,20	0,17
	22	3277,963	3270,289	7,67	6,67	7,50	-0,17
	23	3278,170	3269,533	8,64	7,64	8,30	-0,34
	24	3280,331	3269,812	10,52	9,52	10,10	-0,42
	25	3276,445	3270,303	6,14	5,14	6,20	0,06
	26	3278,095	3270,776	7,32	6,32	7,30	-0,02
	27	3277,833	3270,027	7,81	6,81	7,60	-0,21
	28	3277,115	3269,271	7,84	6,84	7,80	-0,04
	29	3276,837	3270,510	6,33	5,33	6,50	0,17
	30	3278,141	3269,775	8,37	7,37	8,00	-0,37
	1	3266,958	3260,680	6,28	5,28	8,11	1,83
	2	3270,157	3260,491	9,67	8,67	13,09	3,42
	3	3273,892	3262,808	11,08	10,08	13,09	2,00
	4	3267,150	3261,184	5,97	4,97	7,58	1,61
	5	3270,156	3262,068	8,09	7,09	8,94	0,85
	6	3268,448	3262,212	6,24	5,24	7,91	1,67
	7	3270,894	3261,772	9,12	8,12	10,78	1,66
	8	3266,962	3261,512	5,45	4,45	6,55	1,10
	9	3268,715	3261,484	7,23	6,23	8,28	1,05
	10	3268,194	3262,556	5,64	4,64	6,90	1,26
	11	3266,896	3261,927	4,97	3,97	5,90	0,93
	12	3267,395	3261,634	5,76	4,76	7,20	1,44
	13	3269,204	3260,227	8,98	7,98	10,40	1,42
	14	3268,594	3260,832	7,76	6,76	8,30	0,54
	15	3267,574	3262,465	5,11	4,11	6,30	1,19
	16	3268,137	3260,067	8,07	7,07	8,30	0,23
	17	3266,869	3261,021	5,85	4,85	7,40	1,55
	18	3267,737	3262,033	5,70	4,70	7,00	1,30
	1	3269,633	3262,542	7,09	6,09	8,50	1,41
	2	3268,034	3262,126	5,91	4,91	7,30	1,39
	3	3267,942	3263,226	4,72	3,72	7,20	2,48
	4	3263,726	3261,619	2,11	1,11	4,59	2,48
	5	3265,456	3263,116	2,34	1,34	5,60	3,26
	6	3264,289	3262,050	2,24	1,24	5,10	2,86
	7	3266,742	3263,529	3,21	2,21	6,50	3,29
	8	3265,058	3262,815	2,24	1,24	4,90	2,66
	9	3269,644	3262,521	7,12	6,12	8,80	1,68
	10	3262,968	3261,357	1,61	0,61	4,27	2,66
	11	3269,532	3263,186	6,35	5,35	7,30	0,95
	12	3271,461	3263,254	8,21	7,21	9,80	1,59
	13	3270,271	3262,739	7,53	6,53	8,93	1,40
	14	3268,867	3263,222	5,64	4,64	7,20	1,56
	15	3264,092	3262,053	2,04	1,04	4,30	2,26
	16	3265,138	3262,504	2,63	1,63	5,60	2,97
	17	3265,351	3262,487	2,86	1,86	5,70	2,84
	18	3269,145	3262,497	6,65	5,65	7,80	1,15
	19	3271,285	3263,364	7,92	6,92	9,30	1,38
	20	3267,231	3264,063	3,17	2,17	6,30	3,13
	21	3265,585	3262,278	3,31	2,31	10,22	6,91
	22	3272,150	3262,989	9,16	8,16	10,00	0,84
	23	3267,327	3263,494	3,83	2,83	6,70	2,87
	24	3267,057	3263,162	3,89	2,89	6,70	2,81
	25	3266,770	3263,776	2,99	1,99	6,00	3,01
	26	3271,170	3263,090	8,08	7,08	9,60	1,52
	27	3267,465	3263,135	4,33	3,33	7,00	2,67
	28	3265,879	3262,239	3,64	2,64	6,50	2,86
	29	3265,817	3261,593	4,22	3,22	6,70	2,48
	1	3264,914	3261,817	3,10	2,10	4,75	1,65
	2	3263,369	3261,592	1,78	0,78	3,56	1,78

	3	3265,833	3262,347	3,49	2,49	5,10	1,61	
	4	3265,159	3261,873	3,29	2,29	4,81	1,52	
	5	3264,707	3261,629	3,08	2,08	4,70	1,62	
	6	3265,801	3262,104	3,70	2,70	5,50	1,80	
	7	3263,882	3261,893	1,99	0,99	4,00	2,01	
	8	3264,077	3261,574	2,50	1,50	4,16	1,66	
	9	3265,453	3261,942	3,51	2,51	5,21	1,70	
	10	3264,310	3261,763	2,55	1,55	4,16	1,61	
	11	3263,946	3262,029	1,92	0,92	3,60	1,68	
	12	3264,625	3262,290	2,34	1,34	4,00	1,66	
	13	3265,398	3262,363	3,04	2,04	4,58	1,54	
	14	3264,724	3261,955	2,77	1,77	4,33	1,56	
	9	1	3264,493	3260,089	4,40	3,40	6,96	2,56
		2	3262,689	3260,156	2,53	1,53	5,00	2,47
3		3266,327	3259,672	6,66	5,66	9,69	3,03	
4		3265,683	3259,982	5,70	4,70	8,42	2,72	
5		3265,644	3259,964	5,68	4,68	8,10	2,42	
6		3265,092	3260,082	5,01	4,01	6,98	1,97	
7		3264,905	3259,798	5,11	4,11	7,70	2,59	
8		3261,781	3259,700	2,08	1,08	4,49	2,41	
9		3262,661	3260,039	2,62	1,62	5,30	2,68	
10		3263,471	3259,896	3,57	2,57	6,20	2,63	
11		3264,080	3259,874	4,21	3,21	6,90	2,69	
12		3265,242	3259,984	5,26	4,26	8,04	2,78	
13		3263,333	3259,647	3,69	2,69	6,40	2,71	
14		3264,139	3259,743	4,40	3,40	6,92	2,52	
	15	3262,962	3259,689	3,27	2,27	6,00	2,73	
	16	3264,864	3259,808	5,06	4,06	7,20	2,14	
11	2	3268,450	3261,771	6,68	5,68	6,70	0,02	
	3	3265,330	3261,176	4,15	3,15	8,50	4,35	
	4	3267,781	3261,315	6,47	5,47	7,00	0,53	
	5	3265,666	3261,519	4,15	3,15	7,50	3,35	
	6	3266,987	3261,844	5,14	4,14	7,00	1,86	
	7	3266,200	3261,884	4,32	3,32	7,30	2,98	
	8	3268,145	3261,647	6,50	5,50	7,00	0,50	
	9	3269,018	3261,759	7,26	6,26	7,50	0,24	
	10	3265,681	3261,657	4,02	3,02	8,50	4,48	
	11	3266,246	3261,78	4,47	3,47	5,50	1,03	
	12	3267,357	3261,703	5,65	4,65	7,00	1,35	
	13	3266,813	3261,869	4,94	3,94	7,30	2,36	
	14	3268,456	3261,114	7,34	6,34	7,20	-0,14	
	15	3269,030	3260,886	8,14	7,14	9,00	0,86	
	12	1	3273,246	3268,285	4,96	3,96	8,50	3,54
2		3272,845	3268,000	4,84	3,84	7,10	2,26	
3		3272,220	3268,019	4,20	3,20	6,40	2,20	
4		3271,371	3267,956	3,41	2,41	5,80	2,39	
5		3272,823	3268,505	4,32	3,32	6,70	2,38	
6		3272,568	3268,273	4,30	3,30	6,50	2,20	
7		3271,396	3267,967	3,43	2,43	5,90	2,47	
8		3271,673	3268,056	3,62	2,62	5,90	2,28	
9		3269,142	3268,073	1,07	0,07	5,00	3,93	
10		3273,281	3268,258	5,02	4,02	10,00	4,98	
11		3275,026	3268,155	6,87	5,87	11,00	4,13	
12		3275,640	3268,221	7,42	6,42	13,70	6,28	
13		3273,019	3268,094	4,92	3,92	8,20	3,28	
14		3275,064	3268,403	6,66	5,66	10,50	3,84	
15		3269,295	3267,886	1,41	0,41	5,50	4,09	
13	1	3269,428	3262,542	6,89	5,89	8,50	1,61	
	3	3266,277	3259,791	6,49	5,49	8,01	1,52	
	4	3268,876	3262,403	6,47	5,47	7,90	1,43	
	5	3265,848	3261,267	4,58	3,58	4,80	0,22	
	6	3271,880	3262,845	9,04	8,04	10,60	1,56	
	7	3267,400	3261,902	5,50	4,50	6,30	0,80	
	8	3268,000	3260,551	7,45	6,45	9,20	1,75	
	9	3265,990	3259,852	6,14	5,14	7,03	0,89	
	10	3269,910	3262,664	7,25	6,25	8,90	1,65	
	12	3268,856	3262,916	5,94	4,94	6,40	0,46	
	13	3268,352	3262,155	6,20	5,20	7,30	1,10	
	14	3268,252	3261,883	6,37	5,37	7,60	1,23	
	15	3268,529	3260,182	8,35	7,35	9,50	1,15	
	16	3269,854	3261,140	8,71	7,71	10,00	1,29	

	17	3269,335	3261,451	7,88	6,88	9,40	1,52
	19	3269,195	3260,243	8,95	7,95	10,00	1,05
	20	3269,824	3262,605	7,22	6,22	8,80	1,58
	21	3269,282	3260,844	8,44	7,44	9,50	1,06
	22	3271,483	3260,681	10,80	9,80	10,70	-0,10
	23	3269,852	3260,831	9,02	8,02	10,30	1,28
	24	3268,924	3263,247	5,68	4,68	6,30	0,62
	26	3266,330	3261,045	5,28	4,28	5,70	0,42
	27	3266,081	3261,245	4,84	3,84	5,00	0,16
	28	3269,610	3262,500	7,11	6,11	8,70	1,59
	29	3267,643	3262,150	5,49	4,49	6,00	0,51
	30	3270,121	3262,250	7,87	6,87	9,20	1,33
	31	3269,300	3262,383	6,92	5,92	8,50	1,58
	14	1	3280,164	3271,701	8,46	7,46	9,90
2		3278,063	3271,899	6,16	5,16	6,80	0,64
3		3275,751	3272,044	3,71	2,71	5,10	1,39
4		3276,809	3271,542	5,27	4,27	5,50	0,23
5		3276,961	3271,312	5,65	4,65	6,50	0,85
6		3277,880	3271,586	6,29	5,29	6,80	0,51
7		3277,041	3271,481	5,56	4,56	6,30	0,74
8		3277,157	3271,632	5,53	4,53	6,20	0,67
9		3277,209	3271,489	5,72	4,72	6,60	0,88
10		3276,887	3271,370	5,52	4,52	5,80	0,28
11		3275,423	3271,727	3,70	2,70	5,00	1,30
12		3275,054	3271,603	3,45	2,45	4,50	1,05
13		3281,627	3271,818	9,81	8,81	10,03	0,22
14		3278,777	3271,914	6,86	5,86	9,20	2,34
15	1	3278,731	3272,703	6,03	5,03	8,80	2,77
	2	3276,768	3273,120	3,65	2,65	6,40	2,75
	3	3275,321	3272,793	2,53	1,53	6,10	3,57
	4	3276,921	3272,806	4,11	3,11	6,50	2,39
	5	3275,497	3272,241	3,26	2,26	6,20	2,94
	6	3278,417	3272,427	5,99	4,99	7,70	1,71
	7	3276,449	3272,330	4,12	3,12	6,50	2,38
	8	3277,469	3273,415	4,05	3,05	6,40	2,35

ANEXO C: DATOS OBTENIDOS MEDIANTE EL MÉTODO TRADICIONAL DEL INVENTARIO FORESTAL

N. Parcela	N. Árbol	HT	HC	DAP	AB	VC	VT	DC	AC
1	1	22,00	16,00	16,00	0,020	0,161	0,221	6,90	37,39
	2	16,60	12,30	18,00	0,025	0,156	0,211	6,45	32,67
	3	13,50	9,70	13,00	0,013	0,064	0,090	3,20	8,04
	4	16,30	13,50	17,50	0,024	0,162	0,196	5,05	20,03
	5	14,00	12,20	14,10	0,016	0,095	0,109	4,65	16,98
	6	15,00	11,80	12,05	0,011	0,067	0,086	3,90	11,95
	7	15,70	12,80	23,10	0,042	0,268	0,329	7,05	39,04
	9	16,70	14,30	29,80	0,070	0,499	0,582	8,05	50,90
	10	17,00	14,60	32,80	0,084	0,617	0,718	8,55	57,41
	11	16,30	13,90	44,25	0,154	1,069	1,253	10,23	82,11
	12	14,60	10,00	16,45	0,021	0,106	0,155	5,40	22,90
	13	16,60	13,40	12,75	0,013	0,086	0,106	4,15	13,53
	14	15,40	12,50	15,45	0,019	0,117	0,144	3,55	9,90
	15	17,30	13,00	13,50	0,014	0,093	0,124	5,25	21,65
	16	14,30	12,40	16,65	0,022	0,135	0,156	6,80	36,32
	17	16,50	14,30	16,75	0,022	0,158	0,182	3,75	11,04
	18	17,30	16,20	23,60	0,044	0,354	0,378	4,90	18,86
	19	15,50	13,20	29,25	0,067	0,443	0,521	9,00	63,62
	2	1	8,30	6,50	11,10	0,010	0,031	0,040	3,15
2		9,00	7,00	11,45	0,010	0,036	0,046	4,35	14,86
3		8,70	6,70	10,90	0,009	0,031	0,041	4,50	15,90
4		9,50	7,60	10,50	0,009	0,033	0,041	3,75	11,04
5		9,20	7,80	13,00	0,013	0,052	0,061	5,80	26,42
6		10,20	8,30	13,30	0,014	0,058	0,071	5,80	26,42
7		7,80	6,10	13,85	0,015	0,046	0,059	3,50	9,62
8		7,20	5,00	10,15	0,008	0,020	0,029	2,75	5,94
9		9,30	7,90	12,10	0,011	0,045	0,053	4,40	15,21
10		7,80	5,20	12,20	0,012	0,030	0,046	4,40	15,21
3	1	7,20	5,90	10,20	0,008	0,024	0,029	3,21	8,09

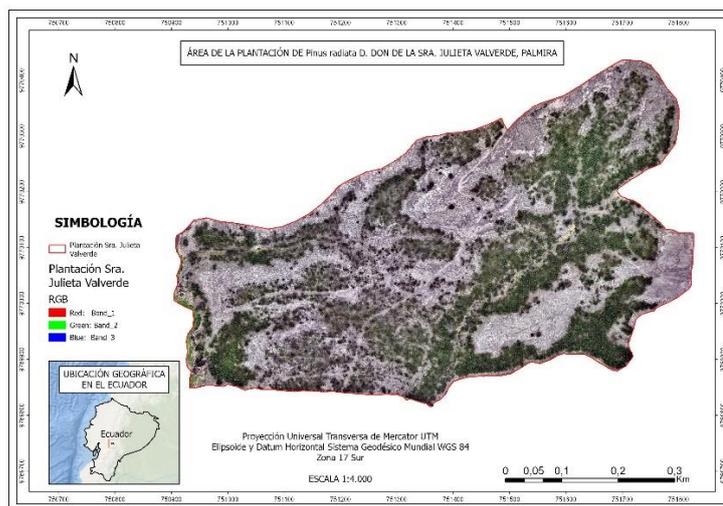
	2	5,90	4,40	8,20	0,005	0,012	0,016	2,51	4,95
	3	6,00	4,80	7,20	0,004	0,010	0,012	2,68	5,62
	4	12,40	9,50	4,40	0,002	0,007	0,009	3,13	7,67
	5	11,70	8,20	16,25	0,021	0,085	0,121	2,07	3,37
	6	10,10	6,50	12,65	0,013	0,041	0,063	1,23	1,19
	7	6,70	4,80	8,55	0,006	0,014	0,019	2,22	3,87
	8	3,40	2,40	6,85	0,004	0,004	0,006	3,13	7,69
	9	12,90	9,20	17,00	0,023	0,104	0,146	1,50	1,77
	10	4,60	3,20	10,00	0,008	0,013	0,018	2,28	4,08
	11	6,68	5,90	9,70	0,007	0,022	0,025	1,86	2,72
	12	5,20	4,00	6,45	0,003	0,007	0,008	2,30	4,15
	13	6,10	4,00	7,35	0,004	0,008	0,013	2,45	4,71
	14	7,58	6,10	11,80	0,011	0,033	0,041	2,10	3,46
	15	6,00	4,00	12,50	0,012	0,025	0,037	2,35	4,34
	16	3,60	2,50	7,80	0,005	0,006	0,009	2,17	3,70
	17	8,10	4,30	11,30	0,010	0,022	0,041	2,27	4,05
	18	5,30	3,40	6,65	0,003	0,006	0,009	1,83	2,63
	19	5,10	4,30	7,55	0,004	0,010	0,011	1,20	1,13
	20	4,90	3,10	7,40	0,004	0,007	0,011	1,25	1,22
	21	6,00	4,20	7,80	0,005	0,010	0,014	1,28	1,28
	22	5,90	3,30	6,50	0,003	0,005	0,010	2,50	4,91
	23	6,30	4,30	9,25	0,007	0,014	0,021	1,97	3,05
	24	6,40	4,40	10,95	0,009	0,021	0,030	1,45	1,65
	25	7,70	6,20	11,05	0,010	0,030	0,037	2,10	3,46
	26	4,40	3,50	6,55	0,003	0,006	0,007	0,70	0,38
	27	4,10	3,30	6,50	0,003	0,005	0,007	1,20	1,13
	28	4,30	3,50	7,95	0,005	0,009	0,011	0,87	0,59
	29	5,00	3,90	6,90	0,004	0,007	0,009	1,33	1,39
	1	10,90	7,50	19,25	0,029	0,109	0,159	2,15	3,63
	2	9,30	6,60	17,15	0,023	0,076	0,107	2,35	4,34
	3	8,40	5,50	15,15	0,018	0,050	0,076	3,16	7,84
	4	7,20	5,00	16,30	0,021	0,052	0,075	2,76	5,98
	6	8,30	6,50	9,85	0,008	0,025	0,032	2,25	3,98
	7	7,50	5,50	15,35	0,019	0,051	0,069	3,12	7,65
	8	6,80	5,20	13,65	0,015	0,038	0,050	2,71	5,77
	9	10,00	7,50	16,15	0,020	0,077	0,102	2,14	3,60
	10	5,90	3,80	11,10	0,010	0,018	0,029	2,20	3,80
	11	6,30	5,00	8,60	0,006	0,015	0,018	2,45	4,71
	12	6,00	4,60	15,85	0,020	0,045	0,059	2,70	5,73
	13	6,50	5,00	12,90	0,013	0,033	0,042	4,20	13,85
	14	8,40	6,40	19,25	0,029	0,093	0,122	3,57	9,98
	15	6,50	4,80	9,25	0,007	0,016	0,022	1,76	2,43
	17	7,80	6,20	11,90	0,011	0,034	0,043	2,65	5,52
	18	6,60	5,00	11,70	0,011	0,027	0,035	1,27	1,27
	19	7,80	5,60	14,80	0,017	0,048	0,067	4,12	13,33
	20	8,40	6,50	20,80	0,034	0,110	0,143	3,76	11,10
	21	8,00	6,00	17,25	0,023	0,070	0,093	2,50	4,91
	22	9,50	7,50	14,85	0,017	0,065	0,082	2,70	5,73
	23	9,30	7,20	12,40	0,012	0,043	0,056	3,70	10,75
	24	8,20	6,60	15,85	0,020	0,065	0,081	3,20	8,04
	25	9,50	7,00	12,85	0,013	0,045	0,062	3,10	7,55
	26	9,00	7,50	13,55	0,014	0,054	0,065	2,90	6,58
	27	9,20	6,50	10,75	0,009	0,029	0,042	2,15	3,63
	28	9,30	7,50	13,90	0,015	0,057	0,071	2,20	3,80
	29	9,20	6,80	15,50	0,019	0,064	0,087	3,10	7,55
	30	10,80	8,30	16,45	0,021	0,088	0,115	4,85	18,47
	31	9,50	7,50	12,65	0,013	0,047	0,060	3,80	11,34
	32	7,00	5,50	14,75	0,017	0,047	0,060	3,10	7,55
	33	10,00	7,00	16,95	0,023	0,079	0,113	3,75	11,04
	35	10,20	8,00	12,75	0,013	0,051	0,065	3,97	12,38
	36	8,50	6,80	15,50	0,019	0,064	0,080	2,75	5,94
	37	11,40	9,30	25,35	0,050	0,235	0,288	2,95	6,83
	38	8,90	7,30	12,25	0,012	0,043	0,052	3,25	8,30
	39	9,10	7,00	10,65	0,009	0,031	0,041	4,15	13,53
	40	7,30	5,40	9,90	0,008	0,021	0,028	3,11	7,57
	41	9,50	7,80	16,45	0,021	0,083	0,101	2,15	3,63
	1	8,30	6,70	11,35	0,010	0,034	0,042	3,53	9,76
	2	8,00	6,50	10,40	0,008	0,028	0,034	3,91	11,98
	3	6,70	4,90	10,45	0,009	0,021	0,029	3,34	8,76
	4	7,50	5,00	14,85	0,017	0,043	0,065	4,04	12,82
	5	7,30	6,00	17,05	0,023	0,068	0,083	6,39	32,02

	6	8,20	6,30	11,15	0,010	0,031	0,040	3,92	12,04	
	7	4,70	2,50	10,35	0,008	0,011	0,020	3,55	9,90	
	8	10,00	8,70	14,35	0,016	0,070	0,081	3,94	12,16	
	9	5,90	4,40	10,70	0,009	0,020	0,027	3,69	10,67	
	10	4,90	3,40	10,90	0,009	0,016	0,023	2,73	5,85	
	11	5,50	4,00	10,85	0,009	0,018	0,025	4,00	12,57	
	12	7,00	5,50	19,75	0,031	0,084	0,107	5,00	19,63	
	13	7,90	5,80	19,10	0,029	0,083	0,113	6,25	30,68	
	14	7,50	6,00	12,00	0,011	0,034	0,042	2,68	5,64	
	15	8,60	7,20	12,05	0,011	0,041	0,049	3,09	7,50	
	16	7,00	5,50	16,15	0,020	0,056	0,072	3,61	10,24	
	17	8,00	5,30	17,40	0,024	0,063	0,095	4,54	16,19	
	18	6,50	5,50	15,80	0,020	0,054	0,064	5,12	20,59	
	19	8,50	6,00	18,10	0,026	0,077	0,109	4,74	17,61	
	20	7,70	6,10	13,20	0,014	0,042	0,053	3,33	8,68	
	21	7,20	5,70	14,45	0,016	0,047	0,059	3,88	11,79	
	22	7,50	6,30	10,60	0,009	0,028	0,033	4,38	15,03	
	23	8,30	6,60	15,00	0,018	0,058	0,073	3,70	10,75	
	24	10,10	6,60	17,25	0,023	0,077	0,118	4,15	13,53	
	25	6,20	4,50	11,50	0,010	0,023	0,032	4,15	13,53	
	26	7,30	5,10	13,90	0,015	0,039	0,055	4,03	12,76	
	27	7,60	5,50	10,35	0,008	0,023	0,032	2,28	4,06	
	28	7,80	5,80	10,25	0,008	0,024	0,032	2,98	6,95	
	29	6,50	4,30	10,40	0,008	0,018	0,028	3,00	7,07	
	30	8,00	6,50	14,20	0,016	0,051	0,063	3,60	10,18	
	6	1	8,11	5,85	14,90	0,017	0,051	0,071	4,93	19,05
		2	13,09	10,00	20,75	0,034	0,169	0,221	5,15	20,83
		3	13,09	11,30	24,45	0,047	0,265	0,307	4,65	16,98
		4	7,58	6,00	10,85	0,009	0,028	0,035	3,90	11,95
		5	8,94	6,80	13,45	0,014	0,048	0,064	3,63	10,32
6		7,91	5,50	12,80	0,013	0,035	0,051	3,79	11,28	
7		10,78	8,90	14,30	0,016	0,071	0,087	6,49	33,08	
8		6,55	4,39	12,05	0,011	0,025	0,037	2,85	6,38	
9		8,28	6,70	15,30	0,018	0,062	0,076	5,40	22,90	
10		6,90	5,00	10,75	0,009	0,023	0,031	3,61	10,24	
11		5,90	4,80	10,25	0,008	0,020	0,024	3,52	9,70	
12		7,20	5,00	13,35	0,014	0,035	0,050	4,18	13,69	
13		10,40	8,70	16,75	0,022	0,096	0,115	5,33	22,27	
14		8,30	6,50	14,05	0,016	0,050	0,064	4,64	16,91	
15		6,30	4,80	12,35	0,012	0,029	0,038	2,70	5,73	
16		8,30	6,40	16,10	0,020	0,065	0,084	4,10	13,20	
17		7,40	5,80	10,75	0,009	0,026	0,034	3,08	7,43	
18		7,00	5,60	10,00	0,008	0,022	0,027	3,23	8,17	
7	1	8,50	6,50	10,45	0,009	0,028	0,036	2,95	6,83	
	2	7,30	3,70	5,25	0,002	0,004	0,008	2,68	5,62	
	3	7,20	6,50	9,40	0,007	0,023	0,025	2,00	3,14	
	4	4,59	2,50	8,80	0,006	0,008	0,014	1,90	2,84	
	5	5,60	3,20	9,00	0,006	0,010	0,018	2,37	4,39	
	6	5,10	3,80	9,20	0,007	0,013	0,017	4,15	13,53	
	7	6,50	5,00	9,45	0,007	0,018	0,023	3,23	8,17	
	8	4,90	2,50	11,00	0,010	0,012	0,023	5,91	27,39	
	9	8,80	7,20	14,00	0,015	0,055	0,068	6,60	34,16	
	10	4,27	3,80	9,75	0,007	0,014	0,016	4,71	17,42	
	11	7,30	5,00	6,30	0,003	0,008	0,011	2,00	3,13	
	12	9,80	8,80	21,00	0,035	0,152	0,170	7,55	44,77	
	13	8,93	7,90	13,50	0,014	0,057	0,064	3,11	7,60	
	14	7,20	5,60	10,25	0,008	0,023	0,030	3,80	11,34	
	15	4,30	2,50	10,15	0,008	0,010	0,017	3,76	11,10	
	16	5,60	4,30	10,20	0,008	0,018	0,023	3,91	12,01	
	17	5,70	4,00	9,15	0,007	0,013	0,019	4,01	12,60	
	18	7,80	5,50	6,95	0,004	0,010	0,015	2,47	4,77	
	19	9,30	6,80	14,10	0,016	0,053	0,073	7,26	41,34	
	20	6,30	4,60	8,70	0,006	0,014	0,019	3,35	8,81	
	21	10,22	8,40	14,50	0,017	0,069	0,084	3,25	8,30	
	22	10,00	7,00	8,10	0,005	0,018	0,026	3,59	10,12	
	23	6,70	4,50	13,20	0,014	0,031	0,046	7,25	41,28	
	24	6,70	4,80	16,75	0,022	0,053	0,074	4,86	18,55	
	25	6,00	4,50	6,30	0,003	0,007	0,009	2,15	3,63	
	26	9,60	7,60	11,75	0,011	0,041	0,052	5,61	24,67	
	27	7,00	5,00	6,45	0,003	0,008	0,011	2,47	4,77	
	28	6,50	5,00	10,15	0,008	0,020	0,026	4,35	14,86	

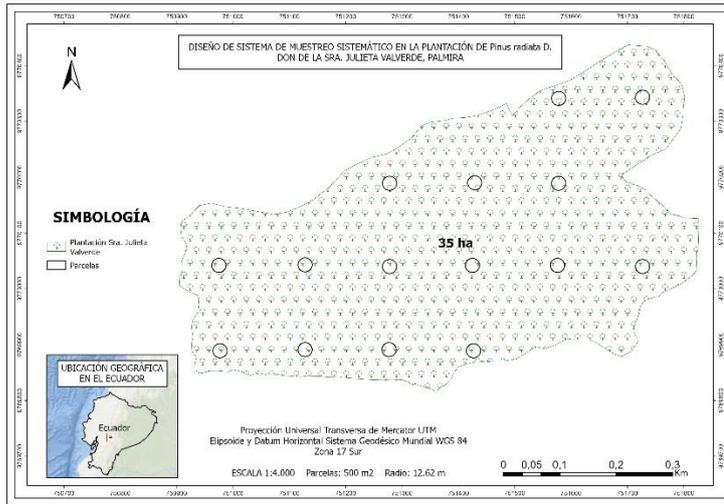
	29	6,70	4,20	10,30	0,008	0,017	0,028	2,95	6,83
8	1	4,75	3,00	9,25	0,007	0,010	0,016	2,55	5,09
	2	3,56	2,50	8,25	0,005	0,007	0,010	2,89	6,54
	3	5,10	3,50	8,20	0,005	0,009	0,013	2,94	6,79
	4	4,81	2,80	9,10	0,007	0,009	0,016	2,61	5,35
	5	4,70	2,50	8,00	0,005	0,006	0,012	2,81	6,18
	6	5,50	4,00	8,20	0,005	0,011	0,015	2,73	5,85
	7	4,00	3,00	6,75	0,004	0,005	0,007	2,49	4,87
	8	4,16	2,80	8,40	0,006	0,008	0,012	3,53	9,76
	9	5,21	3,50	6,55	0,003	0,006	0,009	2,62	5,39
	10	4,16	2,60	8,90	0,006	0,008	0,013	3,19	7,97
	11	3,60	2,50	6,15	0,003	0,004	0,005	1,68	2,20
	12	4,00	2,50	6,35	0,003	0,004	0,006	2,50	4,89
	13	4,58	2,60	9,20	0,007	0,009	0,015	2,38	4,45
	14	4,33	2,80	9,00	0,006	0,009	0,014	2,43	4,64
9	1	6,96	4,70	13,35	0,014	0,033	0,049	3,45	9,35
	2	5,00	3,88	10,20	0,008	0,016	0,020	3,50	9,62
	3	9,69	3,92	13,25	0,014	0,027	0,067	3,30	8,55
	4	8,42	6,50	17,00	0,023	0,074	0,096	4,35	14,86
	5	8,10	4,49	13,50	0,014	0,032	0,058	4,40	15,21
	6	6,98	4,09	14,60	0,017	0,034	0,058	3,40	9,08
	7	7,70	6,20	10,60	0,009	0,027	0,034	2,75	5,94
	8	4,49	2,05	11,55	0,010	0,011	0,024	2,15	3,63
	9	5,30	3,80	10,50	0,009	0,016	0,023	2,45	4,71
	10	6,20	5,00	10,95	0,009	0,024	0,029	2,95	6,83
	11	6,90	4,70	12,25	0,012	0,028	0,041	3,10	7,55
10	12	8,04	6,84	12,40	0,012	0,041	0,049	3,50	9,62
	13	6,40	4,49	13,25	0,014	0,031	0,044	3,65	10,46
	14	6,92	4,89	12,75	0,013	0,031	0,044	3,00	7,07
	15	6,00	5,00	11,45	0,010	0,026	0,031	3,78	11,19
11	16	7,20	6,00	13,20	0,014	0,041	0,049	3,80	11,34
	2	6,70	5,00	12,60	0,012	0,031	0,042	4,00	12,57
	3	8,50	6,50	12,55	0,012	0,040	0,053	3,35	8,81
	4	7,00	5,30	11,15	0,010	0,026	0,034	3,00	7,07
	5	7,50	5,30	11,15	0,010	0,026	0,037	3,48	9,48
	6	7,00	5,50	10,25	0,008	0,023	0,029	3,40	9,08
	7	7,30	5,60	15,45	0,019	0,052	0,068	4,15	13,53
	8	7,00	4,50	10,10	0,008	0,018	0,028	2,48	4,81
	9	7,50	5,20	13,95	0,015	0,040	0,057	5,20	21,24
	10	8,50	6,70	10,05	0,008	0,027	0,034	3,55	9,90
	11	5,50	4,00	11,95	0,011	0,022	0,031	3,65	10,46
	12	7,00	5,00	10,05	0,008	0,020	0,028	2,40	4,52
	13	7,30	6,20	11,25	0,010	0,031	0,036	2,85	6,38
	14	7,20	5,50	11,35	0,010	0,028	0,036	3,88	11,79
	15	9,00	6,70	13,35	0,014	0,047	0,063	3,65	10,46
12	1	8,50	6,60	16,70	0,022	0,072	0,093	4,20	13,82
	2	7,10	5,00	11,80	0,011	0,027	0,039	2,26	3,99
	3	6,40	5,00	11,70	0,011	0,027	0,034	2,71	5,75
	4	5,80	4,80	11,90	0,011	0,027	0,032	2,77	6,03
	5	6,70	5,00	14,64	0,017	0,042	0,056	3,04	7,23
	6	6,50	5,00	11,60	0,011	0,026	0,034	2,24	3,92
	7	5,90	5,00	13,50	0,014	0,036	0,042	3,07	7,38
	8	5,90	5,00	11,78	0,011	0,027	0,032	2,41	4,54
	9	5,00	3,40	10,60	0,009	0,015	0,022	3,26	8,32
	10	10,00	7,00	12,70	0,013	0,044	0,063	2,48	4,83
	11	11,00	8,50	13,69	0,015	0,063	0,081	2,50	4,89
	12	13,70	10,70	15,02	0,018	0,095	0,121	3,57	10,01
	13	8,20	4,50	12,73	0,013	0,029	0,052	2,79	6,11
	14	10,50	7,50	16,30	0,021	0,078	0,110	2,99	7,00
	15	5,50	3,00	13,43	0,014	0,021	0,039	3,02	7,16
13	1	8,50	7,50	19,40	0,030	0,111	0,126	5,90	27,34
	3	8,01	5,00	10,40	0,008	0,021	0,034	3,30	8,55
	4	7,90	5,00	16,40	0,021	0,053	0,083	3,91	11,98
	5	4,80	2,50	10,40	0,008	0,011	0,020	2,42	4,60
	6	10,60	7,50	15,80	0,020	0,074	0,104	5,45	23,29
	7	6,30	5,00	14,70	0,017	0,042	0,053	4,53	16,08
	8	9,20	6,50	17,30	0,024	0,076	0,108	4,93	19,05
	9	7,03	5,00	12,30	0,012	0,030	0,042	3,10	7,52
	10	8,90	5,20	13,69	0,015	0,038	0,065	4,75	17,68
	12	6,40	5,00	12,70	0,013	0,032	0,041	3,79	11,28
	13	7,30	4,80	12,80	0,013	0,031	0,047	2,68	5,64

	14	7,60	2,50	11,30	0,010	0,013	0,038	3,60	10,15
	15	9,50	7,50	12,83	0,013	0,048	0,061	3,63	10,32
	16	10,00	8,40	22,20	0,039	0,163	0,194	5,37	22,65
	17	9,40	7,50	13,40	0,014	0,053	0,066	3,53	9,79
	19	10,00	7,50	17,70	0,025	0,092	0,123	3,90	11,92
	20	8,80	7,50	13,05	0,013	0,050	0,059	2,71	5,77
	21	9,50	7,80	18,70	0,027	0,107	0,130	3,99	12,50
	22	10,70	8,50	13,10	0,013	0,057	0,072	2,87	6,47
	23	10,30	8,70	21,96	0,038	0,165	0,195	4,50	15,87
	24	6,30	5,00	17,30	0,024	0,059	0,074	4,32	14,66
	26	5,70	4,00	11,87	0,011	0,022	0,032	2,20	3,78
	27	5,00	4,00	13,50	0,014	0,029	0,036	3,01	7,12
	28	8,70	5,70	14,90	0,017	0,050	0,076	3,57	9,98
	29	6,00	4,00	9,50	0,007	0,014	0,021	2,72	5,79
30	9,20	8,00	15,60	0,019	0,076	0,088	3,90	11,92	
31	8,50	7,20	14,70	0,017	0,061	0,072	4,51	15,98	
14	1	9,90	5,50	17,10	0,023	0,063	0,114	4,04	12,82
	2	6,80	4,40	15,30	0,018	0,040	0,063	4,29	14,42
	3	5,10	4,30	14,25	0,016	0,034	0,041	3,49	9,57
	4	5,50	3,50	11,60	0,011	0,018	0,029	3,50	9,59
	5	6,50	4,00	10,45	0,009	0,017	0,028	2,68	5,64
	6	6,80	5,50	12,30	0,012	0,033	0,040	2,80	6,16
	7	6,30	4,50	13,15	0,014	0,031	0,043	4,18	13,72
	8	6,20	5,20	14,00	0,015	0,040	0,048	4,40	15,21
	9	6,60	4,50	15,10	0,018	0,040	0,059	3,26	8,32
	10	5,80	4,70	14,10	0,016	0,037	0,045	3,42	9,16
	11	5,00	3,40	11,05	0,010	0,016	0,024	2,84	6,33
	12	4,50	3,50	10,20	0,008	0,014	0,018	3,09	7,50
	13	10,03	6,90	17,40	0,024	0,082	0,119	4,04	12,82
	14	9,20	7,20	18,05	0,026	0,092	0,118	4,38	15,03
15	1	8,80	5,90	14,40	0,016	0,048	0,072	2,96	6,86
	2	6,40	4,30	11,55	0,010	0,023	0,034	2,78	6,07
	3	6,10	4,20	10,10	0,008	0,017	0,024	3,14	7,72
	4	6,50	5,00	10,50	0,009	0,022	0,028	3,18	7,92
	5	6,20	5,00	11,30	0,010	0,025	0,031	2,36	4,37
	6	7,70	5,40	15,30	0,018	0,050	0,071	3,01	7,12
	7	6,50	5,00	10,20	0,008	0,020	0,027	3,00	7,05
	8	6,40	5,00	11,50	0,010	0,026	0,033	3,39	9,00

ANEXO D: MAPA DE LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO DE LA PLANTACIÓN



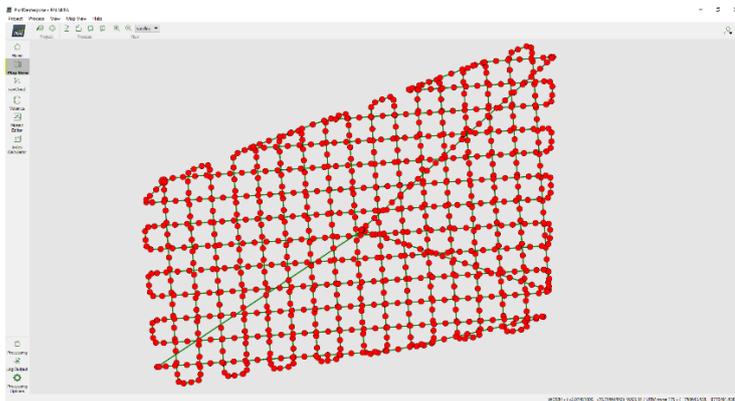
ANEXO E: MAPA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE MUESTREO SISTEMÁTICO



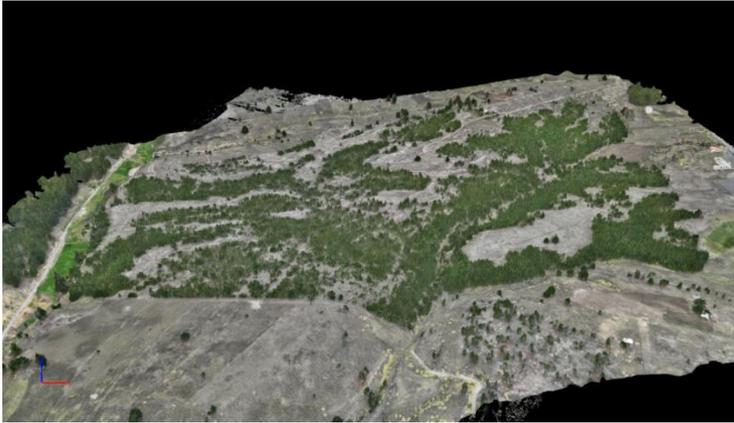
ANEXO F: PLANIFICACIÓN DEL VUELO EN DJI PILOT 2



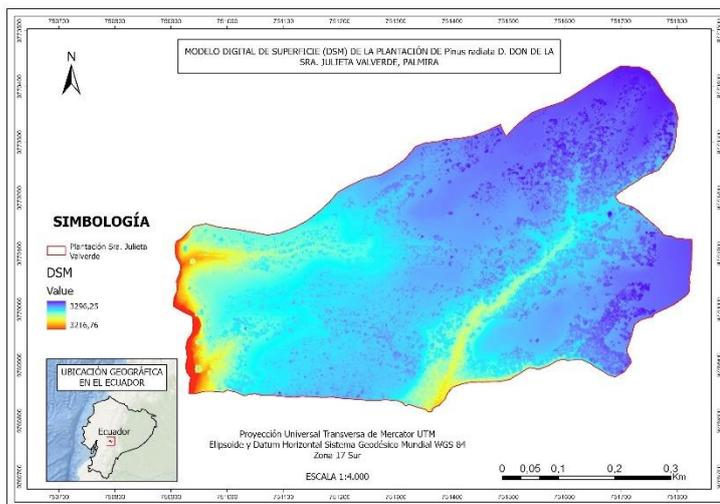
ANEXO G: PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES TOMADAS POR M3M



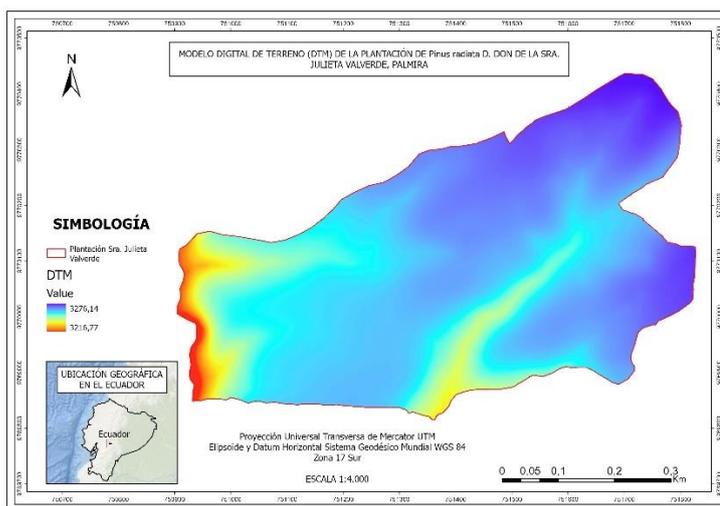
ANEXO H: NUBE DE PUNTOS Y MALLA 3D



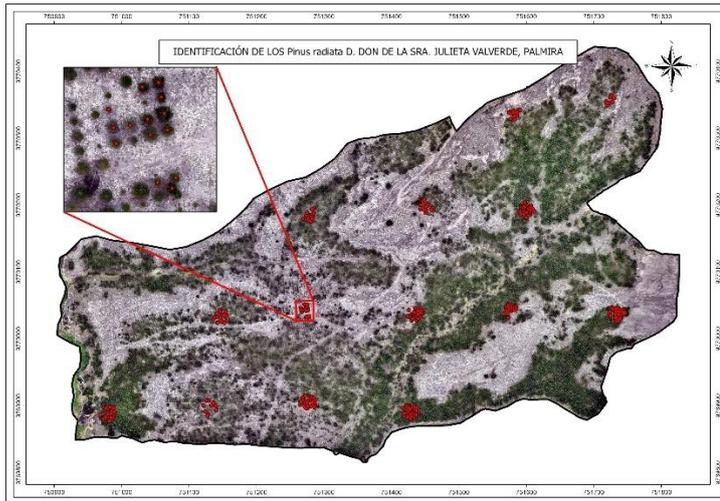
ANEXO I: MAPA DEL MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (DSM) DE LA PLANTACIÓN



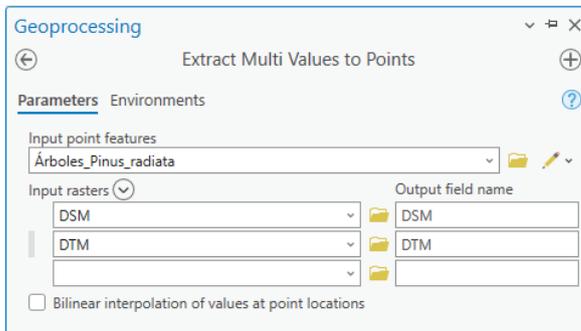
ANEXO J: MAPA DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO (DTM) DE LA PLANTACIÓN



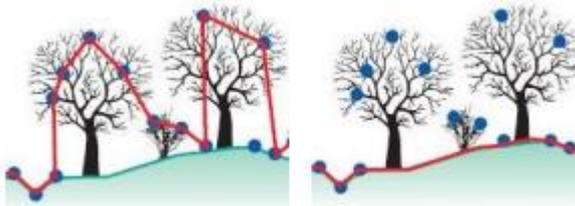
ANEXO K: MAPA DE IDENTIFICACIÓN DE LOS ARBOLES DE *Pinus radiata*



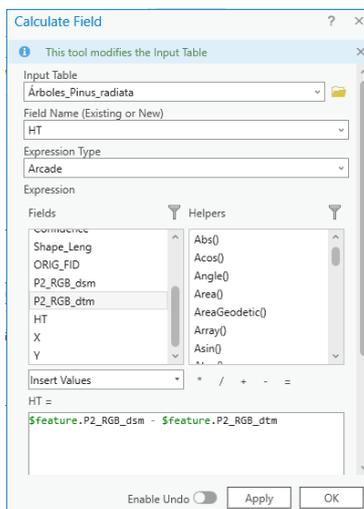
ANEXO L: HERRAMIENTA DE EXTRACT MULTI VALUES TO POINTS



ANEXO M: IZQ: DSM. DER: DTM



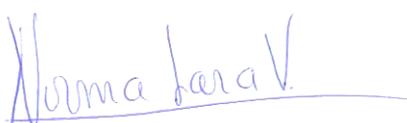
ANEXO N: HERRAMIENTA DE CALCULATE FIELD





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 05/06/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Ivan Patricio Huisha Marcatoma
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Ingeniería Forestal
Título a optar: Ingeniero Forestal
<p style="text-align: center;"> Ing. Hernán Eriberto Chamorro Sevilla MSc. Director del Trabajo de Integración Curricular</p> <p style="text-align: center;"> Ing. Norma Ximena Lara Vásquez MSc. Asesora del Trabajo de Integración Curricular</p>