

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“SELECCIÓN DE ÁRBOLES SEMILLEROS DE *Cedrelinga cateniformis*,
Simarouba amara Y *Guatteria elata* EN PLANTACIONES FORESTALES
MEDIANTE EL USO DE RPAS”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

SILVANA DI LIBERTO PORLES

LIMA – PERÚ

2022

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**“SELECCIÓN DE ÁRBOLES SEMILLEROS DE *Cedrelinga
cateniformis*, *Simarouba amara* Y *Guatteria elata* EN PLANTACIONES
FORESTALES MEDIANTE EL USO DE RPAS”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

SILVANA DI LIBERTO PORLES

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Ing. Ethel Rubin de Celis Llanos, Dra.
Presidente

Ing. José Eloy Cuellar Bautista, Dr.
Miembro

Ing. Roxana Guillén Quispe, Mg.Sc.
Miembro

Ing. Víctor Manuel Barrera Arroyo, M.Sc.
Asesor

DEDICATORIA

Para mi madre Micaela, por ser la persona más importante en mi vida y la que siempre me motiva a seguir luchando para cumplir mis metas, la que me enseñó que todo sacrificio trae muy buenas recompensas. Por siempre apoyarme en mis decisiones y por el amor que me brinda día a día.

Para mi abuelita Rubelinda, por ser mi segunda mamá, por su cariño, apoyo incondicional y sabios consejos.

Para mi abuelito, que a pesar de que no pueda leer estas palabras, siempre será mi modelo a seguir y un gran ejemplo de perseverancia.

Para mi familia, por la motivación constante y su apoyo durante todos estos años.

Para Junior, por ser mi compañero incondicional, haber superado muchos obstáculos y seguir creciendo juntos, por su paciencia, apoyo y motivación todos los días.

Para mis profesores y amigos, que sin ellos no hubiera disfrutado tanto el ser Forestal.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a mi asesor, el profesor Víctor Barrena Arroyo; por su apoyo, tiempo y consejos para el desarrollo de la tesis y enseñanzas en el ámbito académico que han sido el impulso para desarrollarme como persona y profesionalmente.

Agradecer a mi co-asesora, Mg. Sc. María Ximena Tagle Casapía; que fue la persona que confió en mí para llevar a cabo la presente investigación, a quién agradezco por brindarme la oportunidad para seguir desarrollarme en el ámbito de los sensores remotos y de la cual sigo aprendiendo. Por su tiempo, valiosas apreciaciones y participación activa en el presente estudio.

Al Centro de Investigaciones Jenaro Herrera (CIJH) y al Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), por darme la oportunidad del desarrollo de la presente investigación.

A la Ing. Rossana Díaz Soria, por su tiempo y predisposición en la coordinación de las actividades de apoyo en campo al personal técnico del CIJH.

Al personal técnico del CIJH; Nidsen Saavedra, Leonardo Jr. Ríos y Julio Irarica, ya que sin el apoyo de ellos no hubiera sido posible la realización de la presente tesis. Por su tiempo, enseñanzas y sabios consejos.

Al Bach. Junior Alejandro Chiroque Chiroque, por el apoyo en las evaluaciones en campo y durante la redacción del presente documento.

Al Mg. Sc. Rolando Montenegro Muro, por su tiempo y valiosas apreciaciones en el análisis estadístico de la presente investigación.

Al Bach. Ander Dávila Díaz, por el apoyo en las evaluaciones en campo.

A mi familia, por motivarme día a día a culminar la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Árboles semilleros	3
2.1.1 Definición e importancia	3
2.1.2 Criterios básicos para la identificación de árboles semilleros.....	3
a. Accesibilidad	3
b. Estado general del rodal.....	3
c. Apariencia fenotípica	3
2.1.3 Características a considerar para la selección de árboles semilleros	4
2.1.4 Métodos de selección para el establecimiento de árboles semilleros.....	5
a. Método de árboles por comparación.....	5
b. Método de valoración individual	6
c. Método de selección por regresión o de la línea base.....	6
d. Método de selección masal simple	6
2.1.5 Experiencias previas sobre selección de árboles semilleros en el Perú y en el mundo	7
2.2 Aeronaves pilotadas a distancia (RPAS).....	9
2.2.1 Definición	9
2.2.2 Clasificación	10
a. Ala Fija	10
b. Multirrotores	10
c. Híbrido	11
2.2.3 Adquisición de imágenes RPAS.....	11
a. Planificación de la misión.....	11
b. Adquisición de imágenes	12
2.2.4 Fotogrametría	13
a. Alineación de imágenes	13
b. Triangulación de imágenes	14
c. Generación de DTM y DSM.....	15
2.2.5 Análisis de la información de imágenes RPAS	16
a. Medición de diámetros de copa y altura total	16
b. Estimación del diámetro de copa	17

c.	Índices de vegetación.....	18
2.2.6	Análisis estadístico	19
2.2.7	Estudios previos sobre el uso de RPAS en el Perú y el mundo.....	20
2.3	Características generales de la especie	22
2.3.1	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	22
a.	Clasificación taxonómica.....	22
b.	Descripción botánica.....	23
c.	Distribución y hábitat.....	23
d.	Importancia económica y usos.....	23
2.3.2	<i>Simarouba amara</i>	23
a.	Clasificación taxonómica.....	23
b.	Descripción botánica.....	23
c.	Distribución y hábitat.....	24
d.	Importancia económica y usos.....	24
2.3.3	<i>Guatteria elata</i>	24
a.	Clasificación taxonómica.....	24
b.	Descripción botánica.....	24
c.	Distribución y hábitat.....	25
d.	Importancia económica y usos.....	25
III.	METODOLOGÍA.....	26
3.1	Área de estudio	26
3.1.1	Ubicación	26
3.1.2	Clima	26
3.1.3	Fisiografía y suelos.....	27
3.2	Características de las plantaciones forestales	27
3.3	Materiales y equipos.....	30
3.3.1	Materiales	30
3.3.2	Equipos.....	30
3.3.3	Software	31
3.4	Métodos	31
3.4.1	Fase de planificación	31
a.	Elaboración de matriz de valoración.....	31
b.	Reconocimiento del área de estudio	32
c.	Planificación de vuelo.....	32
3.4.2	Fase de campo	34

a.	Ejecución de vuelo y toma de fotografías.....	34
b.	Toma de datos de campo	34
3.4.3	Fase de gabinete	36
a.	Procesamiento de imágenes RPAS	36
b.	Análisis de la información de RPAS	36
c.	Análisis de calidad de datos.....	39
3.4.4	Fase de selección de árboles semilleros	41
a.	Selección de árboles candidatos o plus.....	41
b.	Selección de árboles semilleros	42
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1	Fase de planificación	44
4.1.1	Matriz de valoración.....	44
4.1.2	Reconocimiento del área de estudio y planificación de vuelo	45
4.2	Fase de campo	46
4.2.1	Sobrevuelos de RPAs	46
4.2.2	Medición en campo	47
4.3	Fase de gabinete.....	55
4.3.1	Procesamiento de imágenes RPAS	55
4.3.2	Análisis de la información de RPAS.....	60
a.	Escalamiento de la resolución espacial.....	60
b.	Modelo de alturas (CHMs)	61
c.	Modelo de alturas editado	62
d.	Segmentación de copas	63
e.	Ubicación de individuos y edición de los contornos de sus copas	66
f.	Medición de diámetro de copas	68
g.	Altura total	70
h.	Posición sociológica e iluminación de copa	70
i.	Vigor	70
j.	Dap estimado	72
4.3.3	Análisis de la calidad de datos	73
4.4	Fase de selección de árboles semilleros	74
4.4.1	Selección de árboles candidatos o plus	74
a.	Campo.....	74
b.	RPAs	75
4.4.2	Selección de árboles semilleros.....	75

a. Campo.....	75
b. RPAs	76
V. CONCLUSIONES.....	78
VI. RECOMENDACIONES	79
VIII. ANEXOS	92

Índice de tablas

Tabla 1: Parámetros de dap y altura para la selección de árboles semilleros	42
Tabla 2: Características aceptadas de los parámetros cualitativos para la selección de árboles semilleros.....	44
Tabla 3: Coordenadas de ubicación y características de las plantaciones evaluadas	45
Tabla 4. Consolidado de las misiones sobrevoladas con RPA Phantom 4 Pro utilizando ángulo de cámara 90° y una altura de 90 m (AGL).....	46
Tabla 5: Fechas de georreferenciación y evaluación en campo de las plantaciones	47
Tabla 6: Número total de individuos evaluados, valor mínimo, máximo, promedio y desviación estándar para las variables dap, altura total y diámetro promedio de la proyección de copa por plantación.....	48
Tabla 7: Características de los mosaicos de las plantaciones evaluadas generadas utilizando el método de interpolación de tipo triangulación con una densidad de puntos óptima a una altura de vuelo de 90 m desde la estación base	56
Tabla 8: Tiempo de procesamiento por etapa y total en minutos para las plantaciones evaluadas	60
Tabla 9: Resoluciones espaciales (cm) de los productos fotogramétricos de las plantaciones	61
Tabla 10: Parámetros estadísticos para el diámetro de copas promedio de <i>C. cateniformis</i>	69
Tabla 11: Parámetros estadísticos para la altura total de <i>C. cateniformis</i>	70
Tabla 12: Rangos establecidos para el vigor de los individuos identificados de la plantación <i>C. cateniformis</i>	71
Tabla 13: Parámetros estadísticos para el dap estimado por RPAS vs dap obtenido en campo de <i>C. cateniformis</i>	73
Tabla 14: Resultados de la prueba no paramétrica de suma de rangos de Wilcoxon para el diámetro promedio de copa y la altura total.	74
Tabla 15: p valor de la prueba no paramétrica de suma de rangos de Wilcoxon para el diámetro promedio de copa y la altura total.	74
Tabla 16. Valores para los parámetros evaluados del árbol candidato de <i>C. cateniformis</i> N° 235 y de los árboles con los cuáles se compararon	76
Tabla 17. Matriz de comparación de los árboles semilleros seleccionados.	77

Índice de figuras

Figura 1: Tipos de RPAs de ala fija. a) RPA ala fija eBee Classic SenseFly. b) RPA ala fija Precision Hawk Lancaster 5	10
Figura 2: Tipos de RPAs mediante rotores. a) RPA multirrotor DJI Phantom 4 Pro. b) RPA multirrotor DJI Matrice 600 Pro	11
Figura 3: RPA híbrido Foxtech Loong 2160 VTOL	11
Figura 4: Flujograma de adquisición de imágenes RPAS y fotogrametría	16
Figura 5: Climatograma de la Estación meteorológica de Jenaro Herrera para el periodo 2000-2017	19
Figura 6: Plantación de <i>C. cateniformis</i> “304-86” del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera	28
Figura 7: Plantación de <i>Simarouba amara</i> “305-87” del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera	28
Figura 8: Plantación de <i>Guatteria elata</i> “104-84” del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera	29
Figura 9: Mapa de ubicación de las plantaciones forestales del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera consideradas para el presente estudio	30
Figura 10: Flujograma de la fase de planificación	33
Figura 11: Flujograma de la fase de campo	35
Figura 12: Flujograma de la fase gabinete	41
Figura 13. Flujograma de la fase de selección de árboles semilleros	43
Figura 14. Histograma de la distribución de los individuos por clase diamétrica para cada especie	50
Figura 15. Distribución de los individuos por clase de diámetro promedio de la proyección de copa	51
Figura 16. Distribución de los individuos por clase de altura total para cada especie	52
Figura 17. Distribución de los individuos por estratos y área delimitada. a) Distribución para <i>C. cateniformis</i> . b) Distribución para <i>G. elata</i> . c) Distribución para <i>S. amara</i>	53
Figura 18. Productos fotogramétricos que corresponden a la plantación de <i>C. cateniformis</i> . a) Mosaico RGB. b) DTM. c) DSM	57
Figura 19. Productos fotogramétricos que corresponden a la plantación de <i>S. amara</i> . a) Mosaico RGB. b) DTM. c) DSM	58

Figura 20. Productos fotogramétricos que corresponden a la plantación de <i>G. elata</i> . a) Mosaico RGB. b) DTM. c) DSM	59
Figura 21: Modelo de alturas de la plantación <i>C. cateniformis</i>	61
Figura 22: Modelo de alturas de la plantación <i>S. amara</i>	62
Figura 23: Modelo de alturas de la plantación <i>G. elata</i>	62
Figura 24: a) Modelo de alturas sin editar de la plantación <i>C. cateniformis</i> . b) Modelo de alturas editado de la plantación <i>C. cateniformis</i>	63
Figura 25: Copas delineadas (líneas azules) mediante segmentación y área delimitada de la plantación de <i>C. cateniformis</i> (líneas rojas)	64
Figura 26: Copas delineadas (líneas azules) mediante segmentación y área delimitada de la plantación de <i>S. amara</i> (líneas celestes).....	64
Figura 27: Copas delineadas (líneas azules) mediante segmentación y área delimitada de la plantación de <i>G. elata</i> (líneas naranjas).....	65
Figura 28: Copas delineadas (líneas azules) mediante segmentación y ubicación (puntos amarillos) de los individuos que se pudieron identificar en la plantación de <i>C. cateniformis</i>	67
Figura 29: Polígono convexo y círculo circunscrito al individuo de <i>C. cateniformis</i> que permiten hallar el diámetro de copa de los árboles	68
Figura 30: Diagramas de caja de los métodos utilizados para hallar el diámetro promedio de copa de <i>C. cateniformis</i>	69
Figura 31: Histograma del valor de los píxeles del índice de vegetación NGRDI de la plantación <i>C. cateniformis</i>	71
Figura 32: a) Índice de vegetación NGRDI para la plantación de <i>C. cateniformis</i> . b) Mosaico RGB para la plantación de <i>C. cateniformis</i>	72
Figura 33: Diámetro de copa (m) vs dap (cm) correspondientes a los datos de campo de la especie <i>C. cateniformis</i>	73
Figura 34. Comparación del árbol candidato N°235 para selección de árbol semillero de <i>C. cateniformis</i>	75

Índice de anexos

Anexo 1 Registro de vuelo	92
Anexo 2 Esquema del formato para las evaluaciones en campo	93
Anexo 3 Pasos para el procesamiento de imágenes del PH4 para el mapeo de las plantaciones evaluadas en el presente estudio en Pix4dmapper pro (generación de ortomosaicos y DEMs)	94
Anexo 4 Script de la función utilizada para la reducción de la resolución del mosaico y DSM	98
Anexo 5 Script utilizado para el cálculo del modelo de alturas (CHM).....	99
Anexo 6 Script para realizar la segmentación de copas	101
Anexo 7 Script para el cálculo de las estadísticas de la altura total y vigor	104
Anexo 8 Script utilizado para el cálculo del índice de vegetación NGRDI	109
Anexo 9 Identificación de zonas de despegue/aterrizaje.....	110
Anexo 10 Georreferenciación de individuos	111
Anexo 11 Registro de misiones (logbook)	112
Anexo 12 Diámetro de copa calculado utilizando un círculo o polígono convexo circunscrito a la copa de los árboles vs diámetro promedio de copa obtenido en campo	113
Anexo 13 Promedio de la altura total de los árboles hallados mediante RPAS y en campo para <i>C. cateniformis</i>	114
Anexo 14 Dap estimado (cm) utilizando el diámetro de copa promedio (m) obtenido mediante RPAS para <i>C. cateniformis</i>	115
Anexo 15 Selección de árboles candidatos o plus de <i>C. cateniformis</i> (campo)	116
Anexo 16 Selección de candidatos o plus de <i>C. cateniformis</i> (RPAS)	117
Anexo 17 Selección de árboles semilleros de <i>C. cateniformis</i> (campo)	118
Anexo 18 Selección de árboles semilleros de <i>C. cateniformis</i> (RPAS)	119

RESUMEN

El presente estudio evaluó la factibilidad de seleccionar árboles semilleros utilizando RPAS (Sistema de aeronave pilotada a distancia) en las plantaciones forestales de *Cedrelinga cateniformis*, *Simarouba amara* y *Guatteria elata* del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera. Para ello se utilizaron fotografías a color capturadas por un RPA (dron) comercial y se generaron el ortomosaico, modelo digital del terreno y modelo digital de superficie que sirvieron para hallar la posición sociológica, iluminación de copa y forma de la copa de forma visual en el ortomosaico; el diámetro promedio de copa realizando una segmentación de las copas utilizando el ortomosaico y el modelo de alturas, estos datos sirvieron para estimar el dap (diámetro a la altura del pecho) mediante un análisis de regresión lineal; el vigor mediante el NGRDI (Índice de diferencia verde-rojo normalizado); y los valores de altura total se extrajeron del modelo de alturas. Se estableció trabajar con 20 individuos de la plantación *C. cateniformis*, debido a que no se pudieron ubicar correctamente los individuos georreferenciados de *Simarouba amara* y *Guatteria elata*, para realizar la prueba estadística no paramétrica de Wilcoxon y verificar que si existe semejanza estadística entre los datos de campo y RPAS para los parámetros de diámetro promedio de copa y altura total. Finalmente se consideraron todos los parámetros de evaluación excepto la rectitud de fuste y la altura de bifurcación, con una correlación del 50% de los seleccionados en campo en plantaciones forestales donde es posible diferenciar la copa del árbol del suelo, es decir, la vegetación es poco densa.

Palabras clave: vehículo aéreo no tripulado, fotogrametría, sensoramiento remoto, segmentación de imágenes, copas y alturas de árboles.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the feasibility of selecting seed trees using RPAS (Remotely piloted aircraft system) from forest plantations of *Cedrelinga cateniformis*, *Simarouba amara* and *Guatteria elata* at the Jenaro Herrera Research Station. To do this, color photographs captured by a commercial RPA (drone) were used and the orthomosaic, DTM (Digital terrain model) and DSM (Digital surface model) were generated, which served to find the sociological position, crown lighting and shape of the cup visually in the orthomosaic; the average cup diameter by segmentation of the cups using the orthomosaic and the height model, these data were used to estimate the dap by means of a linear regression analysis; vigor using the NGRDI (Normalized Green-Red Difference Index) using a classification of the generated pixel value; and total height values were extracted from the height model. It was established to work with 20 individuals from the *C. cateniformis* plantation, because the georeferenced individuals of *S. amara* and *G. elata* could not be located correctly, to perform the non-parametric statistical test of Wilcoxon and verify that there is statistical similarity between the field data and RPAS for the parameters of average crown diameter and total height. Finally, all the evaluation parameters were considered except the upright stem and the height of bifurcation, with a correlation of 50% of those selected in field in forest plantations where it is possible to differentiate the crown of the tree from the ground, that is, the vegetation is sparse.

Keywords: unmanned aerial vehicle, photogrammetry, remote sensing, image segmentation and canopy and height of trees.

I. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales son aquellas formaciones forestales sembradas en el contexto de un proceso de forestación o reforestación que poseen un diseño, tamaño y especies definidas, ya sean introducidas o nativas, para cumplir objetivos específicos (FAO, 2002 y Trujillo, 2003). Son una fuente de materia prima importante para el sector forestal ya que mantienen y mejoran la producción forestal sostenible, proveen de productos forestales y sus derivados a los pobladores locales, recuperan áreas degradadas donde anteriormente había bosque o son aptas para ello, cumplen con generar servicios ambientales, entre otros (Guariguata *et al.* 2017).

El Perú poseía una superficie reforestada acumulada al año 2018 de 1 073 917,41 ha, siendo las 3 regiones con mayor área acumulada, Cusco con 133 388,09 ha, Cajamarca con 125 130,33 ha y Áncash con 101 387,33 ha, pero queda una superficie considerable que cumple con las condiciones de sitio favorables para producir madera de especies nativas y exóticas para contribuir con el desarrollo económico, ecológico y social del país (SERFOR, 2019 y Guariguata *et al.* 2017).

Para asegurar que la calidad de los productos obtenidos de una plantación forestal sea la mejor posible, se necesita emplear una adecuada base genética para el establecimiento que vendrían a ser los árboles semilleros (Borsy *et al.*, 2011). La selección de árboles semilleros es el punto de partida hacia el manejo sostenible de las plantaciones forestales, para lo cual se deben buscar técnicas que reduzcan los costos, el tiempo y la mano de obra sin disminuir la efectividad de la selección. El uso de semillas que provienen de una fuente de alta calidad junto con la utilización de técnicas de propagación adecuadas puede generar clones que producen en sus primeros años de crecimiento entre 30 a 45 m³/ha/año en selva (Quispe, 2016).

El término RPA (*Remotely Piloted Aircraft*) o aeronave pilotada a distancia es aplicado para cualquier plataforma aérea que es capaz de volar sin una persona a bordo, independiente de

su autonomía, herramienta que en la actualidad se utiliza en diversos campos dentro de los cuales encontramos al forestal (Salamí *et al.*, 2014). El uso de RPA puede proporcionar no solo una imagen del área de estudio, también se pueden extraer parámetros como altura, ubicación, estado fitosanitario, entre otros; es por ello que la selección de árboles semilleros mediante el uso de estos resultaría beneficioso para poder ahorrar el tiempo de trabajo del silvicultor.

El presente estudio tiene como objetivo general analizar la factibilidad de la selección de árboles semilleros en plantaciones forestales de *Cedrelinga cateniformis*, *Simarouba amara* y *Guatteria elata* mediante técnicas de teledetección empleando imágenes de alta resolución de RPAS y los objetivos específicos son, determinar los parámetros que permitan la selección de los árboles semilleros de plantaciones forestales de *Cedrelinga cateniformis*, *Simarouba amara* y *Guatteria elata* mediante el uso de RPAS y determinar si el diámetro promedio de copa y altura total obtenidos de una imagen RPAS son estadísticamente semejante a los datos obtenidos de campo. Los potenciales beneficiarios de este estudio son aquellos que manejan plantaciones forestales y se encuentren interesados en invertir dentro del sector para identificar fuentes semilleras, buscando eficiencia; y aquellos interesados en el desarrollo de nuevas metodologías de teledetección.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Árboles semilleros

2.1.1 Definición e importancia

Los árboles semilleros o fuentes semilleras son aquellos individuos que poseen características fenotípicas deseables relacionadas al objetivo que se desea cumplir, proveen de semillas con una alta productividad y calidad logrando obtener el máximo rendimiento en la plantación. Cuando se conoce la procedencia de la semilla, aseguramos que la planta se adapte con mayor facilidad y con una alta supervivencia en campo definitivo, ya que se conocen las condiciones iniciales de desarrollo (Jara, 1995 citado por Herrera, 2016 y Cuellar *et al.*, 2016).

2.1.2 Criterios básicos para la identificación de árboles semilleros

Según Jara (1995) citado por Herrera, 2016 estos son algunos criterios básicos que se deben considerar para poder identificar los árboles semilleros:

a. Accesibilidad

Evitar carreteras que se encuentren en mal estado o que sean inaccesibles ya que esto puede suponer un gasto de tiempo, recursos, supervisión y administración innecesarios siempre y cuando la ubicación permita cumplir con los requerimientos de semillas. Este aspecto es determinante en el costo final de la semilla.

b. Estado general del rodal

Para mantener un rodal en óptimas condiciones, se debe evitar el aprovechamiento selectivo de individuos, la proliferación de plagas y enfermedades, árboles degradados y cualquier aspecto que disminuya la calidad de la semilla.

c. Apariencia fenotípica

La apariencia fenotípica de los árboles incluye algunas características tales como la forma de fuste, hábito de ramificación, dirección de la fibra, densidad básica, entre otras, son de alta heredabilidad. Si se tienen varios rodales de una misma especie, se debe

seleccionar aquella con las mejores características; si solo existe una fuente disponible, se le deben practicar raleos para obtener semilla con algún grado de mejora.

2.1.3 Características a considerar para la selección de árboles semilleros

La selección de árboles padres es complicada por el hecho de que las características hereditarias de calidad, vigor, resistencia, y producción de semillas excelentes no se hallan combinadas necesariamente en el mismo árbol (Charles, 1999 citado por Salán, 2011).

La selección de árboles semilleros en bosques naturales tiene como factor determinante la variación ambiental, por lo cual las condiciones de heredabilidad son bajas, así como las ganancias genéticas. Por el contrario, en plantaciones homogéneas, es posible obtener ganancias mayores, sobre todo en características de adaptabilidad, forma del fuste y posiblemente características del crecimiento, debido a que es en estos casos, donde la variación fenotípica refleja más fielmente la variación genotípica. También es posible lograr ganancias en tolerancias a plagas o enfermedades cuando se seleccionan a los individuos sanos dentro de un rodal fuertemente infectado (Jara, 1994 citado por García, 2019).

Los árboles semilleros deberán ser los más altos, con copa grande y densa evitando individuos débiles o inclinados ubicados en zonas donde las semillas dispersadas tengan mayores posibilidades de germinar y sobrevivir, esto proporcionará una mayor área de dispersión y mejorará la producción a largo plazo (Smith, 1986 citado por Fredericksen, 2003).

Es cierto que los árboles de mayor diámetro a la altura del pecho (dap) producen más semillas, pero no debemos dejar de considerar a los que se encuentran por debajo del límite diamétrico como fuente importante de semillas (Fredericksen y Licona, 2000), debido a que hay una alta probabilidad de que la regeneración se origine de ambos y generalmente los árboles de menor dap son más numerosos que los que sobrepasan el límite diamétrico (Fredericksen, 2003). La elección de aquellos individuos de menor dap va a depender si la cantidad de árboles seleccionados es baja y del costo acompañado del rendimiento que implica obtener semillas de estos árboles.

Los árboles con malformaciones en el fuste como pudriciones o torceduras también producen semillas, muchas veces la producción puede ser mayor que aquellos que no poseen dichas malformaciones ya que existe poca evidencia indicando que sean hereditarias asociándolo a un origen mecánico, daños causados por fuego o las condiciones de luz, es por ello que se debe evaluar la posibilidad de obtener semillas de dichos individuos en el caso de no poseer la suficiente cantidad de árboles semilleros (Fredericksen, 2003).

2.1.4 Métodos de selección para el establecimiento de árboles semilleros

Según Flores *et al.* (2005) existen varios métodos para seleccionar árboles semilleros, por lo general el método de selección depende de las especies a evaluar, las características del rodal o de la población, de los objetivos particulares y de los recursos disponibles para la ejecución de dicho programa, los principales métodos generales que se utilizan para la selección de árboles semilleros se describen a continuación:

a. Método de árboles por comparación

Empleado para el caso de plantaciones forestales. Consiste en comparar dentro de una población, las características de un árbol plus, con los cinco mejores árboles vecinos ubicados dentro de un círculo de 10 a 20 m de radio, teniendo como centro al árbol candidato. Este método tiene como ventaja minimizar el efecto de las diferencias de sitio, es decir aumenta la probabilidad de expresión de los caracteres heredables en las generaciones futuras (Muñoz *et al.*, 2008).

Para la aplicación del método se utiliza un formulario de campo donde se anotan las medidas o puntajes asignados a los árboles de comparación y al árbol candidato. Posteriormente se efectúan los cálculos para obtener el diferencial de selección o el puntaje final del árbol candidato, el cual depende de la superioridad del candidato con respecto a los de comparación (Muñoz *et al.*, 2008).

El método de árboles de comparación tiene la ventaja de que a través de la comparación se elimina el efecto de las diferencias de edad (compara árboles de la misma edad) y minimiza el efecto de las diferencias de sitio (compara árboles vecinos), lo que aumenta la heredabilidad y, por tanto, la ganancia genética (Herrera, 2016).

Según Zobel y Talbert (1988) citados por Herrera (2016) indican que este método se aplica normalmente en rodales naturales coetáneos o en plantaciones, en donde generalmente es posible encontrar suficientes árboles vecinos para poder hacer una comparación fenotípica adecuada, especialmente de las características que son más afectadas por la edad. El método también se puede aplicar en rodales multietáneos puros para características que no sean afectadas por la edad.

b. Método de valoración individual

Según Flores *et al.* (2005) indican que este método es aplicable en bosques naturales heterogéneos, de edades distintas y donde los árboles generalmente se encuentran dispersos o aislados. Por ese motivo, el método de árboles por comparación no es aplicable. Debido a la alta variación ambiental y a las diferencias de edad entre árboles, la heredabilidad en este tipo de poblaciones es por lo general, baja. Para aplicar el método, es necesario recorrer previamente la población y conocer el ámbito de variabilidad (comportamiento) de la especie, para luego determinar cuál es un árbol superior.

c. Método de selección por regresión o de la línea base

Se aplica en rodales naturales multietáneos pie a pie o disetáneos. Para aplicarlo es necesario conocer con seguridad la edad de cada árbol, por ejemplo, mediante dendrocronología (Ipinza, 1998 citado por Balcorta-Martínez y Vargas-Hernández, 2004)

El método consiste en el desarrollo de curvas (regresiones) para las variables de interés que dependen de la edad o de algún otro factor (Zobel y Talbert, 1988 citados por Herrera, 2016). Por ejemplo, si el árbol candidato es de edad conocida y su volumen supera el predicho por la regresión edad – volumen, entonces el árbol puede ser seleccionado. En general, se puede fijar la superioridad del valor real sobre el valor de regresión en un mínimo para aceptar al árbol candidato como árbol plus. Este mínimo puede ser expresado en términos absolutos, porcentaje o en relación a la desviación estándar. Para aplicar este método se deben elaborar curvas para las diferentes calidades de sitio donde se pretende efectuar la selección (Ipinza, 1998 citado por Balcorta-Martínez y Vargas-Hernández, 2004).

d. Método de selección masal simple

Es uno de los métodos aplicados mundialmente. En relación con la especie, ha sido efectiva para aumentar el crecimiento, la forma y resistencia, con las mismas características. Sin

embargo, en su forma más simple es poco costoso; es decir, cuando el silvicultor elimina todos los árboles de poco crecimiento y mala forma de un rodal para aprovecharlo como rodal semillero. Los gastos aumentan al seleccionar con una intensidad alta en grandes áreas unos 100 árboles. Solo después de una comparación entre las progenies de árboles seleccionados y los árboles medianos y mediocres, se puede constatar la eficiencia del método, especialmente cuando no hay bases conocidas sobre la herencia del carácter a mejorar y cuando se tiene la intención de realizar programas de mejora genética en el futuro en forma intensiva (Lombardi y Nalvarte, 2001).

2.1.5 Experiencias previas sobre selección de árboles semilleros en el Perú y en el mundo

A continuación, se presentan algunos estudios vinculados a la selección de árboles semilleros:

- Heredia y Hofstede (1999) citados por Ordóñez *et al.* (2001) establecieron los principales criterios que se utilizaron para la selección de árboles superiores y fuentes semilleras de especies nativas en la sierra ecuatoriana, los parámetros que se mencionan en la presente investigación son más flexibles con relación a los parámetros de la evaluación clásica de fuentes semilleras para la producción de madera; es decir se toma en consideración un uso más diversificado y se combina aspectos económicos con aspectos ecológicos.

- Santos y Marino (2012) establecieron criterios para poder seleccionar árboles matrices o semilleros en fragmentos de bosques nativos en la región de Bebedouro, Sao Paulo con el fin de recolectar semillas nativas apropiadas y viables para obras de recuperación y restauración de ambientes forestales degradados. Estos criterios fueron: aspectos fitosanitarios y vigor, individuos exentos de plagas y enfermedades y que reflejen vigorosidad, principalmente en la altura y diámetro del tronco de la matriz seleccionada; morfología de dos individuos, mediante la evaluación del árbol, la forma del tronco y la copa, seleccionando los individuos de cada especie, considerando los diferentes aspectos, de manera que las matrices representen como máximo las características peculiares de las distintas sucesiones y clases de las especies (pioneras, secundarias y clímax); producción de semilla / fruto, seleccionar individuos con fruto abundante, evaluándolos mediante comparación visual entre individuos de la misma población y madurez de la planta, que es crucial para la cantidad y calidad de la producción de semillas.

- Lombardi *et al.* (2013) menciona los criterios técnicos necesarios para la evaluación de la recuperación de las especies de Caoba (*Swietenia macrophylla* King.) y Cedro (*Cedrela* spp.) dentro del cual se establecieron procedimientos técnicos para la evaluación del estado de árboles semilleros en poblaciones comerciales realizando una evaluación dasométrica considerando parámetros como dap, altura total, altura del fuste y altura comercial; y una evaluación cualitativa considerando parámetros como dominancia, primera bifurcación, ángulo de inserción de ramas, estado sanitario, infestación de especies parásitas, sogas y lianas, estimación del vigor del árbol, características de las aletas, rectitud del fuste, descripción de la corteza externa, estado del fuste, estado fenológico, forma del área basal, forma de la copa y evaluación del sitio.

- Gutiérrez *et al.* (2016) seleccionó árboles fenotípicamente superiores en rodales naturales de *Swietenia macrophylla* King en la selva mediana subperennifolia, en el estado de Quintana Roo, México mediante métodos multivariados, con la técnica de análisis de componentes principales (ACP) y la de agrupamiento, con apoyo del programa *Stand Visualization System* (SVS). Se utilizó el método de ACP con datos de ocho variables de estructura del árbol. Las correspondiente al diámetro normal del fuste, altura total y diámetro normal del fuste, altura total y diámetro de copa fueron las que mejor identificaron las características fenotípicas de los ejemplares superiores en el primer componente. La aplicación del SVS permitió el análisis espacial de escenarios posibles y finalmente la ubicación de 30 árboles sobresalientes. El método basado en ACP resultó efectivo porque los árboles elegidos por este conducto fueron los mejores en campo, por lo que se puede recomendar dicho procedimiento para escoger a los árboles superiores en rodales naturales de especies tropicales, donde las condiciones limitan el uso de los métodos clásicos de selección como el comparativo.

- Valladoid *et al.* (2017) identificó, caracterizó y seleccionó árboles semilleros evaluando las características dasométricas, como altura total, altura fustal y altura comercial; y morfológicas, como forma de fuste, altura de bifurcación, forma del tallo principal, ángulo de inserción de las ramas y forma de copa, de plantaciones de especies forestales maderables existentes en las comunas de Olón, Dos Mangas y Salanguillo ubicadas en la provincia de Santa Elena, Ecuador, que permitan disponer de semillas para trabajos de propagación de especies forestales en viveros con fines de reforestación que servirá de base para mejorar la

genética de plantaciones maderables en dicho lugar y que los productores de plantas en viveros dispongan de información sobre la existencia de árboles padres productores de semilla.

- García (2019) seleccionó árboles semilleros de *Cinchona officinalis* L. en el departamento de Cajamarca, utilizando el método de valoración individual a través de los criterios de selección para árboles semilleros, estimando sus características fenotípicas y las medidas de variables dasométricas, además evaluó el potencial reproductivo y se analizó la calidad física de semilla.

2.2 Aeronaves pilotadas a distancia (RPAs)

2.2.1 Definición

Según la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) (2015) existen dos términos que deben ser diferenciados, el primero es RPA, *Remotely Piloted Aircraft* o Aeronave pilotada a distancia, generalmente conocido como “dron”, debido a que el sonido que emite es similar al de un zángano (drone en inglés). Es una aeronave pilotada por un “piloto remoto” quien monitorea la aeronave en todo momento y tiene responsabilidad directa de la conducción segura de la aeronave durante todo su vuelo. El otro término es RPAS, *Remotely Piloted Aircraft System* o Sistema de Aeronave pilotada a distancia, conjunto de elementos configurables integrado por una aeronave pilotada a distancia, sus estaciones de piloto remoto conexas, los necesarios enlaces de mando y control y cualquier otro elemento de sistema que pueda requerirse en cualquier punto durante la operación de vuelo.

Las aeronaves pilotadas a distancia (RPAs) son una nueva plataforma aérea que en los últimos años sirve de apoyo en diversos tipos de evaluaciones. Varias investigaciones han demostrado las ventajas de las RPAs por su bajo costo y mejor flexibilidad en la planificación del sobrevuelo, que hace a la tecnología de las RPAs una herramienta apropiada para agricultores e investigadores en el monitoreo de las parcelas. Se utilizan métodos de foto-reconstrucción automática que están basados en la estructura por movimiento enfocado a la reconstrucción 3-D para darle valor cuantitativo a los productos de las RPAs (Torres-Sánchez *et al.*, 2015; Dunford *et al.*, 2009 y Salamí *et al.*, 2014).

2.2.2 Clasificación

Según la apariencia (morfología) de los RPA, Amaya (2018) los clasifica en:

a. Ala Fija

Son parecidos a un avión, su morfología se presenta por dos alas horizontales en torno al fuselaje que lo dotan de la sustentación necesaria al ir a una determinada velocidad por diferencia de presiones (Figura 1).

Las ventajas de estos equipos se encuentran en su alta capacidad para cubrir grandes extensiones, bajo consumo de energía y que pueden ir a altas velocidades transportando carga elevada, las desventajas se encuentran en su elevado costo, la necesidad de un área amplia para despegue y aterrizaje que limita su uso y baja maniobrabilidad.

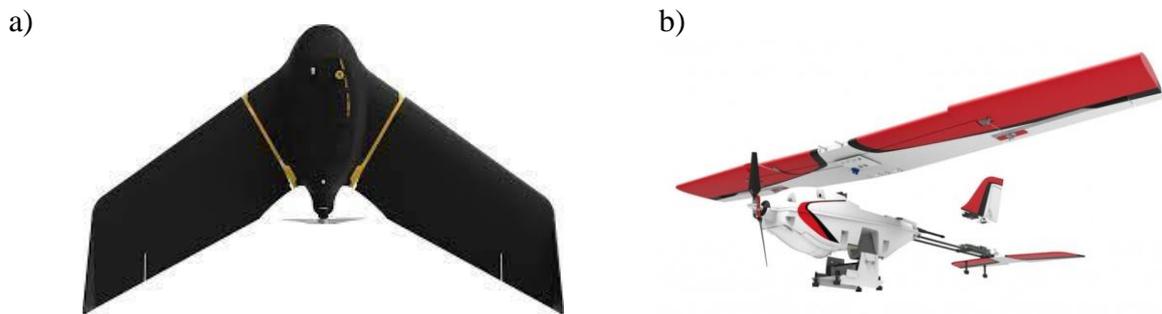


Figura 1: Tipos de RPAs de ala fija. a) RPA ala fija eBee *Classic SenseFly*. b) RPA ala fija PrecisionHawk Lancaster 5

Fuente: <https://www.sensefly.com/drones/ebec.html> y <https://www.precisionhawk.com>

b. Multirrotores

Son parecidos a los helicópteros, pero tienen varios rotores verticales en puntos equidistantes del centro horizontalmente (Figura 2).

Las ventajas que obtienen estos equipos son el menor costo, facilidad de manipulación, tipo de despegue vertical que favorece su utilización en áreas donde no hay claros o espacio libre, pero la desventaja es que si se requiere sobrevolar áreas de mayor extensión se va a requerir de varias baterías.

a)



b)



Figura 2: Tipos de RPAs mediante rotores. a) RPA multirrotor DJI Phantom 4 Pro. b) RPA multirrotor DJI Matrice 600 Pro

Fuente: <https://www.dji.com>

c. Híbrido

Son conocidos por sus siglas en inglés como VTOLes, aeronave pilotada a distancia híbrida entre avión y helicóptero, lo que históricamente se ha dado a llamar convertible (Figura 3).

Las ventajas que obtienen estos equipos son su alta velocidad como las aeronaves de ala fija y el tipo de despegue vertical como los multirrotores; pero la desventaja podría encontrarse en el transporte del equipo ya que la carga útil puede ser elevada.



Figura 3: RPA híbrido Foxtech Loong 2160 VTOL

Fuente: <https://www.foxtechfpv.com>

2.2.3 Adquisición de imágenes RPAS

a. Planificación de la misión

Según Neitzel y Klonowski (2011) y Nex y Remondino (2014) en un vuelo en modo autónomo, la planeación inicia con la definición de una región de interés, generalmente dibujada sobre un mapa base georreferenciado (por ejemplo, Google Earth®) para luego ingresar los parámetros de vuelo y, a partir de esta información, el *software* calcula automáticamente las líneas de vuelo.

Los parámetros de vuelo requeridos son:

- La altura de vuelo (desde la estación base, sobre el dosel, elevación msnm) o alternativamente el GSD (*ground sample distance*) (medido en cm/píxel), que se encuentran relacionados. A grandes alturas de vuelo, se generan GSD grandes (menor resolución), mientras que alturas de vuelo bajas generan GSD pequeños (mayor resolución).
- El porcentaje del traslape entre imágenes (longitudinal y transversalmente) que varían entre 60-80% o más, según el nivel de detalle requerido.
- El ángulo de inclinación de cámara, 90° cuando la cámara está enfocando hacia abajo que es ideal para generar ortomosaicos o hacer reconstrucciones 3D de la zona sobrevolada y, entre 30° y 60° cuando la cámara está en posición oblicua que es útil para grabar videos o tomar fotografías en donde se vea el panorama, las tomas pueden ayudar a generar una reconstrucción 3D de zonas que no se visualizan cuando la cámara está directamente enfocando hacia abajo (90°).

En la generación de modelos 3D detallados por lo general se requiere de alturas de vuelo bajas y de altos porcentajes de traslape. Para el caso de un vuelo en modo manual (maniobrado con control remoto), la definición de la región dependerá de la dirección dada a la plataforma aérea con el control remoto por parte del operador de vuelo, este caso los valores de altura y porcentajes de traslape quedan a consideración del operador de vuelo a través del control remoto, o a través de la configuración de la cámara para tomar fotos en intervalos de tiempo fijos (Nex y Remondino, 2014).

b. Adquisición de imágenes

Según Escalante *et al.* (2016) luego de la etapa de planeación, el siguiente paso es la ejecución del vuelo para la adquisición de las imágenes, esto inicia con el lanzamiento de la plataforma aérea.

Por medio del sistema de navegación la plataforma aérea busca autónomamente el inicio de la ruta de vuelo programada e inicia la captura de las imágenes de manera secuencial de acuerdo con los parámetros establecidos. Mientras tanto, en la estación de control en tierra

se monitorea el estado del vuelo y de la plataforma a través de información como tiempo de vuelo, nivel de batería, temperatura e intensidad de la señal de comunicación.

Otra de las características que se presenta en la adquisición de imágenes con sistemas RPA es la vinculación de cada foto con los valores de posición y orientación, registrados con los sistemas GPS e inercial en el momento de la captura. Esta es información que puede ser utilizada en las etapas posteriores de procesamiento.

2.2.4 Fotogrametría

Actualmente, cualquier cartografía, así como los levantamientos topográficos de una cierta magnitud, son realizados con técnicas de fotogrametría, a partir de fotografías aéreas que tienen como objetivo estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando medidas de una o varias fotografías (Sánchez, 2001 y Rosado, 2014).

Si bien el concepto está implícitamente ligado a la producción de cartografía, comprende un ámbito de aplicación más amplio y se puede dividir en numerosas ramas que abarcan desde la fotointerpretación hasta la teledetección (Sánchez, 2001).

Según Nex y Remondino (2014) y Colomina y Molina (2014) en la fotogrametría RPAS se identifican dos productos cartográficos tradicionales: el modelo digital de superficie y el ortomosaico georreferenciado; y en algunos casos, el modelo digital del terreno.

a. Alineación de imágenes

En esta etapa se utilizan las imágenes capturadas para realizar la configuración del bloque fotogramétrico en donde el objetivo es determinar la información que recrea la escena en el momento de la captura de las imágenes (datos de orientación exterior e interior de la cámara y los puntos que relacionan las imágenes entre sí) utilizando una de las estrategias principales de procesamiento en fotogrametría que es la extracción y correlación de puntos comunes entre las imágenes para lograr alinear las imágenes (Nex y Remondino, 2014).

b. Triangulación de imágenes

La triangulación de imágenes utiliza la técnica *Structure from Motion* (SfM), considerada un método fotogramétrico automatizado de alta resolución y bajo costo en relación a otras técnicas.

Esta técnica se basa en la utilización de una serie de imágenes bidimensionales para reconstruir la estructura tridimensional de una escena u objeto y se puede utilizar para crear modelos de superficie digital de alta resolución (incluidos modelos de elevación digital) y modelos de objetos.

Para crear una reconstrucción tridimensional, es necesario obtener varias imágenes del área u objeto que posean un alto grado de superposición que a menudo se toman desde un sensor en movimiento (RPA por ejemplo), pero también pueden ser tomadas por una persona o varias en diferentes lugares y ángulos. La cámara no necesita ser especializada, las cámaras convencionales funcionan bien para los métodos SfM.

Los paquetes de *software* especializados pueden identificar automáticamente los puntos en común en las imágenes, que son a menudo esquinas o segmentos de línea y para ello se utiliza el algoritmo SIFT (*Scale invariant feature transform*).

Este algoritmo se encarga de extraer puntos característicos invariantes y distintivos de una imagen que pueden ser usados para mejorar la correspondencia entre dos vistas diferentes de un objeto o una escena. Los puntos característicos obtenidos por SIFT son invariantes a escala y rotación de la imagen, y son mostradas para proporcionar un *matching* robusto a pesar de que exista un rango amplio de distorsiones afines, cambios en la vista 3D, adición de ruido a la escena y cambios en la iluminación.

Estas características se ubican de una imagen a otra y se utilizan para producir estimaciones de las posiciones y orientaciones de la cámara y las coordenadas de las características. Con ello se puede generar una nube de puntos de coordenadas x , y , z (Aracena-Pizarro y Daneri-Alvarado, 2013 y Tomás *et al.*, 2016).

c. Generación de DTM y DSM

Según Rumpler *et al.* (2013) el modelo digital de superficie (DSM) representa la información de altura de la superficie de la Tierra asociada a un sistema de referencia global, de todos los elementos registrados en la escena, es decir considerando las alturas de edificaciones, vegetación y demás objetos presentes en la superficie.

Según Lei *et al.* (2008); Rumpler *et al.* (2013) estos DSM son empleados para la generación de modelos digitales del terreno (DTM), que son aquellos en los que se han eliminado las elevaciones que no corresponden al terreno como también para la producción de ortomosaicos.

En resumen, el procesamiento llevado a cabo luego de la captura de datos se caracteriza por tres etapas principales: primera, la configuración del bloque fotogramétrico en donde el objetivo es determinar la información que recrea la escena en el momento de la captura de las imágenes (datos de orientación exterior e interior de la cámara y los puntos que relacionan las imágenes entre sí); segunda, la reconstrucción 3D de la escena a partir de la extracción de una nube de puntos, y tercera, la generación del modelo digital de superficie y la ortorrectificación de las imágenes a partir de este (Figura 4) (Escalante *et al.*, 2016).

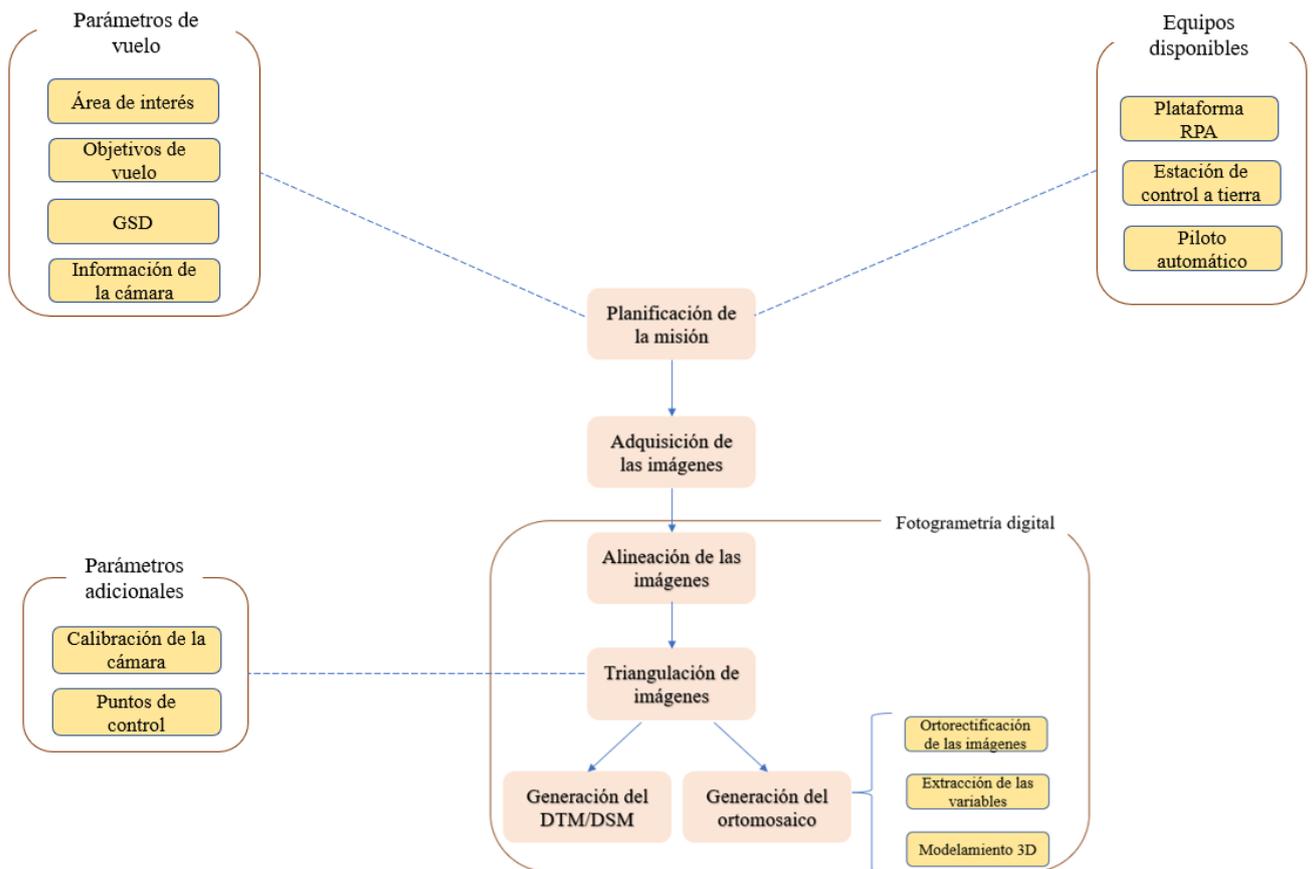


Figura 4: Flujograma de adquisición de imágenes RPAS y fotogrametría

Fuente: Adaptado de Nex y Remondino (2013)

2.2.5 Análisis de la información de imágenes RPAS

a. Medición de diámetros de copa y altura total

Para la medición de parámetros como el diámetro promedio de copa y la altura total es necesario utilizar el Modelo de alturas o *Canopy Height Model (CHM)* y enfoques de clasificación que se detallan a continuación:

- El Modelo de alturas es el producto de la sustracción entre el DSM y DTM, representa la altura total de los árboles con la influencia de la elevación del suelo eliminada (Hyypä *et al.*, 2008).
- El enfoque de análisis de imagen basado en objetos (OBIA – o GEOBIA para el análisis de imágenes basado en objetos geospaciales) acelera y mejora la precisión de clasificación del mapeo de vegetación al considerar patrones espaciales para delinear características y extraer información antes de ejecutar la clasificación en sí. Una forma de realizar la delineación de características consiste en agrupar píxeles similares en segmentos únicos mediante la reunión de los criterios de división de la imagen en grupos relativamente

homogéneos y semánticamente significativos de píxeles “super píxeles” (Blaschke, 2010 y Salamí *et al.*, 2014).

En el caso de la vegetación, los segmentos pueden estar formados por copas u hojas. Los patrones espaciales del dosel del bosque se pueden capturar mediante la textura de las imágenes RGB. La textura se refiere a frecuencias particulares de cambio de tonos y su disposición espacial resultante. Esto permite identificar diferentes objetos donde las características tienen el mismo color (Tagle *et al.* 2020; Zarco-Tejada *et al.* 2013; Blaschke, 2010; Feng *et al.* 2015; Chen *et al.* 2017 y Blaschke *et al.*, 2014).

La función *i.segment* con el algoritmo de crecimiento y fusión de regiones se utiliza para agrupar píxeles similares en segmentos únicos. Este algoritmo de segmentación examina secuencialmente todos los segmentos actuales en el ortomosaico, fusionando segmentos vecinos si son similares o cercanos según la fórmula de distancia. Se requieren dos parámetros para establecer el tamaño de los segmentos: un valor de umbral “*threshold*” y un tamaño mínimo del segmento “*minsize*”. El parámetro *threshold* varía de 0 a 1, los valores de umbral más bajos solo permitirían píxeles valiosos para fusionar, mientras que los valores más altos permitirían la fusión de píxeles cercanos incluso si no es tan similar. El parámetro *minsize* establece el número mínimo de píxeles en un segmento, fusionando pequeños segmentos con un vecino similar. En resoluciones espaciales más altas, se recomienda tener un mayor tamaño de segmento mínimo, para tener segmentos más grandes y menos por ortomosaico, que captura al menos una hoja por segmento. En general, con tamaños de píxel más pequeños, habrá más segmentos porque el ortomosaico contiene más detalles (Momsen y Metz, 2015).

b. Estimación del diámetro de copa

La estimación del diámetro de copa se puede realizar mediante extrapolación de los datos de dap obtenidos en campo ya que existe una relación directa y fuerte. En el caso de Perú se encontró que esta relación era de 19 a 1 para la especie *Cedrelinga cateniformis* (Wadsworth, 2000 y Angulo, 2015).

El método estadístico más utilizado para la estimación del dap es el análisis de regresión lineal. Este análisis se centra en el estudio de la relación matemática entre variables, con el

objetivo de predecir valores de una o más variables dependientes a partir de un conjunto de variables predictoras además de evaluar la fuerza o intensidad de la asociación entre las variables (Cancino, 2012). La relación entre las variables se caracteriza por un modelo matemático llamado modelo de regresión (Montgomery *et al.*, 2006).

El modelo de regresión lineal más básico es el siguiente:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i + \varepsilon_i$$

En donde:

y_i : Es la variable dependiente en el i -ésimo individuo de la población.

x_i : Es la variable independiente en el mismo individuo.

ε_i : Es un desvío o error aleatorio.

β_0, β_1 : Parámetros de la regresión.

Dentro del análisis de regresión lineal, se evalúa el coeficiente de determinación definido como la proporción o porcentaje de variación total en la variable dependiente respecto a su media (Martínez, 2005).

Este coeficiente mide el porcentaje de variabilidad de “Y” que se puede explicar a través del conocimiento de la variabilidad (diferencias) de la variable independiente (Chatterjee y Hadi, 2012)

El R^2 posee como límites al 0 y al 1, teniendo como 0 a la no representatividad del modelo lineal y al 1 como un ajuste lineal perfecto (Martínez, 2005). En el proceso de selección de ecuaciones, se aceptan aquellas que poseen un R^2 mayor del 70% que indica una buena asociación lineal entre las variables (Acuña, 2010). Por otro lado, el R^2 debe ser mayor a 0,64 para tener una asociación aceptable y que mínimo valor para aceptar una ecuación en el estudio de ciencias exactas es de 0,75 (Alvarado y Obagi, 2008).

c. Índices de vegetación

Los índices de vegetación son medidas cuantitativas, basadas en los valores digitales, que tienden a medir la biomasa o vigor vegetal. Usualmente el índice de vegetación es producto

de varios valores espectrales que son sumados, divididos, o multiplicados en una forma diseñada para producir un simple valor que indique la cantidad o vigor de vegetación dentro de un píxel. Altos valores de índices de vegetación identifican píxeles cubiertos por proporciones substanciales de vegetación saludable (Campbell y Wynne, 2013).

En este caso se habla del NGRDI, también llamado índice de vegetación verde o Vigreen (Vig) (Gitelson *et al.*, 2002), que puede calcular el vigor de las plantas utilizando la información de una cámara RGB lo cual no limita su capacidad de interpretación o adecuación a diversos factores. El rango posible de este índice es de $-1,0$ a $1,0$; pero la variación real del NGRDI es pequeña para la mayoría de los objetivos (Hunt *et al.*, 2005).

A continuación, se muestra la fórmula para poder determinar el valor del NGRDI, donde φ_{Green} es el valor de la banda verde y φ_{Red} es el valor de la banda roja (Díaz, 2015).

$$NGRDI = \frac{\varphi_{Green} - \varphi_{Red}}{\varphi_{Green} + \varphi_{Red}}$$

2.2.6 Análisis estadístico

Según Triola (2018) la prueba no paramétrica de la suma de rangos de Wilcoxon es equivalente a la prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes, donde se establece que, si se extraen dos muestras de poblaciones idénticas y los valores individuales se clasifican como una sola colección combinada de valores, los rangos alto y bajo deberían coincidir entre las dos muestras. Si los rangos bajos se encuentran predominantemente en una muestra y los rangos altos se encuentran predominantemente en la otra muestra, tenemos una indicación de que las dos poblaciones tienen medianas diferentes.

A diferencia de las pruebas t paramétricas para muestras independientes, la prueba de la suma de rangos de Wilcoxon no requiere poblaciones distribuidas normalmente y puede usarse con datos en el nivel ordinal de medición, como datos que constan de rangos.

Esta prueba tiene una calificación de eficiencia del 0.95 cuando se compara con la prueba paramétrica.

Donde se plantean las hipótesis:

H_0 : las muestras provienen de poblaciones que poseen medianas iguales.

H_1 : las muestras provienen de poblaciones que no poseen medianas iguales.

Cuando ambos tamaños de muestras utilizados son mayores que 10, entonces la distribución muestral es aproximadamente normal con media μ_R y desviación estándar σ_R , para lo cual a partir de las tablas de probabilidad normal estándar y el valor del estadístico Z , se determinará el p valor dependiendo del nivel de confianza de la prueba.

Para ello se debe cumplir que:

p valor $> \alpha$, no rechazar H_0 (las muestras provienen de poblaciones que poseen medianas iguales).

p valor $< \alpha$, rechazar H_0 (las muestras provienen de poblaciones que no poseen medianas iguales).

2.2.7 Estudios previos sobre el uso de RPAS en el Perú y el mundo

A continuación, se presentan algunos estudios vinculados al uso de RPAS:

- Dunford *et al.* (2009) utilizó una clasificación enfocada en píxeles y orientación de objetos para determinar la vegetación y árboles muertos en pie de un bosque mediterráneo ribereño mediante imágenes provenientes de RPAS encontrando que las principales limitaciones para dicha clasificación resultan de factores como las condiciones de iluminación y movimiento del sensor durante el vuelo, que crea variaciones en la resolución espacial y radiométrica, sin embargo los resultados fueron potencialmente significativos.

- Conservación amazónica (2018) utilizó RPAS para el monitoreo de tala ilegal y deforestación priorizando zonas como concesiones forestales de castaña, concesiones forestales de la asociación local ACOMAT (Asociación de Concesionarios Forestales Maderables y no Maderables de las Provincias del Manu y Tambopata) y zonas a lo largo de la carretera interoceánica.

- Paz (2017) indica que para el monitoreo de los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo se vienen utilizando tecnología RPAS para la validación de la información obtenida a través de las imágenes de satélite, brindando imágenes de alta calidad y reduciendo costos en las verificaciones en campo.

- Bugday (2018) utilizó el modelo de elevación digital (DEM) proveniente de imágenes RPAS y herramientas de sistemas de información geográfica (GIS) en la planificación de la construcción de caminos forestales realizando una evaluación del antes y después de la construcción considerando parámetros como el corte y relleno de un camino. Se logró identificar que el uso de RPAS captura datos de alta calidad y resolución que permitirán no solo la planificación de caminos forestales, sino que también evaluar rutas alternativas.

- Claros (2019) estimó el volumen de árboles en un bosque secundario joven del distrito de Chanchamayo, provincia de Junín estableciendo una ecuación de volumen en función al diámetro de copas obtenido de los ortomosaicos generados de las fotografías aéreas RGB capturadas mediante RPAS, que puede contribuir en las metodologías de inventarios forestales y evaluación en bosques tropicales utilizando RPAS.

- Tagle *et al.* (2020) desarrolló un flujo de trabajo para la clasificación de imágenes RGB obtenidas mediante el uso de RPAS que tiene como objetivo identificar y delinear copas de palmeras como *Mauritia flexuosa*, *Euterpe precatoria*, y *Oenocarpus bataua* en la Amazonía Peruana, así como la identificación de claros de bosques mediante la combinación de procesamiento de imágenes y funcionalidades GIS utilizando información de color y textura de manera integradora para mostrar uno de los usos potenciales de los RPAS en bosques tropicales. El método es adecuado para áreas donde la densidad de las palmeras es media a baja y no están demasiado cerca entre sí. El uso de UAV pequeños con cámaras RGB, en combinación con datos de campo, tiene el potencial de proporcionar estimaciones de la disponibilidad de recursos a escalas relevantes para la gestión de bosques tropicales, especialmente donde la cobertura de nubes limita el uso de imágenes de satélite, y aquellas áreas de grandes extensiones y restringida accesibilidad que limita los levantamientos terrestres.

- Bourgoïn *et al.* (2020) utilizó imágenes RPAS de muy alta resolución para muestrear una amplia gama de condiciones de bosques degradados e intactos en un área deforestada de Amazonía brasileña. Para cada sitio forestal, combinó el historial de degradación de las series temporales de Landsat con datos de RPAS, incluida la elevación del dosel y las imágenes de nivel gris empleando texturas que permitan evaluar la estructura del dosel del bosque y construir una tipología que vincule el historial de degradación y estados actuales.

- Giersbergen (2020), evaluó la precisión del modelo de altura del dosel (CHM) que se obtuvo a partir de sustraer los valores obtenidos del modelo digital del terreno (DTM) del modelo digital de superficie (DSM), generados junto con un ortomosaico, utilizando el algoritmo Structure from Motion (SfM) a partir de imágenes RGB capturadas mediante el uso de RPAS en bosques tropicales de Loreto. Para validar la altura del CHM se utilizaron datos de campo, pero estos datos pueden ser medidos de diversas formas como por interpretación visual, utilizando instrumentos como el clinómetro y mediante una ecuación correccional que da como resultado un sistema de clases de alturas. El proceso de validación de la altura del árbol usando la ubicación del árbol para extraer los valores de CHM y usando diferentes tamaños de *buffer* para extraer CHM posee una alta precisión, pero se requieren más estudios en diferentes circunstancias para dar una precisión más confiable.

2.3 Características generales de la especie

2.3.1 *Cedrelinga cateniformis*

a. Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Angiospermas

Clase: Dicotiledónea

Orden: Fabales

Familia: Leguminosae (Mimosoideae)

Género: *Cedrelinga*

Nombre científico: *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke

Sinónimos botánicos: *Piptadenia cateniformis* Ducke, *Pithecellobium cateniformis* (Ducke) L. Cárdenas

Nombres comunes: “tornillo”, “pino peruano” (Torres, 2010).

b. Descripción botánica

Árbol de 0,5-2 m de diámetro y 20-40 m de altura total, con fuste cilíndrico, la ramificación desde el segundo o tercer tercio, la base del fuste recta. La corteza externa agrietada a fisurada, color marrón pardo a rojizo, con placas de ritidoma de unos 3-5 x 8-13 cm. La corteza interna homogénea, color crema a rosado blanquecino, sin secreciones. Esta especie posee pudrición medular causada por hongos en plantaciones que poseen mayor antigüedad (Reynel *et al.*, 2016 y Diaz y Nicolini, 2009).

c. Distribución y hábitat

La especie se distribuye en la región Amazónica: Brasil, Bolivia, Perú y Colombia en bosques muy húmedos subtropicales, bosque húmedo tropical y bosque seco tropical. El rango de distribución altitudinal es desde los 50 – 250 msnm (Global Biodiversity Information Facility, s.f.).

d. Importancia económica y usos

Madera de excelente calidad y gran durabilidad, densa, con grano recto, textura gruesa y color blanquecino a rosado. Es muy trabajable y tiene amplio mercado en el Perú para construcción y carpintería. Se le comercializa muchas veces bajo el nombre de pino peruano. Es una especie característica en la llanura de la amazonía (Reynel *et al.*, 2016).

2.3.2 *Simarouba amara*

a. Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsidae

Orden: Sapindales

Familia: Simaroubaceae

Género: *Simarouba*

Nombre científico: *Simarouba amara* Aublet

Nombres comunes: “marupá”, “cedro blanco” (Vilcayauri, 2009).

b. Descripción botánica

Los árboles provenientes de bosque natural presentan de 50-100 cm de diámetro y 25-35 m de altura total, con fuste cilíndrico y con ramificación desde el segundo tercio, la base del fuste recto y con raíces redondas. La corteza externa es lisa a agrietada, color marrón claro

a gris, el ritidoma suberoso, en placas irregulares. La corteza interna es arenosa de color amarillo blanquecino y de sabor amargo. Ramita terminal de sección circular, color marrón oscuro a negro cuando secas, de 5-8 mm de diámetro, glabras. Frutos tipo drupa (Reynel *et al.*, 2003).

c. Distribución y hábitat

El marupá en su hábitat natural, se distribuye en toda la región amazónica, mayormente debajo de los 700 msnm. Agrega que a esta especie se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante; tiene tendencia esciófita y está presente en bosques secundarios y bosques primarios, además se encuentra en suelos arcillosos y ácidos, usualmente fértiles, bien drenados y con baja pedregosidad (Reynel *et al.*, 2003). La distribución global de la especie va desde Belice a Brasil y las Antillas y con un rango de distribución altitudinal que va desde los 0 – 1850 msnm que incluye la zona altoandina del Perú (Global Biodiversity Information Facility, s.f.).

d. Importancia económica y usos

La madera es blanquecina a amarillenta, de densidad baja, durable en interiores y muy trabajable, apta para carpintería y ebanistería, con excelente calidad al cepillado y moldurado (Aróstegui, 1970 y Aróstegui, 1974 mencionados por Vilcayauri, 2009). Es una especie de crecimiento rápido, y tiene una respuesta excelente en plantación (Reynel *et al.*, 2016).

2.3.3 *Guatteria elata*

a. Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsidae

Orden: Magnoliales

Familia: Annonaceae

Género: *Guatteria*

Nombre científico: *Guatteria elata* R.E. Fries

Nombre común: “carahuasca” (Spichiger *et al.*, 1990 citado por Paredes, 2003).

b. Descripción botánica

Árbol mediano a grande de biotopo no anegable, forma parte del estrato intermedio, copa globosa, notoria en la parte superior; base del fuste con pequeñas raíces tablares, algunas

veces estas raíces no se notan; fuste recto con pequeños acanalamientos en la base, después cilíndrico, el género presenta ramificación desde el segundo tercio, generalmente su altura total oscila de 18 a 22 m y la comercial entre 13 a 17 m; ramitas cubiertas de indumento tomentoso. Hojas simples, flores axilares, solitarias, medianas a grandes en número de 1 a 2 bisexuales; floración de periodo no determinado muy variable; fruto indehiscente (Spichiger *et al.*, 1990 citado por Paredes, 2003 y Reynel *et al.*, 2016).

c. Distribución y hábitat

La distribución global de la especie es en la Amazonía peruana, brasileña y colombiana entre los 160 y 250 msnm (Global Biodiversity Information Facility, s.f.). En el Perú se encuentra en los departamentos de Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Amazonas (Brako y Zarucchi, 1993 mencionados por Paredes, 2003). Según Maderacre (2019), esta especie tiene tendencia esciófita parcial, tolerante a sombra.

d. Importancia económica y usos

Según Valderrama (1999) y Spichiger *et al.* (1990) citados por Paredes (2003) la madera presenta características organolépticas, albura y duramen diferenciado, color de la albura parda, duramen rojo, brillo medio, grano recto, veteado en bandas paralelas, textura gruesa a media y olor y sabor ausente. Esta especie presenta densidad baja y puede ser usada en construcción de vivienda: estructuras (vigas, viguetas, etc.), carpintería de obra (puertas, ventanas, zócalos), mueblería y encofrados.

III. METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

3.1.1 Ubicación

Las plantaciones se encuentran ubicadas en terraza alta dentro del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera (CIJH) (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, s.f.). El distrito de Jenaro Herrera pertenece a la provincia de Requena, región Loreto, ubicado geográficamente en la región nor-oriental del Perú (Latitud: 04°54'21", Longitud: 73°40'02" y Altitud: 101 msnm), situado en la margen derecha del bajo Ucayali a 136 km al Sur de la ciudad de Iquitos, asentada en la margen derecha de la quebrada Parnayari, en la confluencia de éste con el río Ucayali (López, 2018).

3.1.2 Clima

Según los datos obtenidos del SENAMHI para el periodo 2000 – 2009, la temperatura media anual fue de 26 °C con fluctuaciones de ± 1 °C al año como se puede apreciar en la Figura 5, no se consideró el periodo 2010 – 2017 por la falta de información para la temperatura media. La temperatura media anual registrada para los meses más calurosos de octubre y noviembre fue de 26,7 °C y para los meses más fríos de junio y julio fue de 25,2 °C. En el caso de la precipitación media anual se consideró el periodo 2000 – 2017 excepto el periodo 2007 – 2010 por la presencia de un evento anómalo (sequía extrema), donde el valor fue de 2 699 mm, con una precipitación media mensual entre 149 y 316 m

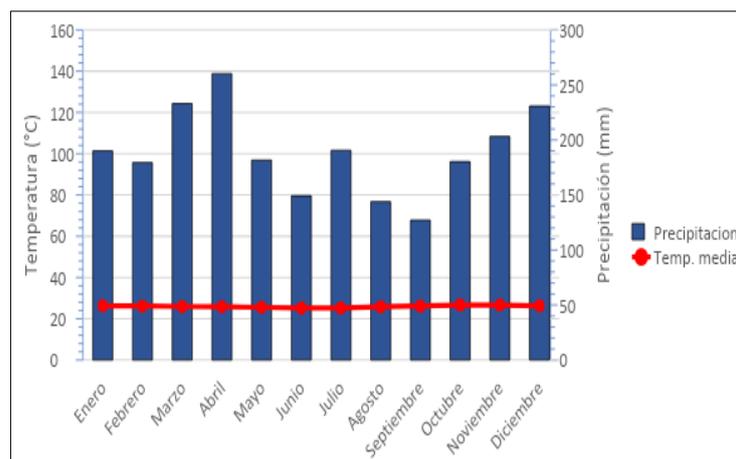


Figura 5: Climatograma de la Estación meteorológica de Jenaro Herrera para el periodo 2000-2017
Fuente: SENAMHI (2000-2017)

3.1.3 Fisiografía y suelos

La terraza alta se encuentra ubicada en la planicie interfluvial o zona de altura. Desde los bordes de la terraza hasta el centro, se encuentra sucesivamente un suelo de color mayormente anaranjado-rojo (acrisol órtico), después un suelo amarillo- anaranjado con presencia creciente de un horizonte superior grisáceo, luego un suelo dominado por los tonos grises y por fin un suelo blanco (podzol órtico) (Claussi *et al.*, 1992 citados por Vargas, 2010).

3.2 Características de las plantaciones forestales

Las plantaciones experimentales consideradas en el presente estudio, ubicadas en el CIJH, (Figura 9) han sido descritas por Claussi *et al.* (1992) como se detalla a continuación:

La plantación experimental silvicultural 304-86 de la especie *Cedrelinga cateniformis* (Figura 6) de tipo campo abierto de la zona denominada “El cañal” fue instalada en el año 1986, en un área de 20 000 m² con un espaciamiento de 2x2 m lo cual hace un total de 5 000 árboles, se encuentra ubicada en terraza alta, suelo franco-arenoso. Se realizaron limpiezas entre el año 1987 hasta el año 1990, en ese mismo año se realizó un raleo selectivo positivo con intensidades de 67, 50 y 33%. En las Parcelas de Control Permanente (PPC), en el año 7 de la plantación luego de la aplicación de raleo a diferentes intensidades, quedaron 266 individuos que es 49% de los individuos instalados, pero a los 37 años de edad solo han quedado un 10% (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, s.f.).



Figura 6: Plantación de *C. cateniformis* “304-86” del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera

La plantación experimental silvicultural 305-87 de la especie *Simarouba amara* (Figura 7) de tipo campo abierto de la zona denominada “El cañal” fue instalada en el año 1987, en un área de 7 500 m² con un espaciamiento de 2x2 m lo cual hace un total de 1 875 árboles, se encuentra ubicada en terraza alta, llanura; suelo franco-arenoso. Se realizó un replante de toda el área en el año 1988 con 1 140 plántones además en el periodo 1988-1990 se realizaron 5 limpiezas. En las Parcelas de Control Permanente (PPC), en el año 7 de la plantación luego de la aplicación de raleo a diferentes intensidades, quedaron 188 individuos que es aproximadamente el 30% de individuos instalados, pero a los 35 años de edad solo han quedado un 8% (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, s.f.).



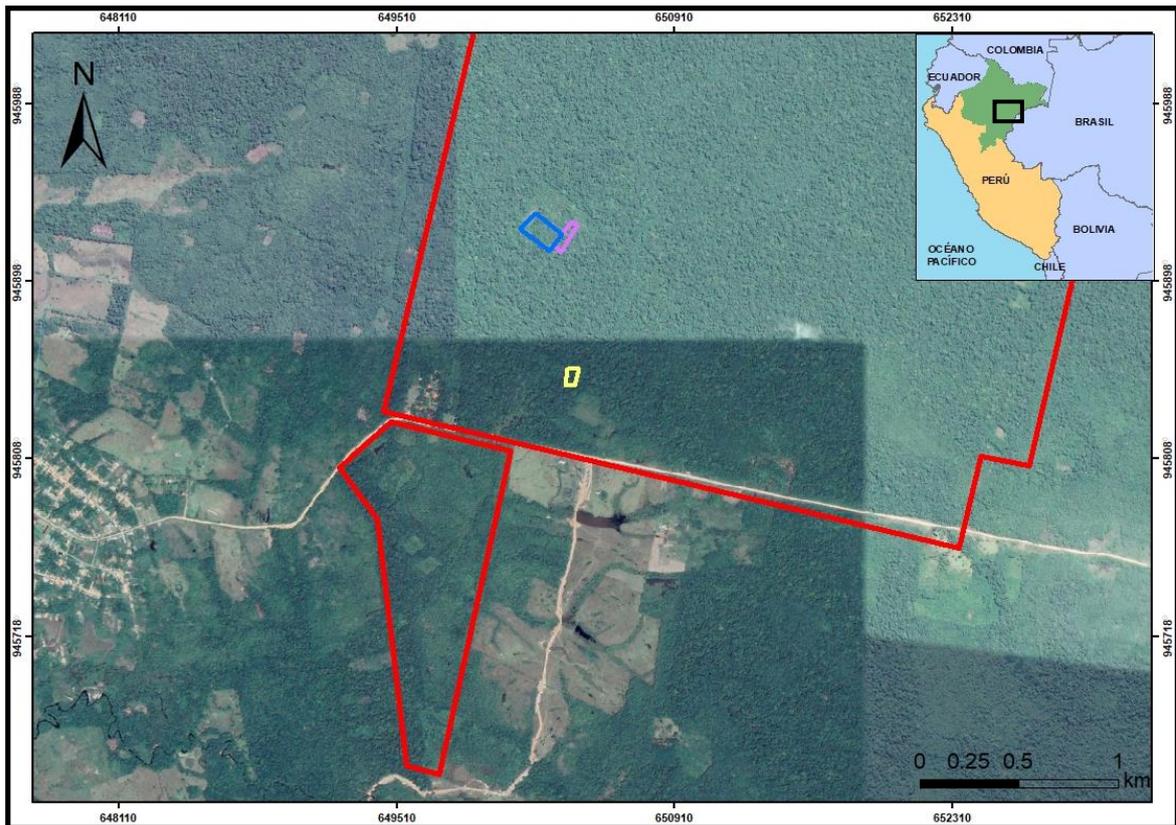
Figura 7: Plantación de *Simarouba amara* “305-87” del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera

La plantación experimental silvicultural 104-84 de la especie *Guatteria elata* (Figura 8) de tipo campo abierto de la zona denominada “Juan Laurent” fue instalada en el año 1984, en un área de 4 368 m² con un espaciamiento de 2x2 m lo cual hace un total de 1 092 árboles, se encuentra ubicada en terraza alta, llanura ligeramente cóncava, con pendientes suaves (-5% N a -4% S); suelo franco-arenoso en los primeros 10 cm y arcilla arenosa de 10 a 30 cm de profundidad. Se realizaron limpiezas hasta el año 1987, luego ya no se efectuó ninguna limpieza debido a que la cobertura de las copas impide la instalación de vegetación secundaria y en mayo de 1990 se realizó un raleo sistemático con intensidad del 50 %. En las Parcelas de Control Permanente (PPC), en el año 7 de la plantación luego de la aplicación de raleo, quedaron 154 individuos que es aproximadamente el 52% de individuos instalados, pero a los 35 años de edad solo han quedado un 15%.



Figura 8: Plantación de *Guatteria elata* “104-84” del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera

Podemos observar que con el pasar de los años la supervivencia de los individuos en las 3 plantaciones ha disminuido considerablemente.



	ENTIDAD	
	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES	
TESIS		
SELECCIÓN DE ÁRBOLES SEMILLEROS DE <i>Cedrelina cateniformis</i> , <i>Simarouba amara</i> Y <i>Guatteria elata</i> EN PLANTACIONES FORESTALES MEDIANTE EL USO DE RPAS		
TÍTULO DE MAPA		MAPA N° 01
MAPA DE UBICACIÓN DE LAS PLANTACIONES FORESTALES DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES JENARO HERRERA		
ELABORADO POR: BACH. SILVANA DI LIBERTO		
BASE CARTOGRÁFICA	FECHA	ESCALA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA GOOGLE EARTH 2021 ©	JULIO 2021	1/ 20000

LEYENDA

-  Área de estudio
-  Plantación de *Cedrelina cateniformis*
-  Plantación de *Simarouba amara*
-  Plantación de *Guatteria elata*
-  Centro de Investigaciones Jenaro Herrera

Figura 9: Mapa de ubicación de las plantaciones forestales del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera consideradas para el presente estudio

3.3 Materiales y equipos

3.3.1 Materiales

- Formato de campo
- Útiles de escritorio
- Libreta de campo
- Tablero de despegue
- Machete

3.3.2 Equipos

- DJI Phantom 4 Pro

- GPS Trimble Geo 7x
- Antena “Tornado” Trimble de doble frecuencia GNSS
- Brújula Suunto Modelo Kb-14
- Hipsómetro Suunto Modelo PM 5/1520
- Cinta diamétrica Forestry suppliers
- Wincha de 50 m
- Laptop HP Procesador Intel Core i3-6100U, 4 GB Memoria RAM
- Computadora Dell Procesador Intel ® Xeon ® Silver 4110, 128 GB Memoria RAM

3.3.3 Software

- Pix4D capture Versión 4.11.0
- Pix4Dmapper Versión 4.2.27
- QGIS Versión 3.8.3
- R Versión 3.4.4
- ArcGIS Versión 10.3
- GRASS GIS Versión 7.8
- Statdisk Versión 14.1.5

3.4 Métodos

Esta metodología consta de tres fases: planificación, campo y gabinete. La metodología propuesta para la fase de planificación y campo (ejecución de vuelo y toma de fotografías) se ha adaptado de Tagle *et al.* (2021). En la fase de gabinete, para el procesamiento de imágenes de RPAS, se ha adaptado de Tagle *et al.* (2019) y la segmentación de las copas de árboles, de Tagle *et al.* (2020).

3.4.1 Fase de planificación

a. Elaboración de matriz de valoración

Se elaboró una matriz de valoración para establecer las características a considerar durante la evaluación. Los parámetros considerados fueron rectitud de fuste, altura de bifurcación, diámetro promedio de la copa, forma de copa, vigor, iluminación de copa y posición sociológica; además del dap y la altura total que han sido considerados según su orden de importancia.

Para determinar el orden de importancia, se consideró aquellos que poseen una alta heredabilidad y determinan la calidad del fuste como son la rectitud de fuste y altura de

bifurcación (Ordóñez *et al.*, 2001). La posición sociológica prosigue a estos parámetros debido a que esta determina la respuesta del desarrollo de los árboles con respecto a la luz, y este generalmente es un factor limitante (Romero, 2008 y Louman *et al.*, 2001). Luego se han considerado todos los parámetros respecto a la copa del árbol ya que es uno de los componentes que influyen en la producción primaria y sus dimensiones reflejan el vigor del mismo (Schomaker *et al.*, 1999 citados por Claros, 2019), además estos parámetros brindan una buena idea de las relaciones interdimensionales, el espacio vertical ocupado por cada árbol, el grado de competencia y la estabilidad cada individuo dentro de la plantación (Durlo y Denardi, 1998 citados por Arias, 2005). Finalmente, se encuentra el vigor debido a que refleja condiciones del árbol relacionadas a interacciones externas que no son de alta heredabilidad.

Los parámetros antes mencionados fueron ponderados para establecer aquellas características deseables que debe tener un árbol semillero, los cuales han sido considerados y adaptados a las condiciones del presente estudio de Dawkins (1958) citado por Angulo (2015) y Heredia y Hofstede (1999) citados por Ordoñez *et al.* (2001).

b. Reconocimiento del área de estudio

Se llevó a cabo una visita a las plantaciones ubicadas dentro del CIJH para reconocer el área a evaluar, establecer puntos de despegue/aterrizaje de la RPA y evaluar la complejidad del bosque antes de realizar los vuelos.

Los límites de las plantaciones fueron ubicados, y con el uso del GPS Trimble Geo 7x con antena “Tornado” se determinó la ubicación geográfica de las parcelas con un error hasta 5 m aproximadamente. Durante el registro de las coordenadas UTM (*Universal Transversal Mercator*), no hubo inconvenientes para poder desplazarse en los límites de la plantación, pero fue necesario liberar de vegetación ciertas zonas utilizando el machete.

c. Planificación de vuelo

Se exportaron los puntos del GPS y se determinó el área de sobrevuelo en formato *shapefile* de cada una de las plantaciones para luego exportar el archivo en formato KML con la ayuda del programa QGIS. Además, se pudo obtener el cálculo del perímetro.

El archivo correspondiente a cada plantación se copió e importó al RC (Control remoto) para luego abrirlo y seleccionar la opción editar que permite realizar la configuración de los parámetros de vuelo en el *software Pix4D capture*.

Se utilizó la opción “2D” y se procedió a seleccionar la altura de vuelo sobre la estación base a 90 m (el ángulo de la cámara es de 90°, esta opción se configura por defecto) y 90% para el traslape para finalmente guardar los cambios y elegir un nombre para la misión. En el caso de la plantación de *C. cateniformis* se usó CED-02; para *S. amara*, SIM-02; y para *G. elata*, CAR-02 (Figura 10).

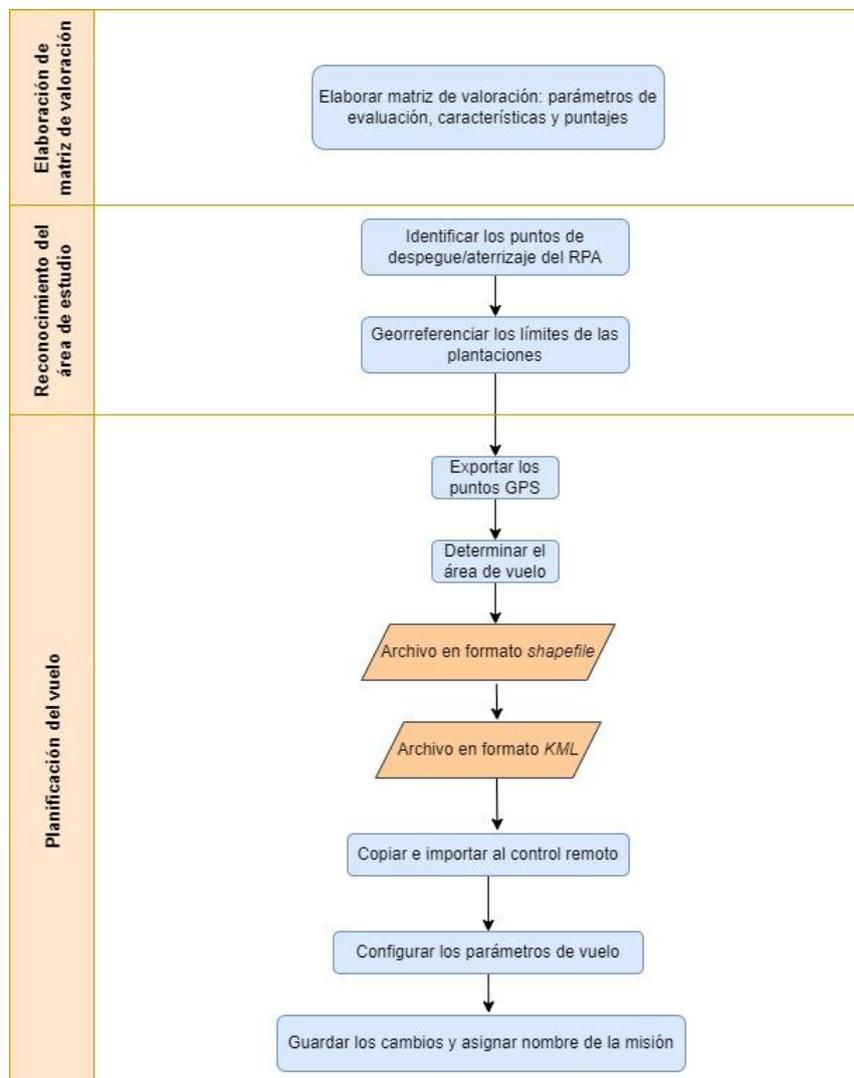


Figura 10: Flujograma de la fase de planificación

3.4.2 Fase de campo

a. Ejecución de vuelo y toma de fotografías

Se ubicó el RPA en un lugar estable y despejado de cualquier objeto que interrumpa el despegue y aterrizaje. Se retiraron los seguros de la cámara y se procedió a revisar que la cámara no se encuentre sucia para luego colocar las hélices y revisar finalmente que estas se encuentren sujetas.

Una vez comprobados los pasos anteriores, se encendió el RPA y el RC. Luego se abrió la misión de la plantación a sobrevolar y se visualizó en la pantalla del RC una flecha roja que indica la posición del RPA, se desactivaron los sensores de posicionamiento y se verificó el número de satélites que permitan el despegue. Finalmente se procedió con el despegue del RPA y se registraron los datos del vuelo como se muestra en el esquema del Anexo 1.

Cuando no se pudo terminar el sobrevuelo de la plantación con una sola batería, se repitieron los mismos pasos desde el encendido del RPA, pero desde la opción “*Executing*” para terminar la misión planeada.

b. Toma de datos de campo

Se procedió a georreferenciar todos los árboles con la ayuda del GPS Trimble Geo 7x con antena “Tornado” para registrar las coordenadas UTM con un error de precisión aproximado de 5 m mostrado por el receptor GPS. Los árboles fueron enumerados con pintura roja.

La medición de todos los individuos dentro de las 3 plantaciones se llevó a cabo tomando en cuenta los parámetros de evaluación y el puntaje de la matriz de valoración para aquellos que lo consideren. Para ello se utilizó el esquema del formato que se presenta en el Anexo 2.

La altura total se midió en metros con hipsómetro Suunto y wincha. La wincha se utilizó para medir la distancia horizontal entre el observador y el árbol, esta distancia varió entre 10, 15 y 20 m permitiendo visualizar la base del árbol y el ápice de la copa para poder tomar las medidas correspondientes.

El diámetro a la altura del pecho se midió en centímetros utilizando la cinta diamétrica *Forestry Suppliers* a una altura de 1,30 m rodeando la circunferencia del árbol.

La proyección del diámetro de copa se midió en metros. Se consideró el promedio del diámetro en dirección N-S y E-O utilizando una wincha y una brújula Suunto (Cancino, 2012).

La posición sociológica, iluminación de copa, rectitud de fuste, altura de bifurcación y forma de copa se evaluaron de forma visual (Dawkins, 1958 citado por Angulo, 2015 y Heredia y Hofstede, 1999 citados por Ordoñez *et al.*, 2001) y comparando las características entre individuos utilizando los puntajes diseñados en la matriz de valoración.

El vigor se determinó de forma visual considerando si el árbol se encontraba sano o enfermo/plagado (Figura 11).

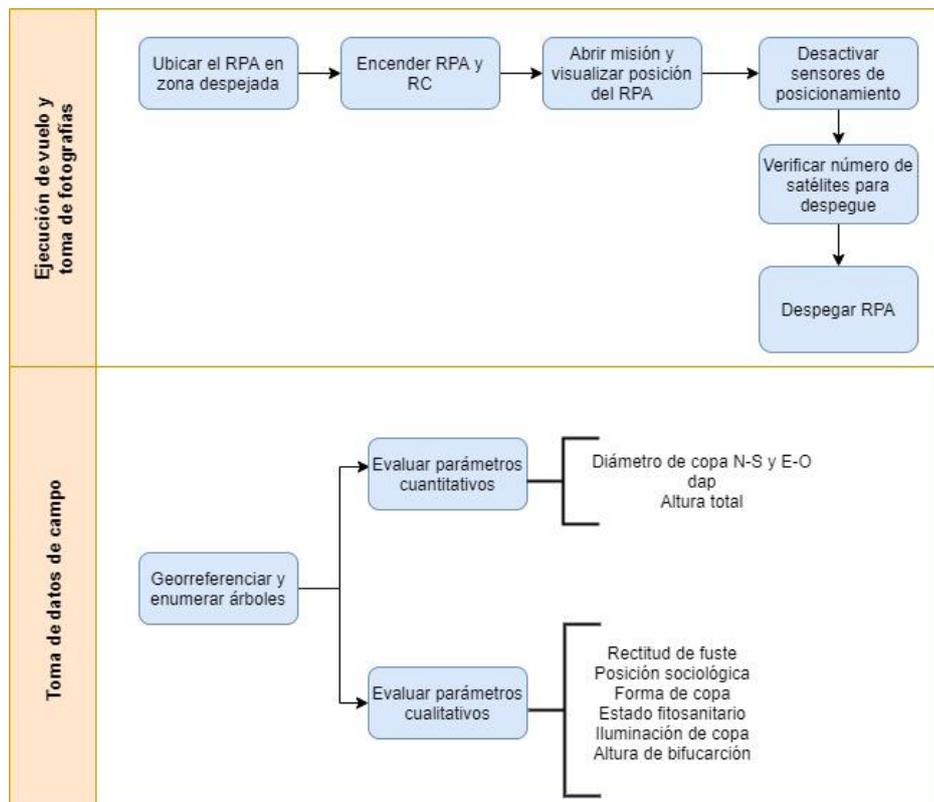


Figura 11: Flujograma de la fase de campo

3.4.3 Fase de gabinete

a. Procesamiento de imágenes RPAS

Se utilizó el programa Pix4D Mapper para obtener el mosaico, DSM y DTM basándonos en las características de la cámara. El proceso estuvo dividido en 3 etapas (Ver Anexo 3):

Procesamiento inicial: Se identificaron los puntos en común entre las fotografías aéreas, se optimizó la georreferenciación con los puntos centrales de cada fotografía y se prepararon las mismas para continuar con las siguientes etapas.

Nube de puntos y malla: Se generó la nube de puntos, con los puntos comunes de las fotografías y el agrupamiento de los mismos.

DSM (Modelo digital de superficie), mosaico y DTM (Modelo digital del terreno): Para finalizar, se generó el modelo digital de superficie, mosaico y el modelo digital del terreno utilizando el método de interpolación *Triangulation*, recomendado para vegetación densa (Pix4D S.A., 2017).

b. Análisis de la información de RPAS

i. Cálculo del Modelo de alturas (CHM) y segmentación de copas

Los procesos del cálculo del Modelo de alturas (CHM) y segmentación de copas han sido elaborados adaptando los *scripts* que se encuentran en el repositorio de Github (<https://github.com/xime377/UAV-classification>) al presente estudio en el *software* Rstudio, empleando la metodología de Tagle *et al.* (2020). A continuación, se detallan los procesos:

Se realizó una comparación de la extensión y resolución espacial del mosaico, DSM y DTM ya que deben ser iguales para continuar con los siguientes procedimientos. La extensión se uniformizó a la información del mosaico. En el caso de la resolución espacial, se prefirió que el *software* de procesamiento la asignara por defecto por lo tanto se necesitó realizar un escalamiento de la misma para el mosaico y el DSM a 0,05 m (5 cm) utilizando la función que se encuentra en el Anexo 4.

El Modelo de Alturas (CHM) se calculó utilizando el script que se presenta en el Anexo 5, como se presenta en la siguiente fórmula:

$$CHM = DSM - DTM$$

Se modificó el Modelo de alturas verificando los valores de los pixeles del DTM y reemplazando los valores mayores al promedio con el valor promedio. Esto se debió realizar en el caso de que se encontrarán valores mayores a 1 en zonas donde no existía vegetación.

La segmentación de copas se realizó utilizando el paquete RGRASS 7 que permite utilizar la implementación de las herramientas de GRASS GIS en R. Se utilizó la función *i.segment* incorporando en esta ocasión el uso del CHM para que los resultados se generen acorde a los estratos del área. Se realizaron diferentes combinaciones de los parámetros *threshold* y *minsize* para encontrar aquellos que muestren los resultados adecuados (Ver Anexo 6).

ii. Identificación de individuos, edición de la segmentación de copas y cálculo del diámetro de copas

Los procesos fueron realizados en el *software* ArcGIS (es posible realizarlo en QGIS) como se detalla a continuación:

Se identificaron los individuos del estrato dominante en el mosaico utilizando la ubicación del receptor GPS Trimble. Se comparó la información del diámetro de copa y la altura total registrados en campo para realizar algún ajuste de ser necesario ya que el error promedio del GPS fue de 5 m.

Se realizó una verificación por árbol para comprobar si la segmentación de copas fue correcta, caso contrario se realizó una corrección manual visualizando el ortomosaico.

Se calculó el diámetro promedio y forma de copas empleando los segmentos editados. El diámetro de copas se obtuvo utilizando la herramienta *Minimum Bounding Geometry*, ésta genera un círculo o polígono convexo que circunscribe al polígono en sus puntos más distantes, y sobre un “campo” de la tabla de atributos calcula el diámetro de los círculos o

polígonos que fue usado para determinar el diámetro de las copas. En el caso del polígono convexo se obtuvo los siguientes valores:

- **MBG_Width:** distancia más corta entre dos vértices cualquiera del polígono convexo (Se puede encontrar entre más de un par de vértices, pero se utilizará el primero que se encuentre).
- **MBG_Length:** distancia más larga entre dos vértices cualquiera del polígono convexo; estos vértices se denominan pares de antípodas o puntos antipodales (Se puede encontrar entre más de un par de vértices, pero se utilizará el primero que se encuentre).

iii. Cálculo de la altura total

Este proceso se llevó a cabo en los *software* ArcGIS y Rstudio como se detalla a continuación:

El archivo *shapefile* generado producto de la segmentación de copas debidamente editado se convirtió a formato ráster utilizando la herramienta *Feature to raster* para obtener un archivo que contenga la delimitación de las copas de los individuos identificados.

Se extrajeron los valores del archivo ráster del Modelo de Alturas (CHM) utilizando el archivo ráster mencionado en el punto anterior para cada individuo identificado.

Se determinó el valor máximo, mínimo, promedio y desviación estándar de los píxeles generados en el ráster para cada individuo. Los dos últimos pasos se realizaron utilizando el *script* que se encuentra en el Anexo 7.

iv. Identificación de la posición sociológica e iluminación de copa

Utilizando el CHM y el ortomosaico se pudo obtener la posición sociológica e iluminación de copa de forma visual y empleando los parámetros que se detallan en la Tabla 2.

v. Vigor

Se ha considerado para el presente estudio que el vigor implica un análisis de la coloración de las hojas de los árboles que se puede ver reflejada en la actividad fotosintética debido a que se ha utilizado un cámara RGB (Hunt *et al.*, 2005).

Este proceso se llevó a cabo mediante el índice de vegetación Vigreen o NGRDI utilizando los *software* Rstudio y QGIS como se detalla a continuación:

Se ejecutó la fórmula para el cálculo del NGRDI a las bandas verde y roja del mosaico como se detalla en el script del Anexo 8.

Luego se procedió a revisar el histograma de frecuencia del archivo ráster generado en el software QGIS.

Se procedió a realizar una reclasificación de los valores de los píxeles del *raster* y se establecieron los rangos para cada tipo de vigor. Finalmente utilizando el archivo *raster* de las copas segmentadas que se detalló anteriormente y el archivo reclasificado del NGRDI se procedió a obtener los valores de los píxeles para el vigor de cada individuo identificado utilizando el *script* en el Anexo 7.

vi. Estimación del dap

Se realizó un análisis de regresión lineal con los datos colectados en campo del diámetro de copa (variable independiente) y dap (variable dependiente) para evaluar la ecuación que posea un coeficiente de determinación (R^2) que se aproxime más a 1.

A partir de la ecuación hallada, se procedió a estimar el dap (cm) reemplazando el diámetro de copa promedio (m) hallado mediante RPAS en la ecuación seleccionada.

c. Análisis de calidad de datos

Se aplicó la prueba no paramétrica de la suma de rangos de Wilcoxon y se plantearon las siguientes hipótesis para analizar si los datos obtenidos mediante RPAS eran estadísticamente semejantes a los evaluados en campo para las variables diámetro promedio de copa y la altura total:

H₀: Los datos de campo y RPAS provienen de poblaciones que poseen medianas iguales.

H₁: Los datos de campo y RPAS provienen de poblaciones que no poseen medianas iguales.

La prueba se realizó utilizando el software Statdisk y para ello fue necesario que cada una de las muestras tenga más de 10 valores. A continuación, se presenta la notación del estadístico de prueba utilizado:

$$Z = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R}$$

Donde:

$$\mu_R = \frac{n_1(n_1+n_2+1)}{2} \text{ y } \sigma_R = \sqrt{\frac{n_1n_2(n_1+n_2+1)}{12}}$$

n_1 = tamaño de la muestra a partir de la cual se encuentra la suma de rangos R.

n_2 = tamaño de la otra muestra.

R = suma de los rangos de la muestra con tamaño n_1 .

μ_R = media de los valores R muestrales que se espera cuando las dos poblaciones tienen medianas iguales.

σ_R = desviación estándar de los valores R muestrales que se espera cuando dos poblaciones tienen medianas iguales.

El software determinó la suma de los rangos de las dos muestras para calcular el valor del estadístico Z donde cualquiera de las muestras se pudo utilizar como “muestra 1”, el valor de μ_R y σ_R . Y finalmente a partir de las tablas de probabilidad normal estándar (Ver Anexo 1) y el valor del estadístico Z, se determinó el p valor al 95% de confianza ($\alpha=0.05$) para una prueba de dos colas.

Para ello se debió cumplir que:

p valor $> \alpha$, no rechazar H_0 (los datos de campo y RPAS provienen de poblaciones que poseen medianas iguales).

p valor $< \alpha$, rechazar H_0 (los datos de campo y RPAS provienen de poblaciones que no poseen medianas iguales).

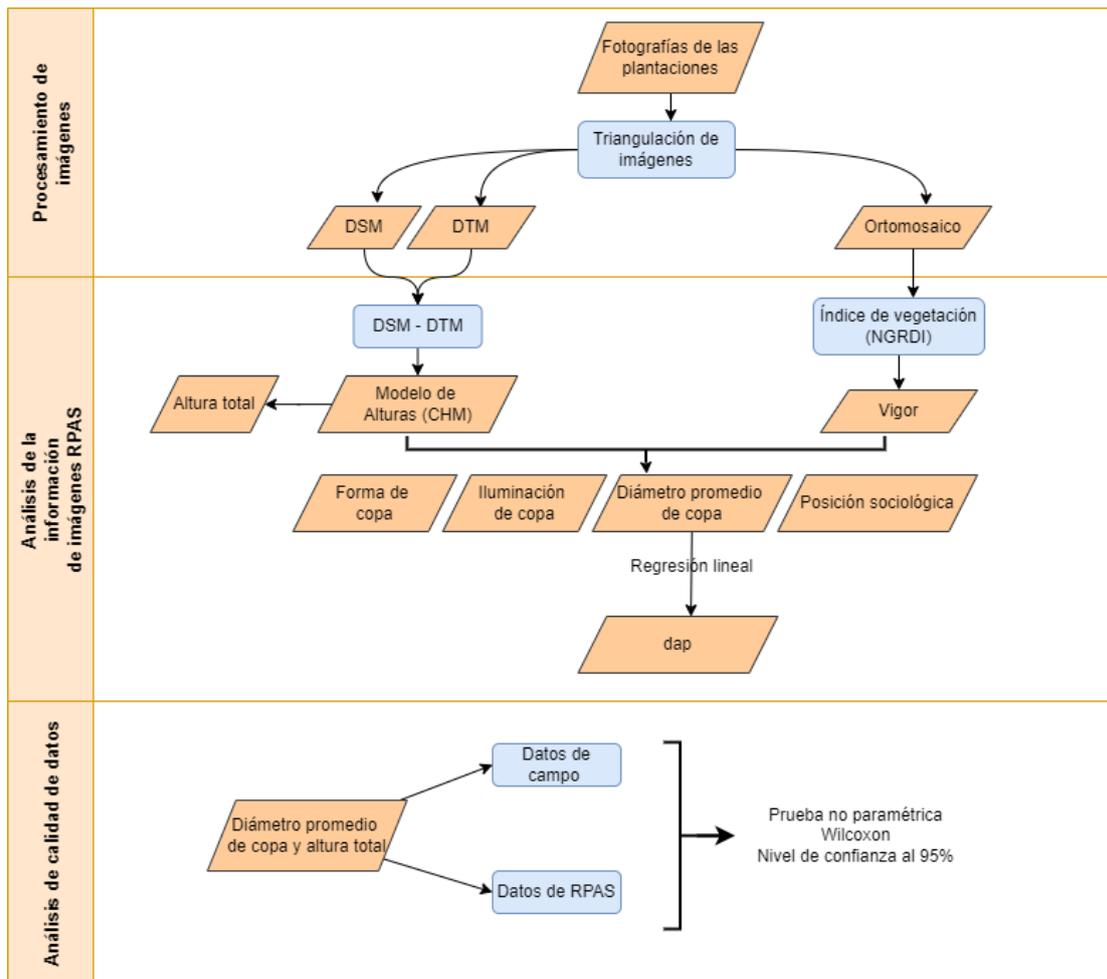


Figura 12: Flujograma de la fase gabinete

3.4.4 Fase de selección de árboles semilleros

a. Selección de árboles candidatos o plus

Para la selección de árboles candidatos o plus se consideraron ciertos parámetros de acuerdo a la matriz de valoración (Tabla 2), donde las características deseables son de color plomo oscuro para el caso de campo y RPAS como se detalla a continuación:

Se consideraron los parámetros de rectitud de fuste, altura de bifurcación, estado fitosanitario (vigor), posición sociológica, forma, iluminación y diámetro promedio de copa para la selección de árboles candidatos o plus con datos de campo. En el caso de la selección de árboles candidatos o plus con datos obtenidos por RPAS, se consideraron los parámetros antes mencionados excepto la rectitud de fuste y altura de bifurcación.

La selección de candidatos se realizó descartando aquellas observaciones como plagas o enfermedades, árboles inclinados, fustes con brotes, fustes infestados de lianas y epífitas o

árboles que se habían quebrado. Se ha dado prioridad a características de alta heredabilidad como son la rectitud de fuste y altura de bifurcación. Luego se consideró la posición sociológica y la iluminación de copa, seguido del diámetro promedio de copa, forma y finalmente el vigor.

b. Selección de árboles semilleros

La selección de árboles semilleros se llevó a cabo utilizando el método de comparación (Muñoz *et al.*, 2008) sobre los árboles candidatos para el caso de campo y RPAS como se detalla a continuación:

En el mosaico se superpuso el archivo *shapefile* que contiene datos de ubicación registrados con el GPS y de los parámetros evaluados de cada uno de los árboles candidatos en el software QGIS.

Luego de ser ubicados, se realizó la comparación de todos los parámetros evaluados incluyendo el dap y la altura total en un radio de 10 m de cada uno de ellos con respecto a los demás árboles no candidatos, es decir, aquellos que no cumplen con las características deseables considerando los criterios de la Tabla 1 y la matriz de valoración (Tabla 2).

Tabla 1: Parámetros de dap y altura para la selección de árboles semilleros

Parámetros	Descripción
Diámetro a la altura del pecho	20% más ancho que el promedio de los árboles con los que se compara
Altura total	20 % más alto que el promedio de los árboles con los que se compara

Finalmente se realizará una comparación de los árboles seleccionados con datos de campo con aquellos obtenidos de los datos de RPAS mediante una matriz.

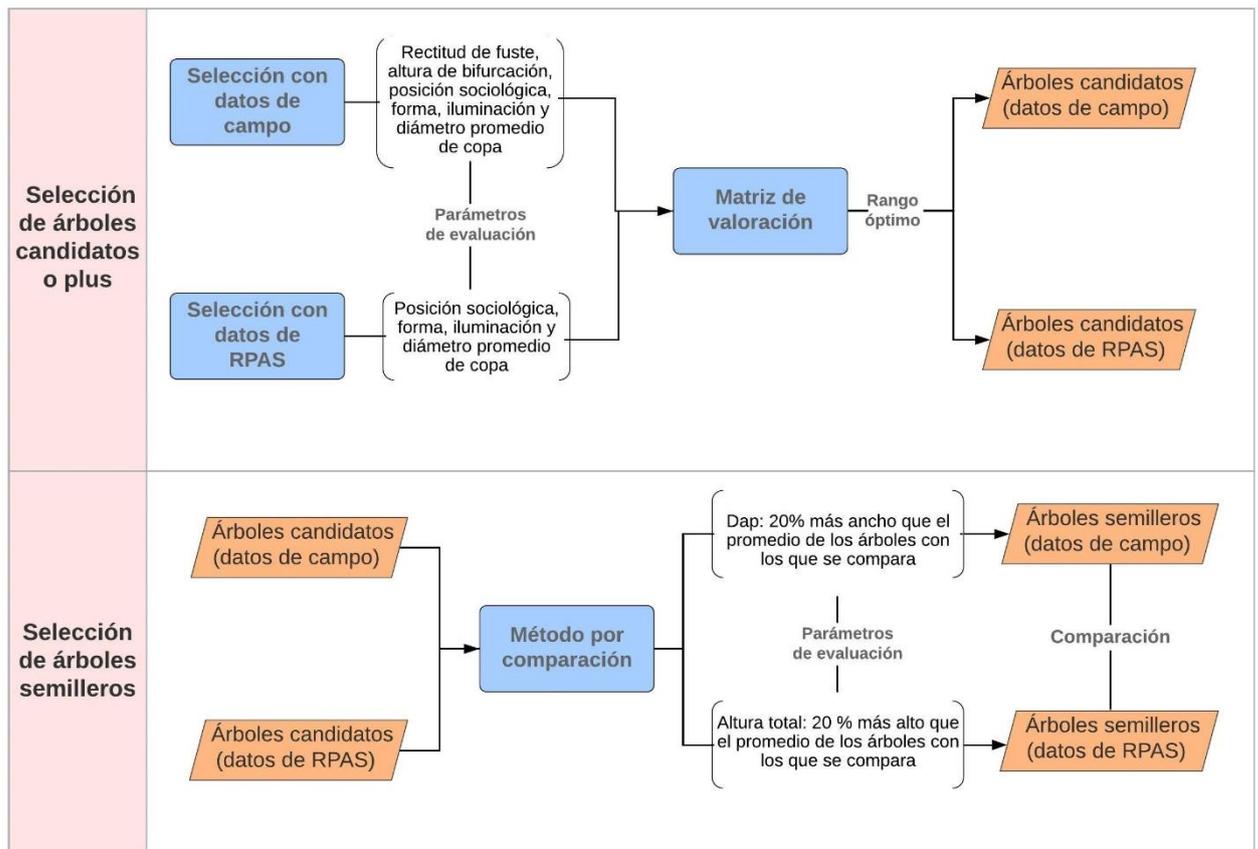


Figura 13. Flujoograma de la fase de selección de árboles semilleros

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fase de planificación

4.1.1 Matriz de valoración

La matriz valoración elaborada señala las características deseables para la selección de árboles semilleros según su orden de importancia como se puede apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2: Características aceptadas de los parámetros cualitativos para la selección de árboles semilleros

Parámetros	Características	Puntaje	Referencia bibliográfica
Rectitud de fuste	Recto	4	
	Ligeramente torcido a lo largo de la HC (curva escasa en uno o dos planos)	3	Heredia y Hofstede (1999)
	Torcido antes de la HC (curva extrema en un plano)	2	citados por Ordóñez <i>et al.</i> 2001
	Muy torcido antes de la HC (curva extrema en más de un plano)	1	
Altura de bifurcación	No bifurcado	4	Heredia y Hofstede (1999)
	Bifurcado 1/3 superior	3	citados por Ordóñez <i>et al.</i> 2001
	Bifurcado 1/3 medio	2	
	Bifurcado 1/3 inferior	1	
Posición sociológica	Dominante	3	Dawkins (1958) citado por Angulo 2015
	Medio	2	
	Inferior u oprimido	1	
Iluminación de copa	Emergente	5	
	Plena iluminación superior	4	Dawkins (1958) citado por Angulo 2015
	Alguna iluminación superior	3	
	Iluminación lateral	2	
	Ninguna iluminación directa	1	
Diámetro promedio de copa	Copa vigorosa \geq de 10 m	3	Heredia y Hofstede (1999)
	Copa promedio entre 10 y 5 m	2	citados por Ordóñez <i>et al.</i> 2001
	Copa pequeña < de 5 m	1	

Forma de la copa	Circular	6	Heredia y Hofstede (1999) citados por Ordóñez <i>et al.</i> 2001
	Circular irregular	5	
	Medio círculo	4	
	Menos de medio círculo	3	
	Pocas ramas	2	
	Principalmente rebrotes	1	
Vigor (RPAS)	Alto	3	-
	Medio	2	
	Bajo	1	
Vigor (Campo)	Sano	2	-
	Enfermo/Plagado	1	

4.1.2 Reconocimiento del área de estudio y planificación de vuelo

En la Tabla 3 se observan las coordenadas de ubicación en UTM, el área (ha) y el perímetro (m) de las plantaciones de *C. cateniformis*, *S. amara* y *G. elata* obtenidas durante la visita de campo.

Tabla 3: Coordenadas de ubicación y características de las plantaciones evaluadas

Plantación	Este	Norte	Área (ha)	Perímetro (m)
<i>C. cateniformis</i>	650132	9459246	1,89	568,97
	650211	9459323		
	650342	9459220		
	650281	9459134		
<i>S. amara</i>	650298	9459159	0,67	405,04
	650393	9459285		
	650423	9459267		
	650335	9459128		
<i>G. elata</i>	650358	9458454	0,44	276,18
	650371	9458539		
	650427	9458535		
	650407	9458453		

Determinar la extensión de cada una de las plantaciones permitió realizar la planificación del tiempo de ejecución de vuelo y el número de baterías a utilizar considerando que las baterías tenían una duración máxima de 30 minutos, pero que en campo se ve reducida por el consumo en el despegue/aterrizaje y además que es recomendable tener un 30% de batería en reserva por temas de seguridad.

Se pudo identificar que existían zonas libres de árboles y vegetación que permitían el despegue y aterrizaje del RPA sin mayor problema.

La plantación *C. cateniformis* poseía mayor número de individuos por lo cual fue menos complicado identificar la distribución de los mismo. En el caso de *S. amara* y *G. elata*, contaron con menor número de individuos con respecto a *C. cateniformis*, por lo cual la identificación de la distribución fue más difícil además de que existían otras especies que se habían desarrollado con mayor facilidad en el dosel superior; ya que a diferencia de *C. cateniformis*, estas especies son de tendencia esciófita (Reynel *et al.*, 2003 y Maderacre, 2019). Cabe mencionar que *S. amara* y *G. elata* solo recibieron un adecuado manejo (podas, raleos, etc.) durante los primeros años de instalación de la plantación y luego no se continuó con ello.

4.2 Fase de campo

4.2.1 Sobrevuelos de RPAs

Se realizaron 3 misiones como se puede observar en la Tabla 4, utilizando una batería para cada una.

Tabla 4. Consolidado de las misiones sobrevoladas con RPA Phantom 4 Pro utilizando ángulo de cámara 90° y una altura de 90 m (AGL)

Fecha dd/mm/yy	Nombre de la misión	Condiciones del viento	Condiciones de Iluminación	Duración total del vuelo (min)	% de uso de batería para toma de fotografías ¹	Área sobrevolada (ha)
11/10/19	SIM-02_1	C	N	13	63	6,63
14/10/19	CED-02_1	C	N	16	62	8,62
15/10/19	CAR-02_1	M	PN	10	61	4,08

C: Calmado, M: Moderado, F: Fuerte, N: Nublado, PN: Parcialmente nublado y D: Despejado.

¹ Se consideró desde el despegue y toma de fotografías sin contar el retorno y aterrizaje.

Las condiciones del tiempo y viento no permitieron realizar más misiones en el caso de la plantación de *G. elata* ya que se presentaron intensas lluvias que limitan las horas de trabajo y ortomosaico con distorsión.

En el caso de las condiciones de iluminación y viento de cielo nublado y calmado respectivamente, estas fueron las adecuadas para la captura de fotografías durante los sobrevuelos ya que permiten obtener imágenes nítidas y ortomosaicos de color uniforme sin ruido o distorsión.

4.2.2 Medición en campo

Se evaluaron un total de 465 individuos que fueron georreferenciados (Ver Anexo 11) dentro de las 3 plantaciones durante los meses de agosto, septiembre y octubre del 2019, cabe destacar que en el mes de octubre las precipitaciones empiezan a incrementarse (Tabla 5).

Tabla 5: Fechas de georreferenciación y evaluación en campo de las plantaciones

Plantación	N° total de individuos evaluados	N° de días de georreferenciación	N° total de días de georreferenciación y evaluación en campo
<i>C. cateniformis</i>	238	2	4
<i>S. amara</i>	105	1	2
<i>G. elata</i>	122	1	2

En la Tabla 6, se puede observar que en promedio *C. cateniformis* ha tenido un mayor crecimiento en dap, altura total y diámetro promedio de copa y además se pudo evaluar un mayor número de individuos que se encontraban dentro de la plantación en comparación al resto.

Tabla 6: Número total de individuos evaluados, valor mínimo, máximo, promedio y desviación estándar para las variables dap, altura total y diámetro promedio de la proyección de copa por plantación

Plantación	N° total de individuos evaluados	dap (cm)					Altura total (m)					Diámetro promedio de la proyección de copa (m)				
		Mín.	Máx.	Promedio	Desviación estándar (sd)	CV (%)	Mín.	Máx.	Promedio	Desviación estándar (sd)	CV (%)	Mín.	Máx.	Promedio	Desviación estándar (sd)	CV (%)
<i>C. cateniformis</i>	238	13,9	63	31,1	9,55	30,7	3,75	35,5	24,2	4,76	19,7	0,8	14	4,6	2,45	53,1
<i>S. amara</i>	105	8,7	47,1	25,1	7,54	30	9,5	27	19,7	3,27	16,6	1,1	8,6	3,7	1,49	30,4
<i>G. elata</i>	122	11,5	36,2	22,5	5,79	25,7	8,5	28	19,0	4,01	21,1	1,2	8,4	4,9	1,48	39,9

Según lo observado en la Tabla 6, el CV (%) para el dap, altura total y diámetro promedio de la copa muestra una alta variabilidad de los datos que corresponden a plantaciones que no han recibido un adecuado manejo.

La plantación de *C. cateniformis* posee un dap máximo de 63 cm, inferior a lo registrado en Yurimaguas, Loreto de 69,9 cm para una plantación de 30 años a campo abierto, distanciamiento de 5x10 m. En el caso del dap promedio registrado de 31,1 cm, es inferior al dap promedio de 44,4 cm en Alexander Von Humboldt, Ucayali para una plantación de 30 años a campo abierto, distanciamiento de 3x3 m. La altura total promedio de 24,2 m, es inferior a los 33,7 m y 32,6 registrados en Yurimaguas y Alexander Von Humboldt respectivamente (Angulo *et al.*, 2016). En el caso de la altura total máxima, se registró 35,5 m, superior a los 24,7 m estimados a los 27 años edad evaluado en Jenaro Herrera para diferentes tipos de calidad de sitio (Baluarte y Alvarez, 2015).

La plantación de *S. amara* posee un dap promedio de 25,1 cm; inferior a los 33,9 cm y en el caso de altura promedio, se registró 19,7 m; inferior a los 29,6 m evaluados en Jenaro Herrera para plantaciones de 28 años con índice de calidad de sitio alto. En el caso de *G. elata* posee un dap promedio de 22,5 cm; es inferior a los 42,8 cm y en el caso de altura promedio, se registró 19 m; inferior a los 30 m evaluados en Jenaro Herrera para plantaciones de 28 años con índice de calidad de sitio alto (Paredes, 2003).

La Figura 14 presenta el histograma con los datos obtenidos de la medición del dap con clases diamétricas que poseen una amplitud de 5 cm.

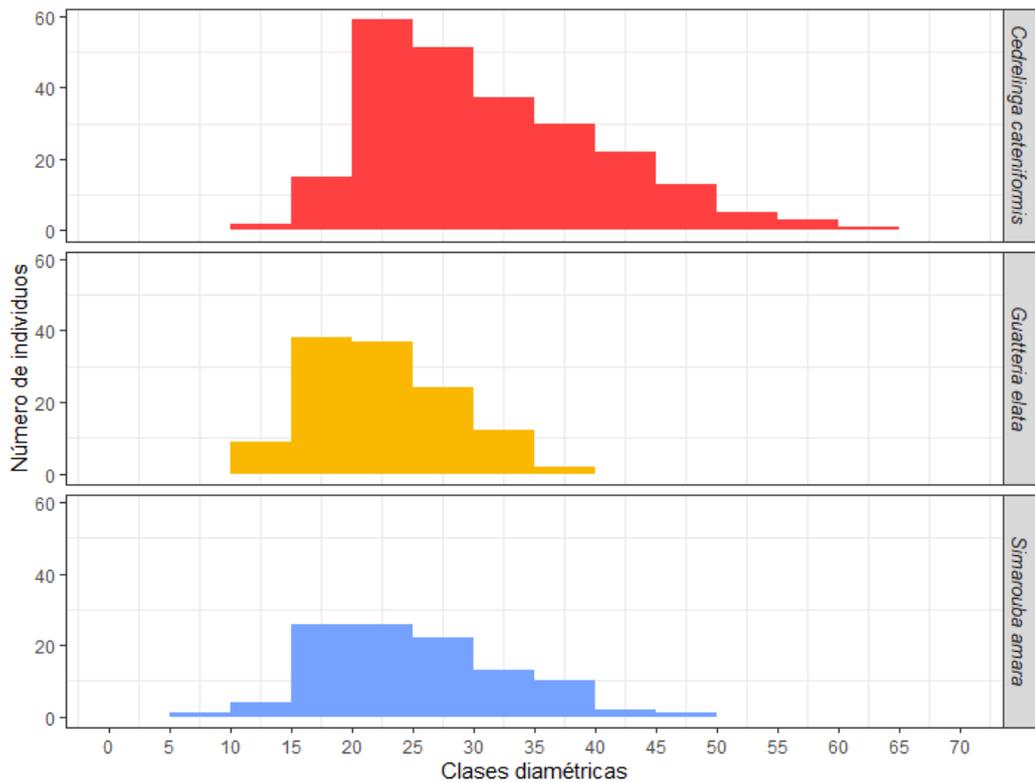


Figura 14. Histograma de la distribución de los individuos por clase diamétrica para cada especie

En la Figura 14 se puede observar que *C. cateniformis* presenta mayor cantidad de individuos dentro de las clases diamétricas [20-25[y [25-30[; *G. elata* y *S. amara*, dentro de las clases [15-20[y [20-25[que son aquellos individuos que pertenecen a los estratos dominante y medio. La tendencia de la distribución hacia el lado izquierdo muestra la dominancia de individuos los cuales no han alcanzado un crecimiento óptimo al tratarse de una población coetánea.

Según el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (s.f.), la plantación de *C. cateniformis* posee en promedio un IMADAP de 1 cm/año a los 33 años de edad; lo registrado en Yurimaguas, Loreto fue de 2,4 cm/año para una plantación de 30 años a campo abierto, distanciamiento de 5x10 m; y en Alexander Von Humboldt, Ucayali de 2,2 cm/año para una plantación de 30 años a campo abierto, distanciamiento de 3x3 m (Angulo *et al.*, 2016). Para la plantación de *G. elata* posee un IMADAP de 0,63 cm/año a los 33 años, se encontró 1,56 cm/año a los 28 años en plantaciones instaladas en Jenaro Herrera con índice de calidad de sitio alta. En el caso de la plantación de *S. amara* posee un IMADAP de 0,8 cm/año a los 32 años, se encontró 1,28 cm/año a los 28 años en plantaciones instaladas en Jenaro Herrera con índice de calidad de sitio alta (Paredes, 2003).

La Figura 15 presenta el histograma con los datos obtenidos de la medición del diámetro promedio de la proyección de copa con clases que poseen una amplitud de 2 m.

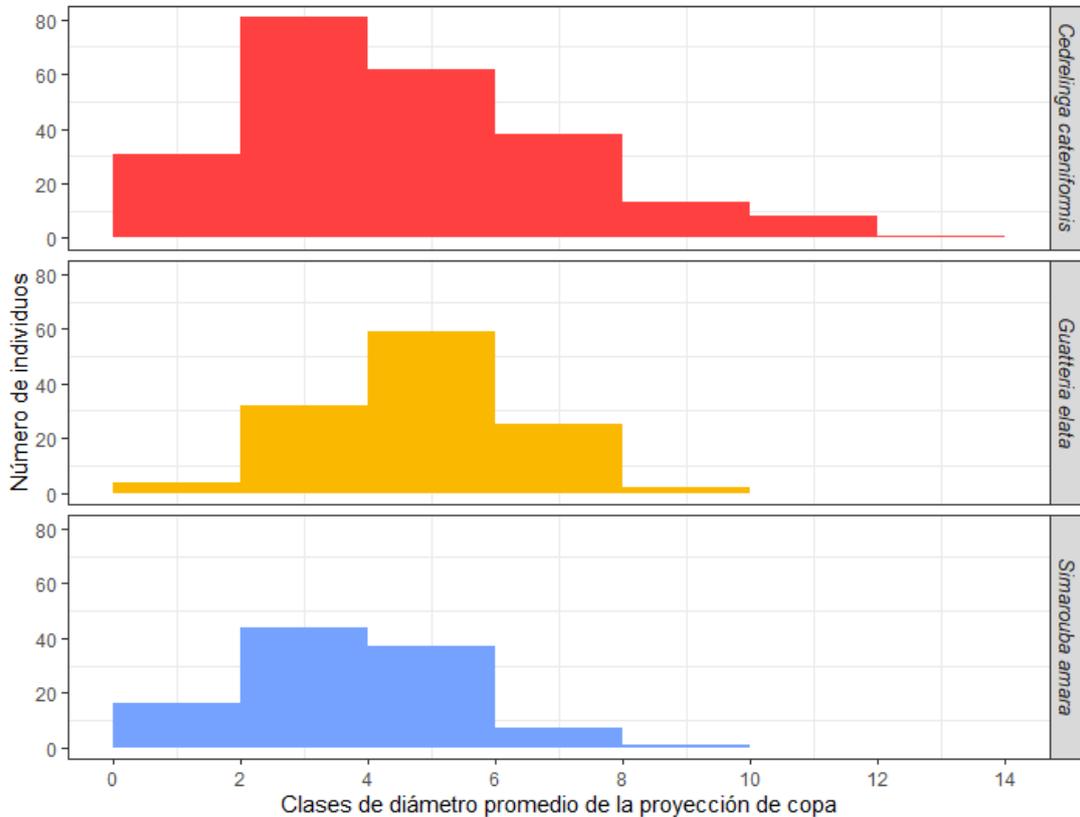


Figura 15. Distribución de los individuos por clase de diámetro promedio de la proyección de copa

En la Figura 15 se puede observar que *C. cateniformis* y *S. amara* presentan mayor cantidad de individuos dentro de las clases [2-4[y [4-6[; y *G. elata*, dentro de la clase [4-6[que son aquellos individuos que pertenecen a los estratos superior y medio. El diámetro de la copa refleja la dimensión del aparato fotosintético del árbol que está directamente relacionado con su capacidad de crecimiento, es por ello que la mayor cantidad de individuos en las clases bajas de las 3 especies, guardan relación con el crecimiento en dap y que más adelante se evidencia en la altura (Durlo, 1996 citado por Arias, 2005).

La Figura 16 presenta el histograma con los datos obtenidos de la medición de la altura total con clases altimétricas que poseen una amplitud de 3 m.

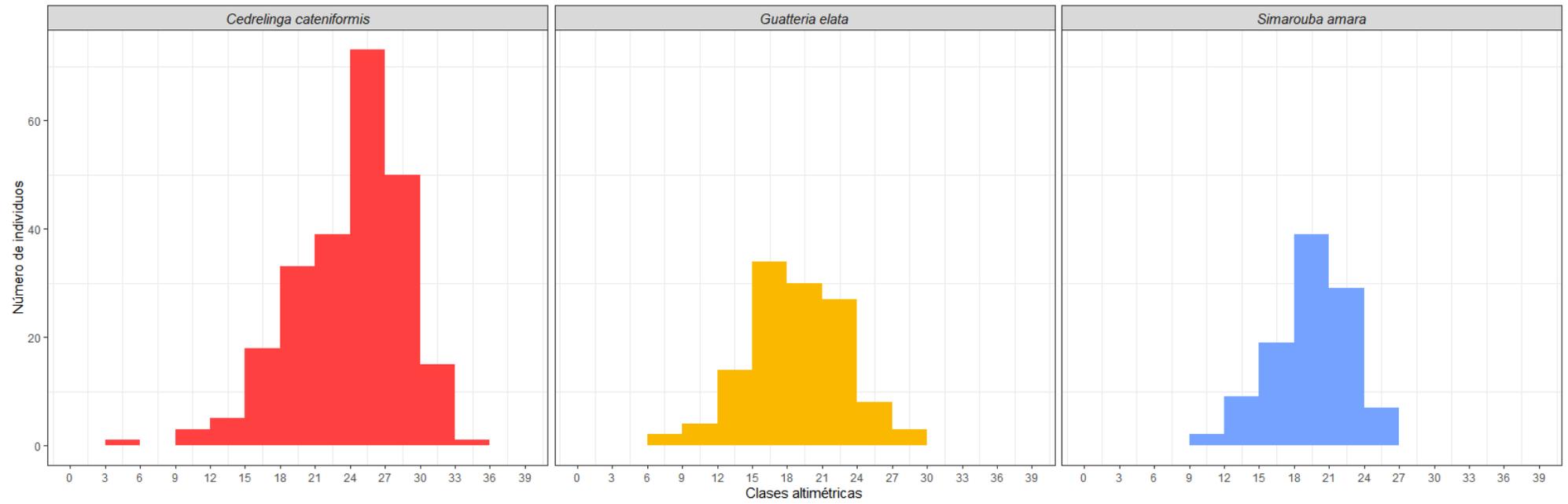
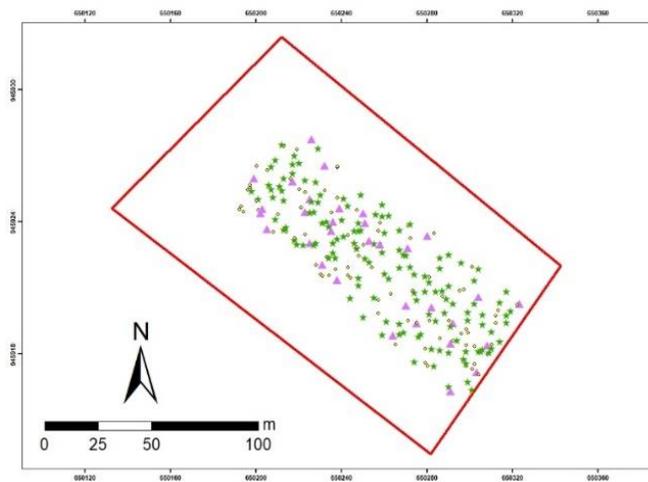
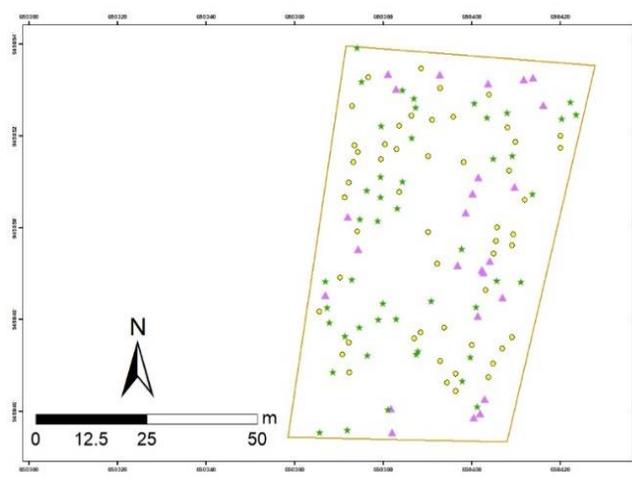


Figura 16. Distribución de los individuos por clase de altura total para cada especie

a)



b)



c)

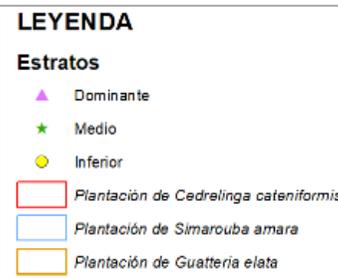
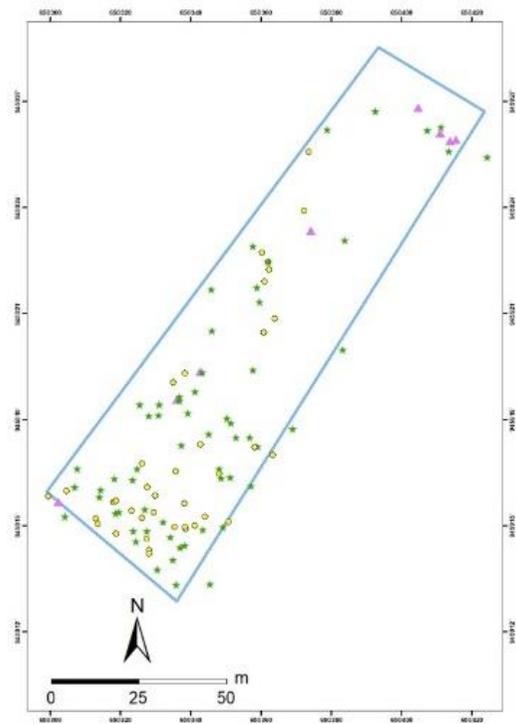


Figura 17. Distribución de los individuos por estratos y área delimitada. a) Distribución para *C. cateniformis*. b) Distribución para *G. elata*. c) Distribución para *S. amara*

En la Figura 16 se puede observar que *C. cateniformis* presenta mayor cantidad de individuos dentro de la clase altimétrica [24-27[; *G. elata*, dentro de la clase [15-18[y [18-21[; y *S. amara*, dentro de la clase [18-21[que son aquellos individuos que pertenecen a los estratos superior y medio. Podemos observar que *C. cateniformis* tiende a tener árboles más altos, pero no llega a lo alcanzado en Yurimaguas y Alexander Von Humboldt (Angulo *et al.*, 2016). En el caso de *G. elata*, tiende a estabilizarse más que *S. amara*, entre los 15 y 24 m de altura.

Según el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (s.f.) la plantación de *C. cateniformis* posee en promedio un IMA en altura de 0,83 m/año a los 33 años, lo registrado en Yurimaguas, Loreto de 1,1 m/año para una plantación de 30 años a campo abierto, distanciamiento de 5x10 m; y en Alexander Von Humboldt, Ucayali de 1,63 cm/año para una plantación de 30 años a campo abierto, distanciamiento de 3x3 m (Angulo *et al.*, 2016). La plantación de *G. elata* posee en promedio un IMA en altura de 0,5 m/año a los 35 años, se encontró 1,09 m/año para plantaciones de 28 años en Jenaro Herrera con índice de calidad de sitio alta. En el caso de la plantación de *S. amara* posee en promedio un IMA en altura de 0,65 m/año a los 32 años, para plantaciones de 28 años en Jenaro Herrera se había estimado un promedio de 1,06 m/año en clase de sitio alta (Paredes, 2003).

Las tasas de crecimiento en las 3 plantaciones al momento de la evaluación son inferiores a lo reportado en otros estudios, esto puede ser afectado particularmente por el índice de calidad de sitio de la plantación que no ha permitido un desarrollo óptimo de la plantación (Gadow *et al.*, 2007), además que el incremento del IMADAP y del IMA en altura se ralentiza con el pasar de los años (Huamán, 2011).

En la Figura 17a, se puede observar que los árboles dominantes de *C. cateniformis* están distribuidos homogéneamente en toda la plantación, esto se debe particularmente a que la especie es de tendencia heliófita, la densidad de siembra de 2x2 m que se encuentra dentro de lo recomendado (1,8 x 1,8 m a 2,5 x 2,5 m) y el tipo de plantación a campo abierto (Claussi *et al.*, 1992). Además, que es una especie rústica, lo cual ha permitido su supervivencia al momento de la instalación de la plantación ya que es más resistente a los daños físicos y a la competencia por luz con otras especies (Palomino y Barra, 2003).

En la Figura 17b, se puede observar que los árboles dominantes de *S. amara* no están distribuidos homogéneamente en toda la plantación y se encuentran en menor cantidad hacia el extremo superior derecho a comparación del estrato medio e inferior, esto se debe particularmente a que la especie es de tendencia esciófita, es decir, tolerante a sombra como menciona Reynel *et al.* (2003) y es por ello que el histograma de la Figura 12 muestra esa cola hacia la derecha, por el contrario de la distribución de las otras 2 especies. Su instalación en campo abierto pudo generar dificultades para desarrollarse, además de la competencia con otras especies; sin embargo este bajo desarrollo de la especie pudo verse afectado principalmente al ataque de plagas dentro de ellas *Atteva punctella* Cramer (Delgado y Couturier, 2008), a la sequía extrema que sufrió durante su instalación en el año 1987 ya que se menciona que esta especie se desarrolla terrazas altas, pero también en bosques ribereños que se anegan ocasionalmente por fuertes lluvias y grandes crecidas de los ríos (Brako y Zarucchi, 1993 citados por Paredes, 2003). Otro factor importante que pudo haber limitado su desarrollo pudo haber sido las condiciones de suelo debido a que el cultivo anterior fue caña de azúcar (Claussi *et al.*, 1992), y este monocultivo tiende a degradar el suelo (Cabrera y Zuaznábar, 2010).

En la Figura 17c, se puede observar que los árboles dominantes de *G. elata* se encuentran mayormente distribuidos en los límites de la plantación. Esto puede explicarse a que esta especie es de tendencia esciófita y al ser más tolerante a la sombra, no se desarrolla tan bien en claros donde la incidencia de luz es mayor. Al igual que *S. amara*, acompaña a las especies dominantes como menciona Paredes (2003).

4.3 Fase de gabinete

4.3.1 Procesamiento de imágenes RPAS

En la Tabla 7 se presentan las características más importantes de los mosaicos de las plantaciones evaluadas. Estos resultados se pueden encontrar dentro del reporte de calidad generado por cada proyecto procesado y presentan valores relacionados a los parámetros de procesamiento.

Tabla 7: Características de los mosaicos de las plantaciones evaluadas generadas utilizando el método de interpolación de tipo triangulación con una densidad de puntos óptima a una altura de vuelo de 90 m desde la estación base

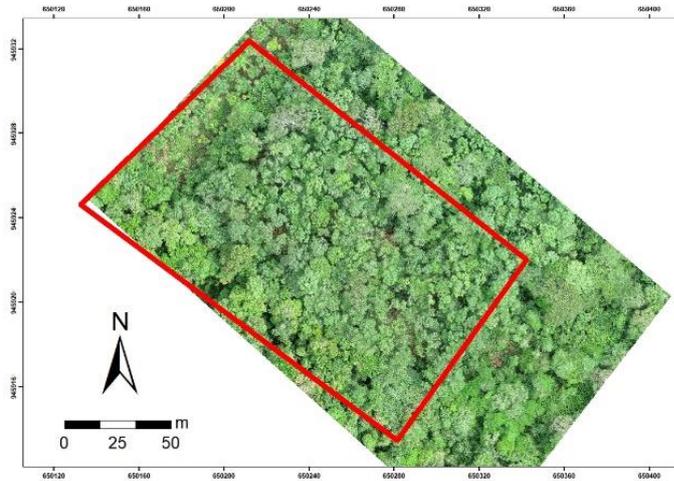
Plantación	GSD (cm)	Área cubierta (ha)	N° de imágenes usadas	Puntos en común "Keypoints" 2D	Error Reproj. (pix)	Densidad de puntos (puntos/m²)
<i>C. cateniformis</i>	2,32	8,62	313	73 511	0,158	7 948 841
<i>S. amara</i>	2,32	6,63	212	75 222	0,129	5 482 300
<i>G. elata</i>	2,29	4,08	118	72 869	0,176	3 204 524

En la Tabla 7 se puede apreciar que a pesar de que la altura de vuelo (AGL) fue de 90 m para las 3 plantaciones, existe diferente GSD, esto puede ser debido a la diferencia de altura de los árboles como se ha observado en la Figura 12.

El error de reproyección es la distancia entre la posición inicial y la reproyectada de la posición del punto, para este caso se obtuvo 0,158 para *Cedrelinga cateniformis*, 0,129 para *Simarouba amara* y 0,176 para *Guatteria elata*. Este error de reproyección de los puntos 3D debe ser menor o igual a 1 píxel como menciona Pix4D (2011), lo cual se puede observar para las plantaciones evaluadas.

A continuación, se presentan los resultados del mosaico, DTM y DSM de las plantaciones de *C. cateniformis*, *S. amara* y *G. elata* (Figuras de la 18 a la 20).

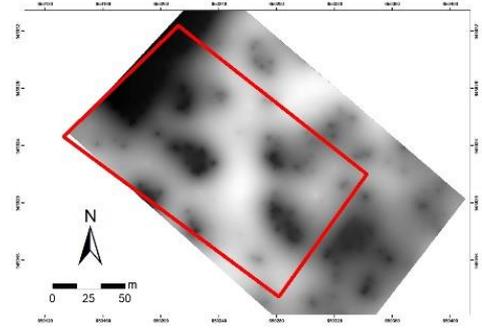
a)



LEYENDA

 Plantación de *Cedrelinga cateniformis*

b)



c)

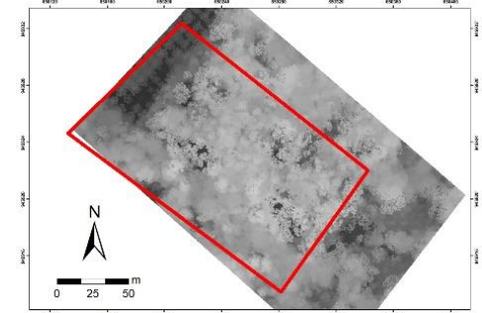
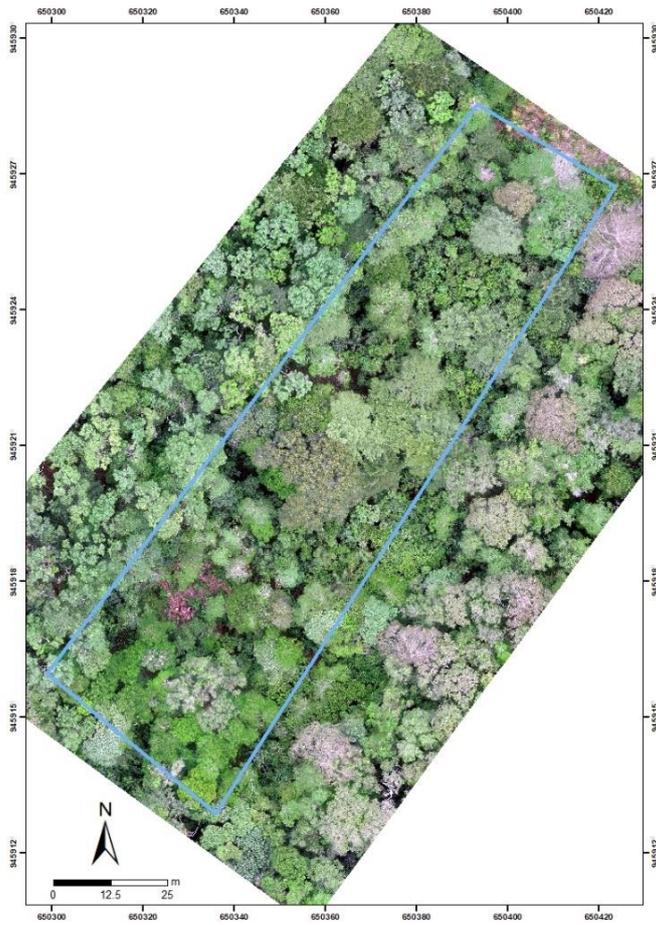


Figura 18. Productos fotogramétricos que corresponden a la plantación de *C. cateniformis*. a) Mosaico RGB. b) DTM. c) DSM

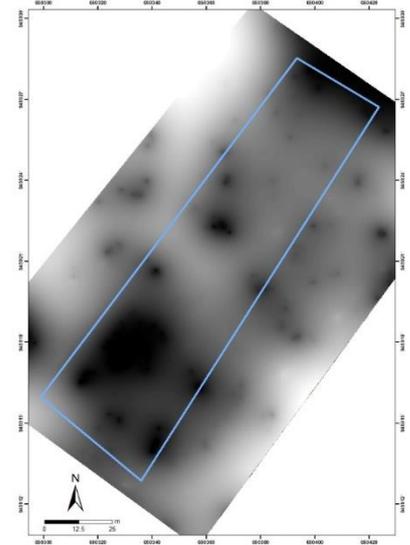
a)



LEYENDA

 Plantación de *Simarouba amara*

b)



c)

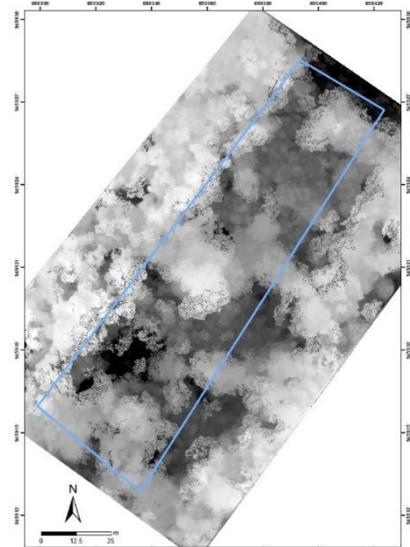


Figura 19. Productos fotogramétricos que corresponden a la plantación de *S. amara*. a) Mosaico RGB. b) DTM. c) DSM

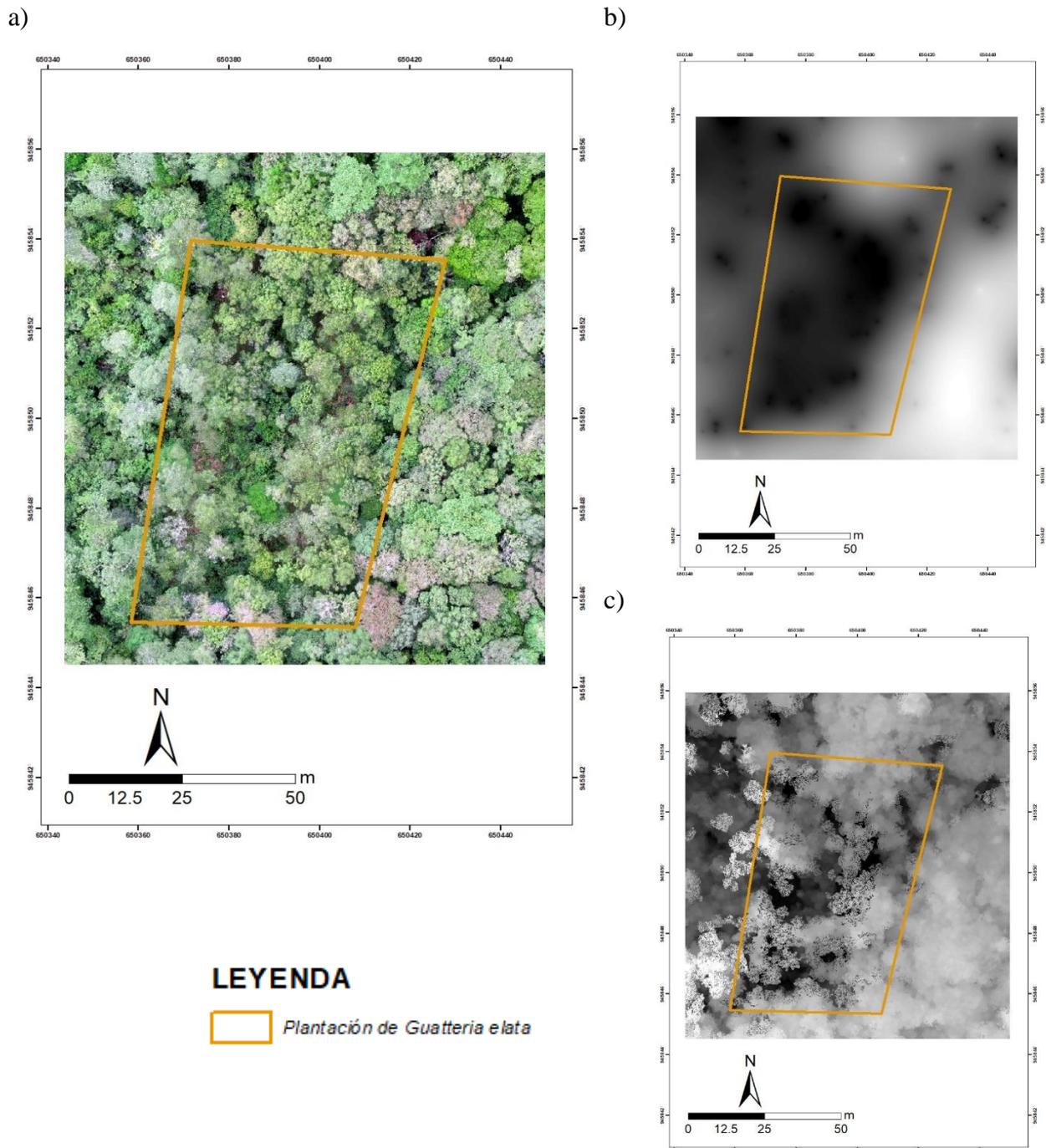


Figura 20. Productos fotogramétricos que corresponden a la plantación de *G. elata*. a) Mosaico RGB. b) DTM. c) DSM

Como se puede observar en la Tabla 7 y en las Figuras 18 a la 20, el área sobrevolada es mayor al área de cada una de las plantaciones. Esto tuvo como finalidad evitar las distorsiones en los bordes debido a la insuficiente cantidad de fotos que se toman. Si bien es cierto que el caso de *C. cateniformis* el borde superior izquierdo no ha considerado este objetivo, no presenta ningún inconveniente ya que los árboles evaluados no se encuentran en el límite de la plantación debido a que esta colinda con plantación de *Mauritia flexuosa*.

En las Figuras de la 18 a la 20 se puede observar que para el caso del DTM, las zonas oscuras corresponden a las partes más bajas del terreno y las más claras, a las partes más altas, pero para el área de la plantación de *G. elata* esta diferencia no es tan notoria con lo cual se puede mostrar que no existe tanta diferencia en el nivel del terreno, pero en el caso de *C. cateniformis* y *S. amara* la interpolación de los puntos es más difícil debido a que son áreas con vegetación densa. Para el DSM, se puede notar la diferencia en las copas de los árboles para las plantaciones evaluadas. Al igual que el DTM, las zonas oscuras corresponden al área sin cobertura vegetal y las más claras, a las zonas más altas del dosel.

En la Tabla 8 se presentan los tiempos de procesamiento por etapa y el total. Se puede observar que la etapa que requiere más tiempo para el procesamiento es la generación del DSM, mosaico y DTM en general, pero el mosaico es el que emplea gran porcentaje de este tiempo en comparación del resto. Debido a que el área de la plantación de *C. cateniformis* es mayor en extensión, el tiempo de procesamiento supera al resto.

Tabla 8: Tiempo de procesamiento por etapa y total en minutos para las plantaciones evaluadas

Plantación	Tiempo de procesamiento por etapa (min)					Tiempo de procesamiento total (min)	Área total (ha)
	Procesamiento inicial	Nube de puntos y malla	DSM	Mosaico	DTM		
<i>C. cateniformis</i>	63	308	14	1 314	14	1 713	8,62
<i>S. amara</i>	43	183	8	769	6	1 009	6,63
<i>G. elata</i>	30	100	3	479	4	616	4,08

4.3.2 Análisis de la información de RPAS

a. Escalamiento de la resolución espacial

En la Tabla 9 se presenta las resoluciones de los productos fotogramétricos antes del escalamiento del mosaico y DSM a 5 cm.

Tabla 9: Resoluciones espaciales (cm) de los productos fotogramétricos de las plantaciones

Plantación	Resoluciones espaciales (cm)		
	Mosaico	DTM	DSM
<i>C. cateniformis</i>	2,32	11,59	2,32
<i>Simarouba amara</i>	2,32	11,45	2,32
<i>Guatteria elata</i>	2,29	11,45	2,29

La alta resolución espacial (2,32 – 2,29 cm) que presenta el mosaico y el DSM no es necesaria para el nivel de detalle del trabajo. Al trabajar con menor resolución espacial se reduce también el tiempo de procesamiento computacional en los diferentes procesos (Tagle *et al.*, 2019).

La resolución espacial del DTM se consideró por defecto a 5 veces el GSD como se puede observar para las plantaciones evaluadas, debido a que la naturaleza suavizante del algoritmo de generación del DTM entrega mejores resultados cuando la resolución DTM es moderadamente más baja que la resolución del proyecto (Pix4D, 2011).

b. Modelo de alturas (CHMs)

En la Figura 21 a la 23 se muestra el resultado del CHM para la plantación de *C. cateniformis*, *S. amara* y *G. elata* respectivamente.

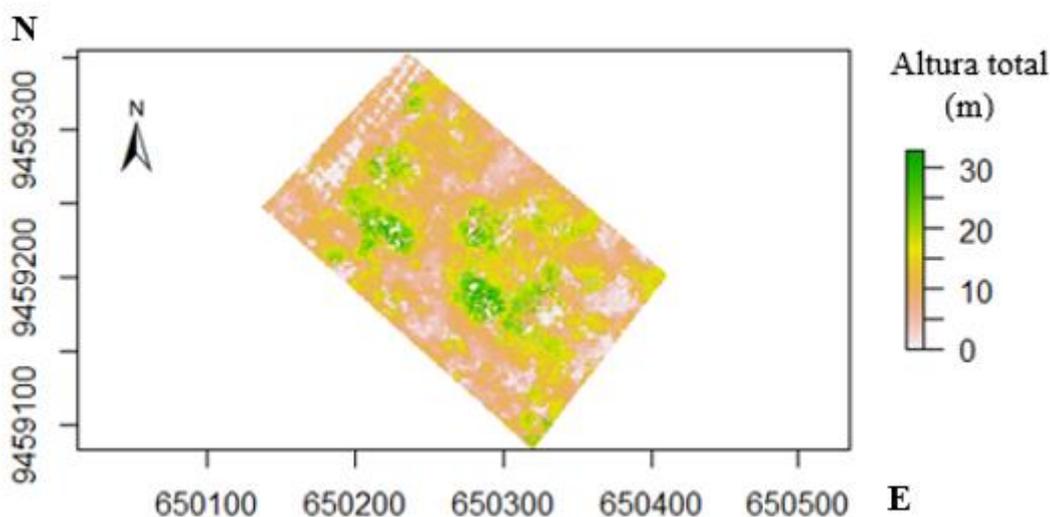


Figura 21: Modelo de alturas de la plantación *C. cateniformis*

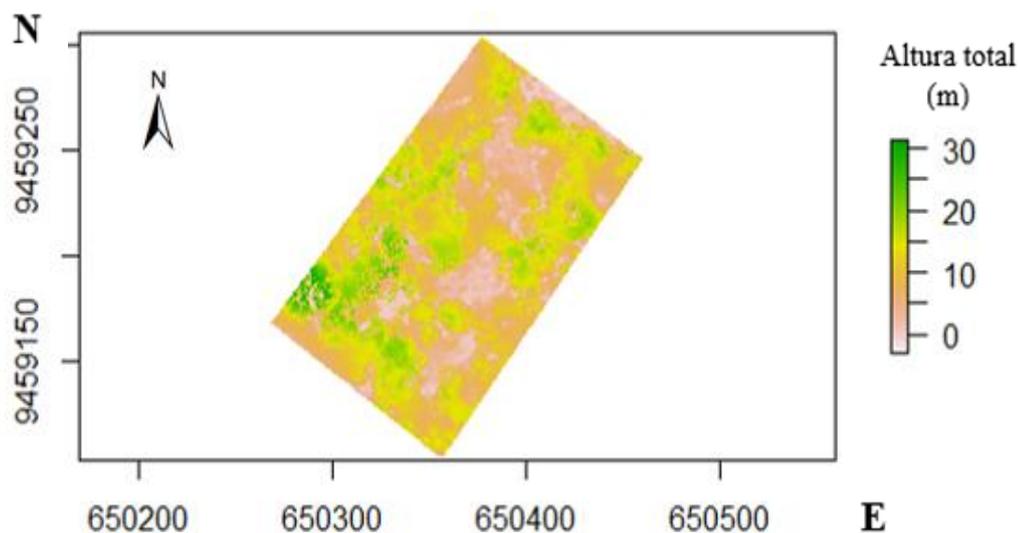


Figura 22: Modelo de alturas de la plantación *S. amara*

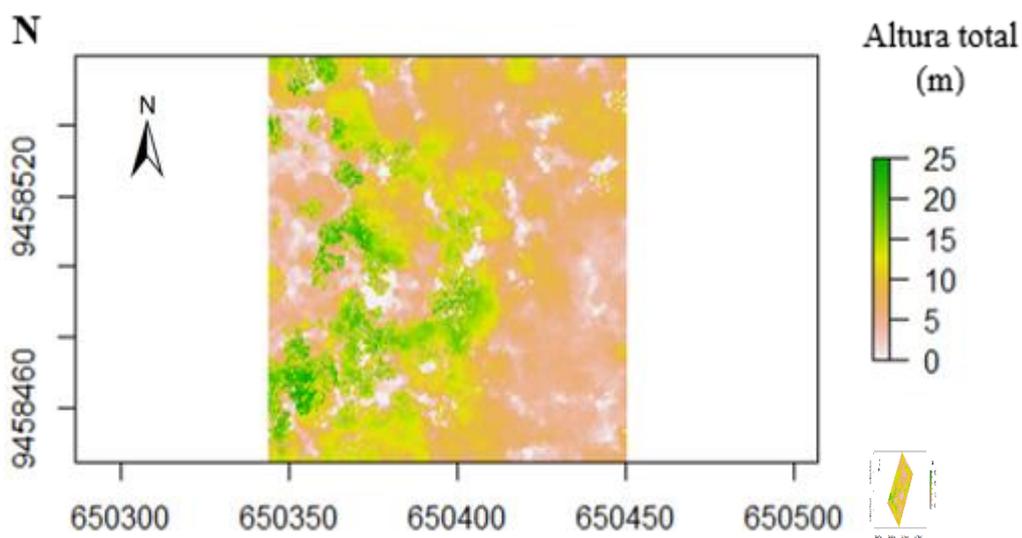


Figura 23: Modelo de alturas de la plantación *G. elata*

Según la altura total máxima evaluada en campo la especie *C. cateniformis* es la que posee mayor altura seguida de *S. amara* y *G. elata* lo cual corresponde a lo que se puede visualizar en los modelos de alturas.

c. Modelo de alturas editado

Los valores de los píxeles del CHM en zonas sin cobertura vegetal de *S. amara* y *G. elata* coincidieron con valores iguales a 0 por lo cual no fue necesario aplicar una edición del modelo de alturas como si lo fue en el caso de *C. cateniformis*. Se empleó el valor promedio

de píxeles igual a 142. En la Figura 24, se muestra el CHM de la plantación de *C. cateniformis* luego de realizar la corrección al DTM.

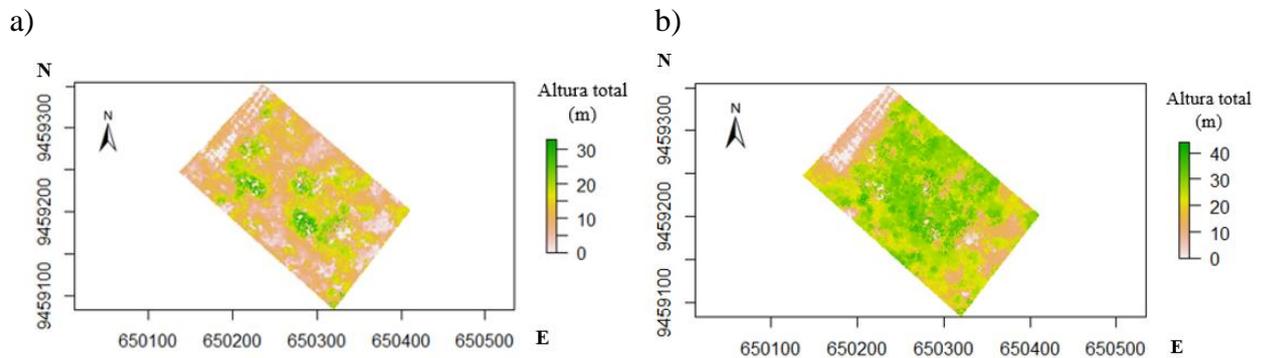


Figura 24: a) Modelo de alturas sin editar de la plantación *C. cateniformis*. b) Modelo de alturas editado de la plantación *C. cateniformis*

El Modelo de alturas editado presenta un incremento en el promedio de la altura total, pero se puede evidenciar que aquellas zonas que se mostraban en la Figura 24a con valores alrededor de los 15 m de altura total donde existían árboles superiores a este valor han sido corregidos.

d. Segmentación de copas

Las Figuras 25 a la 27 muestran el resultado de la segmentación de copas. Se obtuvo 1 001 segmentos para el mosaico de *C. cateniformis*, 576 para *S. amara* y 372 para *G. elata*. Los parámetros *threshold* y *minsize* utilizados para obtener las copas delimitadas fueron 4 500 y 0,05 respectivamente en mosaicos de 0,05 m (5 cm). Durante la realización de pruebas para encontrar estos parámetros, cuando *threshold* disminuye, se obtienen una gran cantidad de segmentos; y cuando este aumenta, es necesario dividir las copas lo cual, lo cual en ambos casos dificulta la edición de las copas. La selección de estos parámetros va a depender del objetivo de la segmentación y la resolución del ortomosaico en el que se esté trabajando.

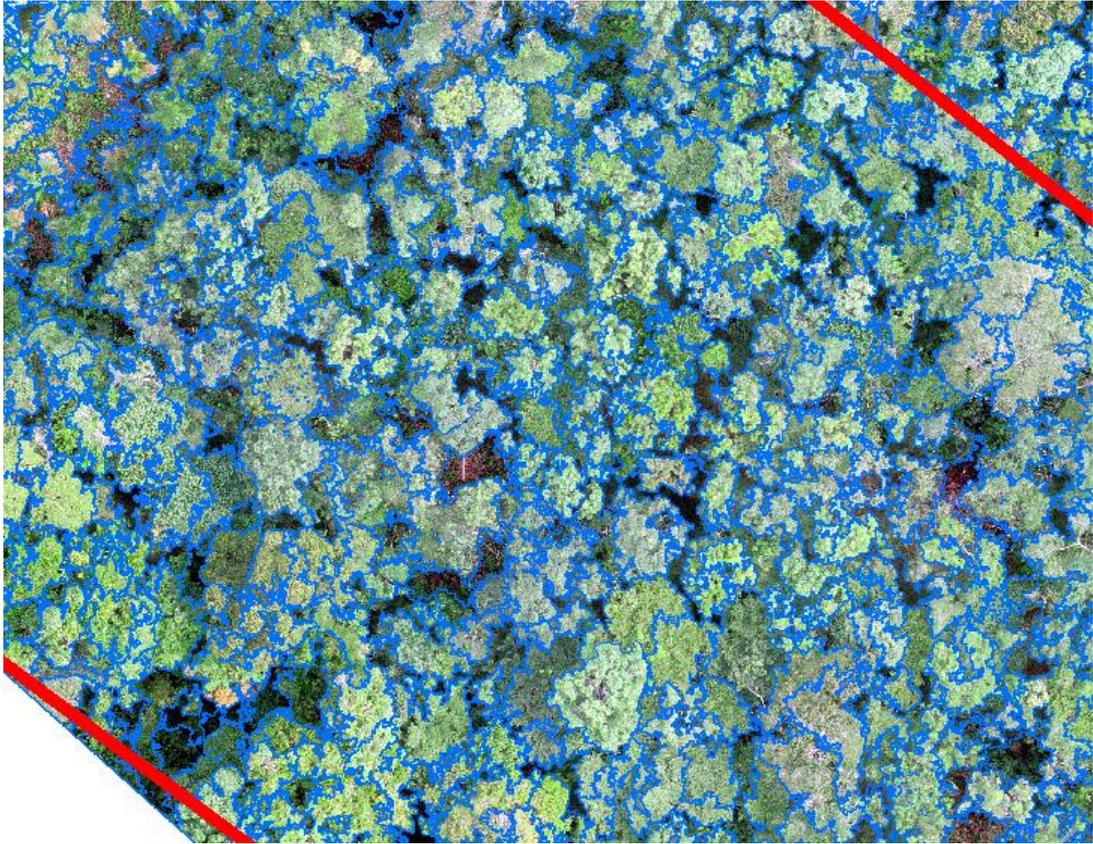


Figura 25: Copas delineadas (líneas azules) mediante segmentación y área delimitada de la plantación de *C. cateniformis* (líneas rojas)

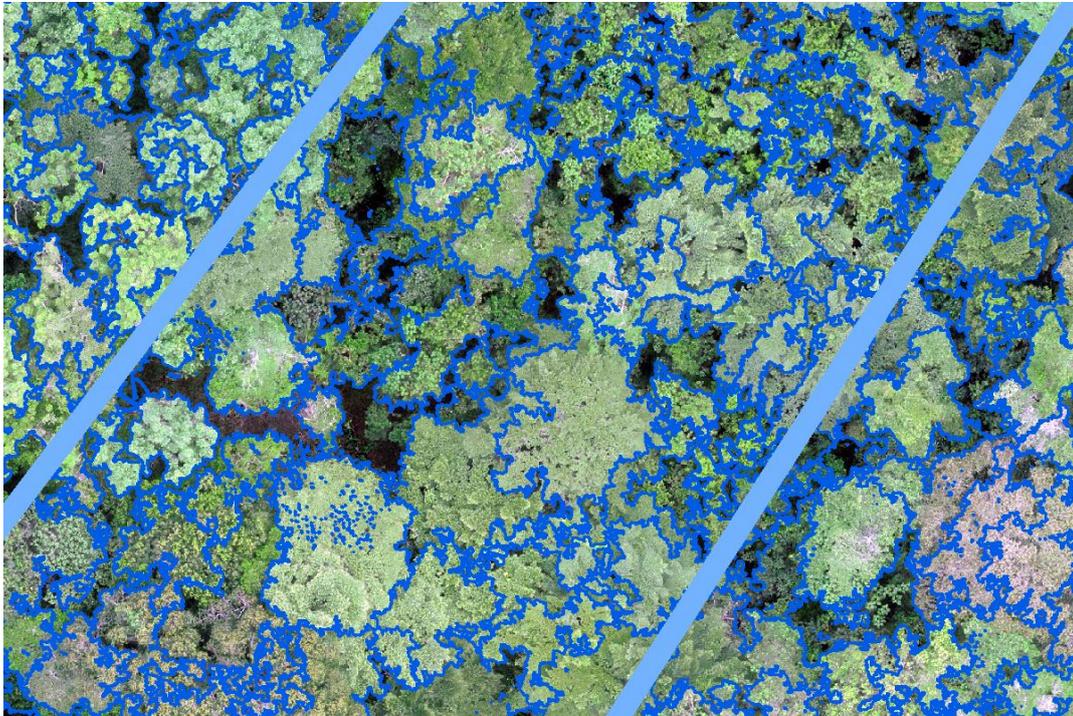


Figura 26: Copas delineadas (líneas azules) mediante segmentación y área delimitada de la plantación de *S. amara* (líneas celestes)

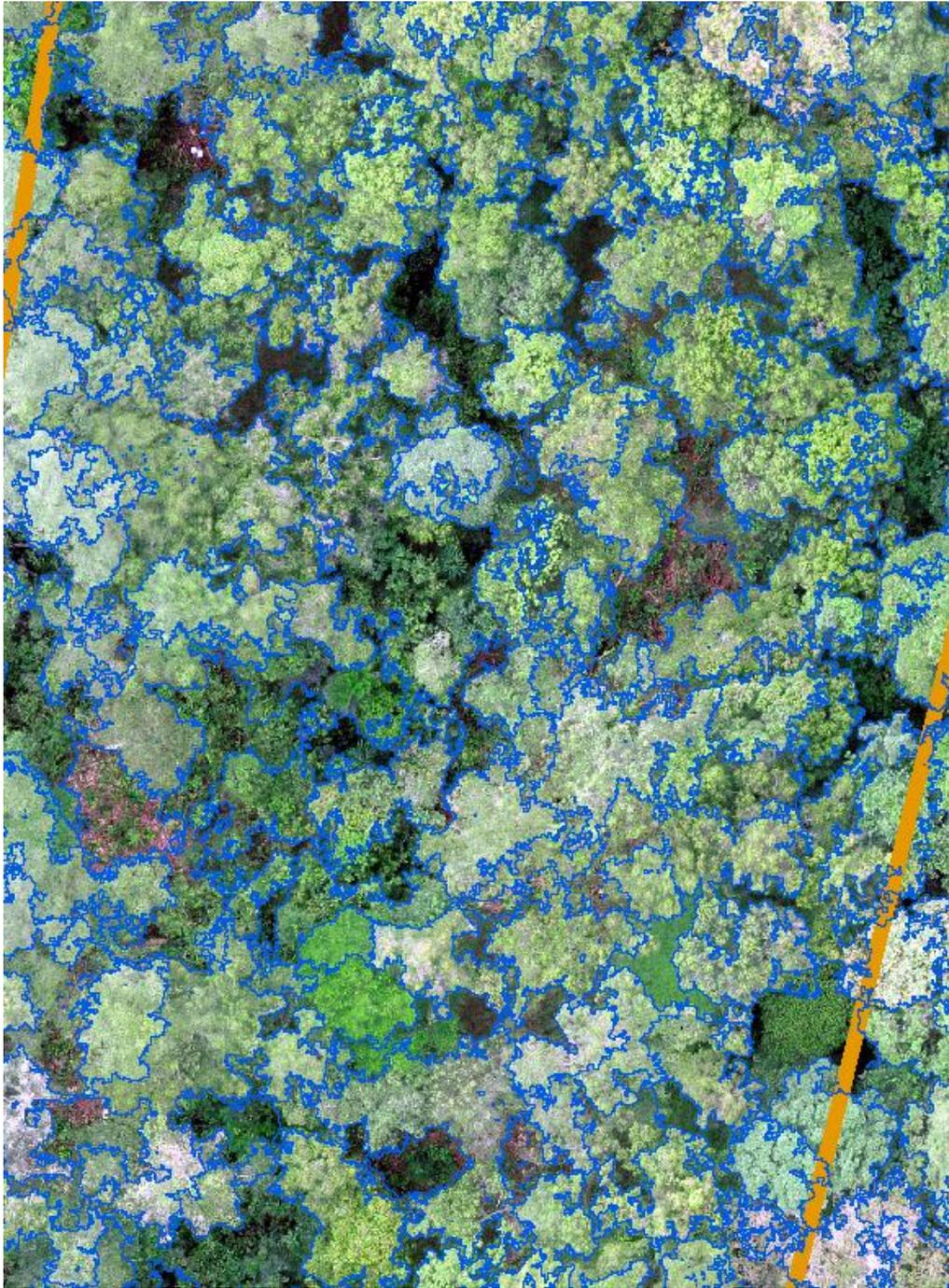


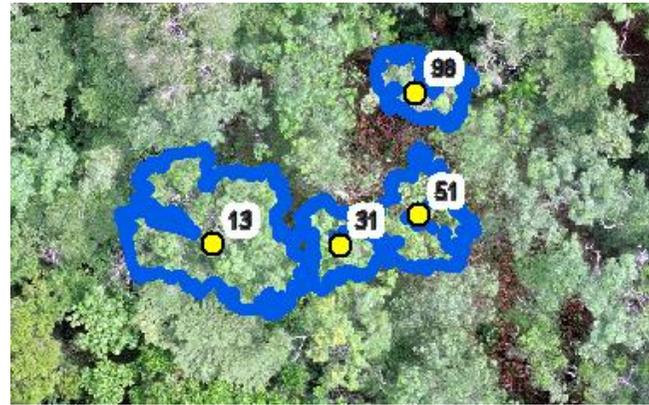
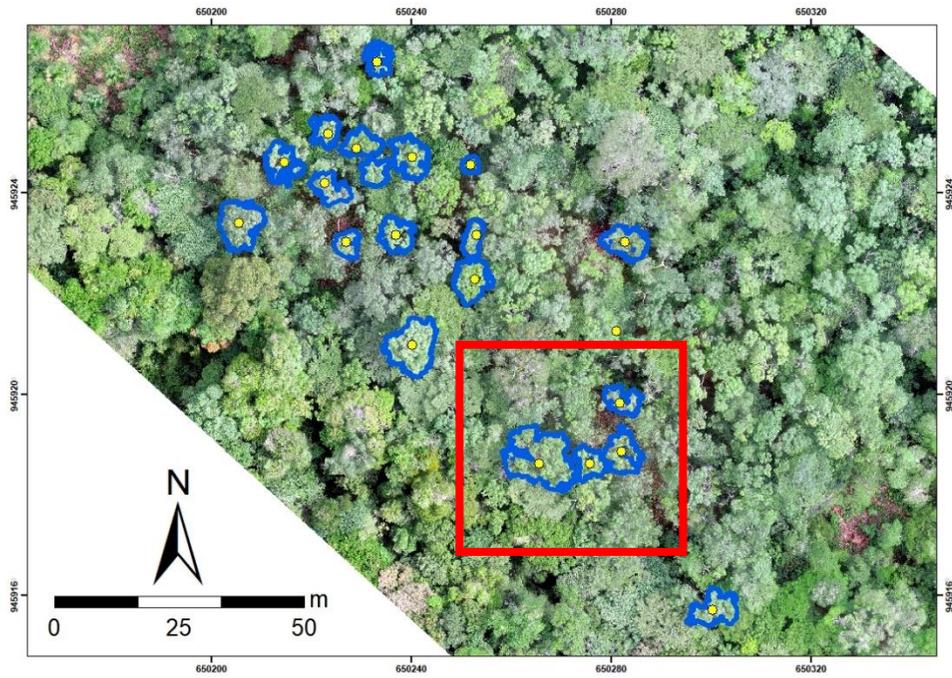
Figura 27: Copas delineadas (líneas azules) mediante segmentación y área delimitada de la plantación de *G. elata* (líneas naranjas)

Se puede evidenciar que el algoritmo logra agrupar a los píxeles correspondientes a copas individuales de los árboles y permite realizar la delineación de las mismas. Cabe resaltar que, en algunos casos, si bien no se logra delinear la copa completa, es posible combinar segmentos para obtenerla. En caso se tenga que dividir copas, reflejaría que no hubo una adecuada agrupación de píxeles.

e. Ubicación de individuos y edición de los contornos de sus copas

Las especies *S. amara* y *G. elata* ya no son consideradas en las siguientes etapas del estudio debido a la distribución de los individuos en la plantación; y como mencionan Reynel *et al.* (2003) y la Maderacre (2019), estas especies son de tendencia esciófita por lo cual no llegan a dominar el dosel del bosque y generan una gran dificultad para lograr identificar el punto GPS obtenido en campo que corresponde a la copa de un árbol que se visualiza en el mosaico, ya que las copas tienden a traslaparse unas con otras.

Se logró ubicar 20 árboles de la especie *C. cateniformis* en el mosaico, la Figura 28 muestra las copas editadas de los árboles.



LEYENDA

- ◊ Árboles ubicados
- Copas segmentadas

Figura 28: Copas delineadas (líneas azules) mediante segmentación y ubicación (puntos amarillos) de los individuos que se pudieron identificar en la plantación de *C. cateniformis*

La edición de los contornos de las copas solo fue necesario para poder definir exactamente los límites de las copas o combinar segmentos que formaban una sola copa.

f. Medición de diámetro de copas

La Figura 29 muestra los polígonos empleados para el cálculo del diámetro de copas de los individuos ubicados.

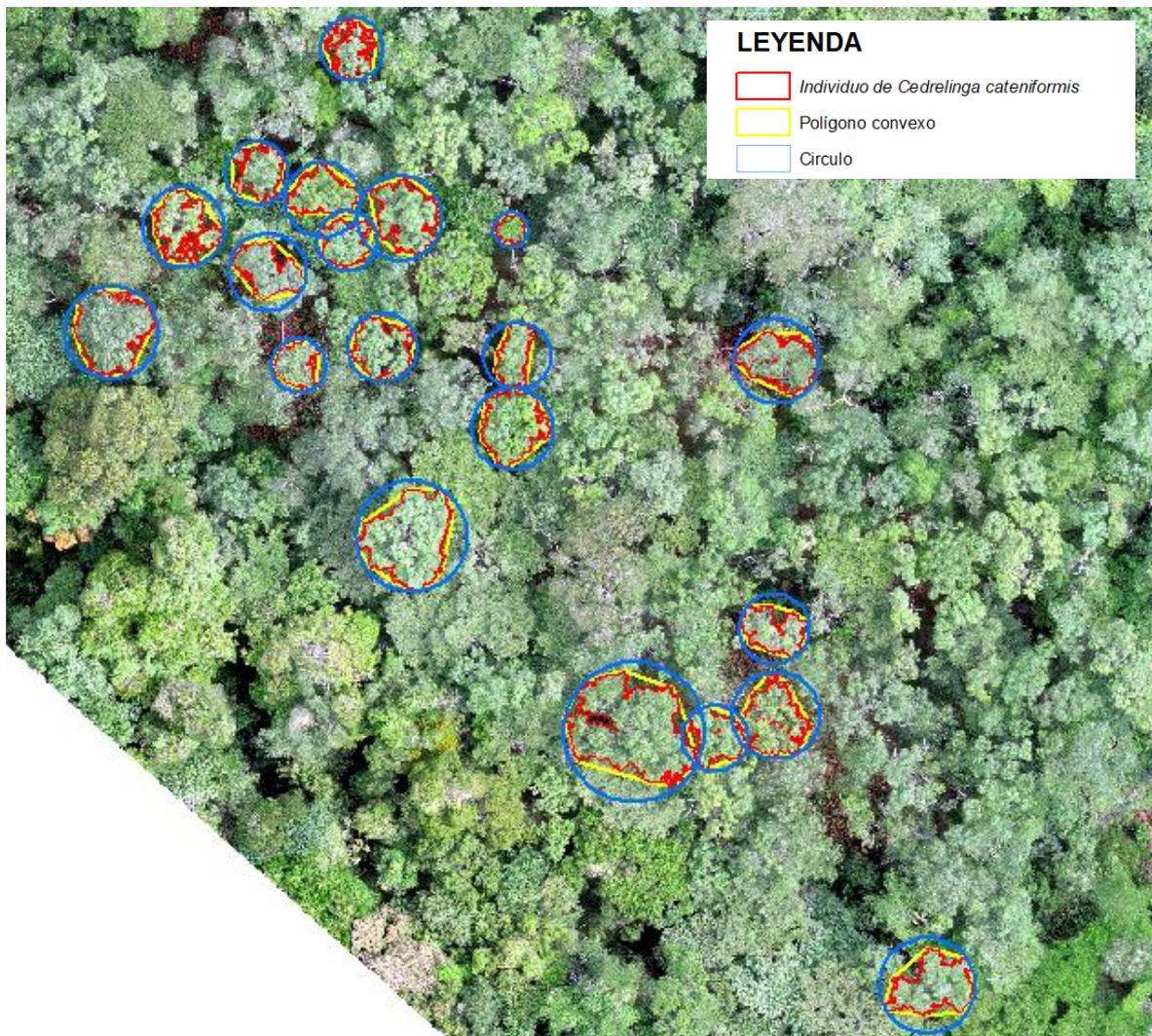


Figura 29: Polígono convexo y círculo circunscrito al individuo de *C. cateniformis* que permiten hallar el diámetro de copa de los árboles

La Tabla 10 muestra los parámetros estadísticos de los datos del diámetro de copa hallados sobre el mosaico de *C. cateniformis* utilizando un círculo o un polígono convexo en comparación de lo observado en campo (Anexo 13), donde se puede observar que existe

menor variabilidad en el diámetro promedio de copa hallado mediante polígono convexo. Una vez comparado los datos representados en diagramas de caja (Figura 30), se establece que existe más similitud entre los datos obtenidos mediante polígono convexo con respecto a los datos de campo a partir de la media.

Tabla 10: Parámetros estadísticos para el diámetro de copas promedio de *C. cateniformis*

Parámetros estadísticos	RPA		Campo
	Círculo	Polígono convexo	
Mínimo	4,08	3,76	2,60
Máximo	16,4	13,9	11,50
Promedio	9,07	7,93	7,14
Desviación estándar	2,58	2,2	1,99
CV (%)	28,4	27,7	27,9

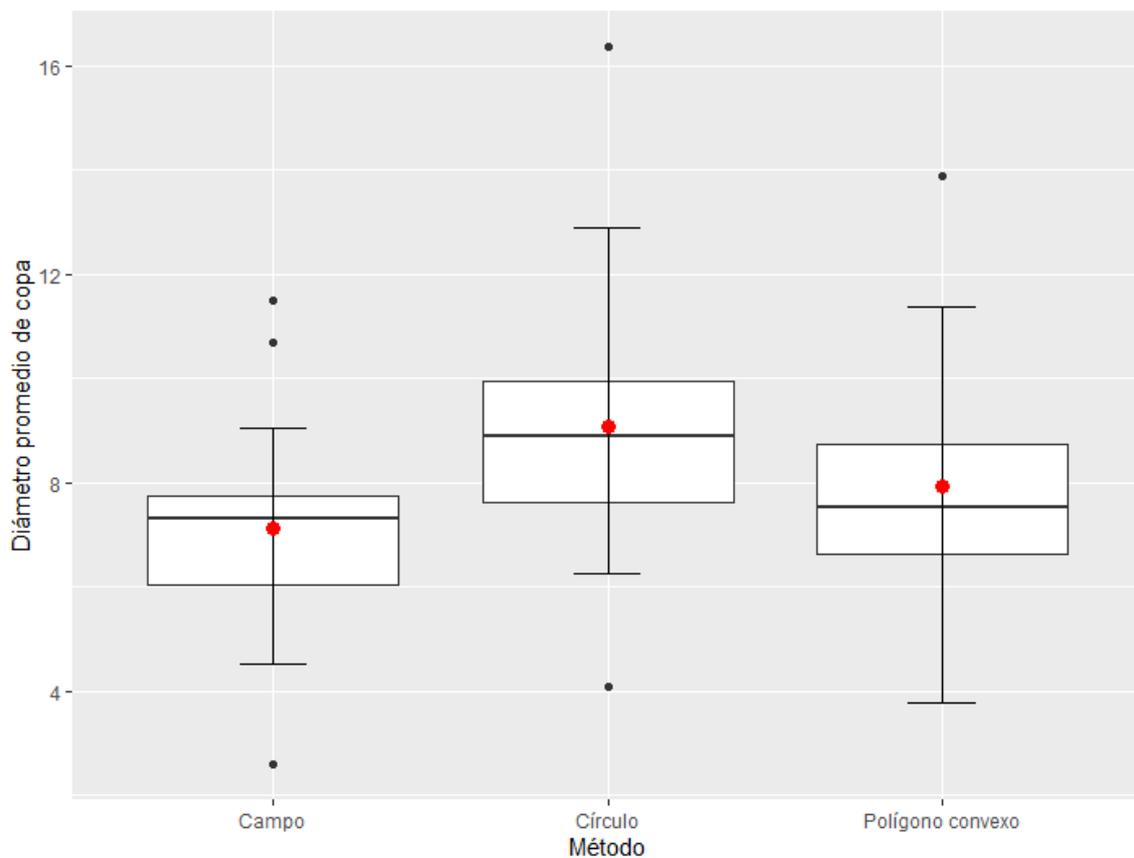


Figura 30: Diagramas de caja de los métodos utilizados para hallar el diámetro promedio de copa de *C. cateniformis*

g. Altura total

La Tabla 11 muestra los parámetros estadísticos de los datos de la altura total hallados sobre el mosaico de *C. cateniformis* utilizando RPAS frente a lo observado en campo (Ver Anexo 14), donde se puede observar que existe una baja variabilidad de los datos obtenidos mediante RPAS a comparación de lo observado en campo.

Tabla 11: Parámetros estadísticos para la altura total de *C. cateniformis*

	RPA	Campo
Mínimo	25,9	14,8
Máximo	33,8	35,5
Promedio	30,2	28,5
Desviación estándar	2,03	4,17
CV (%)	6,71	14,6

h. Posición sociológica e iluminación de copa

Se determinó que todos los individuos evaluados pertenecen al estrato dominante y medio, además de poseer plena iluminación superior en relación al mosaico observado como se puede observar en la Figura 29. Esto es importante ya que nos permite asegurar que estas características fenotípicas sean las esperadas en la selección de semilleros además de que en el mosaico solo es posible identificar individuos que posean las características antes mencionadas para su fácil ubicación.

i. Vigor

Los valores para el índice de vegetación oscilan entre -0,6 y 1. La mayor proporción de píxeles se encuentran distribuidos entre 0 y 0,4 como se muestra en el histograma de la Figura 31 y es explicado por Hunt *et al.* (2005), con el cual se procedió a establecer los rangos para realizar la reclasificación de valores que se realizó de forma visual para el NGRDI como se detalla en la Tabla 12. La Figura 32 muestra el vigor para los individuos ubicados para *C. cateniformis*.

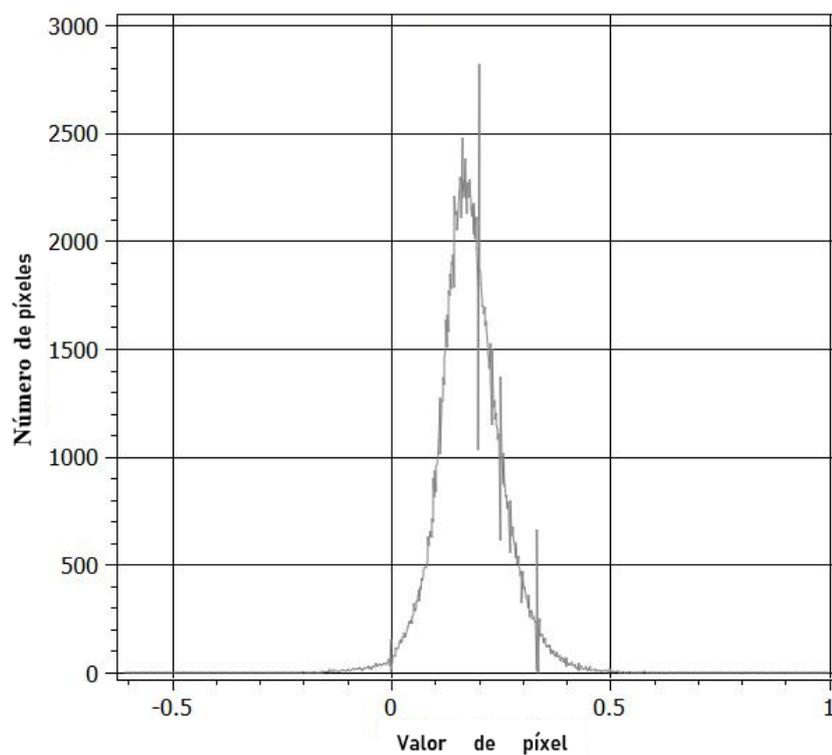


Figura 31: Histograma del valor de los píxeles del índice de vegetación NGRDI de la plantación *C. cateniformis*

Tabla 12: Rangos establecidos para el vigor de los individuos identificados de la plantación *C. cateniformis*

Rango	Valor	Vigor
$[- 0,6 - 0,0[$	1	Sin vegetación
$[0,0 - 0,1[$	2	bajo
$[0,1 - 0,2[$	3	medio
$[0,2 - 1,0]$	4	alto

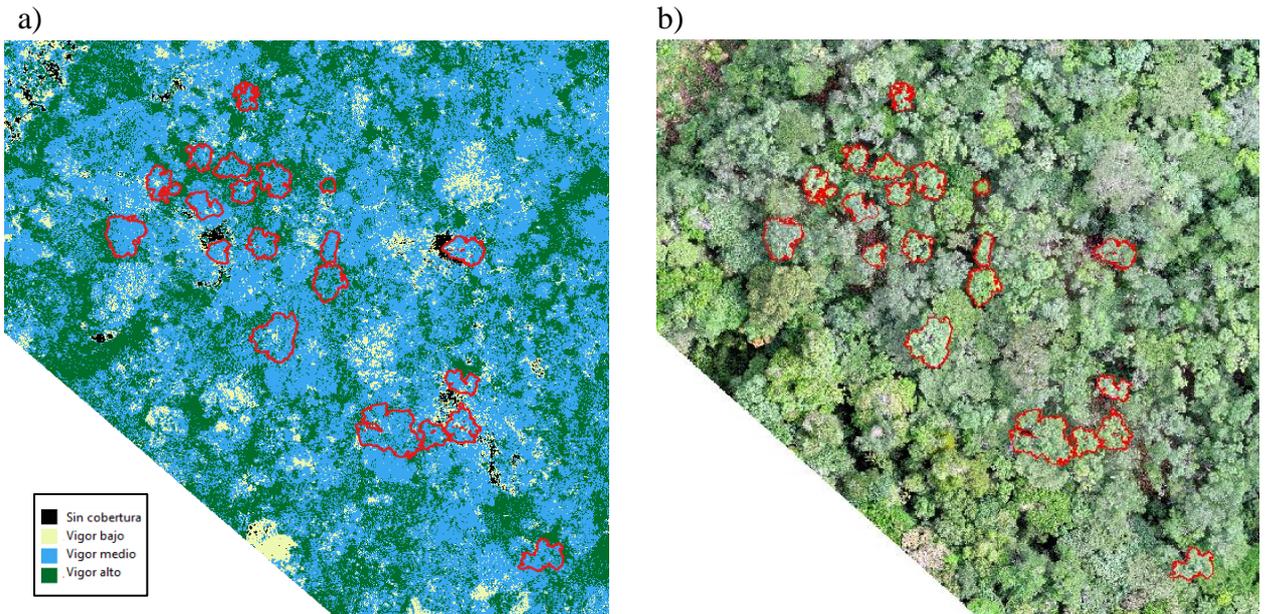


Figura 32: a) Índice de vegetación NGRDI para la plantación de *C. cateniformis*. b) Mosaico RGB para la plantación de *C. cateniformis*

El uso de un sensor multiespectral nos puede ayudar a obtener una referencia más específica del vigor de los individuos evaluados siempre y cuando los objetivos del estudio lo ameriten, considerando el consumo de baterías y de los costos que ello implicaría.

j. Dap estimado

La ecuación lineal $dap\ estimado = 3,981diámetro\ promedio\ de\ copa + 15,575$ es la ecuación que mejor explica la relación entre la variable independiente (diámetro promedio de copa) y la variable dependiente (dap) con un coeficiente de correlación (R^2) igual a 0,78, observando que existe una tendencia lineal en la variación de ambas variables como se puede observar en la Figura 33.

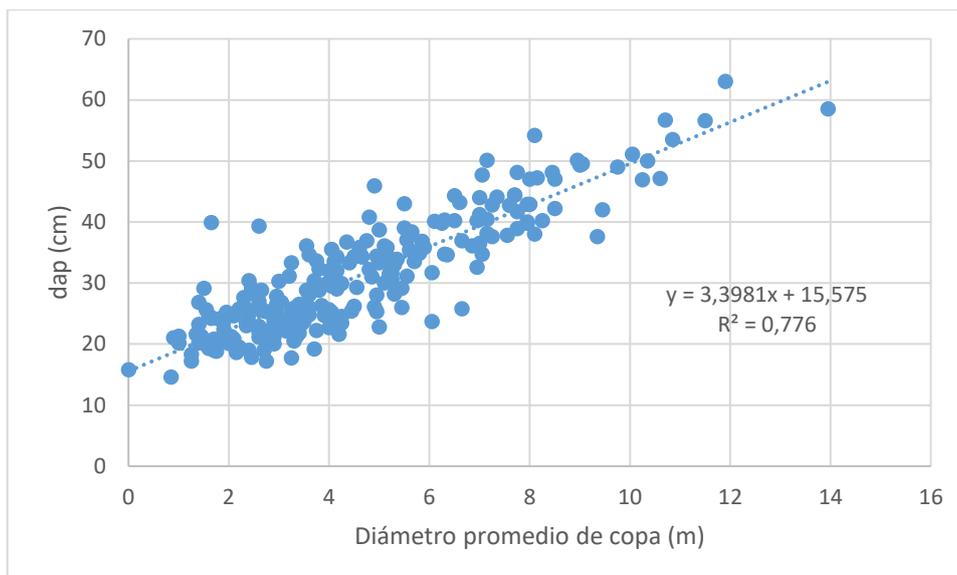


Figura 33: Diámetro de copa (m) vs dap (cm) correspondientes a los datos de campo de la especie *C. cateniformis*

A partir de la ecuación generada, se procedió a estimar el dap (cm) utilizando el diámetro de copa promedio (m) hallado mediante RPAS de la especie *C. cateniformis* como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13: Parámetros estadísticos para el dap estimado por RPAS vs dap obtenido en campo de *C. cateniformis*

Parámetros estadísticos	RPAS	Campo
Mínimo	28,4	34,3
Máximo	62,7	56,7
Promedio	42,6	42,6
Desviación estándar	7,5	6,1
CV (%)	17,5	14,4

4.3.3 Análisis de la calidad de datos

El software Statdisk generó los siguientes resultados de la prueba no paramétrica de suma de rangos de Wilcoxon para el diámetro promedio de copa y la altura total como se puede observar en la Tabla 14 y 15.

Tabla 14: Resultados de la prueba no paramétrica de suma de rangos de Wilcoxon para el diámetro promedio de copa y la altura total.

Variable	n ₁	R ₁	n ₂	R ₂	R	μ _R	σ _R	Z
Diámetro promedio de copa	20	372,5	20	447,5	372,5	410	36,96846	-1,01438
Altura total	20	350	20	470	350	410	36,96846	-1,62301

R₁: Suma de los rangos para la muestra 1.

R₂: Suma de los rangos para la muestra 2.

Tabla 15: p valor de la prueba no paramétrica de suma de rangos de Wilcoxon para el diámetro promedio de copa y la altura total.

Variable	p valor
Diámetro promedio de copa	0,3104
Altura total	0,1074

Los datos evaluados en campo y los obtenidos de RPAS a través de la fotogrametría para el diámetro promedio de copa provienen de poblaciones que poseen medianas iguales. Esto puede ser debido a que el diámetro de copa es un parámetro de fácil observación en los mosaicos y permite obtener un resultado similar a lo que se observa en campo, considerando que en muchas ocasiones suele ser difícil poder medirlo en campo ya que solo podemos hacerlo en base a la proyección del mismo (Prodan *et al.*, 1997 citados por Claros, 2019).

Los datos de campo y los obtenidos de RPAS a través de la fotogrametría para la altura total provienen de poblaciones que poseen medianas iguales para zonas donde la densidad del bosque permite diferenciar las copas de los árboles y el suelo, lo que permite una adecuada reconstrucción del DTM que nos ayuda a determinar el Modelo de alturas (CHM).

4.4 Fase de selección de árboles semilleros

4.4.1 Selección de árboles candidatos o plus

a. Campo

El número de individuos que cumple con los parámetros establecidos para ser árbol candidato o plus fueron 21 para la especie *C. cateniformis* (Ver Anexo 12).

b. RPAs

El número de individuos que cumple con los parámetros establecidos para ser árbol candidato o plus fueron 19 para la especie *C. cateniformis* (Ver Anexo 13).

4.4.2 Selección de árboles semilleros

a. Campo

El número de individuos que cumple con los parámetros establecidos para ser árboles semilleros fueron 10 para la especie *C. cateniformis* (Ver Anexo 14). En la Figura 34 se puede observar un ejemplo de la comparación que se realizó del individuo 235, así como en la Tabla 16 los valores que se compararon para dicho individuo.

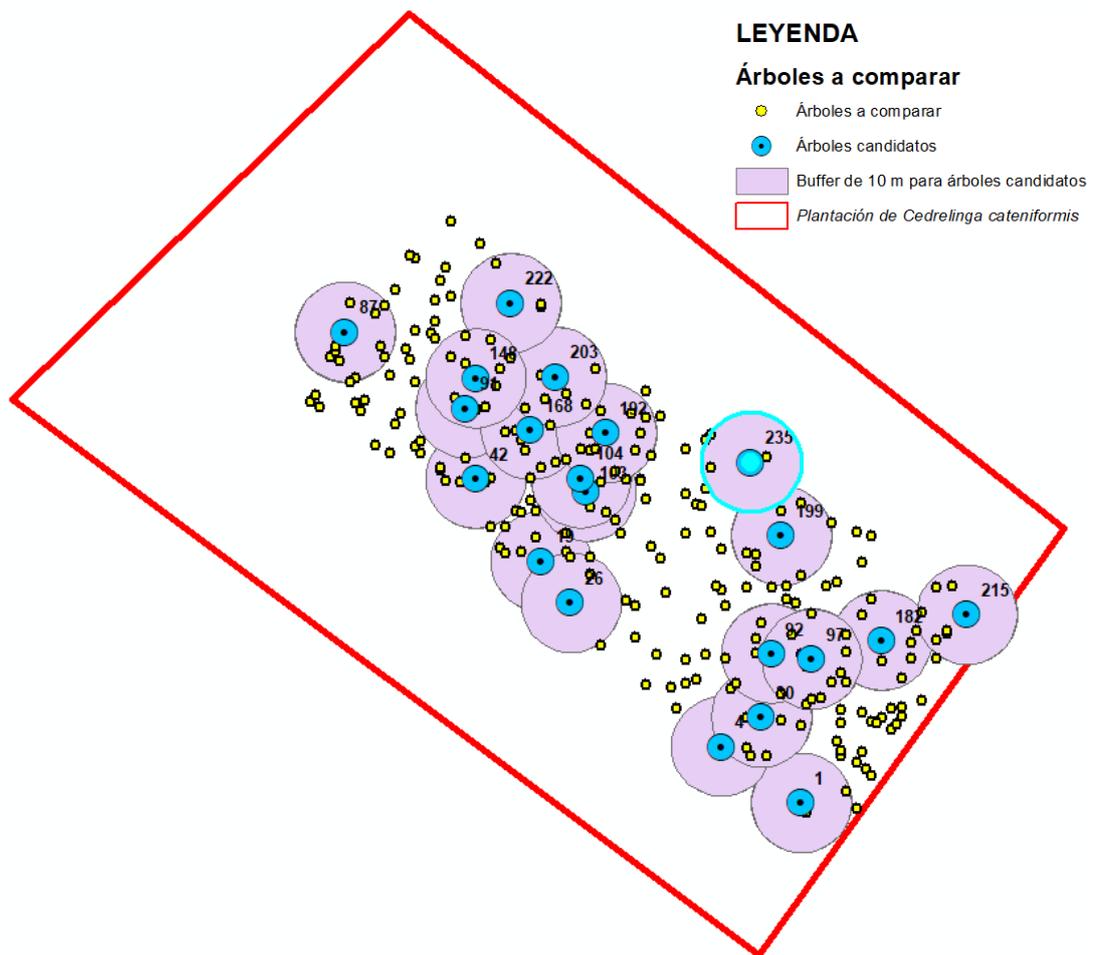


Figura 34. Comparación del árbol candidato N°235 para selección de árbol semillero de *C. cateniformis*

Tabla 16. Valores para los parámetros evaluados del árbol candidato de *C. cateniformis* N° 235 y de los árboles con los cuáles se compararon

N° de individuo	Calidad de fuste	Altura de bifurcación	Posición sociológica	Iluminación de copa	Diámetro promedio de copa	Vigor	dap	Altura total
210	2	4	1	1	1	3	20,0	22,2
226	3	4	2	4	1	3	31,1	27,5
234	2	4	1	1	1	3	21,3	18,2
235	3	4	3	5	2	3	48,1	29,5
Promedio							29	27,2

b. RPAs

El número de individuos que cumple con los parámetros establecidos para ser árbol semillero fueron 8 para la especie *C. cateniformis* (Ver Anexo 15).

Finalmente se compararon los árboles semilleros seleccionados, se pudo observar que 4 de los árboles seleccionados coinciden con los seleccionados en campo (resaltados de color amarillo), lo cual determina una confiabilidad del 50%. En la Tabla 17 podemos ver que los 4 individuos que no coinciden con los seleccionados en campo presentan valores no aceptables para las características de calidad de fuste y altura de bifurcación. Estos parámetros podrían ser analizados obteniendo fotografías de sobrevuelos donde la cámara este orientada con ángulo de inclinación oblicuo ya que al tener imágenes geolocalizadas podríamos analizarlas por individuos o analizar la nube de puntos para ver si es posible poder identificar estas características en los árboles.

Tabla 17. Matriz de comparación de los árboles semilleros seleccionados.

N° de individuo	Calidad de fuste	Altura de bifurcación	Posición sociológica		Iluminación de copa		Diámetro promedio de copa		Forma de copa	Vigor		dap	Altura total
			Campo	RPAS	Campo	RPAS	Campo	RPAS		Campo	RPAS		
			10	3	1	3	3	5		5	2		
13	2	2	3	3	5	5	3	3	5	2	3	Si	Si
19	4	4	3	3	5	5	3	3	6	2	3	Si	Si
28	2	4	2	2	5	5	2	2	5	2	3	Si	Si
42	3	4	3	3	5	5	2	2	6	2	2	Si	Si
91	3	4	3	3	5	5	2	2	5	2	2	Si	Si
98	2	4	3	3	5	5	2	2	5	2	2	Si	Si
235	3	4	3	3	5	5	2	2	6	2	2	Si	Si

V. CONCLUSIONES

Se ha demostrado que mediante técnicas de teledetección aplicadas a imágenes captadas por RPAS se puede realizar la selección de árboles semilleros en plantaciones forestales de *Cedrelinga cateniformis*.

Los parámetros que permiten la selección de árboles semilleros en plantaciones forestales de *Cedrelinga cateniformis* a partir de imágenes RPAS son posición sociológica, iluminación de copa, diámetro promedio de copa, forma de copa, vigor, diámetro a la altura del pecho y altura total.

Existe semejanza estadística entre el diámetro promedio de copa evaluado en campo y el obtenido mediante RPAS para la plantación de *Cedrelinga cateniformis*.

Existe semejanza estadística entre la altura total evaluada en campo y la obtenida mediante RPAS para la plantación de *Cedrelinga cateniformis*.

En las plantaciones de *Simarouba amara* y *Guatteria elata*, no fue posible aplicar la metodología ya que los individuos no se encontraban en el estrato superior del dosel.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar los sobrevuelos en época seca, de preferencia entre las 9:00 horas y las 15:00 horas de preferencia para evitar sombras en los ortomosaicos.

Se recomienda utilizar las imágenes oblicuas para analizar los parámetros relacionados a calidad de fuste (rectitud de fuste y altura de bifurcación) ya que podrían aportar a la selección de árboles semilleros utilizando RPAS.

Se recomienda analizar el uso de un sensor multiespectral con el cual se podrían obtener información sobre estrés hídrico, contenido de nitrógeno, plagas o enfermedades de los árboles, entre otras que ayudaría en la selección de árboles semilleros.

Se debe usar un error de receptor GPS menor al diámetro de copa del árbol para evitar confusiones de localización con árboles vecinos. En su defecto, se recomienda utilizar coordenadas relativas X e Y para mayor precisión.

Para obtener un menor error en la estimación de la altura total se recomienda puntos de control terrestre o GCPs cuando no se trabaja con equipos que cuenten con *Real Time Kinematic* (RTK).

Se recomienda analizar la metodología propuesta en plantaciones forestales de *Cedrelinga cateniformis* de otras densidades a la evaluada y que se encuentren en los primeros años de crecimiento

VII. BIBLIOGRAFÍA

Acuña, E. (2010). Análisis estadístico de datos usando MINITAB (3era edición). Recuperado de <https://docplayer.es/15174185-Analisis-estadistico-de-datos-usando-minitab.html>

Alvarado, J. y Obagi, J. (2008). Inferencia Estadística. Bogotá, CO. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. 358p.

Amaya, O. (2018). Ensayos con el control autónomo de sistemas aéreos no tripulados tipo cuadricóptero para su aplicación didáctica en la enseñanza aeronáutica. Revista Ciencias Espaciales, 11(1), 91–111. Recuperado de <https://www.lamjol.info/index.php/CE/article/view/7178/6744>

Angulo, J. C. (2015). Relación entre el diámetro de copa y del fuste de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, en la zona de Atalaya, Región Ucayali.

Angulo, W., Fasabi, H., y Ruíz, G. (2016). Crecimiento y productividad de plantación de tornillo *Cedrelinga cateniformis* Ducke, establecida en la Amazonía Peruana. XII Congreso Nacional Forestal CONAFOR (2016) Lima - Perú TEMA.

Aracena-Pizarro, D., y Daneri-Alvarado, N. (2013). Detección de puntos claves mediante SIFT paralelizado en GPU. *Ingeniare*, 21(3), 438–447. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052013000300013>

Arias, D. (2005). Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. Kurú Revista Forestal Costa Rica, 2(5).

Balcorta-Martínez, H. y Vargas-Hernández, J. (2004). Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(2), 13-19.

Baluart, J., y Alvarez, J. (2015). Modelamiento del crecimiento de tornillo *Cedrelinga catenaeformis* Ducke en plantaciones en Jenaro Herrera, departamento de Loreto, Perú. *Folia Amazónica*, 24(1), 21–32.

Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 2–16. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>

Blaschke, T., Hay, G., Kelly, M., Lang, S., Hofmann, P., Addink, E., ... Tiede, D. (2014). Geographic object-based image analysis - towards a new paradigm. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87, 180–191. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014>

Borsy, P., Gadea, R., y Vera, E. (2011). Manejo forestal y agricultura de conservación. Recuperado de https://www.bivica.org/files/manejo-forestal_paraguay.pdf

Bourgoin, C., Betbeder, J., Couteron, P., Blanc, L., Dessard, H., Oszwald, J., ... Gond, V. (2020). UAV-based canopy textures assess changes in forest structure from long-term degradation. *Ecological Indicators*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106386>

Bugday, E. (2018). Capabilities of using UAVs in forest road construction activities. *European Journal of Forest Engineering*, 4(2), 56–62. <https://doi.org/10.33904/EJFE.499784>

Cabrera, J., y Zuaznábar, R. (2010). Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada.

Cultivos Tropicales, 31(1), 5–13. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttextpid=S0258-59362010000100001

Campbell, J., y Wynne, R. (2013). Introduction to remote sensing. Remote Sensing (Vol. 5). <https://doi.org/10.3390/rs5010282>

Cancino, J. (2012). Dendrometría Básica. 1–171. Recuperado de <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/407>

Chatterjee, S. y Hadi, A. (2012). Regression analysis by example. 5ta edición.

Chen, Y., Ribera, J., Boomsma, C., y Delp, E. J. (2017). Plant leaf segmentation for estimating phenotypic traits. 3884–3888.

Claros, A. (2019). Estimación del volumen de fustes a a partir de fotografías aéreas captadas desde un VANT en el distrito de Chanchamayo, Junín.

Claussi, A., Marmillod, D., y Blaser, J. (1992). Descripción silvicultural de las plantaciones forestales de Jenaro Herrera. Iquitos.

Colomina, I., y Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>

Conservación amazónica. (2018). Uso de Drones para monitoreo de Deforestación y Tala Ilegal. Recuperado de <https://maaproject.org>

Cuellar, J., Ugarte, J., y Vilcapoma, E. (2016). Las semillas forestales en el Perú: Desafíos y oportunidades (Instituto; J. E. Cuellar, Ed.). Lima.

Delgado, C., y Couturier, G. (2008). *Atteva punctella* Cramer (Lepidoptera: Yponomeutidae), plaga de *Simarouba amara* Aubl. (Simaroubaceae), en Perú. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 43, 519–521.

Díaz, J. (2015). Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión.

Dirección General de Aeronáutica Civil. (2015). Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia NTC 001-2015 (pp. 1–12).

Dunford, R., Michel, K., Gagnage, M., Piégay, H., y Trémelo, M. L. (2009). Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of mediterranean riparian forest. *International Journal of Remote Sensing*, 30(19), 4915–4935. <https://doi.org/10.1080/01431160903023025>

Escalante, J. O., Cáceres, J. J., y Porras, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Tecnura*, 20(50), 119–140.

Feng, Q., Liu, J., y Gong, J. (2015). UAV Remote sensing for urban vegetation mapping using random forest and texture analysis. *Remote Sensing*, 7(1), 1074–1094. <https://doi.org/10.3390/rs70101074>

Flores, F., Chávarry, L., y Vega, D. (2005). Criterios y pautas para la selección de árboles plus. p. 62. Cajamarca. Recuperado de <http://www.asocam.org/sites/default/files/publicaciones/files/f5e5b805269347d9201c65e9e4d05c11.pdf>

Fredericksen, T. (2003). Consideraciones para árboles semilleros en bosques tropicales bajo manejo en Bolivia. BOLFOR. Santa Cruz de la Sierra. Recuperado de http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnacw362.pdf

Fredericksen, T. S., y Licona, J. C. (2000). Invasion of non-commercial tree species after selection logging in a Bolivian tropical forest. *Journal of Sustainable Forestry*, 11(3), 113–123. https://doi.org/10.1300/J091v11n03_07

Gadow, K., Sánchez-Orois, S., y Álvarez-González, J. (2007). Estructura y Crecimiento del Bosque. In *IUFRO World Series* (Vol. 12). Recuperado de http://www.iww.forst.uni-goettingen.de/doc/kgadow/lit/kvgestructura_y_crecimiento_del_bosque.pdf

García, D. (2019). Identificación y selección de árboles semilleros de *Cinchona Officinalis* L. (Quina) en el distrito de Querocoto, Chota, Cajamarca. Recuperado de http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3467/T016_71252975.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Giersbergen, Q. van. (2020). Assessing the accuracy of canopy height models in tropical forests derived from a commercial UAV. 15.

Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., y Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 76–87. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)

Global Biodiversity Information Facility. (s.f.). *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke. Recuperado de <https://www.gbif.org/es/species/2976174>

Global Biodiversity Information Facility. (s.f.). *Guatteria elata* R.E.Fr. Recuperado de <https://www.gbif.org/es/species/3155920>

Global Biodiversity Information Facility. (s.f.). *Simarouba amara* Aubl. Recuperado de: <https://www.gbif.org/es/species/7720664>

Guariguata, M. R., Arce, J., Ammour, T., y Capella, J. L. (2017). Las plantaciones forestales en Perú. <https://doi.org/10.17528/cifor/006461>

Gutiérrez, B., Cornejo, E., Rodríguez, B., López, J., Gutiérrez, M., Gómez, M., y Flores, A. (2016). Selección de árboles sobresalientes de caoba (*Swietenia macrophylla* King.) en un rodal natural mediante métodos multivariados. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(37), 51–64. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63449187005>

Herrera, C. (2016). Evaluación de fuentes semilleras de especies forestales nativas, como apoyo a programas y políticas de reforestación de la provincia de Loja.

Huamán, C. (2011). Dendrocronología de árboles de azúcar huayo (*Hymenae acourbaril* L.) en la región de Madre de Dios (provincia de Tahuamanu) – Perú. Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria de la Molina – Escuela de Post Grado. pp 112.

Hunt, E. R., Cavigelli, M., Daughtry, C. S. T., McMurtrey, J. E., y Walthall, C. L. (2005). Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*, 6(4), 359–378. <https://doi.org/10.1007/s11119-005-2324-5>

Hyypä, J., Hyypä, H., Leckie, D., Gougeon, F., Yu, X., y Maltamo, M. (2008). Review of methods of small-footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests. *International Journal of Remote Sensing*, 29(5), 1339–1366. <https://doi.org/10.1080/01431160701736489>

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. (s.f.). Base de datos del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera (CIJH).

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. (s.f.). Centro de Investigaciones Jenaro Herrera (CIJH). Recuperado de <http://www.iiap.org.pe/web/ci-jenaro-herrera.aspx>

Lei, R., Fan, D., Ji, S., y Zhai, H. (2008). Theory and algorithms of DSM generation from multi-line-array images matching. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII(B4), 337–342. Recuperado de http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/4_pdf/59.pdf

Lombardi, I., Garnica, C., Carranza, J., Ortiz, H., Cuba, K., Ponce, B., ... Huamani, J. (2013). Manual para la Evaluación de Árboles Semilleros y la Regeneración de Caoba (*Swietenia Macrophylla* King.) y Cedro (*Cedrela* spp.). p. 54. Recuperado de [http://www.itto.int/files/user/cites/peru/Manual for assessment of seed trees and regeneration of mahogany and cedar SPANISH.pdf](http://www.itto.int/files/user/cites/peru/Manual%20for%20assessment%20of%20seed%20trees%20and%20regeneration%20of%20mahogany%20and%20cedar%20SPANISH.pdf)

Lombardi, I., y Nalvarte, W. (2001). Establecimiento y manejo de fuentes semilleras, ensayos de especies y procedencias forestales: Aspectos técnicos y metodológicos. Tela, Honduras: Lithopress Industrial.

López, S. (2018). Indicadores del cambio climático en los distritos de Jenaro Herrera y Requena, utilizando información satelítica para el periodo 1960-2015.

Louman, B., Quirós, O y Nilsson, M. (2001). Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Serie Técnica, Manual Técnico No. 46. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 265 p.

Maderacre. (2019). Plan general de manejo forestal (PGMF) Comunidad Nativa Bélgica Resumen. Recuperado de <http://geoservidor.minam.gob.pe/intro/geoservicios/intercambio-de-base-de-datos-12.html%0Ahttp://maderacre.com/wp-content/uploads/2020/05/PGMF-CMRA-2019-Resumen-Publico.pdf>

Martínez, E. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, (38), 315–332. <https://doi.org/10.1007/s00259-015-3057-y>

Momsen, E. y Metz, M. (2015). Manual de GRASS GIS: I. Segment. Recuperado de <https://grass.osgeo.org/grass74/manuals/i.segment.html>

Montgomery, D., Peck, E., y Vining, G. (2006). Introducción al análisis de regresión lineal.

Muñoz, H. J., Toledo, R., Sáenz, T., Villaseñor, F. J., García, J. J., y García, J. J. (2008). Establecimiento y manejo de dos áreas semilleras de coníferas nativas en el estado de Michoacán. *Revista Ciencia Forestal En México*, 33(103), 79–102. Recuperado de <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/742/1904>

Neitzel, F., y Klonowski, J. (2011). Mobile 3D mapping with a low-cost UAV system. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 39–44. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-551-2017>

Nex, F., y Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>

Ordóñez, L., Aguirre, N., y Hofstede, R. (2001). Sitios de recolección de semillas forestales andinas del Ecuador. Quito. Recuperado de www.abayayala.org

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). (2002). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000. Informe principal. Estudio FAO-Montes. Roma, Italia. pp.126-127.

Paz, P. (2017). Uso de drones para el monitoreo de cambios de coberturas detectados por Terra-i en Yurimaguas, Perú. Recuperado de: <http://www.terra-i.org/es/news/news/Drone-monitoring-of-land-cover-changes-detected-by-Terra-I-in-Yurimaguas--Peru.html>

Palomino, J., y Barra, M. (2003). Especies forestales nativas con potencial para reforestación en la provincia de Oxapampa y fichas técnicas de las especies de mayor prioridad.

Paredes, F. (2003). Estimación de la “calidad de sitio” de las especies *Simarouba amara* Aubl. “marupá” y *Guatteria elata* R.E. Fries. “carahuasca” en plantaciones del Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera (CIJH), Loreto - Perú.

Pix4D. (2011). How to automatically generate a digital terrain model (DTM). Recuperado de <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560579-How-to-automatically-generate-a-Digital-Terrain-Model-DTM>

Pix4D. (2017). User manual Pix4Dmapper 4.1. 305. Recuperado de <https://support.pix4d.com/hc/en-us/sections/360003718992-Manual>

Quispe, A. (2016). Investigación, desarrollo e innovación en un plan de negocios en el contexto de proyectos de inversión pública para plantaciones forestales comerciales.

Reynel, C., Pennington, R. y Pennington, T. (2016). Árboles del Perú. 1046 pp.

Reynel, C., Pennington, R., Pennington, T., Flores, C. y Daza, A. (2003). Árboles útiles de la amazonía peruana. Lima, PE, Darwin Initiative, ICRAF. 509 pp.

Romero, C. F. (2008). Masas forestales en cinco parques de Neiva. Especies, volumen de madera en pie, análisis estructural y estado fitosanitario. Revista Nodo, 5(3), 85–99. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3396592.pdf>

Rosado, E. Q. (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil (Primera ed). Cáceres.

Rumpler, M., Wendel, A., y Horst, B. (2013). Probabilistic range image integration for DSM and True-Orthophoto generation. 7944 LNCS. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-38886-6>

Salamí, E., Barrado, C., y Pastor, E. (2014). UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. *Remote Sensing*, 6(11), 11051–11081. <https://doi.org/10.3390/rs61111051>

Salán, S. (2011). Inventariación y selección de árboles de cedro, con características semilleras en los sectores: el 51, el Pindo y el Mirador de los Cantones de la provincia de Pastaza. Riobamba, Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/778/1/33T0083.pdf>

Sánchez, J. A. (2001). Introducción a la fotogrametría. Recuperado de ftp://ftp.unsj.edu.ar/agrimensura/Fotogrametria/Unidad2/Conceptos_Basicos_de_Fotogrametria_General.pdf

Santos, R., y Marino, E. (2012). Demarcación de árboles matrices en fragmentos de bosque nativo en la región de Bebedouro. *Re.C.E.F.*, 20(1), 56–75. Recuperado de http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/qodSnGhITuqp6Vq_2013-4-29-15-46-16.pdf

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2019). Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2018. Recuperado de <http://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/893>

Tagle, X., Di Liberto, S., y Benavides, J. (2019). Manual del procesamiento de imágenes del PH4 para el mapeo de vegetación en Pix4Dmapper Pro. Iquitos.

Tagle, X., Di Liberto, S., Lourdes, F., Flores, G. F., Dávila, A., del Águila, C., ... Baker, T. R. (2021). Protocolo para sobrevuelos con RPAs Phantom 4 Pro y Phantom 4 RTK. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). Recuperado de

https://repositorio.iiap.gob.pe/bitstream/20.500.12921/610/5/tagle_protocolo_2021.pdf

Tagle, T., Falen, L., Bartholomeus, H., Cárdenas, R., Flores, G., Herold, M., ... Baker, T. R. (2020). Identifying and quantifying the abundance of economically important palms in tropical moist forest using UAV imagery. *Remote Sensing*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/RS12010009>

Tomás, R., Riquelme, A., Cano, M., Abellán, A., y Jordá, L. (2016). Structure from Motion (SfM): una técnica fotogramétrica de bajo coste para la caracterización y monitoreo de macizos rocosos. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/309611177>

Torres, C. (2010). Propiedades físico-mecánicas de la especie (“Tornillo”) *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke proveniente de plantaciones en fajas del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt - Ucayali. 31.

Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., Serrano, N., Arquero, O., y Peña, J. M. (2015). High-throughput 3-D monitoring of agricultural-tree plantations with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology. *PLoS ONE*, 20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130479>

Triola, M. (2018). Estadística (Decimosegunda edición).

Trujillo, E. (2003). Presentación El semillero en El Primer Seminario de Plantaciones Forestales Abril 2003. Memorias.

Valladolid, J., León, Á., y Paredes, D. (2017). Selección de árboles semilleros en plantaciones forestales de la provincia de Santa Elena, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 4(2), 104–110. <https://doi.org/10.26423/rctu.v4i2.261>

Vargas, J. (2010). Propagación vegetativa del tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke) por estacas juveniles en cámara de sub-irrigación; Jenaro Herrera, Requena-Loreto. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana

Vilcayauri, E. (2009). Propiedades físico-mecánicas de *Simarouba amara* Aubl. (Marupá) proveniente de las plantaciones de la estación Alexander Von Humboldt.

Wadsworth, F. (2000). Producción forestal para América tropical.

Zarco-Tejada, P. J., Morales, A., Testi, L., y Villalobos, F. J. (2013). Spatio-temporal patterns of chlorophyll fluorescence and physiological and structural indices acquired from hyperspectral imagery as compared with carbon fluxes measured with eddy covariance. *Remote Sensing of Environment*, 133, 102–115. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.003>

VIII. ANEXOS

ANEXO 1 REGISTRO DE VUELO

N° de vuelo	Fecha	Hora	Piloto	Copiloto	Aeronave	Nombre de la misión	Condiciones del viento	Condiciones de Iluminación	Batería del RPA (%)				Batería del RC (%)		Altura de vuelo (AGL m)	Ángulo de cámara (°)
	dd/mm/yy	hh:mm:ss	Iniciales	Iniciales	Nombre/ID				ID Batería	V0	V1	V2	V3	V1		

Donde:

V0 (%): Porcentaje de batería del RPA al encenderse.

V1 (%): Porcentaje de batería del RC al encenderse.

V2 (%): Porcentaje de batería del RPA al empezar la captura de fotografías.

V3 (%): Porcentaje de batería del RPA al finalizar la captura de fotografías.

V4 (%): Porcentaje de batería del RPA al retornar a posición de despegue.

V5 (%): Porcentaje de batería del RC al finalizar la misión.

ANEXO 2 ESQUEMA DEL FORMATO PARA LAS EVALUACIONES EN CAMPO

Número de plantación:

Especie:

Fecha de evaluación:

N° Árbol	dap (cm)	Altura			Diámetro de copa (m)			dpc (m)	Rectitud de fuste	Altura de bifurcación	Vigor	Iluminación de copa	Forma de copa	P. S	Observaciones
		d (m)	LI	LS	Ht (m)	N-S (m)	E-O (m)								

Donde:

d: Distancia de evaluación entre el evaluador y el árbol.

LI: Lectura inferior.

LS: Lectura superior.

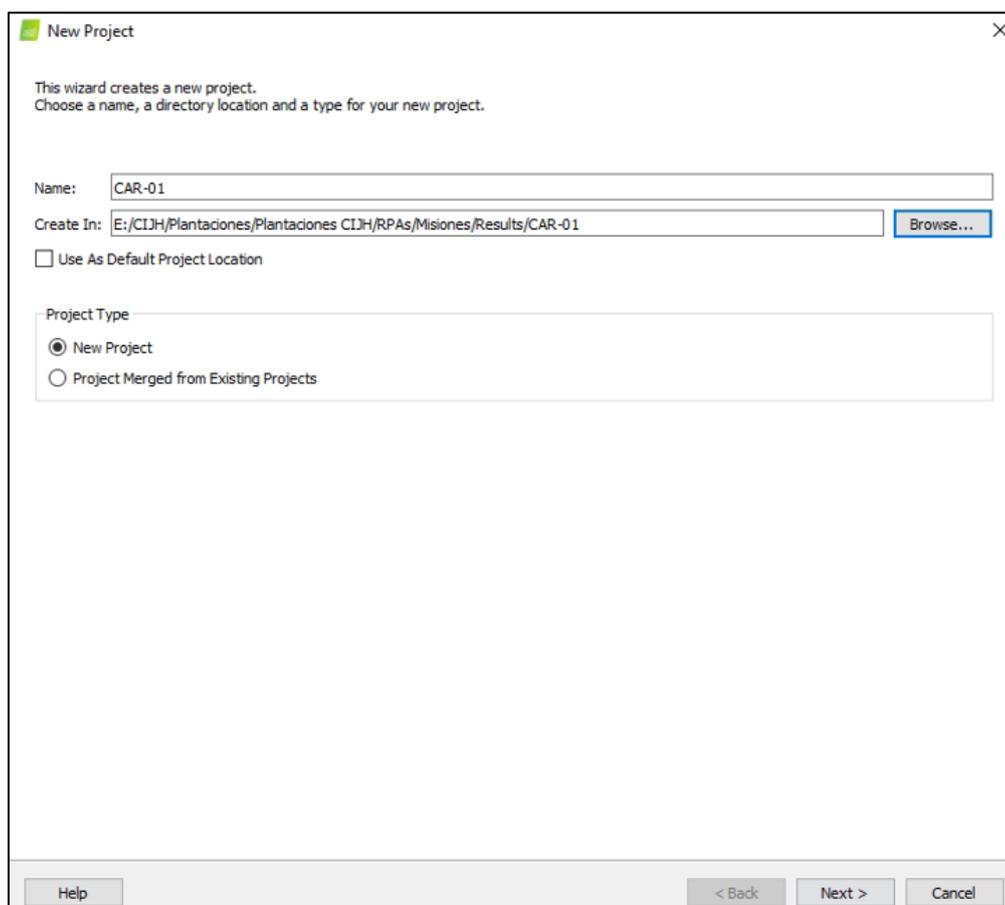
Ht: Altura total.

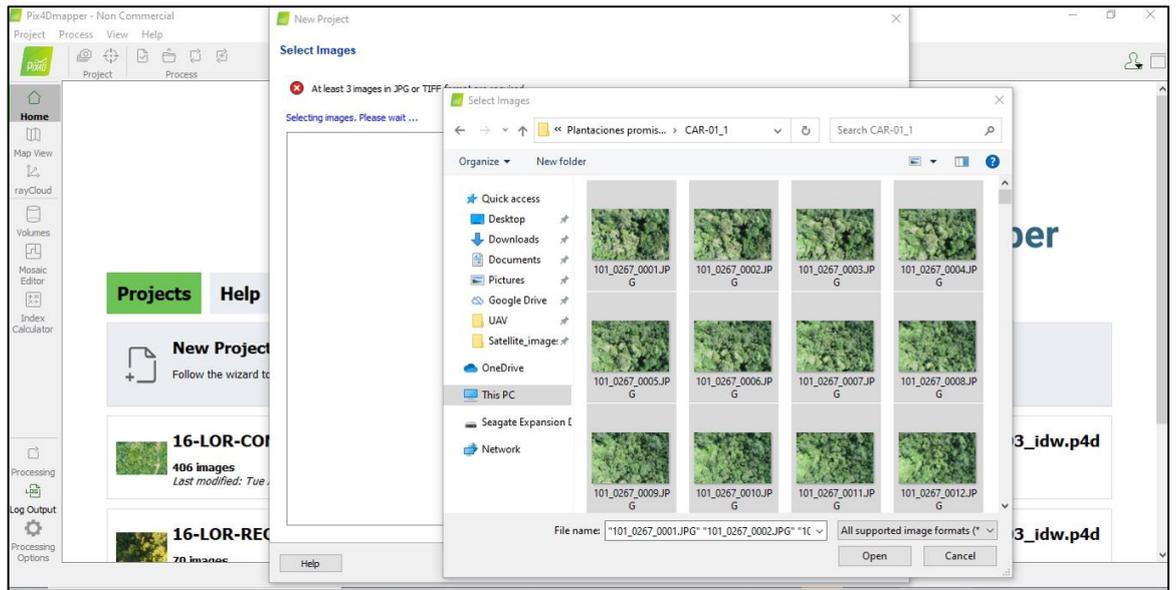
dpc: Diámetro promedio de copa.

ANEXO 3 PASOS PARA EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DEL PH4 PARA EL MAPEO DE LAS PLANTACIONES EVALUADAS EN EL PRESENTE ESTUDIO EN PIX4DMAPPER PRO (GENERACIÓN DE ORTOMOSAICOS Y DEMS)

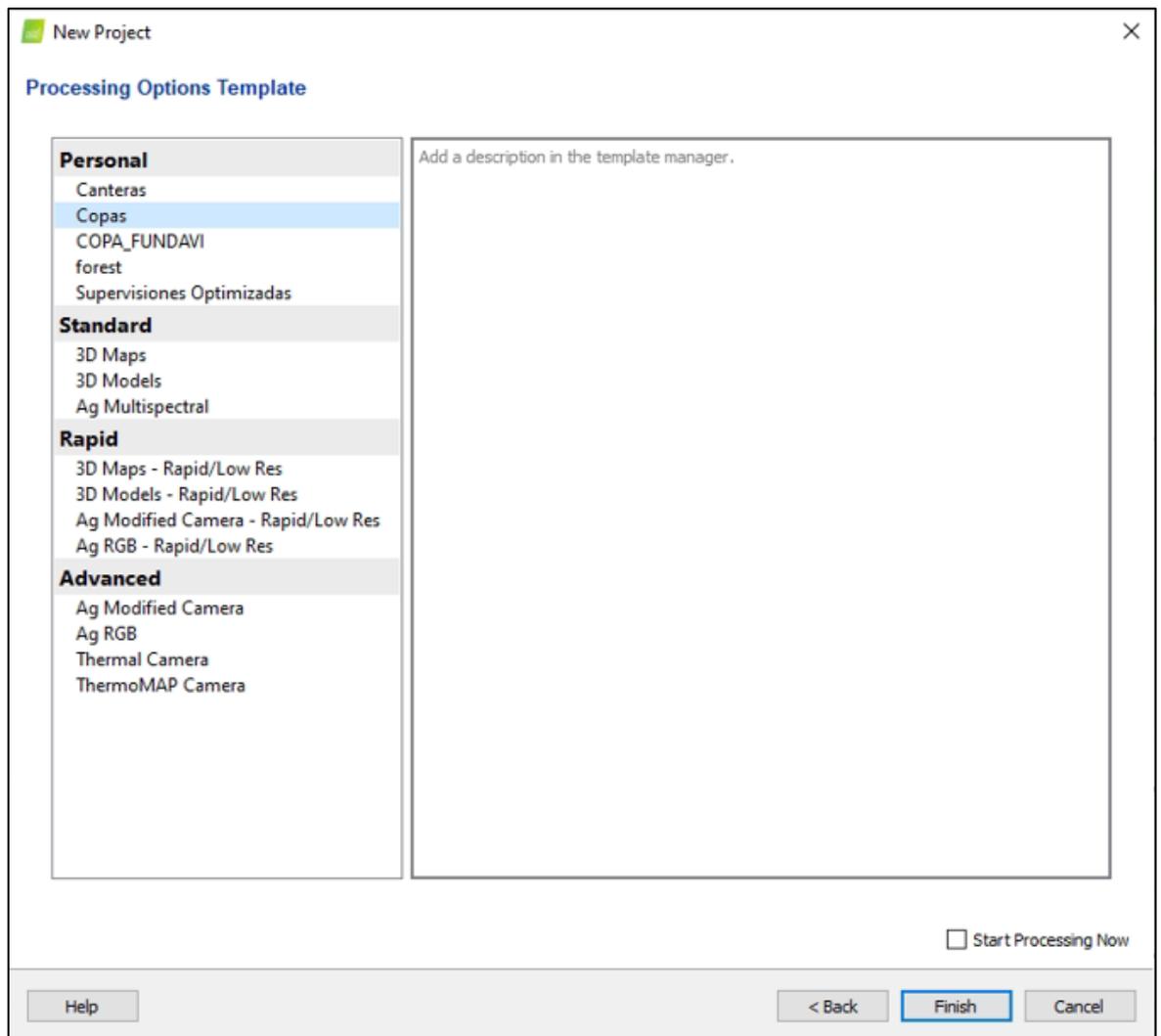
El presente Manual se basa en el procedimiento establecido en el “Manual de procesamiento de imágenes del PH4 para el mapeo de vegetación en Pix4Dmapper Pro (Generación de ortomosaicos y DSMs)” elaborado por Tagle *et al.* (2019).

1. La creación del proyecto, selección de imágenes, configuración del sistema de coordenadas y selección del modelo de cámara se realizó de la misma manera que en el Manual elaborado por Tagle *et al.* 2019.





2. Se creó la carpeta “Copas” para el procesamiento de las imágenes.

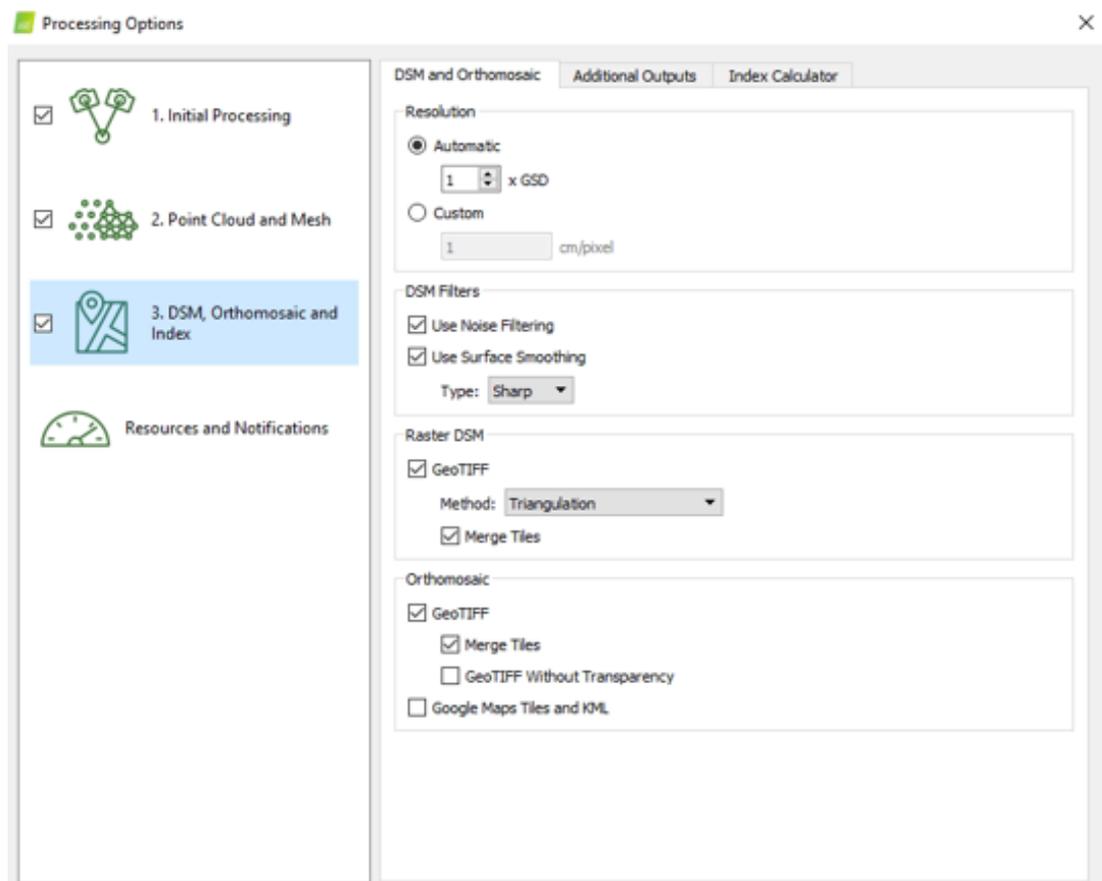


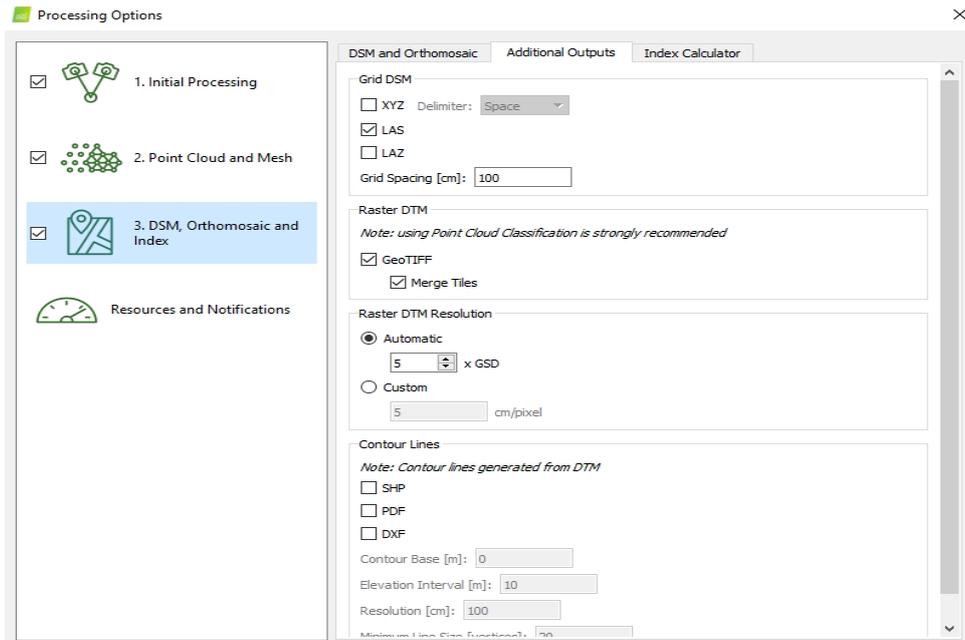
3. A continuación, se explica las configuraciones que se realizaron en “Processing options”:

El Procesamiento inicial y la Nube de punto y red se realizó utilizando los mismos parámetros de Tagle *et al.* (2019).

En DSM, ortomosaico e índice, para la categoría “DSM and Orthomosaic” se utilizó el método de interpolación por Triangulación, ya que se recomienda en el caso de vegetación más densa.

Para la categoría “Additional Outputs”, en el caso de la opción “Grid DSM” se selecciono LAS en caso se requiera editar la nube de puntos, se seleccionó el formato para exportar el DTM y se dejó por defecto la resolución del mismo.





4. Finalmente se terminó de realizar las configuraciones para proceder con el procesamiento seleccionando la opción “Start”.



*Cabe resaltar que aquellos pasos que no han sido mencionados en este documento se pueden encontrar en https://www.researchgate.net/publication/339028663_Manual_del_procesamiento_de_imagenes_del_PH4_para_el_mapeo_de_vegetacion_en_Pix4Dmapper_Pro_Generacion_de_ortomosaicos_y_DSMs/link/5e397b4e299bf1cdb90e15a8/download

ANEXO 4 SCRIPT DE LA FUNCIÓN UTILIZADA PARA LA REDUCCIÓN DE LA RESOLUCIÓN DEL MOSAICO Y DSM

```
#####REDUCE_RES: FUNCTION TO REDUCE THE RESOLUTION OF THE  
MOSAIC#####  
#'  
#' @param image raster (High resolution UAV mosaic)  
#'  
#' @param size cell size in meters, by default it will be 0,05 m (5 cm)  
#'  
#'  
#' @return 5 cm resolution raster  
  
library(raster)  
  
ReduceRes<-function(mosaico, size=0.05){  
  
  resolution=res(mosaico) #Extracts the image resolution  
  
  scale=size/resolution  
  scale=scale[1]  
  
  ResImg<-aggregate(mosaico, fact=scale)  
  
  ResImg  
}
```

ANEXO 5 SCRIPT UTILIZADO PARA EL CÁLCULO DEL MODELO DE ALTURAS (CHM)

```
###SET WDIR
```

```
setwd("D:/SILVANA/Tesis/Procesamiento Tesis/CED02/")
```

```
###LOAD LIBRARIES
```

```
library(sp)
```

```
library(raster)
```

```
library(rgeos)
```

```
library(ggplot2)
```

```
library(sf)
```

```
library(sp)
```

```
library(snow)
```

```
library(rgdal)
```

```
library(maptools)
```

```
#install.packages("")
```

```
library(installr)
```

```
#####LOAD IMAGE
```

```
mosaico<-"CED-02_1res.tif"
```

```
mosaico<-stack(mosaico)
```

```
plotRGB(mosaico)
```

```
#####LOAD DSM
```

```
DSM<-raster("CED-02_1_dsmres.tif")
```

```
plot(DSM)
```

```
#####LOAD DTM
```

```
DTM<-raster("CED-02_1_dtmres.tif")
```

```
plot(DTM)
```

```
#Compare both to see if they have the same extent, resolution..
```

```
compareRaster(mosaico,DSM,extent=T, rowcol=T, crs=T, res=T, orig=T, rotation=T)
```

```
compareRaster(mosaico,DTM,extent=T, rowcol=T, crs=T, res=T, orig=T, rotation=T)
```

```
compareRaster(DSM,DTM,extent=T, rowcol=T, crs=T, res=T, orig=T, rotation=T)
```

```
#if the extent or resolution are different
```

```
DTM<-projectRaster(DTM,mosaico) #align
```

```
DSM<-projectRaster(DSM,DTM)
```

```
plot(DTM)
```

```
summary(DTM)
```

```
plot(DSM)
```

```
plot(mosaico)
```

```
writeRaster(DTM, "CED-02_1_DTM.tif", format="GTiff",overwrite=TRUE)
```

```
writeRaster(DSM, "CED-02_1_DSM.tif", format="GTiff",overwrite=TRUE)
```

```
#Remove the elevation
```

```
CH<- DSM-DTM
```

```
plot(CH)
```

```
writeRaster(CH, "CED-02_1_CHM.tif", format="GTiff",overwrite=TRUE)
```

ANEXO 6 SCRIPT PARA REALIZAR LA SEGMENTACIÓN DE COPAS

```
#####IMAGE
SEGMENTATION#####
#
#
#This script segments an image to perform an object-based classification (OBIA)
#Any questions or improvements can be emailed to Ximena Tagle: xtagle@iiap.gob.pe
#
#
###SET WD
#setwd("/home/xtagle/UAV/Results/JEN14") #Linux Manati
setwd("D:/SILVANA/Tesis/Procesamiento Tesis/CED02/") #Windows Xime Pc

###LOAD LIBRARIES
library(raster)
library(rgeos)
library(rgdal)
library(rgrass7)
#library(RCurl)
library(sf)

###LOAD FUNCTIONS
#local
source("../lib/load.to.grass.R")
source("../lib/make.group.grass.R")
source("../lib/segmentation.grass.R")

#from Github
#script1<-getURL("https://raw.githubusercontent.com/xime377/UAV-
classification/master/load.to.grass.R", ssl.verifypeer = F)
#eval(parse(text = script1))

####LOAD IMAGE
```

```

image.path="CED-02_1res.tif"
image=stack(image.path)
#plotRGB(image)

####LOAD CH
CH.path="CED-02_1_CHM.tif"
CH<-raster(CH.path)
#plotRGB(CH)

###INITIATE GRASS-R CONNECTION
initGRASS("C:/Program Files/GRASS GIS 7.8", tempdir(), override=TRUE) #path to
GRASS windows PC
#initGRASS("/opt/shared/grass-7.2.2/grass-7.2.2", home = tempdir(), gisDbase = tempdir(),
location = "xtagle(tempfile())", mapset = "user1(tempfile())", override = TRUE) #path to
GRASS Linux cluster

#REMOVE TEMPORARY FILES
#execGRASS("g.remove", flags = "f")

###LOAD IMAGE AND VECTOR TO GRASS
load.to.grass(image.path,"RGB")
load.to.grass(CH.path,"CH")

#SET REGION PARAMETER TO MATCH RGB
execGRASS("g.region", parameters= list(raster="CH"))*
execGRASS("g.region", parameters= list(raster="RGB.1"))*
#execGRASS("g.region", parameters= list(raster="RGB.red")) #depends on the assigned
name when loading the image
execGRASS("g.region",flags="p") #check

```

```

#MAKE GROUP (needed for segmentation)

#make.group.grass(c("RGB.red","RGB.green","RGB.blue"),"group-1") #depends on the
assigned name when loading the image

#make.group.grass(c("RGB.1", "RGB.2","RGB.3"),"group-1")

#make.group.grass("CH","singleband") #only CH *

make.group.grass(c("RGB.1","RGB.2","RGB.3", "CH"),"group-1") #combine RGB+CH

##PERFORM SEGMENTATION

segments<-segmentation.grass(group="group-1",ext=NA,min.size=4000,threshold=0.05)
#min.size: grouping of pixels, threshold: similarity, higher values bigger segments

#segments<-segmentation.grass(group="singleband",ext=NA,min.size=50,threshold=0.05)
#min.size: grouping of pixels, threshold: similarity, higher values bigger segments

#Visualize

#plotRGB(image)

#plot(segments$segments_v,add=T)

##EXPORT SEGMENTS

execGRASS("r.out.gdal", parameters=list(input="segments_r", output="segments_CED-
02_1_tr_CHRGB_4000005.tif", type="Float64"))

execGRASS("v.out.ogr", parameters=list(input="segments_v", type="area",
output="segments_CED_02_1_tr_CHRGB_4000005.gpkg"))

#END CONNECTION

unlink._gislock()

```

ANEXO 7 SCRIPT PARA EL CÁLCULO DE LAS ESTADÍSTICAS DE LA ALTURA TOTAL Y VIGOR

```
#####TEXTURE
EXTRACTION#####

#

#

#This script extracts textural information from each segment from the image to add more
information for the OBIA

#Any questions or improvements can be emailed to Ximena Tagle: xtagle@iiap.gob.pe

#

#

###SET WD

#setwd("/home/xtagle/UAV/Results/") #Linux Manati
setwd("D:/SILVANA/Tesis/Procesamiento Tesis/CED02/")
#setwd("D:/TESIS")

###LOAD LIBRARIES

library(raster)
library(rgeos)
library(rgrass7)
library(RCurl)
library(sf)
library(Hmisc)
library(rgdal)
library(sp)

####LOAD CH

CH.path="CED-02_1_CHres_mod.tif"
CH=raster(CH.path)
CH
#plot(CH)
```

```

###LOAD NGRDI
NGRDI.path="NGRDImod_CED02.tif"
NGRDI<-raster(NGRDI.path)
NGRDI
plot(NGRDI)

####LOAD SEGMENTS
segment_r.path=("s.ubicados_CED02.tif")
segments_r=raster(segment_r.path)
#plot(segments_r, add=T)
segments_r
summary(segments_r)

###Compare both to see if they have the same extent, resolution..
compareRaster(CH,segments_r,extent=T, rowcol=T, crs=T, res=T, orig=T, rotation=T)
compareRaster(CH, NGRDI, extent=T, rowcol=T, crs=T, res=T, orig=T, rotation=T)
compareRaster(NGRDI, segments_r, extent=T, rowcol=T, crs=T, res=T, orig=T,
rotation=T)

#if the extent or resolution are different
CH<-projectRaster(CH,segments_r)
NGRDI<-projectRaster(NGRDI,segments_r)

###CALCULATE STATS FOR HEIGHT
#Mean
CHmean=data.frame(zonal(CH,segments_r, fun='mean', na.rm=TRUE))
##Convert matrix to raster
CHmeanR=subs(segments_r,CHmean,by="zone")
plot(CHmeanR)

```

```

writeRaster(CHmeanR, "CED-02_1_CHmean.tif", format="GTiff",overwrite=TRUE)

#Max
CHmax=data.frame(zonal(CH,segments_r, fun='max', na.rm=TRUE))
##Convert matrix to raster
CHmaxR=subs(segments_r,CHmax,by="zone")
plot(CHmaxR)

writeRaster(CHmaxR, "CED-02_1_CHmax.tif", format="GTiff",overwrite=TRUE)

#Median
CHmedian=data.frame(zonal(CH,segments_r, fun='median', na.rm=TRUE))
##Convert matrix to raster
CHmedianR=subs(segments_r,CHmedian,by="zone")
plot(CHmedianR)

writeRaster(CHmedianR, "CED-02_1_CHmedian.tif", format="GTiff",overwrite=TRUE)

#Min
CHmin=data.frame(zonal(CH,segments_r, fun='min', na.rm=TRUE))
##Convert matrix to raster
CHminR=subs(segments_r,CHmin,by="zone")
plot(CHminR)

writeRaster(CHminR, "CED-02_1_CHmin.tif", format="GTiff",overwrite=TRUE)

#sd
CHsd=data.frame(zonal(CH,segments_r, fun='sd', na.rm=TRUE))
##Convert matrix to raster
CHsdR=subs(segments_r,CHsd,by="zone")
plot(CHsdR)

```

```

writeRaster(CHsdR, "CED-02_1_CHsd.tif", format="GTiff",overwrite=TRUE)

###CALCULATE STATS FOR NGRDI
#Mean
NGRDImean=data.frame(zonal(NGRDI,segments_r, fun='mean', na.rm=TRUE))
##Convert matrix to raster
NGRDImeanR=subs(segments_r,NGRDImean,by="zone")
plot(NGRDImeanR)

writeRaster(NGRDImeanR,"CED-02_1_NGRDImean.tif",
format="GTiff",overwrite=TRUE)

#Max
NGRDImax=data.frame(zonal(NGRDI,segments_r, fun='max', na.rm=TRUE))
##Convert matrix to raster
NGRDImaxR=subs(segments_r,NGRDImax,by="zone")
plot(NGRDImaxR)

writeRaster(NGRDImaxR,"CED-02_1_NGRDImax.tif",
format="GTiff",overwrite=TRUE)

#Median
NGRDImedian=data.frame(zonal(NGRDI,segments_r, fun='median', na.rm=TRUE))
##Convert matrix to raster
NGRDImedianR=subs(segments_r,NGRDImedian,by="zone")
plot(NGRDImedianR)

writeRaster(NGRDImedianR,"CED-02_1_NGRDImedian.tif",
format="GTiff",overwrite=TRUE)

```

```
#Min
NGRDImin=data.frame(zonal(NGRDI,segments_r, fun='min', na.rm=TRUE))
##Convert matrix to raster
NGRDIminR=subs(segments_r,NGRDImin,by="zone")
plot(NGRDIminR)

writeRaster(NGRDIminR,"CED-02_1_NGRDImin.tif", format="GTiff",overwrite=TRUE)

#sd
NGRDIsd=data.frame(zonal(NGRDI,segments_r, fun='sd', na.rm=TRUE))
##Convert matrix to raster
NGRDIsdR=subs(segments_r,NGRDIsd,by="zone")
plot(NGRDIsdR)

writeRaster(NGRDIsdR, "CED-02_1_NGRDIsd.tif", format="GTiff",overwrite=TRUE)
```

ANEXO 8 SCRIPT UTILIZADO PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN NGRDI

```
## Calcular el Índice de vegetación NGRDI

library(raster)

library(sp)

setwd("D:/SILVANA/Tesis/Procesamiento Tesis/CED02/")

mosaico <- "CED-02_1.tif"

image <- stack(mosaico)

plot(image)

NGRDI_prueba <- (image[[2]]-image[[1]])/(image[[2]]+image[[1]])

plot(NGRDI_prueba)

writeRaster(NGRDI_prueba, "NGRDI_prueba.tif", format="GTiff", overwrite=TRUE)

mosaico_NGRDI <- "NGRDI_CED02res.tif"

image <- raster(mosaico_NGRDI)

plot(image)

image[image<0]=0

summary(image)
```

ANEXO 9 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE DESPEGUE/ATERRIZAJE



ANEXO 10 GEORREFERENCIACIÓN DE INDIVIDUOS



ANEXO 11 REGISTRO DE MISIONES (LOGBOOK)

N° de vuelo	Fecha	Hora	Piloto	Copiloto	Nombre de la misión	Condiciones del viento	Condiciones de Iluminación	ID Bateria	Bat. del RPA (%)				Bat. del RC (%)		Altura de vuelo (AGL m)	Ángulo de cámara (°)
	dd/mm/yy	hh:mm:ss	Iniciales	Iniciales					#	V0	V1	V2	V3	V1		
447	11/10/19	8:44		LR	SIM-02_1	C	N	9	99	93	30	21	95	83	90	90
453	14/10/19	9:11	SD	NS	CED-02_1	C	N	3	100	93	29	19	98	86	90	90
464	15/10/19	10:46		NS	CAR-02_1	M	PN	3	99	94	30	21	52	45	90	90

C: Calmado, M: Moderado, F: Fuerte, N: Nublado, PN: Parcialmente nublado y D: Despejado.

**ANEXO 12 DIÁMETRO DE COPA CALCULADO UTILIZANDO UN
CÍRCULO O POLÍGONO CONVEXO CIRCUNSCRITO A LA COPA DE LOS
ÁRBOLES VS DIÁMETRO PROMEDIO DE COPA OBTENIDO EN CAMPO**

N° de individuo	RPA				Campo (m)
	Círculo Diámetro (m)	Polígono convexo (convex_hull)		Promedio (m)	
		Diámetro 1 (m) (MBG-width)	Diámetro 2 (m) (Length)		
10	10,87	9,24	10,80	10,02	9,05
13	16,36	11,48	16,26	13,87	11,50
19	12,89	10,40	12,35	11,37	10,70
28	11,17	7,84	11,17	9,50	7,95
31	7,70	6,50	7,37	6,94	7,75
42	6,26	5,28	6,20	5,74	6,50
51	10,19	7,74	9,98	8,86	7,60
89	9,37	7,40	9,37	8,39	7,25
91	9,01	5,99	9,01	7,50	7,35
98	8,16	5,21	8,08	6,64	7,15
106	8,08	7,07	8,07	7,57	7,25
144	9,48	7,90	9,45	8,67	7,55
147	8,77	5,94	8,77	7,35	5,85
148	7,33	6,11	7,33	6,72	5,10
167	7,81	4,03	7,80	5,91	4,50
168	9,86	7,48	9,81	8,64	7,70
169	7,06	5,60	7,05	6,32	5,50
201	4,08	3,51	4,02	3,76	2,60
235	9,78	6,93	9,78	8,35	7,75
236	7,27	5,92	7,21	6,56	6,10

**ANEXO 13 PROMEDIO DE LA ALTURA TOTAL DE LOS ÁRBOLES
HALLADOS MEDIANTE RPA Y EN CAMPO PARA *C. cateniformis***

N° de individuo	Promedio de Altura total (m)	Altura total campo (m)
10	29,3	35,5
13	33,8	31,0
19	33,3	33,0
28	30,2	28,0
31	32,9	29,0
42	25,9	32,5
51	29,6	28,8
89	28,8	28,0
91	30,0	32,5
98	31,8	30,3
106	30,6	29,0
144	31,8	27,0
147	28,4	26,5
148	27,9	26,0
167	30,9	29,0
168	32,1	27,5
169	30,4	26,5
201	28,2	25,3
235	28,6	29,5
236	28,8	14,8

**ANEXO 14 DAP ESTIMADO (CM) UTILIZANDO EL DIÁMETRO DE COPA
PROMEDIO (M) OBTENIDO MEDIANTE RPAS PARA *C. cateniformis***

N° individuo	Diámetro de copa promedio (m)	dap estimado (cm)	dap campo (cm)
10	10,0	49,6	49,5
13	13,9	62,7	56,6
19	11,4	54,2	56,7
28	9,5	47,9	42,9
31	6,9	39,1	38,9
42	5,7	35,1	40,2
51	8,9	45,7	42,7
89	8,4	44,1	37,6
91	7,5	41,1	44,1
98	6,6	38,2	40,4
106	7,6	41,3	42,8
144	8,7	45,0	37,8
147	7,4	40,6	36,8
148	6,7	38,4	36,1
167	5,9	35,7	34,3
168	8,6	44,9	44,4
169	6,3	37,1	43
201	3,8	28,4	39,3
235	8,4	44,0	48,1
236	6,6	37,9	40,1

ANEXO 15 SELECCIÓN DE ÁRBOLES CANDIDATOS O PLUS DE *C. cateniformis* (CAMPO)

N° individuo	Calidad de fuste	Altura de bifurcación	Posición sociológica	Iluminación de copa	Diámetro promedio de copa	Forma de copa	Vigor
1	4	4	2	4	3	6	2
4	3	4	2	4	2	6	2
19	4	4	3	5	3	5	2
26	3	4	2	4	2	6	2
30	4	4	2	4	2	6	2
42	3	4	3	5	2	5	2
87	3	4	3	5	2	6	2
91	3	4	3	5	2	5	2
92	4	4	2	5	2	5	2
97	4	4	3	5	2	6	2
103	3	4	2	4	2	6	2
104	3	4	2	4	2	6	2
148	3	4	3	5	2	6	2
168	4	4	3	5	2	6	2
182	3	4	2	4	2	6	2
192	4	4	3	5	2	6	2
199	4	4	2	4	2	6	2
203	3	4	2	4	2	5	2
215	4	4	3	5	3	6	2
222	3	4	3	5	2	5	2
235	3	4	3	5	2	6	2

ANEXO 16 SELECCIÓN DE CANDIDATOS O PLUS DE *C. cateniformis* (RPAS)

N° de individuo	Posición sociológica	Iluminación de copa	Diámetro promedio de copa	Forma de copa	Vigor
10	3	5	3	6	4
13	3	5	3	5	4
19	3	5	3	6	4
28	3	5	2	5	4
31	3	5	2	6	4
42	3	5	2	6	3
51	3	5	2	6	3
89	3	5	2	5	3
91	3	5	2	5	3
98	3	5	2	5	3
106	3	5	2	6	4
144	3	5	2	6	4
147	3	5	2	6	4
148	3	5	2	5	4
167	3	5	2	5	4
168	3	5	2	5	4
169	3	5	2	6	4
235	3	5	2	6	3
236	3	5	2	5	4

**ANEXO 17 SELECCIÓN DE ÁRBOLES SEMILLEROS DE *C. Cateniformis*
(CAMPO)**

N° individuo	Calidad de fuste	Altura de bifurcación	Posición sociológica	Iluminación de copa	Diámetro promedio de copa	Forma de copa	Estado fitosanitario	dap	Altura total
1	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 28,5
4	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 26,8
19	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
26	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 29,3
30	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 29,7
42	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
87	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
91	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
92	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, dap < 37,3	Si
97	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
103	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
104	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
148	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 27,5
168	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 31,1
182	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 29,7
192	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 28,2
199	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, dap < 39,5	No, ht < 27,6
203	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	si	No, ht < 27
215	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	si	Si
222	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	si	Si
235	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	si	Si

**ANEXO 18 SELECCIÓN DE ÁRBOLES SEMILLEROS DE *C. cateniformis*
(RPAS)**

N° de individuo	Posición sociológica	Iluminación de copa	Diámetro promedio de copa	Forma de copa	Vigor	dap	Altura total
10	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
13	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
19	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
28	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
31	Si	Si	Si	Si	Si	No, dap < 42,4	No, ht < 31,8
42	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
51	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 31,3
89	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 28,2
91	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
98	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
106	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 30,9
144	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 30,6
147	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 28,3
148	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 27,5
167	Si	Si	Si	Si	Si	No, dap < 37,4	Si
168	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 31,1
169	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No, ht < 29,1
235	Si	Si	Si	Si	Si	si	Si
236	Si	Si	Si	Si	Si	si	No, ht < 26,1