

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“EVALUACIÓN DEL VIGOR DE ÁRBOLES APLICANDO ÍNDICES DE
VEGETACIÓN A IMÁGENES CAPTADAS REMOTAMENTE EN LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

MARÍA LUCÍA BRYSON CABRERA

LIMA - PERÚ

2023

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación

(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)

TESIS_Maria_Lucia_Bryson

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.dendroimage.de

Fuente de Internet

<1%

2

cdn.www.gob.pe

Fuente de Internet

<1%

3

maps.b33franch.net

Fuente de Internet

<1%

4

dergipark.org.tr

Fuente de Internet

<1%

5

www.samhao.nl

Fuente de Internet

<1%

6

www.revistas.una.ac.cr

Fuente de Internet

<1%

7

1library.co

Fuente de Internet

<1%

8

link.springer.com

Fuente de Internet

<1%

9

gamow.ist.utl.pt

Fuente de Internet

<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**“EVALUACIÓN DEL VIGOR DE ÁRBOLES APLICANDO ÍNDICES
DE VEGETACIÓN A IMÁGENES CAPTADAS REMOTAMENTE EN
LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

MARÍA LUCÍA BRYSON CABRERA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Ethel Rubin de Celis Llanos, Dra.
Presidenta

Ing. Juan Carlos Ocaña Canales, Mg.Sc.
Miembro

Ing. Roxana Guillén Quispe, Mg.Sc.
Miembro

. Víctor Manuel Barrena Arroyo, M.Sc.
Asesor

DEDICATORIA

A Dios.

A Aliciel, quien es la personita más valiosa en mi vida, por ser la razón de mis recuerdos más hermosos, y mi inspiración y fortaleza en mis momentos de flaqueza.

A mis padres José y Rosanna, por ser la representación de la nobleza y perseverancia en mi vida, por su apoyo y consejo incondicional.

A mi hermana Almendra, por ser la voz de la razón en la familia.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor el Ing. Víctor Barrena Arroyo, por su mentoría profesional y acertadas observaciones para presentar una buena investigación.

Al técnico Johnny Huamaní y la profesora Roxana Guillén, por su sincera amistad y por alentarme a culminar este arduo proceso para mi crecimiento profesional.

A Christian Clemente y Jaira Cajahuaringa por su ayuda en el trabajo de campo.

A mi hija Aliciel, por cada detallito suyo con la intención de darme fuerzas para terminar mi tesis. A mi madre Rosanna Cabrera por empujarme a no rendirme y a mi padre José Bryson, por su preocupación en mis traspasadas de trabajo. A mi hermana Almendra por sus consejos en la redacción de este documento. A mis tías Mayi y Patty por sus palabras de ánimo. A Rainer por ser un gran apoyo moral y ayudarme a tener más tiempo disponible para el desarrollo de esta investigación.

A todos mis amigos y colegas que con sus consejos me motivaron a cumplir este objetivo.

A la empresa Consultores Asociados en Naturaleza y Desarrollo SAC, por introducirme en el mundo de los RPA y permitirme formarme como piloto profesional de RPA, por la experiencia adquirida con ellos en el ámbito del SIG y la teledetección y por facilitar RPAs como el Phantom 3 y Matrice 600 Pro para vuelos tanto exploratorios como de prueba para la presente tesis.

A la empresa Drone Dreams Perú SAC, por poner a disposición el RPA Phantom 4 Multiespectral que permitió el desarrollo de la presente tesis.

Al Laboratorio de Teledetección Aplicada y SIG de la Facultad de Ciencias Forestales, por facilitarme las computadoras y softwares necesarios para el procesamiento de imágenes RPA, y por brindarme las herramientas necesarias para el inventario forestal en campo. Al técnico Daza del Herbario forestal por la ayuda en el reconocimiento de algunas especies forestales.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. El vigor en cobertura arbórea.	3
2.1.1. Clasificación de vigor.....	3
2.2. Sensoramiento Remoto.....	4
2.2.1. Fotogrametría.	4
2.2.2. Teledetección.	4
2.2.3. Sensoramiento remoto en el ámbito forestal.	4
2.2.4. Sistemas de Información Geográfica - SIG.....	4
2.3. Espectro electromagnético.....	5
2.3.1. Espectro visible	5
A. Banda Azul.	5
B. Banda Verde.	5
C. Banda Roja.	5
D. Microondas.....	6
2.3.2. Espectro infrarrojo.....	6
A. Infrarrojo cercano.	6
B. Infrarrojo medio.....	6
C. Infrarrojo térmico.	6
2.4. Tipos de sensores y su aplicación en el ámbito forestal.	7
2.4.1. Sensores ópticos.	7
2.4.2. Sensores multiespectrales.....	7
2.4.3. Sensores térmicos.....	7
2.5. Índices de vegetación.....	7

2.5.1.	Comportamiento de la vegetación en el espectro electromagnético.	8
2.5.2.	Índice de vegetación con sensor infrarrojo.	9
A.	NDVI. Normalized Difference Vegetation Index.....	9
2.5.3.	Índice de vegetación con sensor óptico.....	10
A.	NGRDI. Normalized Green Red Difference Index.	10
B.	RG. Red Green Index.	10
C.	TGI. Triangular Greenness Index.....	11
D.	VARI. Atmospherically Resistant Vegetation Index.	11
E.	vNDVI. Visual Normalized Difference Vegetation Index.	12
F.	GLI. Green Leaf Index.	12
2.5.4.	Uso de índices de vegetación para el estudio del vigor arbóreo.	13
2.6.	RPA (Remotly Piloted Aircraft).....	13
2.6.1.	Tipos de RPA.	13
A.	Ala rotatoria.....	13
B.	Ala fija.....	14
C.	Híbrido.....	15
2.6.2.	Ventajas y desventajas en el empleo de RPA.	15
2.6.3.	RPA Phantom 4 Multiespectral.....	16
2.7.	Programas para el uso de un RPA.	17
2.7.1.	GS PRO.....	18
2.7.2.	PIX4D <i>Mapper</i>	18
2.8.	Procesamiento de información obtenida con tecnología RPA.	20
2.8.1.	Sensoramiento remoto con tecnología RPA.....	20
2.8.2.	Clasificación supervisada mediante el algoritmo <i>Random Forest</i>	20
A.	Profundidad Máxima del árbol clasificador.	21
B.	Número Máximo de árboles en el bosque.	21
2.9.	Exactitud y/o confiabilidad temática.	22

2.9.1.	Matriz de Confusión.....	23
2.9.2.	Índice de Kappa.....	23
2.10.	Estudios realizados con RPA en el Perú.	24
III.	METODOLOGÍA.....	26
3.1.	Área de estudio.	26
3.1.1.	Ubicación.	26
3.1.2.	Caracterización del área.	27
3.1.3.	Zonas de evaluación.....	27
A.	Vegetación arbórea densa.....	27
B.	Vegetación arbórea dispersa.....	29
3.2.	Materiales y equipos.....	30
3.2.1.	Materiales.....	30
3.2.2.	Equipos.....	30
3.2.3.	Softwares.....	31
3.3.	Métodos.....	32
3.3.1.	Planificación.....	32
A.	Planificación de vuelos.....	33
B.	Diseño del formato de inventario.	34
3.3.2.	Obtención de imágenes.	35
A.	Vuelos con RPA.	35
3.3.3.	Procesamiento de imágenes.	37
A.	Generación de mosaicos.	38
B.	Generación de índices de vegetación.....	39
3.3.4.	Delimitación de copas.	41
A.	Delimitación semi automática de copas arbóreas en vegetación dispersa.....	41
B.	Delimitación manual de copas arbóreas en vegetación densa.....	44
C.	Selección de muestras.....	45

3.3.5.	Evaluación de campo.	46
A.	Evaluación del árbol.	46
B.	Determinación del vigor.	47
C.	Registro fotográfico.	48
D.	Sistematización de base de datos.	48
3.3.6.	Áreas de entrenamiento.	48
A.	Asignación de vigor.	49
B.	Cálculo de estadísticos.	50
C.	Extracción de las copas de la muestra.	50
D.	Selección de copas para entrenamiento.	50
E.	Entrenamiento de clasificadores.	51
3.3.7.	Clasificación.	52
3.3.8.	Validación.	53
A.	Obtención de Matrices de confusión.	53
B.	Cálculo del Índice de Kappa.	54
C.	Selección del mejor mapa de vigor.	55
D.	Análisis de resultados.	55
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	56
4.1.	Planificación.	56
4.1.1.	Planificación de vuelos.	56
A.	Evaluación previa de las zonas de trabajo en campo.	56
B.	Generación de planes de vuelo.	57
4.2.	Obtención de imágenes.	65
4.2.1.	Vuelos con RPA.	65
4.3.	Procesamiento de imágenes.	69
4.3.1.	Generación de mosaicos.	69
A.	Adaptación de las imágenes.	69

B. Corrección geométrica.....	71
4.3.2. Obtención de índices de vegetación.....	75
A. Corrección radiométrica y cálculo de índices de vegetación.	75
4.4. Delimitación de copas.....	78
4.4.1. Delimitación semi automática de copas arbóreas en vegetación dispersa.	78
A. Superposición ráster.....	78
B. Operaciones zonales.....	79
C. Cálculo de estadísticas.....	80
D. Clasificación.....	81
4.4.2. Delimitación manual de árboles en la zona de vegetación densa.....	85
A. Superposición ráster.....	85
B. Edición manual de copas arbóreas.....	86
4.5. Evaluación de campo.....	88
4.5.1. Selección de muestras.....	88
4.5.2. Toma de datos.....	89
A. Evaluación general y determinación de vigor.....	89
B. Registro fotográfico.....	90
C. Sistematización de base de datos.....	91
4.5.3. Áreas de entrenamiento.....	91
A. Asignación de vigor.....	91
B. Cálculo de estadísticos.....	102
C. Extracción de las copas de la muestra.....	105
D. Selección de copas para entrenamiento.....	105
E. Entrenamiento de clasificadores.....	106
4.5.4. Clasificación.....	107
4.5.5. Validación.....	110
A. Obtención de Matrices de confusión.....	110

B. Cálculo del Índice de Kappa.....	112
C. Selección del mejor mapa de vigor.....	113
4.5.6. Análisis de resultados.....	120
A. Influencia de las bandas visuales en los índices de vegetación.....	120
B. Tipos de clasificadores.	121
C. El vigor en las zonas de estudio.	122
D. Valores Radiométricos de índices de vegetación.	124
E. Factores que afectan la clasificación del vigor arbóreo a nivel de copa.....	127
V. CONCLUSIONES	132
VI. RECOMENDACIONES.....	133
VII. BIBLIOGRAFÍA	134
VIII. ANEXOS	145

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Comparación entre las ventajas y desventajas del empleo de un RPA.....	16
Tabla 2: Sensores montados en el RPA Phantom 4 multiespectral	17
Tabla 3: Índices de vegetación aplicados en las zonas de evaluación	40
Tabla 4: Valoración del coeficiente Kappa.....	54
Tabla 5: Coordenadas UTM del polígono del área de vegetación arbórea densa.....	57
Tabla 6: Coordenadas UTM del polígono del área de vegetación arbórea dispersa.....	58
Tabla 7: Parámetros de vuelo para el RPA Phantom 4 Multiespectral	59
Tabla 8: Esquema de ficha de inventario para toma de datos en campo.....	60
Tabla 9: Códigos para la determinación del vigor	61
Tabla 10: <i>Check list</i> de equipos y materiales para sobrevuelo.....	66
Tabla 11: Registro de vuelos realizados con el RPA Phantom 4 Multiespectral	67
Tabla 12: TaRelación de N° imágenes/ha para las zonas de evaluación	67
Tabla 13: Datos meteorológicos de los días de sobrevuelo.....	68
Tabla 14: Claves de interpretación para la clasificación supervisada de árboles en la zona de vegetación dispersa	82
Tabla 15: Reclasificación de vigor	91
Tabla 16: Número de copas para clasificación de vigor y validación.....	105
Tabla 17: N ^a de copas para el entrenamiento de clasificadores.....	105
Tabla 18: Número de pruebas realizadas en el entrenamiento de clasificadores	106
Tabla 19: Matriz de confusión para el Mapa de Vigor de la Vegetación Densa mediante Índice de Vegetación NDVI	111
Tabla 20: Cálculo del Índice de Kappa para el Mapa de Vigor de la Vegetación Densa obtenido con el NDVI.....	112
Tabla 21: Fuerza de concordancia de mapas de vigor generados según clasificadores para la zona de vegetación densa.....	113
Tabla 22: Mapas de vigor obtenidos con cada IV con mayor índice de Kappa para la zona de vegetación densa	115
Tabla 23: Fuerza de concordancia de mapas de vigor generados según clasificadores para la zona de vegetación dispersa.....	117
Tabla 24: Mapas de vigor obtenidos con cada IV con mayor índice de Kappa para la zona	

de vegetación dispersa	119
Tabla 25: Tipos de clasificadores diseñados para la clasificación de vigor	121
Tabla 26: Clases de vigor vs valores promedios de medición obtenidos del inventario en la zona de vegetación densa.....	123
Tabla 27: Clases de vigor vs valores promedios de medición obtenidos del inventario en la zona de vegetación dispersa.....	124
Tabla 28: Valores promedio del NDVI para las clases de vigor	124
Tabla 29: Valores promedio de los índices de vegetación RGB por clase de vigor	126

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Reflectancia espectral de vegetación sana vs vegetación senescente, los componentes de las plantas que actúan sobre cada región del espectro se muestran en la parte superior de la imagen	8
Figura 2: Valores del NDVI, para dos tipos de vigores en árboles, en la parte izquierda se muestra un árbol sano, mientras que en la derecha un árbol enfermo	9
Figura 3: RPA de tipo ala rotatoria o multirrotor	14
Figura 4: RPA de ala fija Lancaster 5	15
Figura 5: Phantom 4 multiespectral	17
Figura 6: Vista del panel de control de misiones desde la aplicación DJI GS PRO.....	18
Figura 7: Parámetros de la aplicación <i>Train Vector Classifier</i> en el software Qgis 3.28.2 donde se observan los parámetros para el clasificador <i>Random Forest</i> donde a) corresponde al <i>Maximum depth of the tree</i> y b) <i>Maximum number of trees in the forest</i>	22
Figura 8: Esquema general de una matriz de confusión	23
Figura 9: Mapa del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina	26
Figura 10: Mapa de ubicación de la zona de estudio de vegetación densa.....	28
Figura 11: Vista de la zona de estudio de vegetación densa.....	28
Figura 12: Vista de la zona de estudio de vegetación dispersa.....	29
Figura 13: Vista de la zona de estudio de vegetación dispersa.....	30
Figura 14: Orden de actividades metodológicas	32
Figura 15: Flujograma de la etapa de planificación.....	33
Figura 16: Flujograma para la obtención de imágenes	35
Figura 17: Flujograma para el procesamiento de imágenes	37
Figura 18: Configuración de pasos en PIX4D	38
Figura 19: Configuración de pasos para obtención de índices de vegetación en PIX4D ...	41
Figura 20: Flujograma de delimitación semi automática de copas vegetación dispersa	42
Figura 21: Flujograma para la evaluación en campo	45
Figura 22: Medición del dap del árbol sin bifurcación (a.) y del árbol bifurcado (b.)	46
Figura 23: Medida de altura total del árbol con hipsómetro	47
Figura 24: Flujograma de obtención de áreas de entrenamiento	49

Figura 25: Flujograma de clasificación de vigor	52
Figura 26: Flujograma de validación de mapas	53
Figura 27: Identificación de obstáculos en la zona de vegetación densa.....	56
Figura 28: Captura de pantalla de plan de vuelo para el área de vegetación arbórea densa con el RPA Phantom 4 Advance Multiespectral	58
Figura 29: Captura de pantalla de plan de vuelo para el área de vegetación arbórea dispersa con el RPA Phantom 4 Advance Multiespectral para el año 2022.....	59
Figura 30: Claves de identificación para rangos de porcentaje de defoliación para la vegetación densa.....	63
Figura 31: Claves de identificación para rangos de porcentaje de defoliación para la vegetación dispersa.....	64
Figura 32: Claves de identificación para niveles de severidad de agente de daño en la copa donde severo y moderado es provocado por agente biótico y leve por otro agente que se evidencia con clorosis en algunas hojas.....	65
Figura 33: Calculadora de desplazamiento vertical de píxeles.....	69
Figura 34: Comparación de los Ortomosaicos obtenidos mediante procesamiento por defecto y procesamiento con <i>Linear Roller Shutter</i>	70
Figura 35: Captura de pantalla del Paso 1 en PIX4D Mapper – Parámetros generales	71
Figura 36: Configuración del Paso 2 en PIX4D Mapper - Nube de puntos.....	72
Figura 37: Configuración del Paso 3 en PIX4D Mapper – DSM y Ortomosaico	72
Figura 38: Ortomosaico RGB de la zona de vegetación densa.....	73
Figura 39: Modelo Digital de Superficie - DSM de la zona de vegetación densa.....	73
Figura 40: Ortomosaico RGB de la zona de vegetación dispersa.....	74
Figura 41: Modelo de Elevación Digital - DSM de la zona de vegetación dispersa	74
Figura 42: Configuración del Paso 3 en PIX4D Mapper – Corrección radiométrica.....	75
Figura 43: Mosaicos de índices de vegetación resultantes para la zona de vegetación densa	76
Figura 44: Mosaicos de índices de vegetación resultantes para la zona de vegetación dispersa	77
Figura 45: Composición de información ráster con las bandas DSM + NDVI + Ortomosaico RGB para el área de vegetación dispersa.....	78
Figura 46: Segmentación y vectorización de la información de la zona de vegetación dispersa	79
Figura 47: Comparación visual de los valores radiométricos de mosaicos resultantes de la	

vegetación dispersa.....	81
Figura 48: Clasificación supervisada de copas arbóreas en la zona de vegetación dispersa	82
Figura 49: Delimitación de copas arbóreas mediante clasificación supervisada.....	83
Figura 50: Corrección de la delimitación automática de copas arbóreas en la zona de vegetación dispersa.....	84
Figura 51: Mapa de copas arbóreas delimitadas en la zona de evaluación de vegetación dispersa	85
Figura 52: Segmentación de las bandas unificadas DSM, el NDVI y Ortomosaico RGB, de la zona de vegetación densa.....	86
Figura 53: Vista de archivos ráster para la delimitación de árboles de estrato vertical superior en la zona de vegetación arbórea densa.....	87
Figura 54: Vista de mosaicos para la delimitación de árboles de estrato vertical inferior en la zona de vegetación arbórea densa.....	87
Figura 55: Árboles a muestrear en la zona de vegetación densa	88
Figura 56: Árboles a muestrear en la zona de vegetación dispersa	89
Figura 57: Toma de datos con a) cinta diamétrica, b) hipsómetro y c) libreta de campo, en la zona de vegetación densa.....	90
Figura 58: Captura de imágenes con a) vista general de árbol, b) vista del fuste y c) de flores y frutos, para una muestra de huaranguay en zona de vegetación dispersa	90
Figura 59: Clases de vigor para el eucalipto spp. con vistas desde campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) vigor alto, b) vigor medio, c) vigor bajo (vegetación densa).....	92
Figura 60: Clase de vigor alto para diferentes especies con vistas desde campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) casuarina, b) casuarina, c) huaranguay, d) fresno (vegetación densa)	93
Figura 61: Clase de vigor medio para diferentes especies con vistas desde campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) casuarina, b) eucalipto, c) eucalipto (vegetación densa).....	94
Figura 62: Clase de vigor bajo para diferentes especies con vistas desde campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) papelillo, b) huaranguay, c) calistemo. (vegetación densa).....	95
Figura 63: Clase de vigor alto para la especie ficus en diferentes estratos, con vistas desde	

campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) árbol alto, b) árbol mediano y c) árbol bajo (vegetación dispersa).....	97
Figura 64: Clase de vigor medio para la especie papelillo en diferentes estratos, con vistas desde campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) árbol alto, b) árbol mediano, c) árbol bajo (vegetación dispersa).....	98
Figura 65: Árbol evaluado como vigor bajo en campo, con vista desde los mosaicos a) Ortomosaico y b) NDVI, donde el pasto se observa a través de la copa defoliada, (vegetación dispersa)	99
Figura 66: Clase de vigor bajo en diferentes estratos, con vistas desde campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) árbol pecano alto, b) árbol papelillo, de altura mediana y c) árbol ponciana real de altura baja, (vegetación dispersa).....	100
Figura 67: Información del vigor arbóreo evaluado en campo en la zona de vegetación densa	101
Figura 68: Información del vigor arbóreo evaluado en campo en la zona de vegetación dispersa	101
Figura 69: Valores de moda del DSM en copas de vegetación dispersa	102
Figura 70: Valores de moda aplicada al NDVI sobre las copas de vegetación dispersa ..	102
Figura 71: Valores de moda aplicada al GLI sobre las copas de vegetación dispersa	103
Figura 72: Valores de moda aplicada al DSM sobre las copas de vegetación densa	103
Figura 73: Valores de moda aplicada al NDVI sobre las copas de vegetación densa	104
Figura 74: Valores de moda aplicada al GLI sobre las copas de vegetación densa	104
Figura 75: Configuración de la herramienta “ <i>Train Vector Classifier</i> ” para el entrenamiento de un clasificador con NDVI y DSM para la zona de vegetación densa	107
Figura 76: Mapa de vigor obtenido con el índice multiespectral NDVI mediante su primer clasificador de prueba, para la zona de vegetación densa	108
Figura 77: Mapa de vigor obtenido con el índice óptico RGB GLI mediante su primer clasificador de prueba, para la zona de vegetación densa	108
Figura 78: Mapa de vigor obtenido con el índice multiespectral NDVI mediante su primer clasificador de prueba, para la zona de vegetación dispersa	109
Figura 79: Mapa de vigor obtenido con el índice óptico RGB NGRDI mediante su primer clasificador de prueba, para la zona de vegetación dispersa	109
Figura 80: Copas delimitadas para la validación de las clasificaciones de vigor en la zona	

de vegetación densa	110
Figura 81: Copas delimitadas para la validación de las clasificaciones de vigor en la zona de vegetación dispersa	111
Figura 82: Mapa de copas para validación, con el vigor obtenido con NDVI y el vigor obtenido en campo	112
Figura 83: Sensibilidad de reflectancia en la bandas visibles e infrarrojo cercano, según la vegetación	120
Figura 84: Valores de NDVI de copas arbóreas defoliadas	128
Figura 85: Valores de NDVI de copas vigorosas con presencia de flores	129
Figura 86: Sombra identificada en el ortomosaico RGB de la zona de vegetación densa	130
Figura 87: Zonas de sombras en el mosaico de vegetación dispersa	130

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Elementos que componen un sistema de teledetección.....	145
Anexo 2: Representación del espectro electromagnético	145
Anexo 3: Cartel de ingreso al área de vegetación densa.....	146
Anexo 4: Vuelo exploratorio sobre el área de vegetación densa	146
Anexo 5: Parámetros recomendados para vuelos con RPA en zonas con vegetación	147
Anexo 6: Configuración para aplicar el algoritmo Linear Roller Shutter.....	148
Anexo 7: Índice de vegetación multispectral NDVI de la zona de vegetación densa...	148
Anexo 8: Índice de vegetación óptico GLI de la zona de vegetación densa.....	149
Anexo 9: Índice de vegetación óptico NGRDI de la zona de vegetación densa.....	149
Anexo 10: Índice de vegetación óptico RG de la zona de vegetación densa.....	150
Anexo 11: Índice de vegetación óptico TGI de la zona de vegetación densa.....	150
Anexo 12: Índice de vegetación óptico VARI de la zona de vegetación densa.....	151
Anexo 13: Índice de vegetación óptico vNDVI de la zona de vegetación densa	151
Anexo 14: Índice de vegetación multispectral NDVI de la zona de vegetación dispersa	152
Anexo 15: Índice de vegetación óptico GLI de la zona de vegetación dispersa.....	152
Anexo 16: Índice de vegetación óptico NGRDI de la zona de vegetación dispersa.....	153
Anexo 17: Índice de vegetación óptico RG de la zona de vegetación dispersa.....	153
Anexo 18: Índice de vegetación óptico TGI de la zona de vegetación dispersa.....	154
Anexo 19: Índice de vegetación óptico VARI de la zona de vegetación dispersa.....	154
Anexo 20: Índice de vegetación óptico vNDVI de la zona de vegetación dispersa	155
Anexo 21: Evidencias de extracción de individuos en agosto del 2022	155
Anexo 22: Codificación para los parámetros de caracterización general	156
Anexo 23: Codificación para tipo de Agente de Daño	156
Anexo 24: Inventario forestal del área de la zona de evaluación de vegetación densa	157
Anexo 25: Inventario forestal del área de la zona de evaluación de vegetación dispersa	171
Anexo 26: Coordenadas de puntos de muestreo	183
Anexo 27: Lista de especies y su carácter de follaje.....	187
Anexo 28: Estadística de promedio aplicado al NDVI sobre las copas de vegetación densa	188
Anexo 29: Estadística de rango aplicado al NDVI sobre las copas de vegetación densa.	188

Anexo 30: Estadística de promedio aplicado al GLI sobre las copas de vegetación densa	189
Anexo 31: Estadística de rango aplicado al GLI sobre las copas de vegetación densa	189
Anexo 32: Estadística de promedio aplicado al DSM sobre las copas de vegetación densa	190
Anexo 33: Estadística de rango aplicado al DSM sobre las copas de vegetación densa ..	190
Anexo 34: Estadística de promedio aplicado al NDVI sobre las copas de vegetación dispersa	191
Anexo 35: Estadística de rango aplicado al NDVI sobre las copas de vegetación dispersa	191
Anexo 36: Estadística de promedio aplicado al GLI sobre las copas de vegetación dispersa	192
Anexo 37: Estadística de rango aplicado al GLI sobre las copas de vegetación dispersa	192
Anexo 38: Estadística de promedio aplicado al DSM sobre las copas de vegetación dispersa	193
Anexo 39: Estadística de rango aplicado al DSM sobre las copas de vegetación dispersa	193
Anexo 40: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice NDVI – clasificador 1 en la zona de vegetación densa	194
Anexo 41: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice GLI – clasificador 5 en la zona de vegetación densa	194
Anexo 42: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice GLI – clasificador 5 en la zona de vegetación densa	195
Anexo 43: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice NGRDI – clasificador 5 en la zona de vegetación densa.....	195
Anexo 44: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice RG – clasificador 5 en la zona de vegetación densa.....	196
Anexo 45: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice TGI – clasificador 5 en la zona de vegetación densa.	196
Anexo 46: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice VARI – clasificador 5 en la zona de vegetación densa	197
Anexo 47: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice vNDVI – clasificador 3 en la zona de vegetación densa.....	197
Anexo 48: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice NDVI – clasificador 1 en la zona	

de vegetación dispersa	198
Anexo 49: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice GLI – clasificador 3 en la zona de vegetación dispersa	198
Anexo 50: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice NGRDI – clasificador 1 en la zona de vegetación dispersa.....	199
Anexo 51: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice RG – clasificador 3 en la zona de vegetación dispersa.....	199
Anexo 52: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice TGI – clasificador 1 en la zona de vegetación dispersa	200
Anexo 53: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice vNDVI – clasificador 3 en la zona de vegetación dispersa.....	200

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

RPA: Remotly piloted aircraft

RGB: Red green blue

NDVI: Normalized difference vegetation index

GLI: Green Leaf Index

NGRDI: Normalized red green difference index

RG: Red green

TGI: Triangular greenness index

VARI: Atmospherically resistant vegetation index

vNDVI: Visual Normalized difference vegetation index

DSM: Digital Surface Model

RESUMEN

El análisis del estado de salud de la vegetación arbórea es importante al momento de tomar decisiones para su manejo y aprovechamiento, por ello existen diversos métodos para su estudio, donde la aplicación de índices multispectrales, como el NDVI, con tecnología RPA se realiza para observar el vigor arbóreo, sin embargo, su empleo suele ser costoso, por esa razón, se han desarrollado índices alternativos para sensores RGB cuyo uso es más accesible. En el presente estudio se aplican el NDVI y los índices ópticos: GLI, NGRDI, RG, TGI, VARI y vNDVI sobre copas arbóreas de zonas con vegetación arbórea densa y dispersa, empleando un Phantom 4 multispectral; la metodología consistió en clasificar el vigor arbóreo mediante clasificación supervisada con el algoritmo *Random Forest*, entrenando clasificadores en base a una muestra de campo e información radiométrica de los índices de vegetación, en el entrenamiento se consideró la inclusión del DSM y otros parámetros como el aumento en el “*Maximum number of trees in the forest*” y el “*Maximum depth of the tree*”, encontrándose que los 2 primeros lograron aumentar la precisión de los mapas con índices RGB en vegetación densa; de entre todos los índices el NDVI resultó con los mayores índices de kappa que no mejoró variando otros parámetros, lo que indica que éstos no aportaron en mejorar la precisión de los mapas; en la vegetación dispersa los índices RGB tuvieron precisiones aceptables donde la clasificación pudo verse afectada por factores como la fenología de los árboles o sombras en el mosaico; para la vegetación densa los índices RGB alcanzaron mayor precisión, encontrándose que aquellos índices con las bandas rojas, verdes y azul se desempeñan mejor que los índices que sólo operan con la banda roja y verde.

Palabras clave: Remotly piloted aircraft, sistemas de información geográfica, teledetección, fotogrametría, índices de vegetación, vigor arbóreo.

ABSTRACT

The analysis of the health status of tree vegetation is important at decision moments for its management and use, that is why several methods for its study exist, where the multispectral index application, such as the NDVI with RPA technology, is used to observe the tree vigor, however, it is usually expensive, for that reason, alternative indices have been developed for RGB sensors which use is more accessible. In this study, the NDVI and the optical index: GLI, NGRDI, RG, TGI, VARI and vNGRDI are applied to tree canopies in areas with dense and dispersed tree vegetation using a multispectral Phantom 4; methodology consisted of classifying tree vigor through supervised classification with the Random Forest algorithm, training classifiers based on a field sample and vegetation index radiometric information. In training the DSM and other parameters such as the increasing of the “Maximum number of trees in the forest” and the “Maximum depth of the tree” were included, finding that the 2 first helped to increase the precision maps with RGB index on dense vegetation; among all indices, the NDVI resulted with the highest kappa index which did not increase by varying other parameters, indicating that they didn't help improve the precision; for dispersed vegetation, the RGB index had acceptable precision, which classification could have been affected by factors such as tree phenology or illumination; for dense vegetation, the RGB index achieved greater precision, finding that index with red, green and blue bands performs better than index which operates with red and green band only.

Keywords: Remotely piloted aircraft, geographic information system, remote sensing, photogrammetry, vegetation index, tree vigor.

I. INTRODUCCIÓN

El vigor de los árboles, es un factor relevante para inventariar el recurso forestal y planificar su manejo (Fredericksen *et al.*, 2001). El vigor es un indicio de la sanidad del árbol, sin embargo, evaluarla es una tarea a veces complicada (Carrasco, Guzmán, Ruiz y Rodríguez, 2019). Algunas opciones para medirla son mediante variables como el crecimiento o la fluorescencia de clorofila ya que está relacionada con la eficiencia fotosintética de la planta (Martínez, Plascencia e Islas, 2012).

Se puede recabar información precisa mediante inventarios forestales, sin embargo, puede significar algunos desafíos como un alto presupuesto o la dificultad para evaluar áreas de difícil acceso (Godoy y Rueda, 2016). Por ello se explora el uso de alternativas tecnológicas basadas en la teledetección o sensoramiento remoto, que se basa en la obtención de datos de superficies a distancia (Díaz, 2015). La fotogrametría mediante el uso de RPA o Remotly Pitoted Aircraft por sus siglas en inglés (Dirección General Aeronáutica Civil, 2015) es una opción con múltiples beneficios. Entre los beneficios más importantes están el de producir mapas con gran resolución, mantener un relativo bajo coste y sobrevolar en áreas de difícil acceso (Kharuf, Hernández, Orozco, Aday, Delgado, 2018).

Las imágenes captadas con sensores acoplados a los RPA obtienen información en diversas regiones del espectro electromagnético separadas en bandas. La banda NIR (Near InfraRed), ha permitido desarrollar índices de vegetación como el NDVI (Normalized Differenced Vegetation Index) para analizar el vigor de la vegetación ya que refleja el comportamiento de la clorofila en las hojas (Weier, J., Herring, D., 2013). Para obtener esta información es necesario contar con un sensor infrarrojo; sin embargo, los sensores visuales RGB (Red Green Blue) son más comúnmente usados por su menor costo. Se han desarrollado a la par índices de vegetación que sólo utilizan las bandas visuales como alternativa en caso no se pueda contar con un sensor multiespectral (Costa, Nunes y Ampatzidis, 2020).

El presente estudio tiene como objetivo general seleccionar el mejor índice de vegetación para identificar el vigor en árboles individuales a partir de imágenes captadas por un sensor visual montado en un RPA. Los objetivos específicos son clasificar el vigor de árboles individuales en vegetación densa del área “Bosque simulado y plantación forestal” perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales – Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), clasificar el vigor de árboles individuales en vegetación dispersa de un área de los jardines y parques del campus de la UNALM, aplicar índices de vegetación sobre copas delimitadas a partir de mosaicos obtenidos con un sensor visual montado en un RPA y finalmente comparar los resultados de los índices de vegetación con una base de datos obtenidos en campo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El vigor en cobertura arbórea

El vigor es un término para referirse a la condición de salud de un árbol (Martinez *et al.*, 2017). El vigor expresa la capacidad genética del árbol para crecer y resistir situaciones ambientales de estrés (Lilly, 2001 citado por Martínez *et al.*, 2017). Para evaluarla se utilizan variables como el crecimiento, la concentración de carbohidratos y la fluorescencia de la clorofila, empero, puede resultar complicado contar con un método práctico para medirla (Martinez *et al.*, 2017).

2.1.1. Clasificación de vigor

Huerta, Lombardi, Barrena y Cuba (2008) explican que el vigor refleja la vitalidad del árbol, guarda relación con su crecimiento y la situación en que se encuentra, en base a esta información establece 3 clases de vigor basados en observaciones de campo: vigor alto, medio y bajo.

Malleux (1982) relaciona el vigor arbóreo con la biomasa del árbol, así pues, un vigor alto, medio y bajo se corresponden con volúmenes de biomasa relativos dependiendo al entorno donde se desarrolla la vegetación, siendo el vigor alto el encontrado en árboles con un rango mayor de biomasa y el vigor bajo en aquellos con valores inferiores del mismo.

Carrasco *et al.* (2019) indican que una forma de detectar el vigor es observando la parte aérea del árbol mediante la distribución del follaje del árbol; un parámetro para evaluarla es la defoliación que puede reflejar el estado de salud de un árbol frente a otros individuos; establece así clases de defoliación en base a porcentajes, como defoliación nula (0-10%), ligera (11-25%), moderada (26-60), grave (61-95%), y árbol muerto (100%).

2.2. Sensoramiento Remoto

2.2.1. Fotogrametría

Según la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección (2022), la fotogrametría es la ciencia y tecnología que recaba información confiable a partir de imágenes y rangos de tipo temático y geométrico, generalmente a lo largo del tiempo.

2.2.2. Teledetección

La teledetección como ciencia y tecnología captura, procesa y analiza imágenes a partir de sensores en el espacio, aire o tierra (ISPRS, 2022), los elementos que componen esta tecnología se detallan en el Anexo 1.

2.2.3. Sensoramiento remoto en el ámbito forestal

Debido al cambio de cobertura vegetal en las últimas décadas, China (2002) comenta que existe sobre todo en las zonas tropicales, un gran interés en el estudio de los bosques. Chuvieco (1996) menciona que hacia los años 70 se desarrolló rápidamente la tecnología satelital y que con ello se exploró su uso en el estudio de los recursos naturales. Para el ámbito forestal el sensoramiento remoto es una herramienta con un papel preponderante en la dasimetría, además indican que responde a la necesidad de obtener información cualitativa y cuantitativa a través del tiempo (Vásconez y Sevilla, 2018).

2.2.4. Sistemas de Información Geográfica - SIG

En cuanto a los Sistemas de Información geográfica o comúnmente llamados SIG, poseen herramientas y aplicaciones que permiten gestionar y generar información relevante para la planificación actividades relacionadas con el sector forestal. Los SIG se remontan a la segunda mitad de la década de los 80's, con el programa ArcInfo para cartografía nacional, y en los años siguientes, empresas forestales empezaron a usarlos para cartografía temática. Actualmente se usan para inventarios forestales, cosecha forestal, planificación de caminos

forestales, protección forestal, planificación forestal, etc. (Frau, Gajardo, Ormazábal, Morales y Montecinos, 2006).

2.3. Espectro electromagnético

Según la NASA (2011) citado por Bravo (2019) es “el sistema que clasifica, de acuerdo con la longitud de onda, toda la energía (de corto cósmica a largo radio) que se mueve, armónicamente, a la velocidad constante de la luz” (Anexo 2). Según Chuvieco (2008) corresponde a la información contenida en la luz, que es uno de los elementos fundamentales en la teledetección, cuya fuente de emisión más importante es el sol.

2.3.1. Espectro visible

Su rango espectral se encuentra entre los 0,4 y 0,7 μm ., es el rango de frecuencias que puede detectar el ojo humano y coincide con las longitudes de onda donde la radiación solar es mayor (Moreno, Ramos, Pohl y Huguet, 2018). Se subdivide en tres regiones: Rojo (0,6 – 0,7 μm), Verde (0,5 – 0,6 μm) y Azul (0,4 – 0,5 μm) (Moreno *et al.*, 2018). China (2002) describe el uso para cada banda del espectro visible de la siguiente manera:

A. Banda azul

De 0,4 a 0,5 μm , permite analizar el uso dado al terreno y las características del suelo y la vegetación.

B. Banda verde

De 0,5 a 0,6 μm , corresponde a la reflectancia verde de la vegetación saludable.

C. Banda roja

De 0,6 a 0,7 μm , una de las bandas más importantes ya que permite discriminar la vegetación y permite delinear tipos de suelo y formaciones geológicas.

D. Microondas

De 1mm a 1m, en esta región del espectro las perturbaciones atmosféricas afectan en menor cantidad ya que su reflectancia es transparente a las nubes, para este caso se suelen utilizar sensores activos (Bravo, 2019).

2.3.2. Espectro infrarrojo

A. Infrarrojo cercano

Se ubica entre los 0,7 y 1,1 μm del espectro electromagnético, también denominado IR (Infra Rojo) fotográfico o reflejado, cuyo comportamiento es similar al del espectro visible Bravo (2019). Su uso permite detectar biomasa, es utilizada para identificar cosechas y para destacar el contraste entre una cosecha y el suelo, o entre el terreno y el agua (China, 2002).

B. Infrarrojo medio

Se ubica entre los 1,1 y 8 μm del espectro electromagnético, en esta región se combinan radiación solar y emisión de gases, por eso la atmósfera la afecta sensiblemente (Bravo, 2019). Esta banda es sensible al contenido de agua en las plantas y permite estudiar el efecto de la sequía en ellas, además puede discriminar el efecto de nubes, nieve y hielo en las imágenes (China, 2002).

C. Infrarrojo térmico

Se ubica entre los 8 y 14 μm del espectro electromagnético, son las radiaciones emitidas por los cuerpos de seres vivos, mediante ella se puede determinar la temperatura de un cuerpo (Bravo, 2019). Por otra parte, puede identificar actividad geotérmica y es usado para clasificar tipos de vegetación, detectar estrés en la vegetación y detectar humedad líquida del terreno (China, 2002).

2.4. Tipos de sensores y su aplicación en el ámbito forestal

2.4.1. Sensores ópticos

Son los sensores que captan la luz visible, es decir las bandas roja, verde y azul, además son los más comúnmente utilizados ya que se han desarrollado cámaras de buena resolución cada vez más livianas. A pesar de proporcionar información valiosa al usuario, tiene una calidad óptica limitada para el estudio de la vegetación por no poseer información infrarroja. Se pueden modificar sensores ópticos para captar cierta región del rango visible e infrarrojo, como los RGNIR y BGNIR, sin embargo, estos no pueden medir ambos rangos (visual e infrarrojo) al mismo tiempo (Mesas *et al.*, 2015).

2.4.2. Sensores multiespectrales

Son los que captan varias regiones estrechas del espectro electromagnético incluidas las bandas infrarrojas. La banda NIR permite analizar ciertas condiciones de coberturas vegetales como la infestación de cultivos, es por ello que arroja valores de vegetación más precisos en comparación con un sensor óptico (Mesas *et al.*, 2015).

2.4.3. Sensores térmicos

Leen información del infrarrojo térmico. Estudios demuestran que pueden detectar si los árboles presentan cambios fisiológicos y pueden determinar si está sano o enfermo independientemente de que en el campo muestre síntomas visuales o no. Estos sensores son una gran alternativa para monitorear plagas y enfermedades y ayudan a que se puedan tomar medidas en los primeros estadios de una plantación o cultivo. (Guillén *et al.*, 2019).

2.5. Índices de vegetación

Los índices de vegetación son valores digitales obtenidos a partir de la unión de bandas espectrales mediante la suma, resta, multiplicación o división de las mismas, para obtener un indicio del vigor de la vegetación. (Kharuf *et al.*, 2018).

La detección de los cambios en los patrones de la vegetación y su análisis son claves para la evaluación y monitoreo de recursos naturales. Por ello la evaluación de vegetación es una de las principales aplicaciones de la teledetección para la toma de decisiones en el manejo de recursos naturales. (Eastman, 2003).

2.5.1. Comportamiento de la vegetación en el espectro electromagnético

La captura de imágenes se basa en las propiedades espectrales de transmisión, absorción y reflectancia de los cuerpos. Para el caso de la vegetación, influye la etapa de desarrollo en que se encuentra ya que va relacionada con parámetros como la actividad fotosintética, cantidad de agua, clorofila, entre otros.

La clorofila absorbe la luz roja y azul para realizar la fotosíntesis, por ello en el rango visible se refleja más el color verde. Mientras se acerca al borde de la luz visible su absorción de energía disminuye para posteriormente aumentar abruptamente la reflectancia del infrarrojo cercano. Una vegetación sana tendrá su mayor reflectancia no en el verde si no en el infrarrojo cercano, lo que hace que la banda NIR sea la más apropiada para evaluar el vigor de la vegetación como se muestra en la Figura 1 (Kharuf *et al.*, 2018).

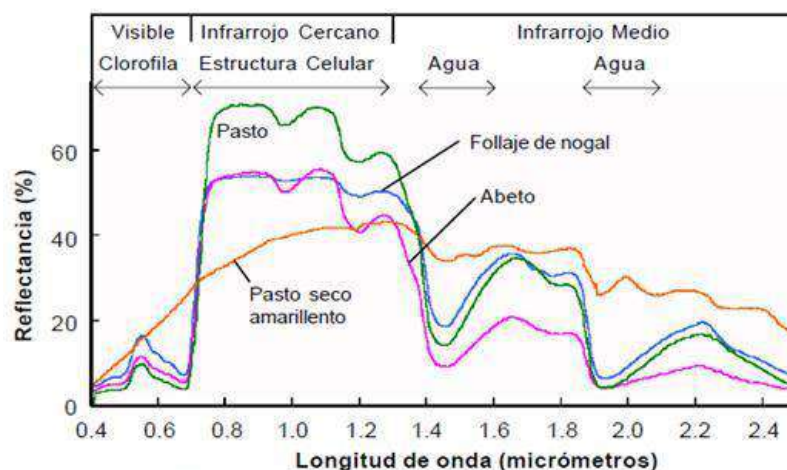


Figura 1: Reflectancia espectral de vegetación sana vs vegetación senescente, los componentes de las plantas que actúan sobre cada región del espectro se muestran en la parte superior de la imagen

Fuente: (Kharuf *et al.*, 2018)

2.5.2. Índice de vegetación con sensor infrarrojo

A. NDVI. Normalized Difference Vegetation Index

Fue introducido por Rouse, Haas, Schell y Deering en 1973. De entre los índices de vegetación existentes el NDVI es el más difundido, ya que guarda relación con el comportamiento radiométrico de la actividad fotosintética de la vegetación, lo que permite calcular la vigorosidad de las plantas. (Kharuf *et al.*, 2018).

La clorofila existente en las hojas de las plantas absorbe energía de luz visible para realizar fotosíntesis, y la estructura celular de las hojas refleja fuertemente luz del infrarrojo cercano. Cuantas más hojas presente una planta, más se verán afectadas estas longitudes de onda respectivamente (Weier, y Herring, 2000). En la Figura 2 se observa cómo se ve reflejado el vigor de los árboles en valores del NDVI.

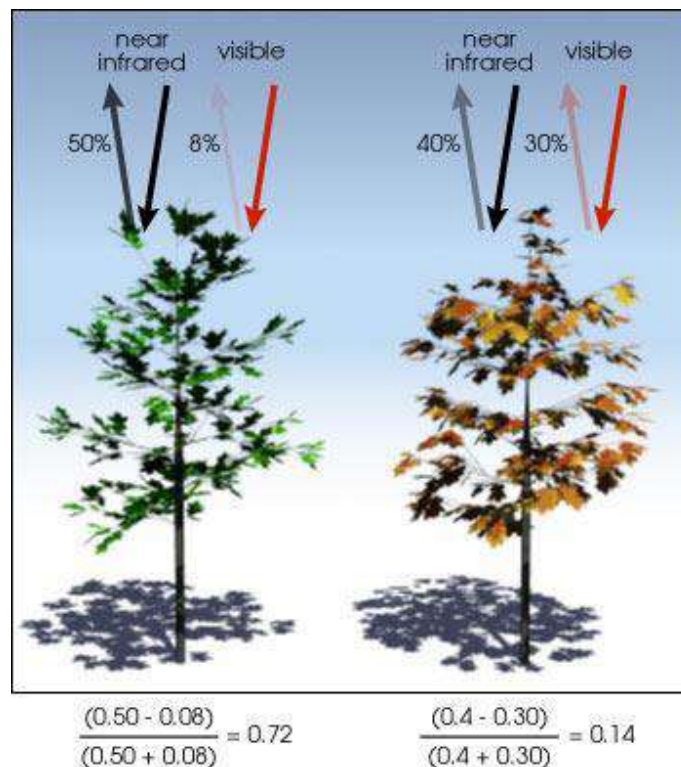


Figura 2: Valores del NDVI, para dos tipos de vigores en árboles, en la parte izquierda se muestra un árbol sano, mientras que en la derecha un árbol enfermo

Fuente: Weier y Herring (2000)

La fórmula del NDVI es la siguiente:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Donde:

NIR = banda del Infrarrojo cercano.

Red = banda roja.

2.5.3. Índice de vegetación con sensor óptico

A. NGRDI. Normalized Green Red Difference Index

Conocido también como índice de vegetación verde, en este índice se propuso una fórmula simple con las bandas del rojo y el verde, de tal forma que no se requiriera de la banda del NIR (Gitelson, Kaufman, Stark y Rundquist, 2002). La fórmula es la siguiente:

$$NGRDI = \frac{(Green - Red)}{(Green + Red)}$$

Donde:

Red = banda roja.

Green = banda verde.

B. RG. Red Green Index

Díaz (2015), propuso esta fórmula igualmente para prescindir de la banda del infrarrojo cercano, su fórmula se plantea como un ratio o cociente entre las bandas roja y verde:

$$RG = \frac{Red}{Green}$$

Donde:

Red = banda roja.

Green = banda verde.

C. TGI. Triangular Greenness Index

Según Hunt (2013), este algoritmo estima el contenido de clorofila en las hojas y así indirectamente el contenido de nitrógeno en la planta con el uso de las bandas del espectro visible. Fue propuesto por Hunt (2011) y calcula el área de un triángulo representado por la reflectancia de la hoja con vértices en el rojo (670 nm, R_{670}), verde (550 nm, R_{550}) y azul (480 nm, R_{480}). La fórmula es:

$$**TGI = Green - 0,39 x Red - 0,61 x Blue**$$

Donde:

Red = banda roja.

Green = banda verde.

Blue = banda azul.

D. VARI. Atmospherically Resistant Vegetation Index

Fue diseñado para resaltar vegetación y mitigar efectos atmosféricos y de iluminación mediante un proceso de auto-corrección a partir de la diferencia entre la radiación de la banda roja y azul para corregir la radiación en la banda roja. (Kaufman y Didier, 1992).

$$**VARI = \frac{(Green - Red)}{(Green + Red - Blue)}**$$

Donde:

Red = banda roja.

Green = banda verde.

Blue = banda azul.

E. vNDVI. Visual Normalized Difference Vegetation Index

Es un índice propuesto por Costa *et al.*, (2020). como un algoritmo generado en base a valores espectrales de 2 sensores RGB y su correlación con valores NDVI. Su estudio fue realizado sobre 3 diferentes tipos de cobertura vegetal para finalmente concluir que dicho índice se correlaciona con el NDVI más que el VARI con el NDVI.

$$vNDVI = 0,5268 (Red^{-0,1294} \times Green^{0,3389} \times Blue^{-0,3118})$$

Donde:

Red = banda roja.

Green = banda verde.

Blue = banda azul.

F. GLI. Green Leaf Index

Un índice desarrollado por Louhaichi *et al* (2001) para estudiar el impacto de pastoreo por gansos en cultivos de trigo, su aplicación se ha puesto a prueba por varios autores para estudiar diversos tipos de vegetación.

$$GLI = \frac{2 \times Green - Red - Blue}{2 \times Green + Red + Blue}$$

Donde:

Red = banda roja

Green = banda verde

Blue = banda azul

2.5.4. Uso de índices de vegetación para el estudio del vigor arbóreo

Según Morales *et al.* (2023), la alta densidad de copa arbórea es un indicador del vigor arbóreo, debido a una copa densa presenta mayor número de hojas por lo que el individuo tendrá mejor capacidad fotosintética, lo que influye en su buen desarrollo; al respecto encontró que índices multiespectrales como el NDVI pueden representar este parámetro con precisión, siendo que valores altos de NDVI se correspondían con un alto porcentaje de densidad de follaje y viceversa; por otro lado no encontró una alta correlación entre índices RGB y la densidad de follaje, por lo que recomienda el uso de índices multiespectrales para la evaluación del vigor arbóreo y el uso de índices RGB como una herramienta más bien complementaria para su evaluación.

2.6. RPA (Remotly Piloted Aircraft)

Según la Dirección General Aeronáutica Civil (2015), un RPA es una aeronave pilotada remotamente por un piloto ubicado en una estación fuera de la nave. El piloto es el encargado de monitorear el RPA en todo momento y tiene responsabilidad directa del RPA y su manejo seguro durante el vuelo.

2.6.1. Tipos de RPA

A. Ala rotatoria

Son aquellos que mantienen su sustentación en base al giro constante de hélices en el aire, son conocidos también como multirrotores o helicópteros, entre sus características destacan el despegue y aterrizaje vertical, la posibilidad de volar a puntos fijos ya que mantiene un vuelo estacionario y cuenta con una mayor maniobrabilidad y precisión de vuelo (Díaz, 2015) (Figura 3).



Figura 3: RPA de tipo ala rotatoria o multirrotor

Fuente: Díaz (2015)

B. Ala fija

Según Díaz (2015), es el tipo de RPA que se asemeja a los aviones, posee entre sus características más resaltantes mayor autonomía en comparación con el multirrotor, son capaces de volar a mayor velocidad lo que resulta útil para trabajos de cartografía y teledetección y vuelan más tiempo con un promedio de 45 minutos por vuelo contrario a los 15 a 20 minutos por vuelo del multirrotor. En la Figura 4 se observa el RPA Lancaster 5 de la empresa Precision Hawk (Barrena *et al.*, 2019b)



Figura 4: RPA de ala fija Lancaster 5

Fuente: Barrena *et al.* (2019b)

C. Híbrido

Este tipo de RPA combina las ventajas de los RPA de ala fija por su capacidad de vuelo a mayor velocidad y de los multirrotores por su capacidad de despegue y aterrizaje vertical, aun así, representan un porcentaje menor de uso en la industria e investigación en la actualidad (Núñez *et al.*, 2022).

2.6.2. Ventajas y desventajas en el empleo de RPA

El uso de los RPA presenta una gran variedad de ventajas y limitaciones como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Comparación entre las ventajas y desventajas del empleo de un RPA

Ventajas	Desventajas
Rapidez en la toma de datos. (*)	Limitación de toma de datos en condiciones ambientales desfavorables. (**)
Bajo coste, ya que sus sistemas son más económicos. (*)	Poco tiempo de toma de datos por los cortos tiempos de vuelo. (*)
Altamente versátil. (*)	Riesgos de pérdida por interferencia de señales y posicionamiento. (*)
Fácil reposición en caso de avería. (*)	Toma de datos en zonas menores a 100 ha. (*)
Diversidad de rubros en los que se pueden aplicar para mapas temáticos. (*)	Imposibilidad de volar en horario nocturno ni cerca a poblaciones (**)
Alta resolución en imágenes. (*)	Restricción para volar a más de 152.4 m de altura. (**)
Posibilidad de uso de varios tipos de señores. (*)	Restricción para volar más de una hora continuada. (**)

Fuente: (*) Adaptado de Díaz (2015) / (**) Adaptado de DGAC (2015)

2.6.3. RPA Phantom 4 Multispectral

Es un RPA diseñado por la empresa DJI (Dà-Jiāng Innovations) para capturar imágenes de alta precisión con funciones multispectrales, posee 6 sensores CMOS (semiconductor complementario de óxido metálico) que producen imágenes a color y de banda estrecha, dado que posee sensores como el NIR (Near InfraRed) y el RedEdge es posible generar mapas con índices de vegetación como el NDVI para el estudio del estado de salud de las plantas, comprender su crecimiento y analizar el estado en que se encuentra el suelo (DJI, 2019). En la Figura 5 se observa el modelo Phantom 4 Multispectral, los sensores que posee este RPA se detallan en la Tabla 2.



Figura 5: Phantom 4 multiespectral

Fuente: DJI (2019)

Tabla 2: Sensores montados en el RPA Phantom 4 multiespectral

Sensores	Longitud de onda (nm)	Resolución de cámara (MP)
Azul (B)	450 ± 16	2.08
Verde (G)	560 ± 16	2.08
Rojo (R)	650 ± 16	2.08
Borde Rojo (RE)	730 ± 16	2.08
Infrarrojo cercano (NIR)	840 ± 26	2.08

Fuente: Adaptado de DJI (2019)

2.7. Programas para el uso de un RPA

Existen programas de fotogrametría cuya aplicación está en función de los objetivos de los usuarios. Si bien es cierto que cada programa cuenta con sus propios atributos, todos siguen un flujo de trabajo similar para el procesamiento de información. (Rossi, Rhody, Salvaggio y Walvoord, 2012).

2.7.1. GS PRO

El software GS PRO o Ground Station Pro por sus siglas en inglés, es una aplicación compatible con productos iPad (Figura 6), desarrollado por la compañía DJI para usos industriales como el de la agricultura de precisión. El software permite configurar planes de vuelo y sus parámetros de acuerdo al objetivo del operador, con esta aplicación se puede controlar además la forma del área de interés, la dirección y ruta de vuelo, la velocidad de vuelo, altura, resolución, etc. Cuenta también con diferentes funciones para levantamiento 3D como el vuelo circular, a doble grilla para la generación de DSM y cuadrículas para ortomosaicos con buena precisión (DJI, 2018).

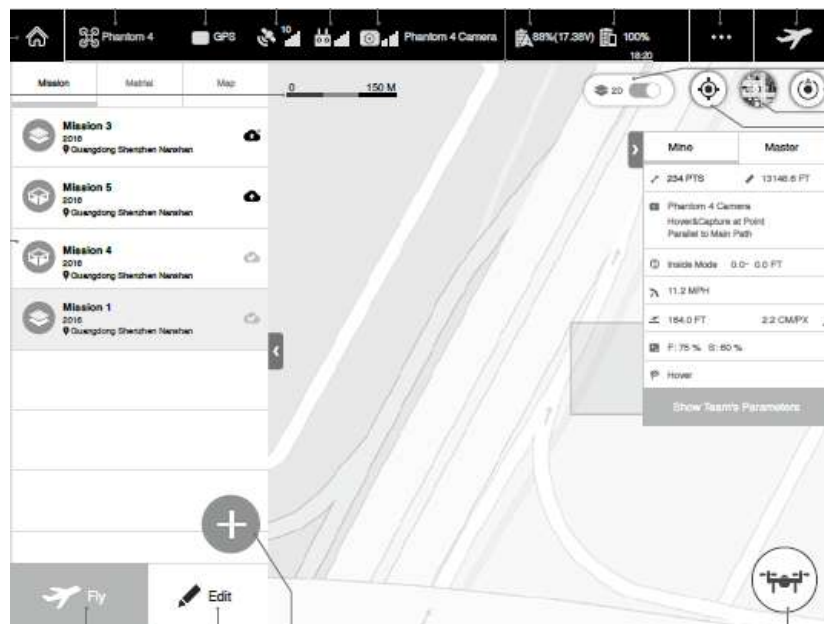


Figura 6: Vista del panel de control de misiones desde la aplicación DJI GS PRO

Fuente: DJI (2018)

2.7.2. PIX4D Mapper

El programa fue desarrollado en 2011 para crear modelos y mapas digitales en 2D y 3D georreferenciados y de alta precisión a partir de imágenes de RPAs como lo menciona Costales (2018). Algunos de los productos que proporciona el programa, según PIX4D (2018) p. 12 y 13 citado por Costales (2018), son los siguientes:

- Nube de puntos 3D, con la que se reconstruye digitalmente y de manera bastante precisa los puntos de interés en las 3 dimensiones.
- DMT y DMS: Modelos digitales de terreno y superficie respectivamente, donde se le da valores de elevación a cada pixel.
- Ortomosaicos, que son mapas digitales de alta resolución georreferenciada a partir de imágenes procesadas.
- Cálculos de volumen, a partir de una representación gráfica de la zona de interés, adicionalmente es posible ajustar la altura de la superficie base antes de realizar el cálculo.
- Líneas de contorno, que son una representación de la topografía del terreno que muestran cada curva de nivel con contornos cerrados y permite exportar las mismas en formatos compatibles con programas de diseño asistido por computadora o sistemas de información geográfica.
- Modelos 3D. en base a mallas texturizadas fotorrealistas del área de interés.
- Mapas de índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para evaluar el desarrollo de vegetación en función de la intensidad de radiación que esta emite o refleja.
- Mapas de reflectancia, donde evalúa la reflectancia basándose en el píxel de imágenes multiespectrales.
- Termografía: para mapas de radiación electromagnética con valores de temperatura en cada píxel.

2.8. Procesamiento de información obtenida con tecnología RPA

2.8.1. Sensoramiento remoto con tecnología RPA

Un RPA representa una herramienta precisa y económica para la fotogrametría y teledetección en comparación con la tecnología satelital debido a la facilidad de su planificación de vuelo y rápido registro de imágenes de alta resolución (Díaz, 2015). Por otro lado, Montesinos (2012-2013) citado por Mitsikostas (2017) reconoce que los RPA pueden tener algunas desventajas frente a los satélites en cuanto al mapeo de grandes superficies ya que estos últimos pueden captar áreas de 100 Km² en una sola imagen.

2.8.2. Clasificación supervisada mediante el algoritmo *Random Forest*

Como parte del proceso de la teledetección, se emplea la clasificación de imágenes para generar cartografía temática, la cual consiste en la agrupación de píxeles con valores radiométricos similares en una misma clase (Hinojoza *et al.*, 2021).

Existen 2 tipos de técnicas generales de clasificación: la clasificación no supervisada y la clasificación supervisada. La clasificación no supervisada consiste en la segmentación de una imagen mediante la agrupación de píxeles en función de alguna similitud entre ellos. La clasificación supervisada se basa en áreas de entrenamiento donde se asignan píxeles cuyos valores representan a las clases preestablecidas (Lárraga, Piedad, Hernández y Espinosa, 2020).

El clasificador *Random Forest* (Árboles aleatorios) es uno de los algoritmos de clasificación supervisada más usados por su robustez y eficiencia. (Li *et al.*, 2016). Como expone Hinojosa S., Gallardo, Hinojosa F. y Meléndez (2021). El *Random Forest* es un conjunto de árboles aleatorios de clasificación y regresión que puede definirse con la siguiente Ecuación:

$$\{H(x, \theta_k), k=1,2\dots i\dots\}$$

Donde:

H= clasificador

X= variable de entrada

$\{\theta_k\}$ = variables predictoras aleatorias

Las variables aleatorias se reparten de manera independiente para generar cada árbol del bosque (Feng *et al.*, 2015), como resultado se tiene un promedio de la salida de todos los árboles. Hinojosa *et al.* (2021).

A. Profundidad Máxima del árbol clasificador

Es un parámetro a considerar para el algoritmo *Random Forest* que se refiere al número máximo de niveles o subdivisiones que tendrán los árboles clasificadores, el número por defecto es 5 como lo vemos en la Figura 7. (OTB, 2023).

B. Número Máximo de árboles en el bosque

Es un parámetro opcional pero importante para entrenar el clasificador, en general aumentar el valor de este parámetro permite aumentar la precisión del clasificador. Sin embargo, al llegar a un determinado número la precisión deja de aumentar y empieza a decrecer con el aumento de número de árboles aleatorios. Su número por defecto es 100 (OTB, 2023).

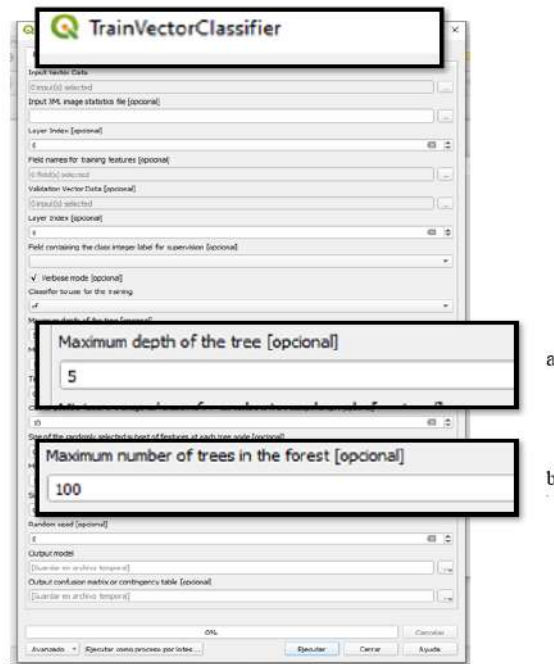


Figura 7: Parámetros de la aplicación *Train Vector Classifier* en el software Qgis 3.28.2 donde se observan los parámetros para el clasificador *Random Forest* donde a) corresponde al *Maximum depth of the tree* y b) *Maximum number of trees in the forest*

Al respecto Nadi y Moradi (2019) mencionan que se ha demostrado que limitar la profundidad del árbol y aumentar el número de árboles clasificatorios puede ayudar a mejorar la precisión de la predicción.

2.9. Exactitud y/o confiabilidad temática

Según Casco (2017), la confiabilidad temática compara información de un mapa con información de referencia considerada muy confiable, toma como base sitios de muestreo, que han sido clasificados mediante imágenes.

Este análisis de datos puede darse mediante una matriz de confusión que contrasta la información proveniente de fuentes de verificación con el producto cuya precisión se va a evaluar. Para comparar la precisión de varios mapas se puede emplear el índice de kappa, que funciona siempre y cuando halla la misma cantidad de puntos a comparar en la fuente de validación y el producto a evaluar. Por el contrario, si se tuviese distinta cantidad de puntos de

muestreo evaluados se debería realizar una normalización de la matriz de confusión, como lo sostiene Chuvieco (2008).

2.9.1. Matriz de Confusión

La matriz de confusión es una tabla de doble entrada en la que se colocan en las filas y columnas las distintas clases a ser evaluadas (Figura 8). Los valores expresados en la diagonal expresan las coincidencias entre el mapa y la realidad, el resto suponen errores de asignación (Chuvieco, 2008).

		UNIDADES DE VALIDACIÓN			Total mapa	EXACTITUD USUARIO	ERROR COMISIÓN
		A ₁	A ₂			
UNIDADES DEL MAPA	A ₁	a ₁₁	a ₁₂	...	a _{1.}	a _{1/a...}	1-(a _{1/a...})
	A ₂	a ₂₁	a ₂₂	...	a _{2.}	a _{2/a...}	1-(a _{2/a...})

	Total validación	a _{.1}	a _{.2}	...	EXACTITUD GLOBAL		
	EXACTITUD PRODUCTOR	a _{1/a..}	a _{2/a..}	...			
	ERROR OMISIÓN	1-(a _{1/a...})	1-(a _{2/a...})	...			

Figura 8: Esquema general de una matriz de confusión

Fuente: SERFOR (2021)

2.9.2. Índice de Kappa

Es el resultado de la proporción de coincidencias obtenidas en el cruce de información obtenido mediante la matriz de confusión y sustrae los errores generados de forma fortuita. Representa la diferencia entre la exactitud lograda mediante la clasificación con un software y la exactitud lograda con una clasificación correcta mediante toma de datos en campo o con imágenes de alta resolución (Casco, 2017).

El índice de Kappa evalúa la concordancia de un instrumento de medida que da como resultado 2 o más clases y se obtiene a partir de la relación entre la proporción de acuerdos observados (Po) y la proporción de acuerdos esperados (Pe) (Cohen, 1960).

El índice de Kappa se calcula mediante las siguientes fórmulas:

$$Kappa = \frac{Po - Pc}{1 - Pc}$$

Donde:

Po = Proporción del área clasificada correctamente (exactitud global), se obtiene de la división entre la suma de elementos de la diagonal y el tamaño de muestra (N).

Pc= Representa la confiabilidad resultante del azar y se obtiene de la división entre el producto de las sumas marginales y el tamaño de muestra elevado al cuadrado.

2.10. Estudios realizados con RPA en el Perú

En el país se han llevado a cabo estudios de fotogrametría con drones en diferentes rubros, en el campo forestal. En Yurimaguas en el año 2017 se realizaron sobrevuelos con RPA multirrotor y de la afija para validar la información de cambios en la cobertura vegetal generados mediante imágenes satelitales de baja resolución (Proyecto “Paisajes sostenibles para la Amazonía”, 2017).

Claros (2019) trabajó en la estimación de volumen de árboles en Chanchamayo Junín mediante una ecuación que correlaciona los diámetros de copa obtenidos mediante ortomosaicos generados con imágenes de RPA con el volumen de los árboles.

Por otro lado, Tagle *et al.* (2019), logró identificar palmeras de la especie *Mauritia flexuosa* o aguajales en la región de Loreto mediante sensores ópticos montados en un RPA y contabilizó las palmeras con buena precisión mediante *Machine Learning*.

Respecto a los índices de vegetación Castillo (2019), empleó sensores multiespectrales para analizar cultivos de palta en el departamento de Cusco, encontró que el NDVI puede captar con buena precisión el estrés hídrico en las hojas de palto.

Di Liberto (2022) evaluó la factibilidad del uso de los RPA para la selección de árboles semilleros. Encontró semejanza estadística entre datos del RPA y datos de campo para variables como el diámetro de copa y la altura de total del árbol. Finalmente seleccionó árboles semilleros de *Cedrelinga cateniformis*, su metodología se puede aplicar en árboles que pertenezcan al estrato superior del dosel y que permitan su análisis con RPA.

III. METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

3.1.1. Ubicación

El campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina se encuentra ubicado en el distrito de La Molina, departamento de Lima; en las coordenadas 288 020 m Este, 8 663 440 m Sur de la Zona 18 Sur del Sistema de coordenadas Geodésico Mundial WGS84 con proyección UTM a una altura de 247 metros sobre el nivel del mar. En la Figura 9 se observa el mapa del campus UNALM.

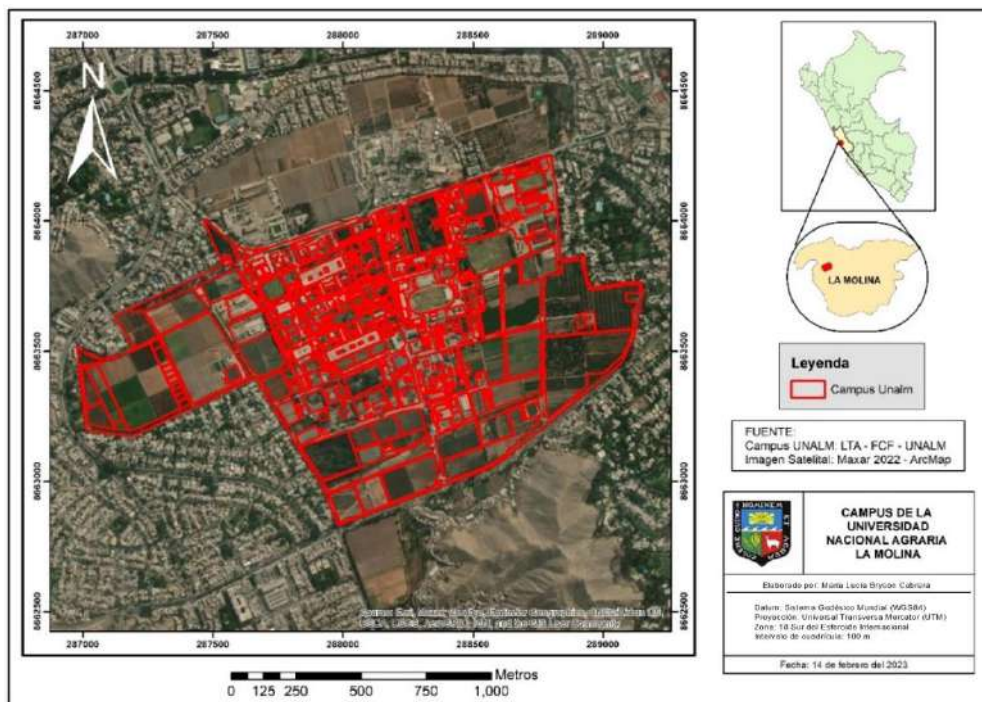


Figura 9: Mapa del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina

3.1.2. Caracterización del área

El campus UNALM presenta una topografía de terraza de superficie plana, con pendiente de 1%, el suelo presenta un drenaje moderado según Alvares *et al.* (2001) citado por Móstiga (2014). En la clasificación de zona de vida según Holdridge, la UNALM se ubica en la formación ecológica de desierto desecado subtropical (dd – S); respecto al clima la temperatura media anual en esta zona es de 18,9°C, tiene además una humedad relativa de 84% y una precipitación promedio de 1,15 mm (Rivera, 2008).

3.1.3. Zonas de evaluación

A. Vegetación arbórea densa

En la Figura 10 se muestra el mapa de ubicación de la zona de vegetación densa. Se refiere al campo experimental II de la Facultad de Ciencias Forestales, es una plantación instalada en 1998, cuyas especies predominantes son el huaranguay (*Tecoma spp.*), grevillea (*Grevillea spp.*), ficus (*Ficus spp.*), eucalipto (*Eucalyptus spp.*) y casuarina (*Casuarina spp.*) (Begazo, 2020).

Según Móstiga (2014), el riego en esta zona se da por canal, además la composición florística de gran variedad lo asemeja a un bosque natural. Debido a esto las enfermedades y patógeno que pueden afectar a algunos individuos no logran esparcirse fácilmente a un gran número de árboles por la heterogeneidad de la población arbórea (Figura 11).

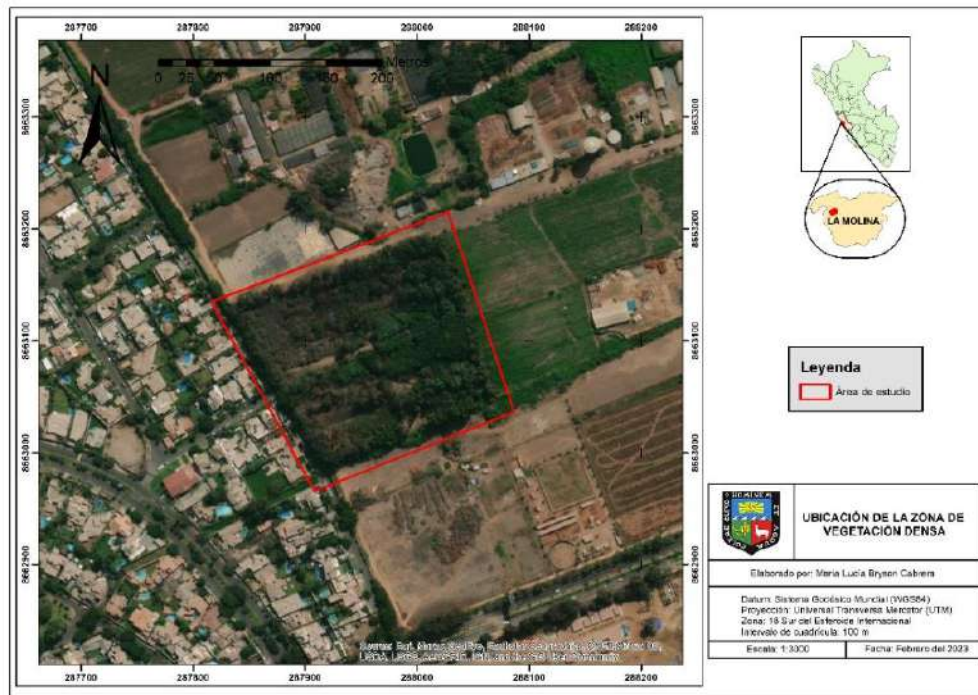


Figura 10: Mapa de ubicación de la zona de estudio de vegetación densa



Figura 11: Vista de la zona de estudio de vegetación densa

B. Vegetación arbórea dispersa

La ubicación de la zona de vegetación dispersa se muestra en la Figura 12. Corresponde a una parte del área de parques y jardines del campus que rodean los salones o módulos estudiantiles (Figura 13), pertenece al departamento de Servicios Generales de la UNALM; el riego en la zona se da de forma tradicional, con canales y por inundación, lo que por acumulación de agua podría provocar la salinización del suelo; también se da el riego tecnificado por aspersión, aunque este último no garantiza un riego óptimo de las áreas verdes (Móstiga, 2014).

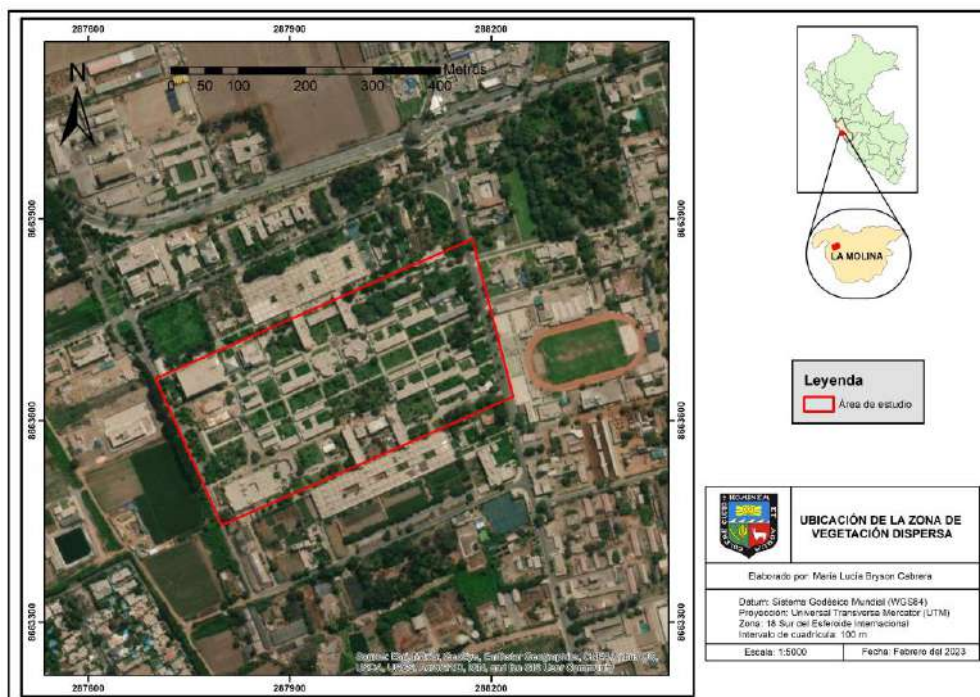


Figura 12: Vista de la zona de estudio de vegetación dispersa



Figura 13: Vista de la zona de estudio de vegetación dispersa

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

- Formato de inventario.
- Formatos de registro de vuelos.
- Mapas de ubicación de árboles de muestreo.
- Lápiz, borrador y tajador.
- Tablas de apoyo para formatos.
- Escalímetro.
- Transportador.

3.2.2. Equipos

- GPS Garmin 64S
- Cable para GPS
- Brújula Suunto Modelo KB-14/360R

- Hipsómetro Suunto Finlad Modelo PM 5/1520
- Cinta diamétrica de 10 m Forestry Suppliers Inc.
- Cinta métrica de 30 m Kamasa
- Cámara fotográfica Redmi Note 10S.
- RPA Phantom 3 Estándar
- 4 baterías para RPA Phantom 3 Estándar
- Control Remoto RPA Phantom 3 Estándar
- 2 juegos de hélices para RPA Phantom 3 Estándar
- Mochila de transporte de RPA Phantom 3 Estándar
- RPA Phantom 4 Multiespectral
- 4 baterías para RPA Phantom 4 Multiespectral
- Control remoto de RPA Phantom 4 Multiespectral
- Cargador de baterías para RPA Phantom 4 Multiespectral
- Caja de transporte de RPA Phantom 4 Multiespectral
- Tablet Ipad mini.
- Cable para Tablet
- Memoria Micro SD 16 Gb
- Computadora AMD Ryzen 7 3700X 8-Core Processor, tarjeta de video NVIDIA GeForce GTX 1660 Ti, Memoria RAM de 32 Gb, sistema operativo Windows 10 Pro de 64-bit.

3.2.3. Softwares

- DJI GO versión gratuita
- DJI GS Pro
- PIX4D *Mapper Enterprise*

- *Google Earth Pro*
- ArcGIS 10.4
- Qgis 3.28.2
- RGrass
- Orfeo ToolBox - OTB
- Excel Microsoft Office 16

3.3. Métodos

El programa de actividades se muestra en la Figura 14.



Figura 14: Orden de actividades metodológicas

3.3.1. Planificación

La etapa de planificación se desarrolló según el flujograma de la Figura 15.

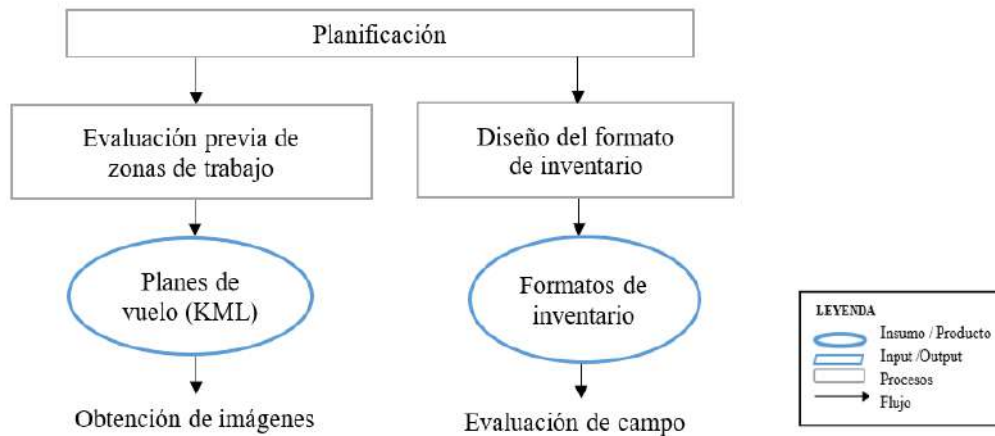


Figura 15: Flujograma de la etapa de planificación

A. Planificación de vuelos

i. Evaluación previa de las zonas de trabajo

Se realizó una identificación desde el terreno de posibles factores favorables y desfavorables para el vuelo con RPA como la presencia de estructuras altas como antenas o tanques de agua, que pudiera representar un riesgo para la ejecución de los sobrevuelos (Barrena *et al.*, 2019b).

Posteriormente se hicieron vuelos exploratorios con un RPA de apoyo (Barrena *et al.*, 2019a), un Phantom 3 Estándar facilitado por la empresa CANDES SAC con el que exploró los alrededores de las zonas de trabajo y se midieron las alturas de objetos altos y su proximidad a ellas. Finalmente se determinaron zonas de despegue y aterrizaje para la ejecución de los vuelos.

ii. Generación de planes de vuelo

- Mediante el programa *Google Earth Pro* se delimitaron las zonas de estudio incluyendo un área adicional para el sobrevuelo, para exportarlas en KML (*Keyhole Markup Language*).
- Se importó a la aplicación DJI GS Pro los archivos KML de las zonas de trabajo.

- Se estableció una altura de vuelo de 100m sobre el nivel del suelo, para evitar generar mosaicos con distorsiones con vuelos a menor altura o la pérdida de detalle en la calidad de imagen por una altura de vuelo mayor a 100m (Claros, 2019).
- En la zona de vegetación densa, el traslape frontal y lateral se fijó en 80% para evitar errores de empalme en las zonas de cobertura vegetal como lo recomienda PIX4D (2021).
- En la zona de vegetación dispersa se optó por disminuir el traslape lateral a 70% para reducir el tiempo de vuelo del RPA por evitar desconexión entre este y el radiocontrol debido que PIX4D (2021) menciona que para mapear áreas sin bosques un traslape de 75% frontal y 60% lateral es suficiente para conformar un buen mosaico.
- La inclinación de la cámara se estableció en 90° de acuerdo a Tagle (2021) para una buena generación de ortomosaicos.
- La velocidad de vuelo se estableció en 5 m/s (valor por defecto) en la vegetación densa y en 7 m/s en la vegetación dispersa para disminuir tiempo de vuelo en esta última.

B. Diseño del formato de inventario

i. Evaluación del árbol

Los datos registrados fueron (Huerta *et al.*, 2008):

- Nombre común.
- Nombre científico.

ii. Determinación del vigor

- Datos cuantitativos: diámetro a la altura del pecho, diámetro mayor y menor de copa, altura de fuste y total del árbol, para los que se utilizaron instrumentos como cinta diamétrica, cinta métrica e hipsómetro respectivamente.
- Datos cualitativos: calidad de fuste cada 5 m de altura, estrato vertical del árbol y presencia de flores y frutos; para los que se crearon códigos de clasificación (Anexo 22).

3.3.2. Obtención de imágenes

Las imágenes se obtuvieron según el flujograma de la Figura 16.

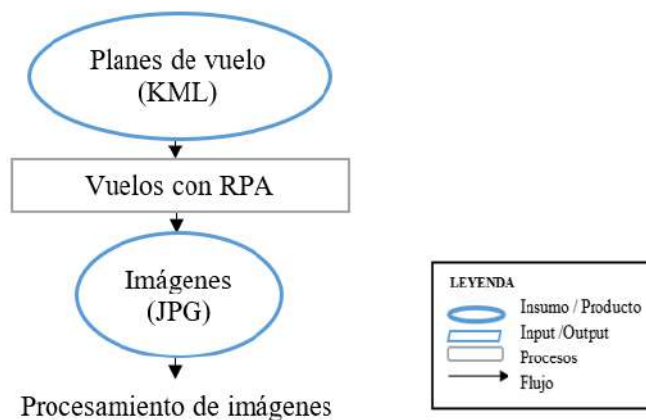


Figura 16: Flujograma para la obtención de imágenes

A. Vuelos con RPA

i. Preparación del vuelo

- Se preparó un *check list* de los equipos y materiales requeridos para garantizar la operatividad correcta del RPA en campo, donde se utilizaron modelos propuestos por Tagle (2021) y Barrena *et al.* (2019b) se utilizó en mayor parte la información

propuesta por Tagle (2021) ya que está adaptado para un equipo Phantom 4 Pro y RTK, mientras que Barrena *et al.* (2019b) se basó en el manejo de un RPA de ala fija.

- Se diseñó un formato de vuelos para el registro de los datos de la misión, como el nombre de la misión, parámetros de vuelo y condiciones climáticas (Barrena *et al.*, 2019b) (Tagle *et al.*, 2021).
- Se ubicó una plataforma de plástico en una zona plana y despejada cercana al área a sobrevolar para facilitar el despegue (Tagle *et al.*, 2021).
- Se acondicionó al RPA para la ejecución del vuelo, para lo que se instalaron las hélices, se retiró el protector del *gimbal*, se incorporó la batería previamente cargada y se realizó el encendido del Radio Control y el RPA (Tagle *et al.*, 2021).
- Se accedió a la aplicación DJI GS Pro mediante la *tablet* para visualizar el estado de la aeronave, una vez conectado el RPA al Radio Control se procedió a cargar la misión correspondiente, se observó que el RPA culmine la calibración automática y que se habilite la opción “*Take off*” para iniciar el vuelo (DJI, 2018).

ii. Ejecución del vuelo

- Se ejecutaron los planes de vuelos configurados para cada zona de trabajo. Asimismo, se supervisó y controló el vuelo desde el despegue del RPA hasta su aterrizaje con apoyo de un asistente para no perder de vista el RPA en todo momento y a la vez monitorear el sobrevuelo desde el Radio Control (DGAC, 2015).

iii. Actividades posteriores al vuelo

- Al término de cada misión se completó el formato de vuelos con datos como hora de término de vuelo, número de vuelos requeridos para la misión y número de fotos.

- Finalizada la jornada se procedió al desarmado del RPA, retiro de hélices y batería y acoplo de protector del *gimbal*, y se procedió al guardado del RPA y Radio Control.
- Se realizó el *check list* final de materiales y equipos antes de retirarse de la zona de trabajo.
- Como resultado se obtuvieron las imágenes de las zonas de trabajo en formato JPG.

3.3.3. Procesamiento de imágenes

Las imágenes fueron procesadas con el software *PIX4D Mapper Enterprise*, siguiendo el flujograma de la Figura 17.

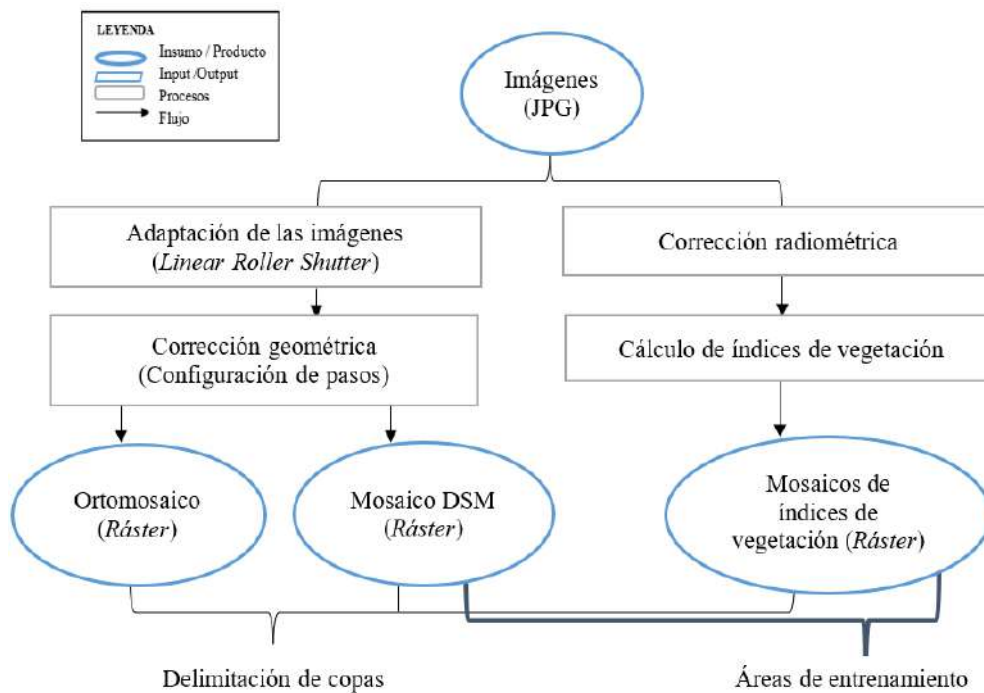


Figura 17: Flujograma para el procesamiento de imágenes

A. Generación de mosaicos

i. Adaptación de las imágenes

Debido a que los mosaicos resultantes presentaron defectos en la vegetación densa, se incluyó la aplicación del algoritmo *Linear Roller Shutter* (Anexo 6) usado cuando el desplazamiento vertical de píxeles es mayor a 2 píxeles, para corregir defectos en el mosaico producto del movimiento de las copas de árboles por viento (PIX4D, 2021). Para conocer este valor numérico se empleó una calculadora disponible en la plataforma PIX4D (2021).

ii. Corrección geométrica

Las imágenes adaptadas fueron corregidas geoméricamente con el programa PIX4D *Mapper Enterprise* como resultado de la aplicación de la metodología adaptada de PIX4D (Figura 18)

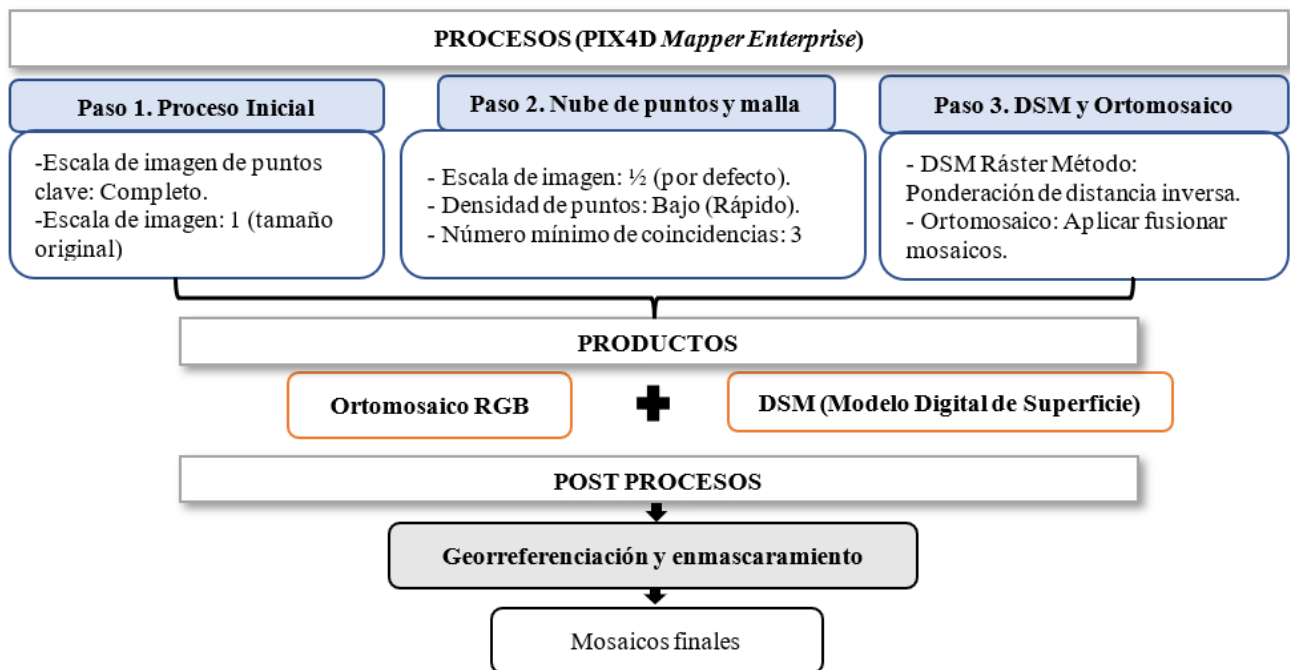


Figura 18: Configuración de pasos en PIX4D

- Para el procesamiento inicial o Paso 1, se configuró una escala de imagen de 1:1 (tamaño original de la imagen) para imágenes con una resolución de 2 MP para una mayor precisión en la generación del ortomosaico (PIX4D, 2021).

- Para el procesamiento de la nube de puntos y malla o Paso 2, se seleccionó una escala de $\frac{1}{2}$ de la imagen (opción por defecto. Se estableció una baja densidad de puntos (modo rápido) y se determinó un número mínimo de 3 coincidencias que implica que un punto 3D debe ser correctamente reproyectado en al menos 3 imágenes (PIX4D, 2021).
- Para el Paso 3, en la generación del DSM se seleccionó el método de ponderación de distancia inversa (por defecto), para la generación del ortomosaico se seleccionó la opción de fusionar mosaicos.

Como resultado se obtuvieron los ortomosaicos y DSM de las zonas de trabajo.

B. Generación de índices de vegetación

i. Corrección radiométrica

La corrección radiométrica de las imágenes se configuró a través del paso 3 en la obtención de los índices de vegetación. Los tipos de corrección radiométrica fueron:

- Sólo cámara: donde se tomó en cuenta la configuración del sensor, como obturación y valores ISO, el programa utilizó la metadata EXIF para corregir las imágenes (PIX4D, 2022).
- Irradiación solar: el programa tomó de referencia las condiciones de iluminación registradas por los sensores de luz en las mismas bandas espectrales que la registrada por el sensor multiespectral, de modo que permitió normalizar las imágenes obtenidas en distintas condiciones de luz (PIX4D, 2022).

ii. Cálculo de índices de vegetación

Se calcularon los índices de vegetación descritos en la Tabla 3, a través del paso 3 (Elaboración del DSM, ortomosaico e índices).

Tabla 3: Índices de vegetación aplicados en las zonas de evaluación

Sensor	Nombre	Fórmula	Referencia
Multiespectral	NDVI	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	Weier y Herring (2000)
	GLI	$\frac{2 \times Green - Red - Blue}{2 \times Green + Red + Blue}$	Louhaichi et al. (2001)
Óptico RGB	NGRDI	$\frac{(Green - Red)}{(Green + Red)}$	Gitelson et al. (2002)
	RG	$\frac{Red}{Green}$	Díaz (2015)
	TGI	$Green - 0,39 \times Red - 0,61 \times Blue$	Hunt (2013)
	VARI	$\frac{(Green - Red)}{(Green + Red - Blue)}$	Gitelson et al. (2002)
	vNDVI	$0,5268 (Red^{-0,1294} \times Green^{0,3389} \times Blue^{-0,3118})$	Costa et al. (2020)

El mosaico de índice de vegetación multiespectral NDVI se seleccionó desde el paso 3 en la sección “Calculadora de índices” que ya tiene registrado por defecto varios índices multiespectrales, entre ellos el NDVI.

Por otro lado, los índices ópticos fueron calculados posterior a la generación de los mosaicos (ortomosaico, DSM y NDVI) desde la opción “Calculadora de índices”, se procedió a generar el mapa de reflectancia desde la sección “Mapa de Reflectancia” y se registró la fórmula de cada índice de vegetación en la sección “Mapa de índice”, una vez calculado el índice se exportó su correspondiente mosaico en formato TIFF (Figura 19).

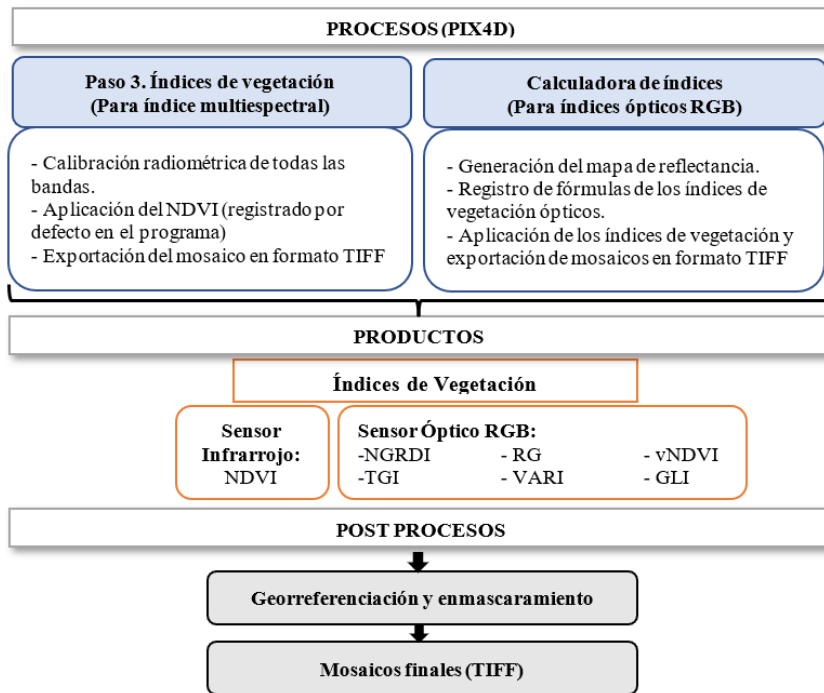


Figura 19: Configuración de pasos para obtención de índices de vegetación en PIX4D

Los mosaicos obtenidos fueron georreferenciados y recortados en base a los KMZ (*Keyhole Markup Language*) de las zonas de trabajo con el software ArcGIS 10.4.

3.3.4. Delimitación de copas

A. Delimitación semi automática de copas arbóreas en vegetación dispersa

La delimitación de copas arbóreas se desarrolló los programas ArcGIS 10.4 y Qgis 3.28.2. según se muestra en la Figura 20.

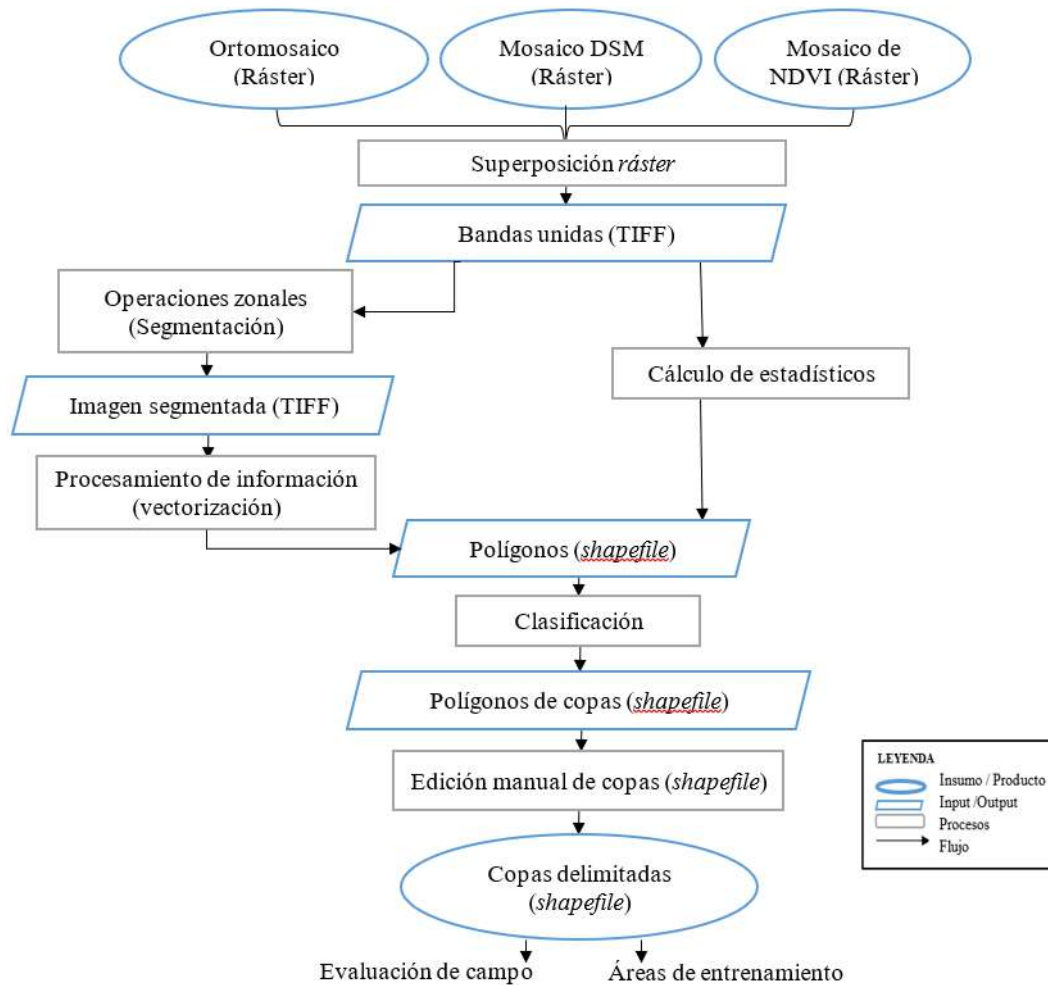


Figura 20: Flujograma de delimitación semi automática de copas vegetación dispersa

i. Superposición ráster

Se generó un archivo ráster en formato TIFF que contenía las bandas del DSM, NDVI y Ortomosaico RGB, mediante la herramienta “*Composite Bands*” del software ArcGIS 10.4, para obtener un ráster que combinara la información radiométrica del DSM, NDVI y ortomosaico (Hinojosa *et al.*, 2021).

ii. Operaciones zonales

Mediante funciones de agrupamiento, se generó una operación de contorno de objetos, a través de la segmentación del archivo SIG con la herramienta “*i.segment*” del paquete de herramientas “*GRASS*” del programa Qgis 3.28.2, con el método de segmentación

“*región_growing*” y el método de cálculo de similitud “*euclidean*”, como resultado se obtuvo un archivo ráster en formato TIFF.

Posteriormente se procesó la información del archivo TIFF mediante una vectorización con la herramienta “*Raster to Polygon*” del programa ArcGIS 10.4, como resultado se obtuvo un archivo *shapefile*.

iii. Cálculo de estadísticos

Se realizó un análisis de datos mediante la herramienta “Estadística de zona” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre y Gobierno Regional de Huánuco, 2020), del programa Qgis 3.28.2 que asignó a los polígonos del *shapefile* información radiométrica de las bandas DSM, NDVI y Ortomosaico RGB, empleando estadísticas como la moda. Para mayor detalle ver Anexos 28 al 39.

iv. Clasificación

Se realizó un tratamiento de la información mediante clasificación supervisada con el algoritmo *Random Forest*, con el software Qgis 3.28.2.

- Se crearon claves de interpretación para asignar clases a los polígonos de referencia, los cuales se exportaron en un vectorizado denominado “AOI” (áreas de interés).
- El vectorizado “AOI” se usó como insumo para el entrenamiento del clasificador *Random Forest* mediante la herramienta “*Train Vector Classifier*” del paquete de herramientas OTB.
- Se aplicó el clasificador con la herramienta “*Vector Classifier*” del paquete de herramientas OTB con lo que se obtuvo el vectorizado clasificado de edificaciones, suelo y copas arbóreas, como resultado se obtuvo un vectorizado formato *shapefile*.

v. Edición de datos

El vector clasificado fue revisado y corregido con edición manual mediante fotointerpretación en base a los mosaicos obtenidos de manera que se logró un archivo *shapefile* final de copas delimitadas.

B. Delimitación manual de copas arbóreas en vegetación densa

i. Superposición ráster

Las bandas del Ortomosaico, DSM y NDVI se unificaron en dos ráster de salida en formato TIFF como se muestra a continuación:

- Bandas unificadas 1: Ortomosaico + NDVI + DSM
- Bandas unificadas 2: Ortomosaico + NDVI

ii. Edición manual de copas arbóreas

Se delimitaron las copas arbóreas mediante la interpretación visual de los mosaicos compuestos aplicando criterios propios de la fotointerpretación en base a la forma, tonalidad, color, textura y entorno espacial de los elementos (PNUD *et al.*, 2020).

iii. Evaluación de campo

Se siguió el flujograma de la Figura 21.

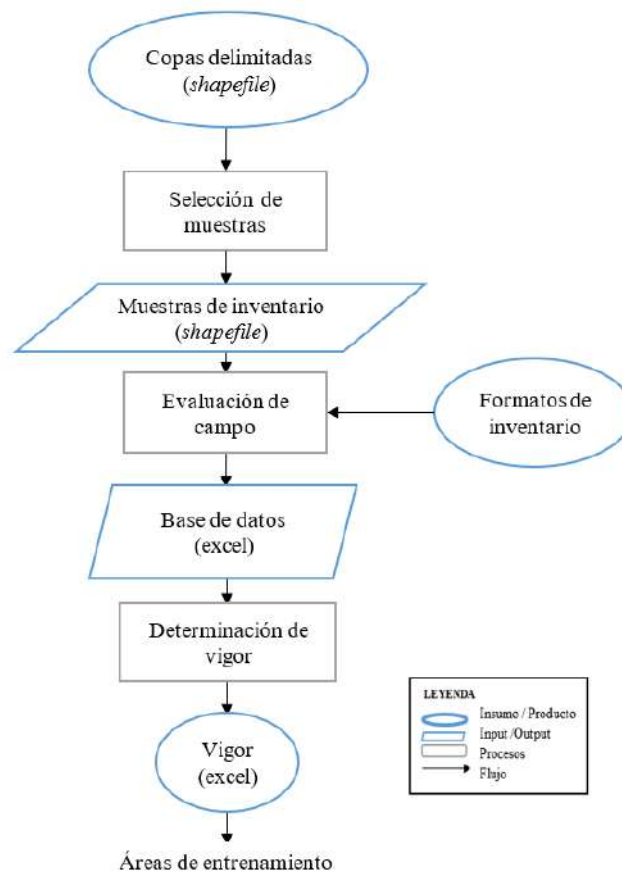


Figura 21: Flujograma para la evaluación en campo

C. Selección de muestras

Se emplearon los archivos shapefile de copas delimitadas y se aleatorizaron 150 polígonos de muestreo por zona de evaluación con la herramienta “Selección aleatoria” de Qgis 3.28.2, el archivo vector pasó a puntos con la herramienta “Feature to Point”. Posteriormente se generaron mapas de ubicación de los árboles seleccionados con sus respectivas coordenadas.

Para la toma de datos en campo se imprimieron mapas de ubicación de los individuos a muestrear en el Sistema de Coordenadas UTM WGS84, con escala 1:1 500 para la vegetación densa y 1:3 000 para la vegetación dispersa.

Se ubicaron los árboles a muestrear en campo para su evaluación con ayuda de un GPS. Los árboles de difícil ubicación se identificaron a partir de un individuo ya reconocido en el mapa y en campo, a partir del cual se midieron azimuth y distancia desde el mapa con un transportador

y escalímetro, posteriormente se midió el azimut y distancia en campo con brújula y cinta métrica.

3.3.5. Evaluación de campo

A. Evaluación del árbol

La evaluación general se realizó usando los formatos de inventario e instrumentos facilitados por el Laboratorio de Teledetección y SIG, como la cinta diamétrica, métrica e hipsómetro.

- Se obtuvieron los nombres científicos del "Bosque simulado y plantación forestal" a través de la recopilación de información de campo realizada durante el curso de Medición Forestal entre 2017 y 2019. Se utilizaron recursos como herbarios digitales y libros digitales, como el Catálogo virtual de flora del Valle de Alburra (2014) y Árboles de Lima, y se contó con el apoyo del técnico Daza del Herbario Forestal para el reconocimiento de algunas especies mediante fotos y muestras de campo.
- El diámetro a la altura del pecho se midió con el uso de cinta diamétrica al 1,30 m de la base del árbol (Huerta *et al*, 2008) de acuerdo a las situaciones que muestran las Figuras 22.

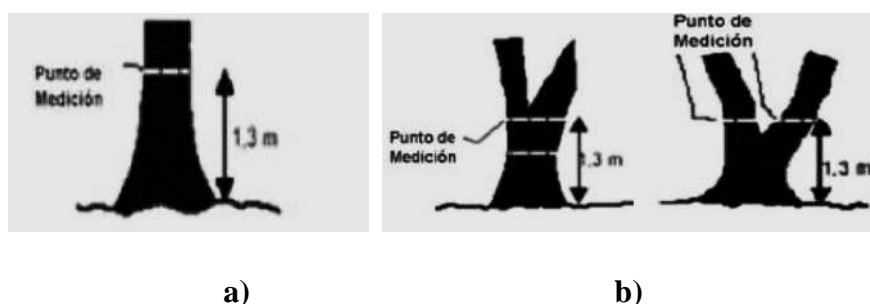


Figura 22: Medición del dap del árbol sin bifurcación (a.) y del árbol bifurcado (b.)

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2004)

- La altura del árbol se midió en metros con el hipsómetro Suunto (Huerta *et al.*, 2019) con escalas de 15m y 20m (dependiendo de la accesibilidad) para medir 1 de cada 10 árboles como se muestra en la Figura 23. Los otros 9 árboles se midieron con estimación visual; se registró altura total y altura de fuste de cada árbol.

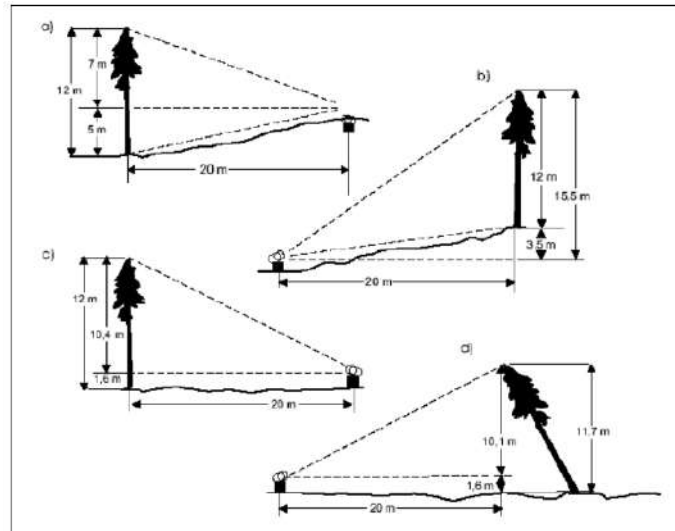


Figura 23: Medida de altura total del árbol con hipsómetro

Fuente: FAO (2004)

- El diámetro de copa se midió en metros con estimación visual para todos los individuos; se registraron diámetro mayor y menor de copa de cada árbol.
- Los parámetros cualitativos como calidad de fuste, estrato y presencia de flores y frutos se evaluaron con códigos creados de acuerdo a Huerta *et al.* (2008).

Para mayor detalle ver Anexo 22.

B. Determinación del vigor

Autores como Malleux (1982) establecen 3 clases de vigor en base a la biomasa del árbol de acuerdo al entorno; Carrasco *et al.* (2019) por otro lado considera 5 clases de porcentajes de defoliación el cual toma como referencia para el vigor; además, Morales *et al.* (2023) estudió

la relación de índices de vegetación con la densidad de copa, que toma como referencia para la salud y vigor arbóreo.

Debido a que el vigor es un término general, se tomaron las referencias mencionadas para crear una codificación que permita su determinación en base a los siguientes datos:

- Dato cuantitativo: Defoliación de la copa del árbol, estimado en porcentaje con estimación visual para lo que se crearon claves de interpretación.
- Datos cualitativos: Nivel de severidad del daño a la copa del árbol en base a estimación visual, para lo cual se crearon claves de interpretación.

C. Registro fotográfico

Se capturaron imágenes de los árboles evaluados con diferentes vistas: vista al código, vista general del árbol completo; vistas del fuste (con énfasis en los agentes de daño si los tuviera), vista de la copa y de las hojas, flores y frutos (si era posible).

D. Sistematización de base de datos.

Los formatos de inventario fueron sistematizados en una base de datos en Excel donde se determinó el vigor de los individuos evaluados; se ordenaron las fotografías captadas en carpetas. La base de datos se archivó como Libro de Excel versión 97-2003 la cual permite importar su información a programas SIG como ArcGIS o Qgis.

3.3.6. Áreas de entrenamiento

Se siguió el flujograma de la Figura 24.

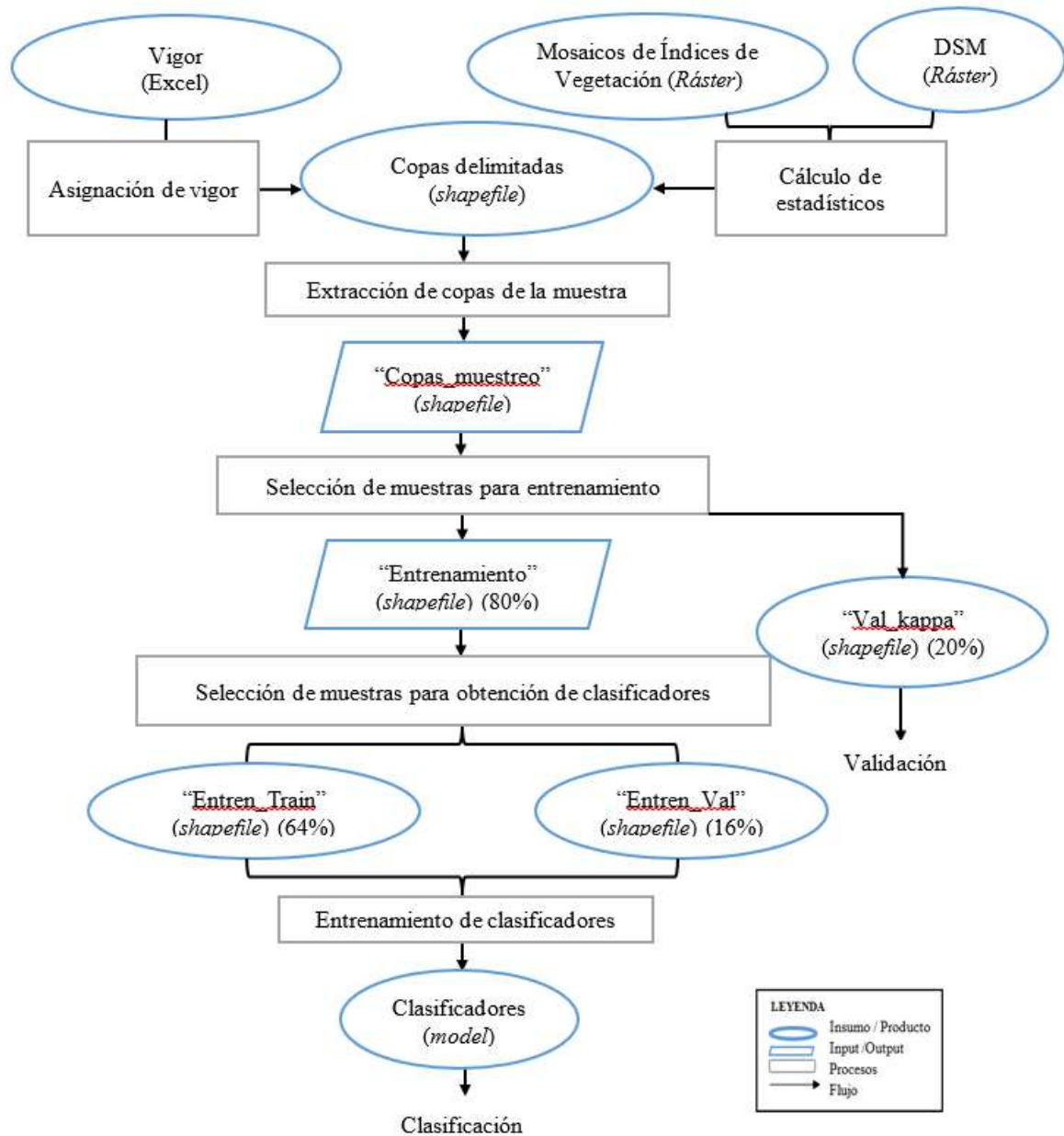


Figura 24: Flujograma de obtención de áreas de entrenamiento

A. Asignación de vigor

Para el procesamiento en SIG, se reclasificó el vigor de 6 clases (inventario) a 3 clases de vigor: alto, medio y bajo (Huerta *et al.*, 2008).

Se contrastaron los datos de vigor de cada uno de los 290 árboles evaluados con los mosaicos para identificar si la información encontrada en campo se correspondía con la respuesta espectral de sus copas delimitadas en los mosaicos.

Los valores de vigor en formato excel se importaron a la tabla de atributos de los *shapefile* de copas delimitadas mediante la herramienta “*Join Field*” del software ArcGIS 10.4.

B. Cálculo de estadísticos

Mediante la herramienta “Estadística zonal” del programa Qgis 3.28.2. se calcularon valores estadísticos como “moda, promedio, varianza, rango y desviación estándar” tanto del DSM como de los índices de vegetación, los que fueron asignadas a los polígonos de copas delimitadas.

C. Extracción de las copas de la muestra

Se extrajo del *shapefile* de copas delimitadas con los valores de vigor y estadísticos asignados, las copas de la muestra en el *shapefile* “Copas_muestreo”, con la herramienta “*Export data*” del software ArcGIS 10.4.

D. Selección de copas para entrenamiento

Se seleccionó aleatoriamente el 80% de las copas, las que se exportaron en un archivo *shapefile* denominado “Entrenamiento”, mientras que con el 20% restante se generó el *shapefile* “Val_Kappa” destinado para la validación final de clasificación (Hinojosa *et al.*, 2021). La selección aleatoria se generó con la herramienta *Random* del programa Qgis 3.28.2.

Del *shapefile* “Entrenamiento” se realizó otra selección aleatoria del 64% de las copas muestreadas que se exportó en el *shapefile* “Entren_Train” para el entrenamiento de clasificadores, el 12% restante se exportó en un *shapefile* denominado “Entren_Val” para la validación de clasificadores.

E. Entrenamiento de clasificadores

Se empleó la herramienta “*Train Vector Classifier*” del paquete de herramientas *Orfeo ToolBox* del software Qgis 3.28.2 para el el entrenamiento de los clasificadores (Hinojosa *et al.*, 2021), de acuerdo a los siguientes pasos:

- Se importó el *shapefile* “Entren_Train” a la pestaña de “*Input Vector Data*” de la herramienta “*Train Vector Classifier*”.
- En la opción “*Field names for training features*” se seleccionaron los estadísticos de los índices de vegetación (media, moda, varianza, desviación estándar y rango); en algunos casos se incluyó los mismos estadísticos para el DSM.
- El *shapefile* “Entren_Val” se importó como *input* en la pestaña de “*Validation Vector Data*”.
- Se estableció la clase “Vigor” como la categoría a clasificar desde la pestaña “*Field containing the class integer label for supervisión*”.
- Se seleccionó el algoritmo *Random Forest* para entrenar los clasificadores desde la pestaña de “*Classifier to use for the training*”.
- Se ajustaron los parámetros “*Maximum depth of the tree*” y “*Maximum number of trees in the forest*”.
- Como *output* se obtuvieron los clasificadores entrenados en formato *model*, sus respectivos índices de Kappa aparecieron en la ventana de resultados de la herramienta “*Train Vector Classifier*”.

Con el fin de hallar los mejores clasificadores se incluyó en algunas de las combinaciones el DSM además del índice de vegetación a evaluar; asimismo se variaron los valores de parámetros como “*Maximum depth of the tree*” y “*Maximum number of trees in the forest*”.

El parámetro “*Maximum depth of the tree*” se configuró para establecer el número de niveles máximos de subdivisión que tendría el árbol de decisión (OTB CookBook, 2023).

El parámetro “*Maximum number of trees in the forest*” se configuró para determinar el número máximo de “árboles de decisión” o iteraciones a realizar por el programa para entrenar el clasificador adecuado para el objetivo (OTB CookBook, 2023).

3.3.7. Clasificación

Para la clasificación de copas se utilizaron los clasificadores obtenidos en el paso anterior, a cada uno de los índices de vegetación para los cuales se aplicó la metodología de Hinojosa (2021) y PNUD *et al.* (2020) con el software Qgis 3.28.2 (Figura 25).

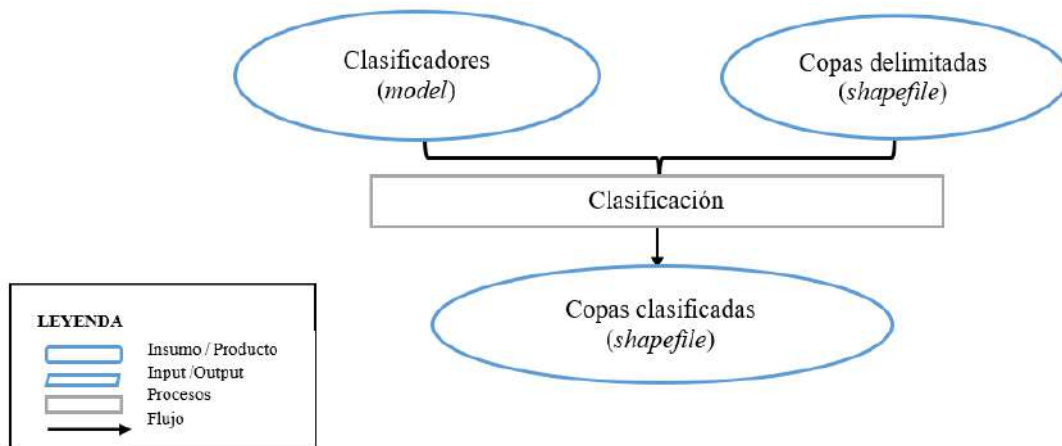


Figura 25: Flujograma de clasificación de vigor

Los clasificadores fueron aplicados con la herramienta “*Vector Classifier*” del paquete OTB del software Qgis 3.28.2 (PNUD *et al.*, 2020). Como *input* de esta herramienta se usaron los clasificadores en formato *model* y el *shapefile* de copas delimitadas (que se obtuvieron en el ítem 3.3.5). Como *output* se obtuvo la clasificación de vigor de las copas en formato *shapefile*.

El *shapefile* de las copas clasificadas y los ortomosaicos (que se obtuvieron en la obtención de imágenes, ítem 3.3.3) fueron emplearon para componer los mapas de vigor de cada índice de vegetación. Esta operación se realizó en el software ArcGIS 10.4.

3.3.8. Validación

El proceso de validación se realizó según el flujograma de la Figura 26.

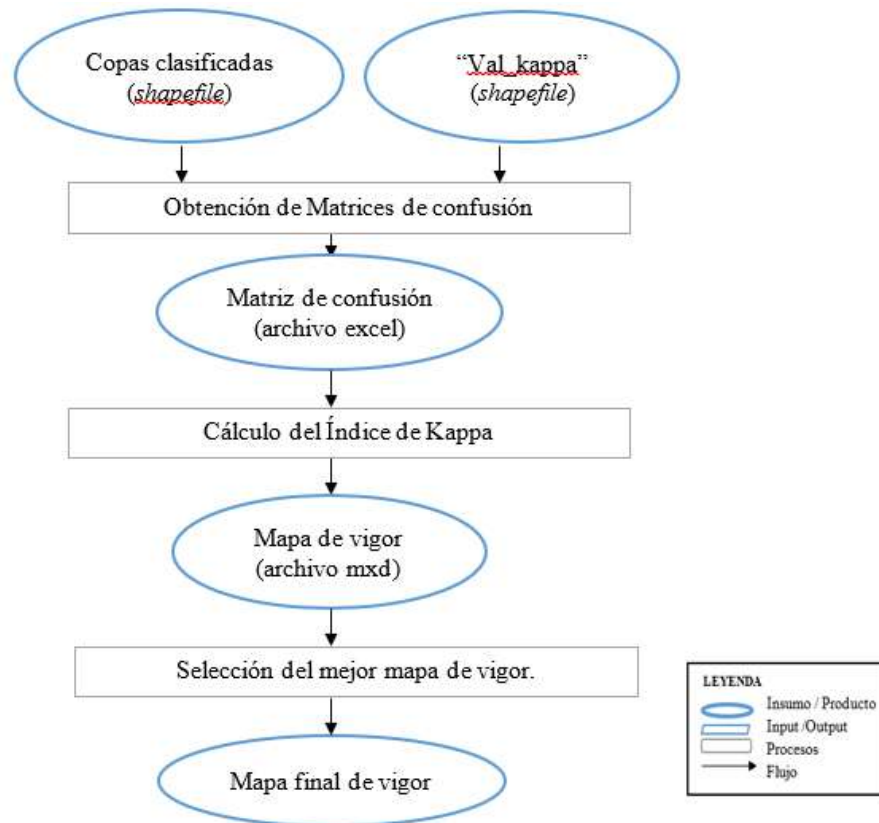


Figura 26: Flujograma de validación de mapas

A. Obtención de Matrices de confusión

Se empleó el *shapefile* "ValKappa" obtenido en el proceso de selección de áreas de entrenamiento, el cual representó el 20% de las copas de la muestra (Hinojosa, 2021), éste que contenía la información de vigor (campo) y estadísticos de los mosaicos.

Mediante la herramienta "Select by Location" del programa ArcGIS 10.4 se seleccionaron las copas clasificadas para validación de cada prueba y se exportaron en un *shapefile*, cuyo archivo dbf (*data base file*) contenía la información de la tabla de atributos la cual fue convertida a formato xml de Excel.

La base de datos en Excel fue procesada para crear la matriz de confusión de cada clasificación y fue guardada en un libro de Excel.

B. Cálculo del Índice de Kappa

En base a los resultados obtenidos con cada matriz de confusión se calculó el índice de Kappa de cada clasificación con la siguiente fórmula (Cohen, 1960):

$$Kappa = \frac{Po - Pe}{1 - Pe}$$

Donde:

Po= Número de aciertos/Número total de clases.

Pe= Cálculo generado desde la matriz de confusión.

El índice de Kappa se valoró según la Tabla 4.

Tabla 4: Valoración del coeficiente Kappa

Coefficiente de Kappa (K)	Fuerza de concordancia
< 0,00	Pobre
0,00 – 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Considerable
0,81 – 1,00	Casi perfecta

Fuente: Landis y Koch (1977) citado por Casco (2017)

C. Selección del mejor mapa de vigor

La selección del mejor mapa de vigor se dio en 2 etapas: en la primera se seleccionaron aquellos que tuvieran la mayor fuerza de concordancia según la tabla 4. En una segunda etapa los mapas previamente seleccionados fueron analizados por el valor numérico del índice de Kappa y se seleccionó el de mayor índice.

D. Análisis de resultados

Se analizaron los resultados obtenidos mediante el proceso de clasificación de vigores para ambas zonas de vegetación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Planificación

4.1.1. Planificación de vuelos

A. Evaluación previa de las zonas de trabajo en campo

i. Zona de vegetación densa

Se identificó un tanque de agua en las proximidades de la zona de trabajo; posteriormente se exploró los alrededores del Bosque Simulado con un RPA Phantom 3 Estándar. Se constató a través de los vuelos previos que la torre de agua no significaba un riesgo en la planificación (Figura 27).

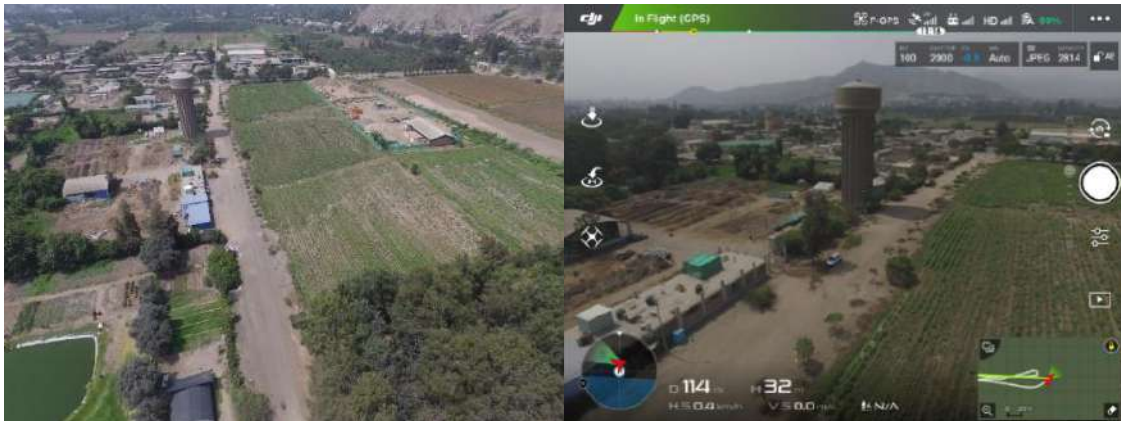


Figura 27: Identificación de obstáculos en la zona de vegetación densa

ii. Zona de vegetación dispersa

Se halló un árbol de eucalipto próximo a la Facultad de Ciencias Forestales con una altura mayor a 40m y fuera de la zona de trabajo por lo que no se le consideró un riesgo en la

planificación del vuelo; igualmente se determinó un área despejada para el despegue del RPA en los jardines cercanos al Apiario UNALM.

Esta zona presenta un área más extensa (11,82 ha), por lo que hubo una mayor distancia de vuelo entre el RPA y el radiocontrol, durante los vuelos se presentaron momentos de desconexión entre ellos por lo que se optó por mover la zona de despegue a un lugar más céntrico, cerca al centro de Apicultura. Barrena *et al* (2019b) comenta que la pérdida de señal entre el RPA y el control a tierra representa un inconveniente peligroso debido a que imposibilita la comunicación entre ellos y por lo tanto el control sobre el RPA.

B. Generación de planes de vuelo

i. Zona de trabajo de vegetación densa

Las coordenadas del área delimitada para el sobrevuelo se muestran en la Tabla 5, como resultado se obtuvo el plan de vuelo que se muestra en la Figura 28.

Tabla 5: Coordenadas UTM del polígono del área de vegetación arbórea densa

Vértice	Este	Norte
A	287 816	8 663 135
B	288 027	8 663 215
C	288 086	8 663 036
D	287 908	8 662 966

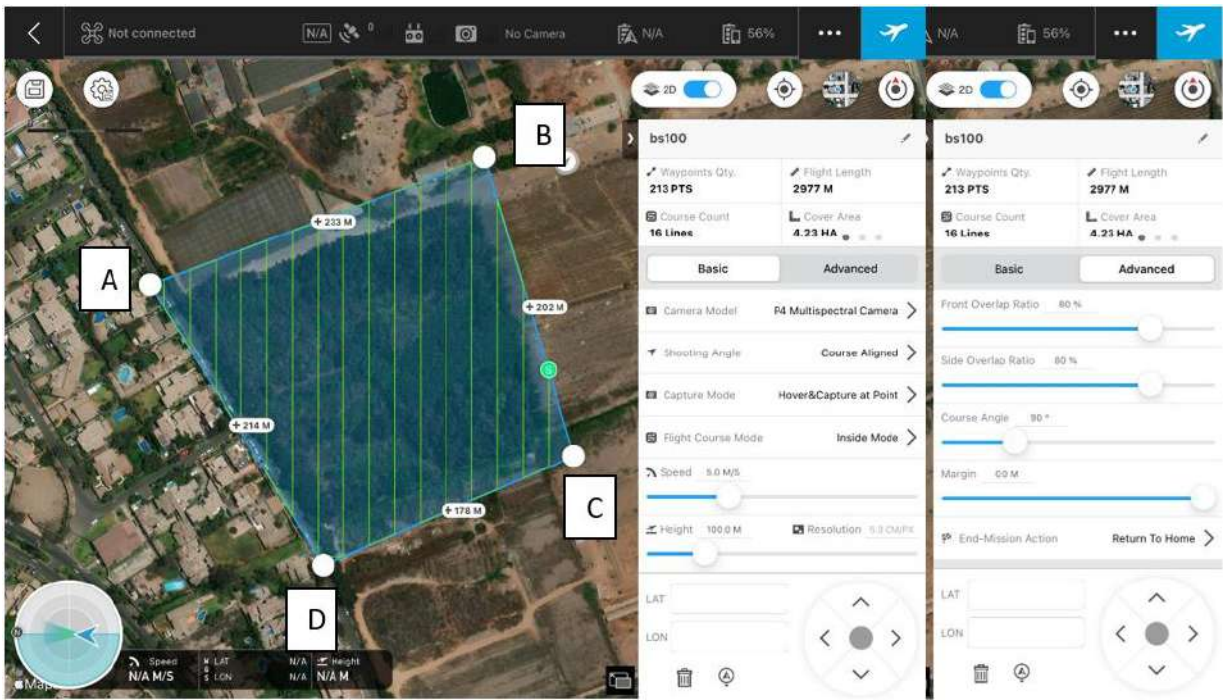


Figura 28: Captura de pantalla de plan de vuelo para el área de vegetación arbórea densa con el RPA Phantom 4 Advance Multiespectral

ii. Zona de trabajo de vegetación dispersa

Las coordenadas del área delimitada para el sobrevuelo de la vegetación dispersa se muestran en la Tabla 6, como resultado se obtuvo el plan de vuelo que se muestra en la Figura 29.

Tabla 6: Coordenadas UTM del polígono del área de vegetación arbórea dispersa

Vértice	Este	Norte
A	287 700	8 663 662
B	288 171	8 663 870
C	288 232	8 663 636
D	287 799	8 663 445

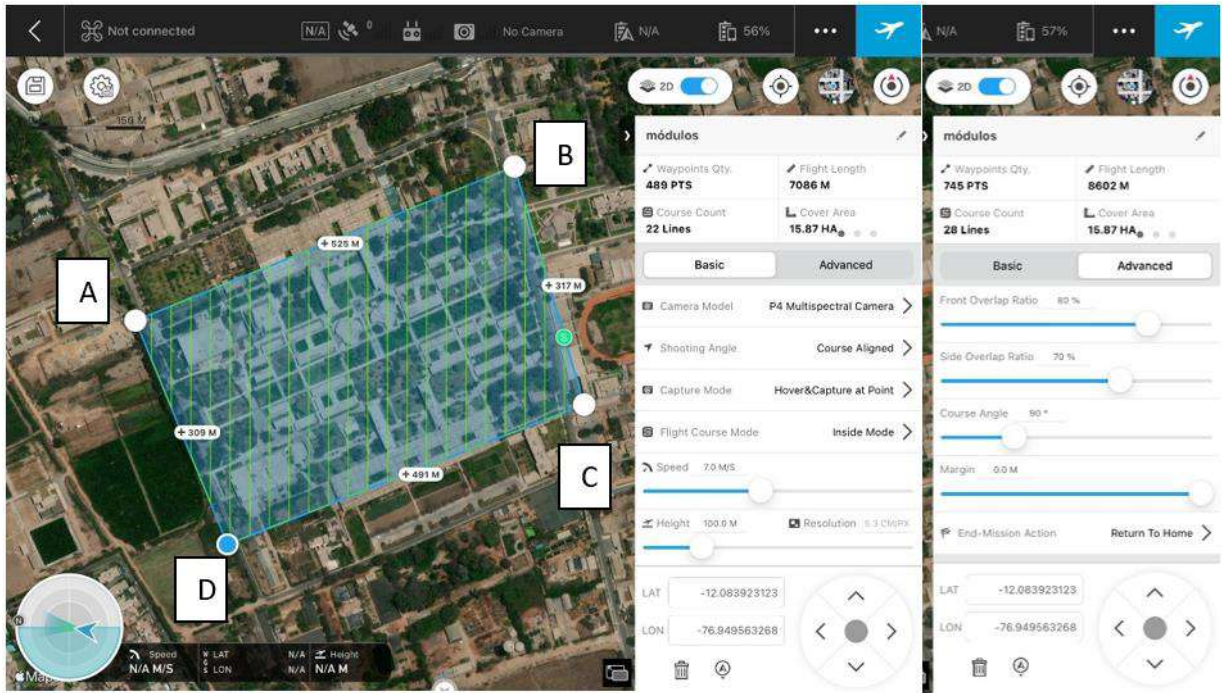


Figura 29: Captura de pantalla de plan de vuelo para el área de vegetación arbórea dispersa con el RPA Phantom 4 Advance Multiespectral para el año 2022

iii. Parámetros de vuelo

Los parámetros de vuelo para ambas zonas de trabajo se muestran en la Tabla 7

Tabla 7: Parámetros de vuelo para el RPA Phantom 4 Multiespectral

Zona de evaluación	Área (ha)	Altura de vuelo (m)	Resolución de imagen (cm/pixel)	Velocidad de vuelo (m/s)	Parámetros de vuelo		
					Traslape frontal (%)	Traslape lateral (%)	Inclinación de cámara (°)
Vegetación densa	4,23	100	5,30	5	80	80	90
Vegetación dispersa	15,87	100	5,30	7	80	70	90

A. Diseño de formato de inventario

i. Evaluación del árbol

Se elaboró formato de inventario para la toma de datos en campo como muestra la Tabla 8.

Tabla 8: Esquema de ficha de inventario para toma de datos en campo

N° individuo	Nombre Común	Nombre Científico	Familia	dap (cm)	Altura del árbol (m)		Calidad de fuste		Diámetro de copa (cm)		Defoliación (%)	Severidad de daño			Estrato vertical	Flores y frutos	Obs
					hf	ht	5 m	10 m	15 m	dc menor		dc mayor	Ag 1	Sev			
1																	
2																	
...																	

Donde:

dap = diámetro a la altura del pecho.

hf = altura de fuste.

ht = altura total.

dc = diámetro de copa.

5m = calidad de fuste a los 5 metros.

10m = calidad de fuste a los 10 metros.

15m = calidad de fuste a los 15 metros.

Sev = severidad del agente de daño.

Ag. = agente de daño (biótico, abiótico).

Obs = observaciones.

ii. Determinación de vigor

La codificación para la determinación del vigor se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9: Códigos para la determinación del vigor

		Defoliación (%)					
		0-10	11-25	26-50	51-75	76-98	100
Severidad de daño	Severo	VRA	VR	VR	VRB	VB	M
	Moderado	VA	VRA	VR	VRB	VB	M
	Leve	VA	VRA	VR	VRB	VB	M

Donde:

VA = Vigor alto

VRA = Vigor regular a alto

VR = Vigor regular

VRB = Vigor regular a bajo

VB = Vigor bajo

M = Muerto

Las claves de interpretación para defoliación se encuentran en la Figura 30 para la vegetación densa y en la Figura 31 para la vegetación dispersa.

Donde:

- Defoliación 0-10%: Son copas arbóreas donde no se observa defoliación aparente, presenta hojas jóvenes y antiguas y una copa homogénea y densa.
- Defoliación 11-25%: Individuos que, aunque tienen copa con buena densidad de follaje presenta algunas ramas sin hojas, por lo que se pueden observar vacíos en ella.

- Defoliación 26-50%: Cuando el individuo presenta en su copa una notoria pérdida de follaje, se aprecian partes donde la copa no tiene hojas e incluso se ve una copa incompleta.
- Defoliación 51-75%: Son árboles con una importante pérdida de follaje en la mayor parte de la copa, indicio de que el árbol puede estar siendo dañado por algún agente nocivo.
- Defoliación 76-98%: Son árboles con una pérdida de hoja casi total en la copa, lo que puede deberse a que el árbol está siendo dañado gravemente en el caso de especies de hoja perenne, aunque también podría tratarse de especies caducas en estado de defoliación natural, por lo que es importante la identificación y caracterización de las especies.
- Defoliación 100%: Árboles perennes que se encuentran secos, sin hojas ni frutos, donde la situación del árbol se ve comprometida de forma aparentemente irreversible.
- Las claves de interpretación en la severidad del daño en la copa se observan en la Figura 32.

Donde:

- Severo: Cuando la mayor parte de las hojas se han visto afectadas por agentes como insectos, hongos, entre otros, de manera que las hojas han perdido verdor o se ven marchitas, lo que puede comprometer la actividad fotosintética de la copa a pesar de que ésta pueda verse sin defoliación aparente, como en el caso de frutales como el mango atacado por mosca blanca.
- Moderado: Cuando las hojas se ven atacadas por algún agente de daño, aunque este no implique un daño grave a la copa, debido a que no pierde su verdor ni se observa marchitez para la mayoría de hojas.

- Leve: Cuando las hojas se ven sanas a excepción de algunas que pueden presentar clorosis de forma aislada, por lo que no se compromete el vigor del árbol.



Figura 30: Claves de identificación para rangos de porcentaje de defoliación para la vegetación densa

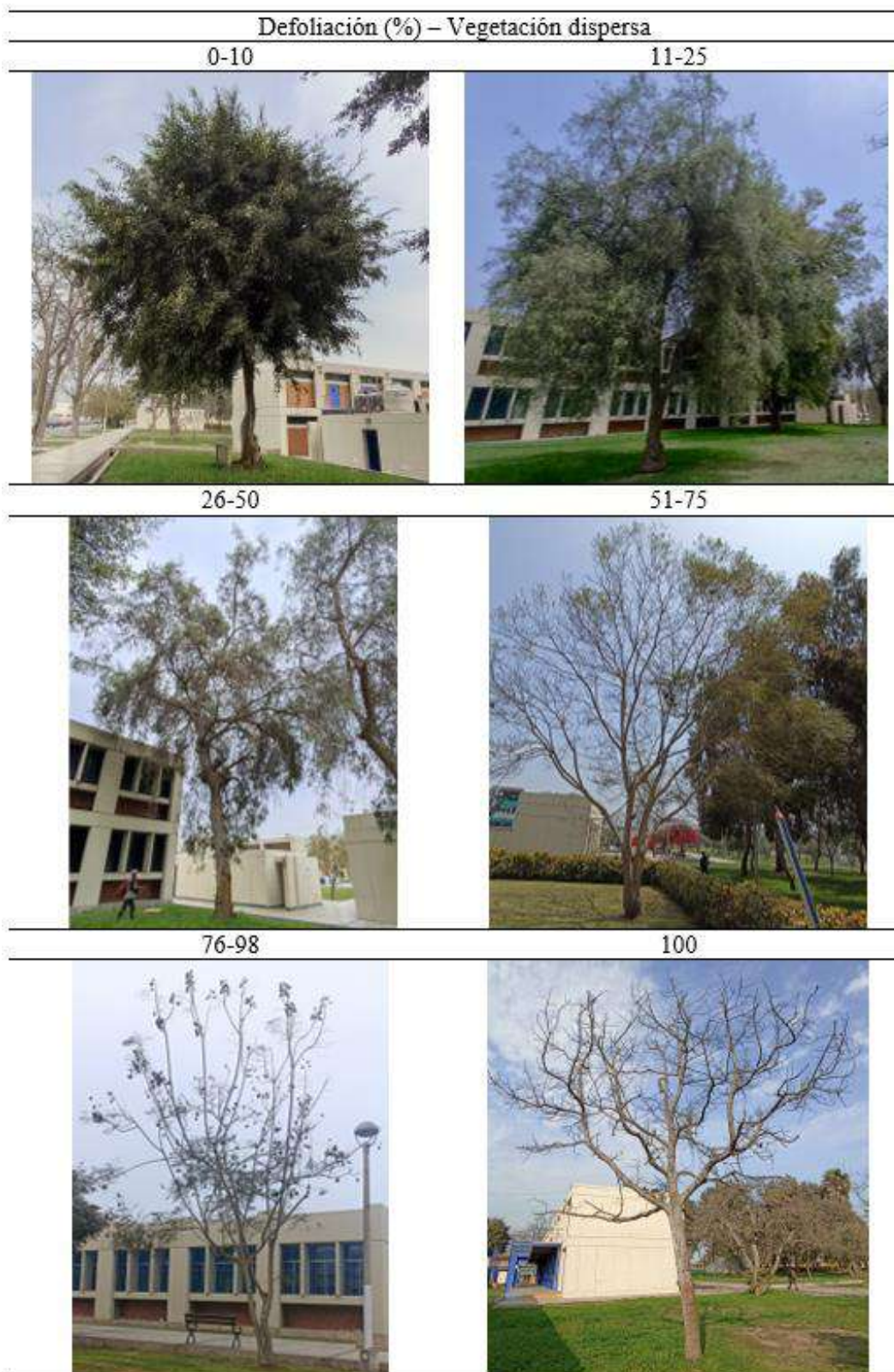


Figura 31: Claves de identificación para rangos de porcentaje de defoliación para la vegetación dispersa

Se encuentra las claves de interpretación para la severidad de daño en la copa arbórea en la Figura 32.



Figura 32: Claves de identificación para niveles de severidad de agente de daño en la copa donde severo y moderado es provocado por agente biótico y leve por otro agente que se evidencia con clorosis en algunas hojas

4.2. Obtención de imágenes

4.2.1. Vuelos con RPA

A. Preparación del vuelo

i. Lista de chequeo

La lista de chequeo se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10: *Check list* de equipos y materiales para sobrevuelo

ITEM	CANTIDAD
Phantom 4 Multispectral	1
Baterías para Phantom 4	4
Hélices negras	6
Hélices grises	6
Control remoto	1
Tablet iPad mini 32 Gb	1
Cargador de baterías para Phantom 4	1
Cargador para RC y batería	1
Cable conector para PH4	1
Micro SD 32 Gb	1
Mochila para Phantom 4	1
Protector de gimbal	1
Plataforma de vuelo	1
Binoculares	1
Formato de vuelo	1

ii. Ejecución del vuelo y actividades posteriores al vuelo

El formulario para el registro de vuelos se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11: Registro de vuelos realizados con el RPA Phantom 4 Multiespectral

REGISTRO DE VUELOS														
Fecha	Zona de evaluación	Altura de vuelo (m)	GSD (cm/pixel)	Parámetros de vuelo				Área (ha)	Tiempo de vuelo	N° vuelos requeridos	Hora inicio	Hora final	N° de fotos	Condiciones climáticas
				Traslape frontal (%)	Traslape lateral (%)	Inclinación de cámara (°)	Velocidad de vuelo (m/s)							
25/08/2022	Vegetación dispersa	100	5,30	80	70	90	7	15,87	1h 10min	5	15:25	17:15	3 402	nublado/ precipitación leve
31/08/2022	Vegetación densa	100	5,30	80	80	90	5	4,23	26 min	2	13:09	13:36	1 248	mayormente nublado

Cabe resaltar que ambas zonas se sobrevolaron el 25 de agosto, sin embargo, el mosaico de la vegetación densa presentó zonas incompletas por imágenes faltantes por lo que las fotos fueron desechadas y se repitió la misión el 31 de agosto (Tabla 11), la falta de imágenes capturadas no tiene una explicación clara, pero pudo deberse a una descalibración de las cámaras al momento del vuelo (PIX4D, 2021).

Según se observa en la Tabla 12, en la zona de vegetación densa se obtuvo un mayor número de imágenes por hectárea que para la zona de vegetación dispersa, esto debido a que para el vuelo de la vegetación densa se configuró un traslape de mayor porcentaje y una velocidad de vuelo menor que para la vegetación dispersa.

Tabla 12: TaRelación de N° imágenes/ha para las zonas de evaluación

Zona de evaluación	N° imágenes	Área (ha)	N° imágenes/ha
Densa	1 248	4,23	295,04
Dispersa	3 402	15,87	214,37

Se obtuvieron 3 402 fotos para la de vegetación dispersa, sin embargo, para la elaboración del ortomosaico se usaron 567 ya que este solo requiere información de la banda del sensor óptico RGB; mientras que, para la zona de vegetación densa, de las 1 248 fotos obtenidas para la vegetación dispersa, 208 fueron utilizadas para su respectivo ortomosaico. Por lo tanto, la vegetación dispersa requirió de un promedio de 36 fotos por hectárea, mientras que la densa obtuvo un promedio de 49 fotos por hectárea, esta última requirió mayor cantidad de fotos debido a las limitantes que implica mapear vegetación de alta densidad dada la presencia de un gran número de hojas captadas en diversos ángulos por los sensores, ya sea por la posición del RPA al momento de capturar la imagen o por condiciones de viento que alteran la posición de las hojas, lo que dificulta el emparejamiento de las imágenes en el proceso de la elaboración del mosaico.

Debido a que los vuelos se desarrollaron en época de invierno en Lima, las condiciones climáticas fueron las típicas con días nublados y de alta humedad como se muestra en la Tabla 13, la alta humedad ambiental provocó que en el mosaico hubiera zonas con diferencia de luminosidad.

Tabla 13: Datos meteorológicos de los días de sobrevuelo

Fecha	Zona de evaluación	Altura de vuelo (m)	Datos meteorológicos				
			Temperatura (°C)	Precipitación (mm/hora)	Humedad (%)	Dirección del viento (°)	Velocidad del viento (m/s)
31/08/2022	Vegetación densa	100	15,08	0,1	81,29	249	3,56
25/08/2022	Vegetación dispersa	100	13,86	0,1	88,29	274	3,00

Fuente: Adaptado de SENHAMI (2022)

4.3. Procesamiento de imágenes

4.3.1. Generación de mosaicos

Tras más de 10 pruebas de procesamiento entre las zonas de vegetación densa y dispersa, se muestran los mejores parámetros de procesamiento encontrados para las condiciones en que se dieron los vuelos.

A. Adaptación de las imágenes

Al aplicar la calculadora para determinar el desplazamiento medio de pixel (Figura 33), se encontró que, para el plan de vuelo de la vegetación densa, los vuelos con Phantom 4 Multiespectral a una altura de 100 m y una velocidad de vuelo de 5 m/s presentaban un desplazamiento medio de pixel mayor a 2 píxeles (5.25 píxeles), valor sobre el cual PIX4D (2021) recomienda aplicar el algoritmo para mejorar la calibración de las imágenes.

VERTICAL PIXEL DISPLACEMENT CALCULATOR

Instructions

1. Enter the Sensor Height of the camera (millimeters) in cell C16
2. Enter the Focal Length (millimeters) in cell C17 (real focal length, not 35 mm equivalent)
3. Enter the Image Height (pixels) in cell C18
4. Enter the Sensor Readout Time (milliseconds) in cell C20
5. Enter the Flight Height (meters) in cell C21
6. Enter the Drone Velocity (meters / second) in cell C22
6. Hit Enter

Calculator

Camera parameters

SH	13.12 = sensor height (millimeters)
FR	15.47 = focal length (millimeters)
IH	3000 = image height (pixels)

Flight parameters

ST	33 = sensor readout time (milliseconds)
H	
V	

VPD

VPD	5.25 = Vertical Pixel Displacement
-----	------------------------------------

Figura 33: Calculadora de desplazamiento vertical de píxeles

En el caso de la vegetación densa, se observó que el algoritmo fue efectivo para corregir distorsiones producidas por el efecto de copas arbóreas captadas en diferentes ángulos en algunas zonas de empalme (Figura 34). Al respecto PIX4D (2021) menciona que errores de

empalme como el efecto de “persiana enrollable” pueden producirse por objetos capturados en movimiento, tales como copas de árboles movidas por viento.

Otra posible razón pudo deberse al traslape de 80%, que podría no haber sido suficiente para obtener un mosaico sin errores. Tagle *et al* (2021), menciona que aumentar el traslape de las fotos a un 90% puede disminuir las distorsiones debido a la disponibilidad de fotos extras que permiten omitir fotos mal capturadas o llenar huecos de información.







Nº Escena	Coordenada X	Coordenada Y	Escala	Modo de procesamiento		Observación (defecto corregido)
				Por defecto	Con <i>Linear Roller Shutter</i>	
1	288 977	8 663 167	1:800			Imagen con distorsión
2	288 002	8 663 123	1:800			Efecto persiana enrollable
3	288 047	8 663 070	1:800			Copas duplicadas

Figura 34: Comparación de los Ortomosaicos obtenidos mediante procesamiento por defecto y procesamiento con *Linear Roller Shutter*

Para el caso de la vegetación dispersa no se encontraron defectos de emparejamiento de imágenes significativos, esto probablemente a que se trata de una zona urbana con la presencia de elementos como edificaciones o veredas las cuales son fáciles de reconocer entre imágenes, por lo que el traslape de 80% y 70% frontal y lateral respectivamente permitió una buena superposición de fotos. PIX4D (2021) indica que, para mapear zonas sin bosques, un traslape de 75% frontal y 60% lateral es suficiente para generar un buen mosaico.

B. Corrección geométrica

La configuración del Paso inicial o paso 1 se muestra en la Figura 35.

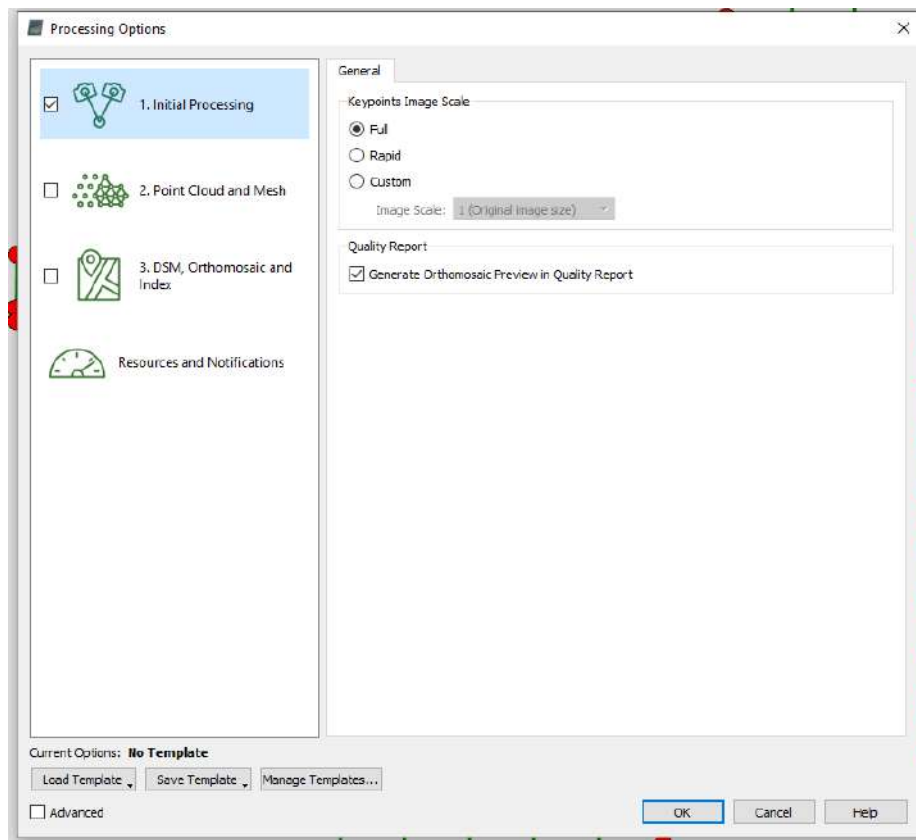


Figura 35: Captura de pantalla del Paso 1 en PIX4D Mapper – Parámetros generales

La configuración del Paso 2 para la nube de puntos y malla texturizada se muestran en la Figura 36. Mientras que en la Figura 37 se muestra la configuración del paso 3 para la elaboración del DSM y ortomosaico.

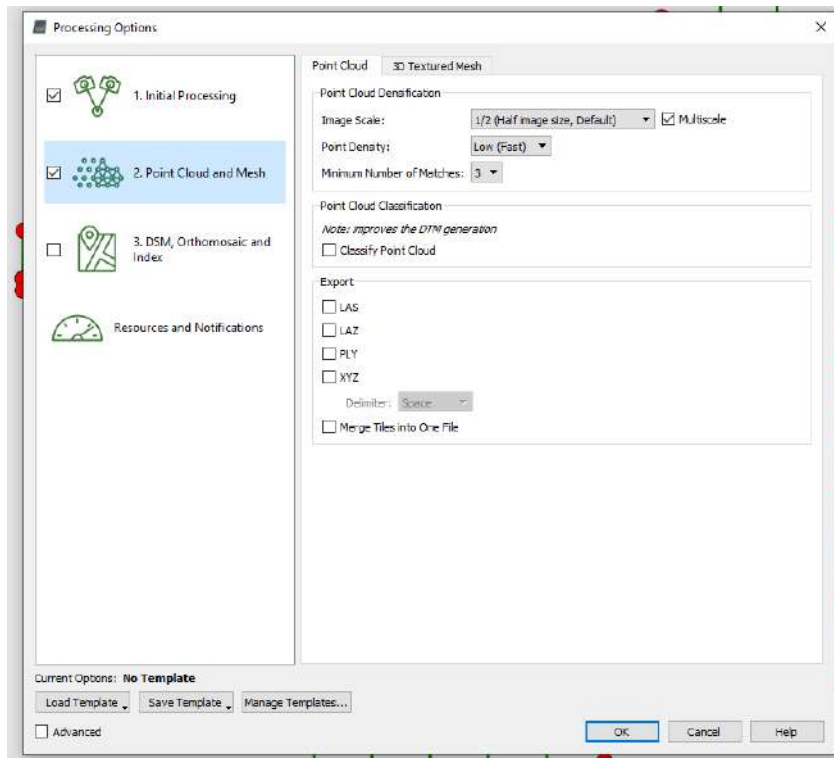


Figura 36: Configuración del Paso 2 en PIX4D Mapper - Nube de puntos

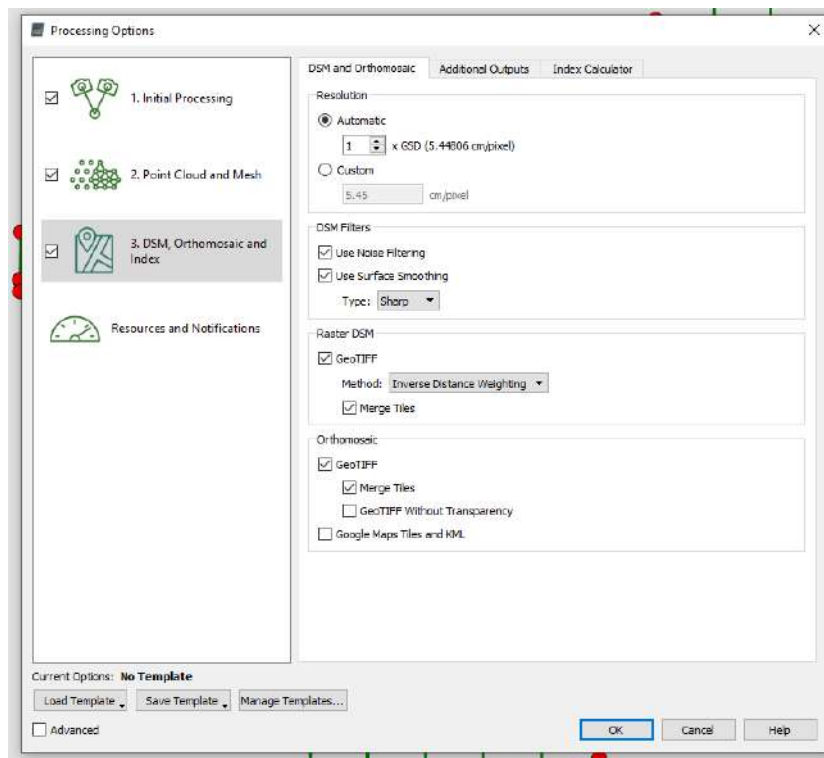


Figura 37: Configuración del Paso 3 en PIX4D Mapper – DSM y Ortomosaico

Como resultado se obtuvieron los ortomosaicos y DSM de cada zona de evaluación como lo muestran las Figuras 38 y 39 para la zona de vegetación densa y las Figuras 40 y 41 para la zona de vegetación dispersa.

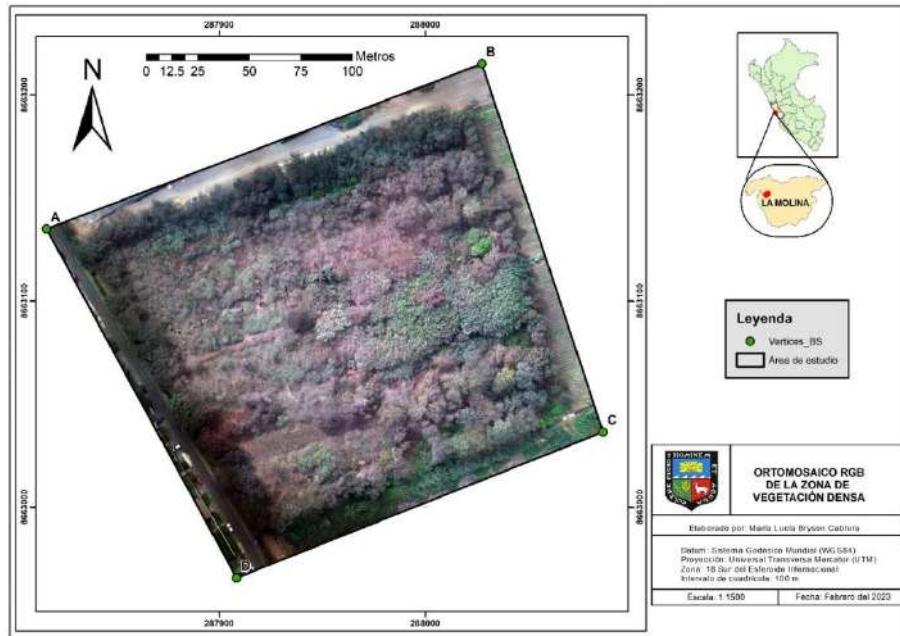


Figura 38: Ortomosaico RGB de la zona de vegetación densa

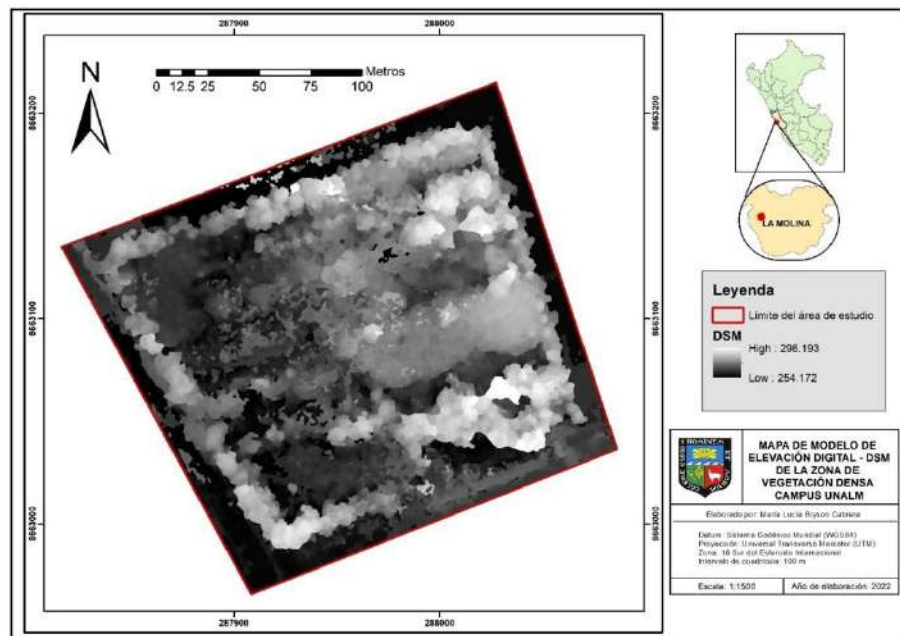


Figura 39: Modelo Digital de Superficie - DSM de la zona de vegetación densa

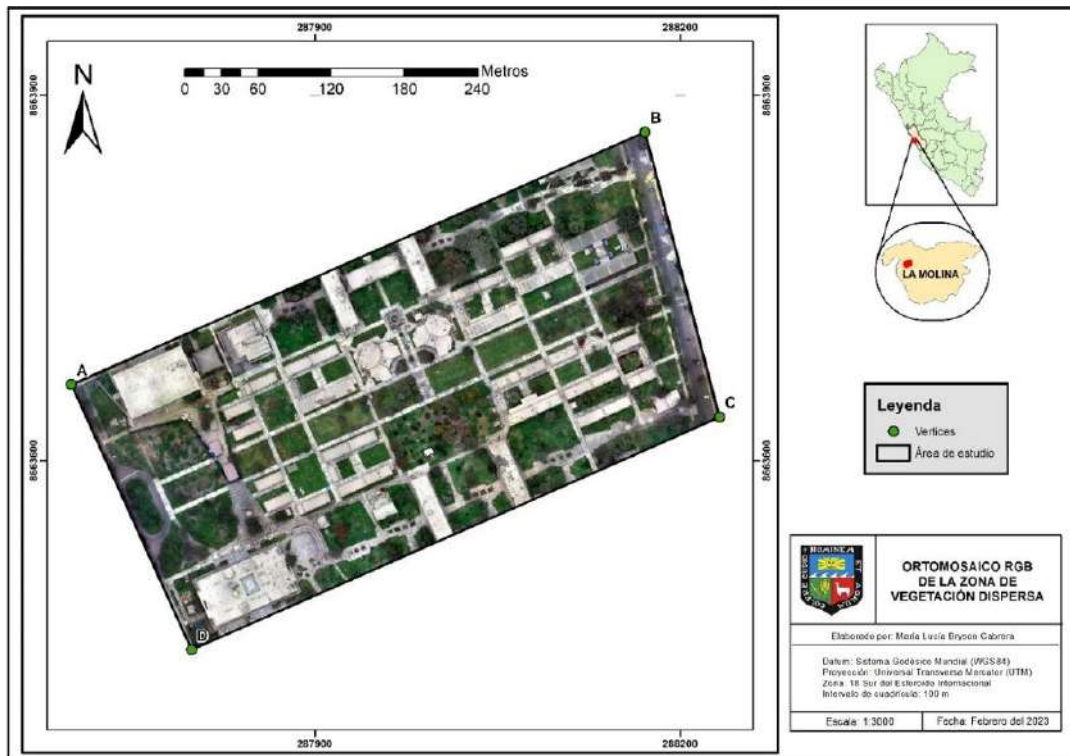


Figura 40: Ortomosaico RGB de la zona de vegetación dispersa

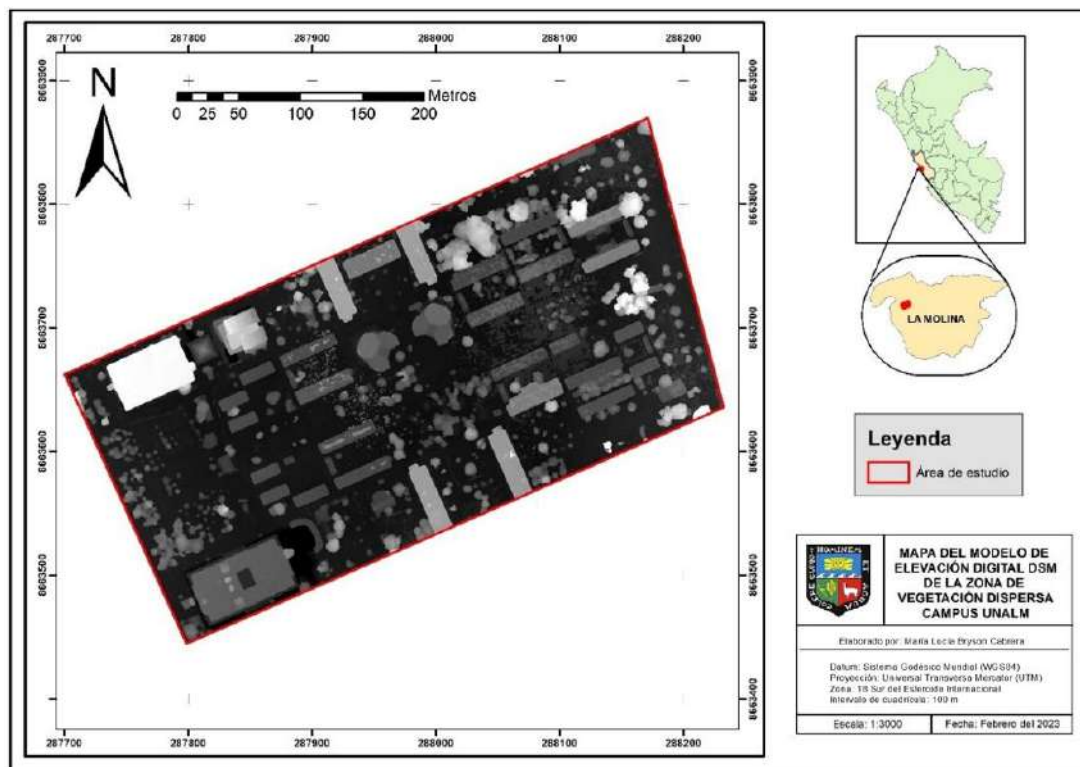


Figura 41: Modelo de Elevación Digital - DSM de la zona de vegetación dispersa

4.3.2. Obtención de índices de vegetación

A. Corrección radiométrica y cálculo de índices de vegetación

La corrección radiométrica se configuró conforme la Figura 42, así como también se seleccionó los índices de vegetación los cuales se registraron en la calculadora de índices.

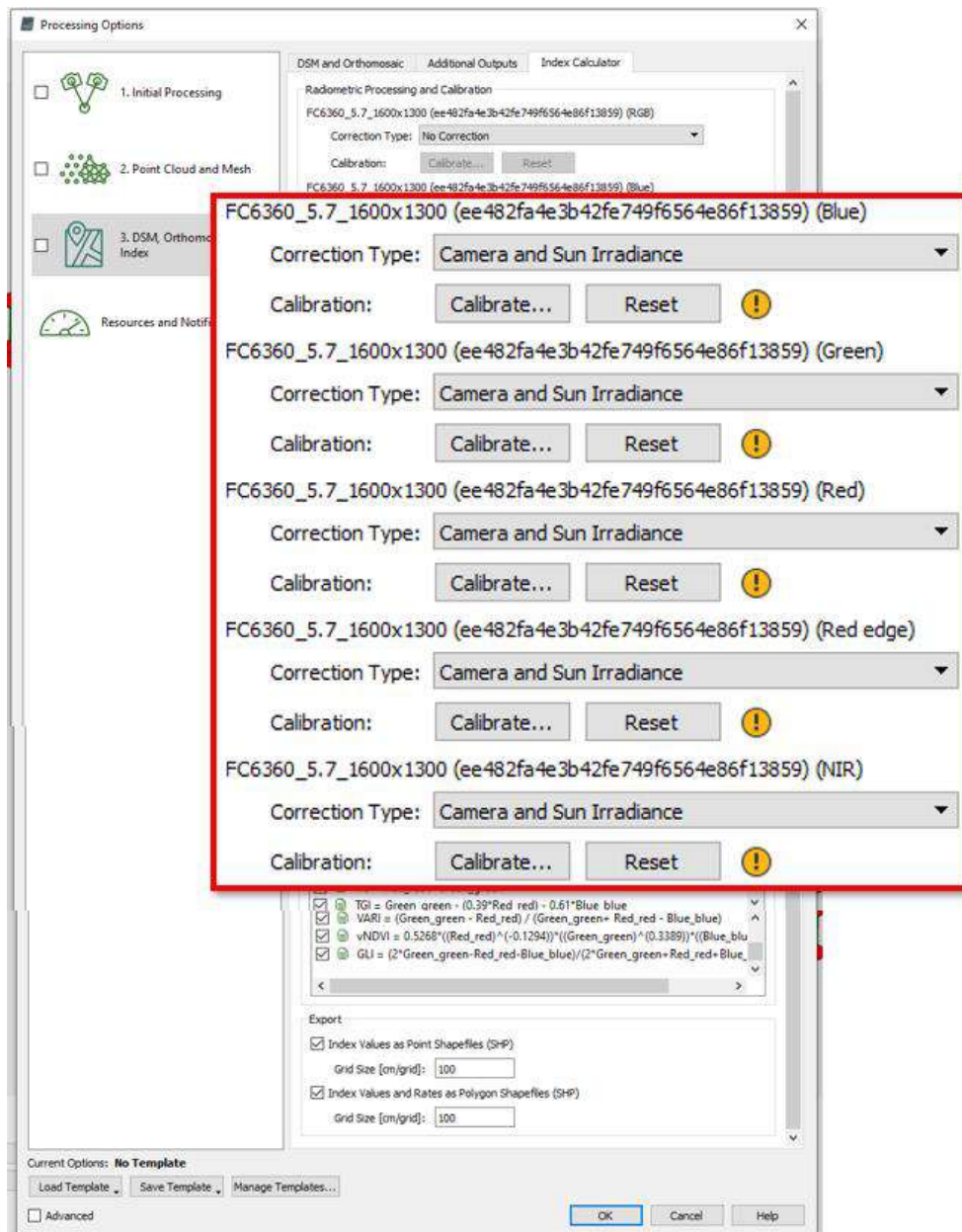


Figura 42: Configuración del Paso 3 en PIX4D Mapper – Corrección radiométrica

Como resultado se obtuvieron 7 mosaicos correspondientes a los índices de vegetación. La Figura 43 muestra los mosaicos obtenidos para la zona de vegetación densa.

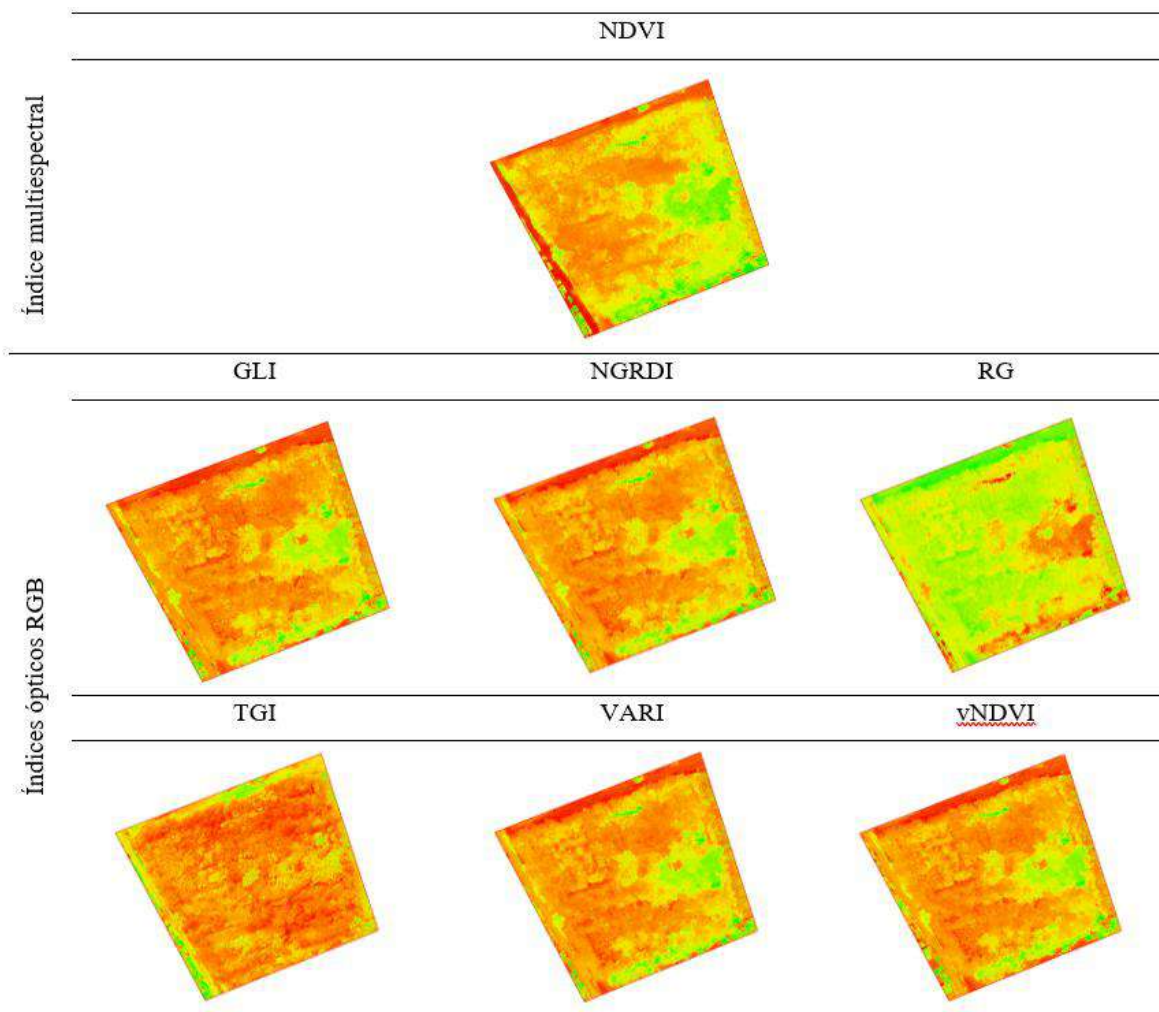


Figura 43: Mosaicos de índices de vegetación resultantes para la zona de vegetación densa

En la Figura 44 se observa los mosaicos obtenidos para la zona de vegetación dispersa.

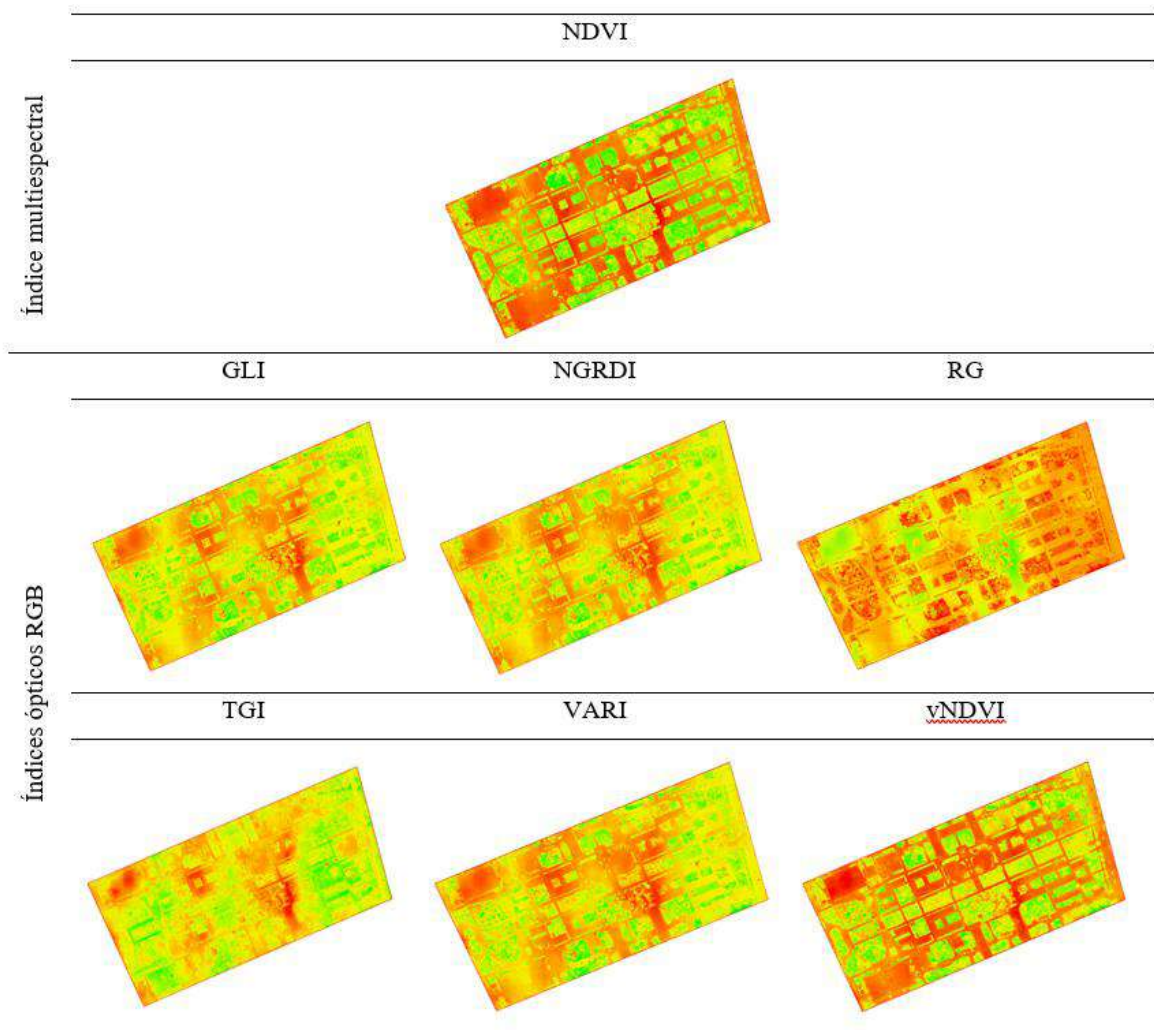


Figura 44: Mosaicos de índices de vegetación resultantes para la zona de vegetación dispersa

Para mayor detalle, los mapas de cada índice de vegetación obtenido en este paso se pueden observar en los Anexos 7 al 13 para la zona de vegetación densa, y en los Anexos 14 al 20 para la zona de vegetación dispersa.

4.4. Delimitación de copas

4.4.1. Delimitación semi automática de copas arbóreas en vegetación dispersa

A. Superposición ráster

La unión de las bandas DSM, NDVI y Ortomosaico RGB se muestra en la Figura 45, en el cual se pueden discriminar no sólo las áreas de vegetación de las estructuras de concreto, pero también se distingue la vegetación arbórea del pasto y se visualizan más claramente los árboles de estrato superior.

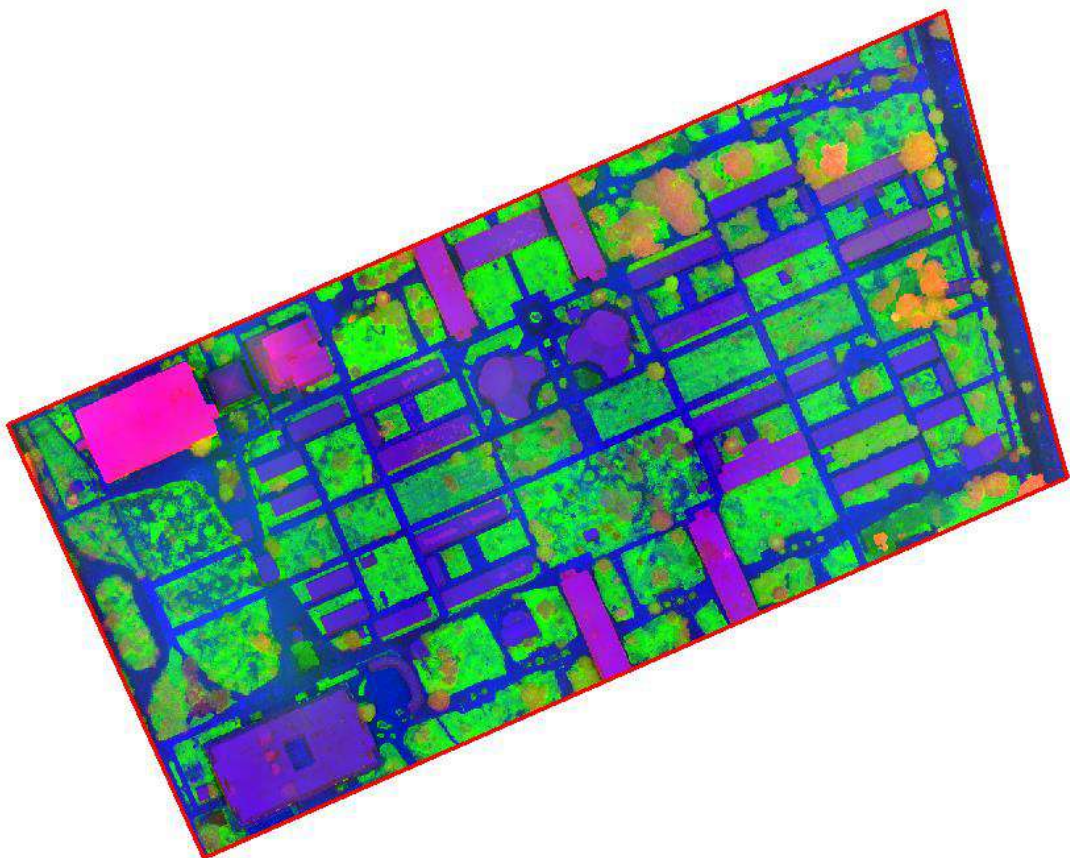


Figura 45: Composición de información ráster con las bandas DSM + NDVI + Ortomosaico RGB para el área de vegetación dispersa

El DSM proporcionó información de la estructura vertical de los cuerpos, lo que permitió diferenciar objetos altos y bajos, tales como los árboles (vegetación alta), el pasto (vegetación

baja), edificaciones (concreto de altura) y pistas (concreto a nivel del suelo). El NDVI aportó información de la vegetación fotosintéticamente activa, lo que facilitó la discriminación entre ella y los cuerpos no vegetativos (como el concreto).

El conjunto de estas características hizo del mosaico compuesto una herramienta útil para la operación de contorno de objetos mediante agrupamiento o segmentación del archivo ráster en formato TIFF.

B. Operaciones zonales

Para el proceso de segmentación, cabe resaltar que la herramienta “*segmentation*” propuesta en la metodología de Hinojosa *et al.* (2021) del OTB 7.1 no se encontraba disponible al momento de la presente investigación, al intentar con versiones similares, los resultados no fueron satisfactorios por lo que se optó por la herramienta “*i.segment*” del paquete GRASS. Como resultado de la segmentación se obtuvo un vector con 14 164 polígonos, el cual se muestra en la Figura 46.

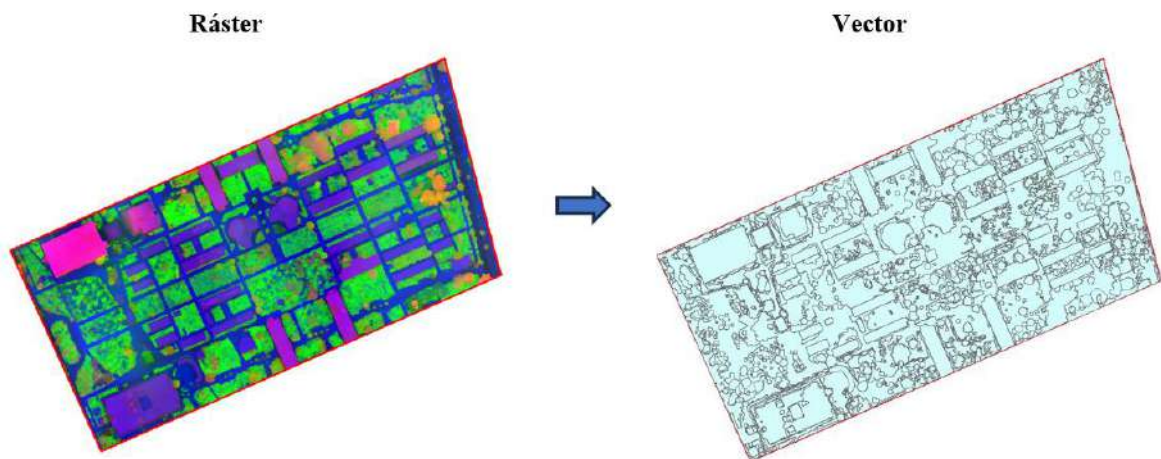


Figura 46: Segmentación y vectorización de la información de la zona de vegetación dispersa

C. Cálculo de estadísticas

En la Figura 47 se muestra una comparación visual entre los mosaicos del NDVI, DSM, y bandas Roja, Verde y Azul (obtenidos del Ortomosaico RGB) del vectorizado de la segmentación, donde se aprecia la estadística moda de los valores radiométricos obtenidos con la herramienta “Estadística de zona” de Qgis 3.28.2.

Como se aprecia en todos los mosaicos no existe uno que defina por sí solo el total de las copas arbóreas, ya que en los intervalos donde se hallan árboles suelen encontrarse también otros elementos; sin embargo, el NDVI y DSM muestran una diferenciación más clara de las copas respecto de otros objetos en comparación con la información de las bandas roja, verde y azul. Para el NDVI, el intervalo de 0,13 – 0,55 reúne a la mayoría de los árboles, mientras que el DSM los delimita en el intervalo 266 – 284, aunque reúne en estos valores también a edificaciones; mientras que los mosaicos rojo y verde ubicaron a las copas en rangos similares (66 – 144 y 68 -139 respectivamente) pero en estos rangos se ubicaron además elementos del suelo como pastos y concreto; por último, la banda azul reflejó valores bajos para la vegetación de 0 – 80 para las copas, incluyendo también la mayor parte del suelo.

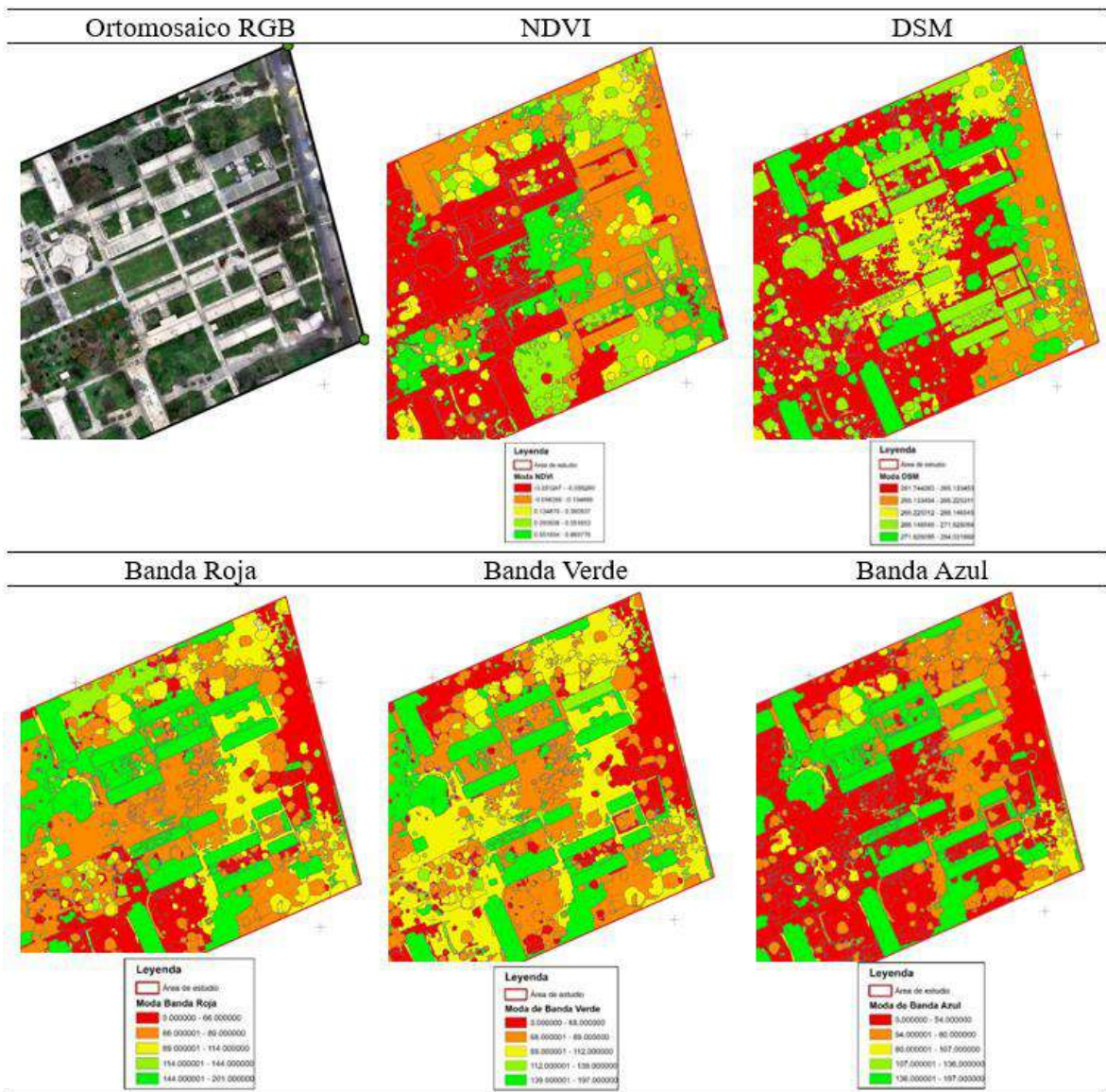


Figura 47: Comparación visual de los valores radiométricos de mosaicos resultantes de la vegetación dispersa

D. Clasificación

Para la clasificación supervisada se usaron claves de interpretación diseñadas en base al mosaico compuesto como se muestra en la Tabla 14, la combinación de bandas utilizadas fue: el DSM en la banda 1, NDVI en la banda 2 y la banda roja en la banda 3.

Tabla 14: Claves de interpretación para la clasificación supervisada de árboles en la zona de vegetación dispersa

Clase	Color
Árboles de estrato superior	Naranja claro
Árboles de estrato inferior	Naranja oscuro
Pasto	Verde claro
Edificaciones altas	Rosáceo
Edificaciones bajas	Morado
Pistas	Azul

El resultado de la clasificación supervisada se muestra en la Figura 48, con un vectorizado donde se observan delimitadas casi en su totalidad las copas arbóreas en color verde.

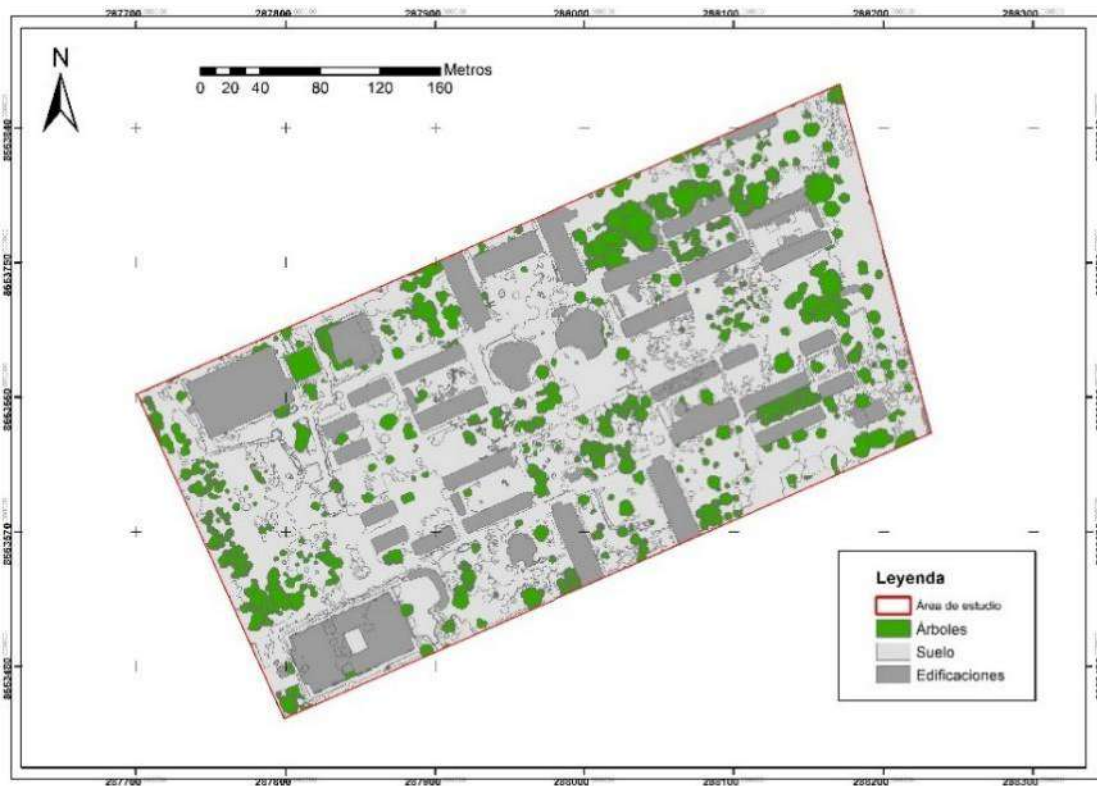


Figura 48: Clasificación supervisada de copas arbóreas en la zona de vegetación dispersa

i. Edición de datos

Si bien la clasificación delimitó bien gran parte de las copas arbóreas, se identificaron polígonos con sobreestimación o subestimación del área de copa, como se observa en la Figura 49.



Figura 49: Delimitación de copas arbóreas mediante clasificación supervisada

Debido a los errores de delimitación automática se realizó una revisión y corrección de las copas mediante edición del archivo vector. Se observó que los errores de delimitación automática de copas se producían sobre todo en zonas de cercanía a edificaciones, por lo que se observó que la segmentación tendía a agrupar las copas arbóreas con estructuras de alturas similares. En la Figura 50 se muestran algunas de las zonas donde se realizaron las correcciones manuales.


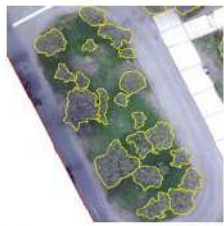

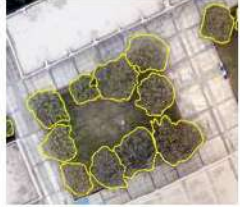


Error de delimitación	Delimitación automática	Corrección manual
Sobreestimación de copas arbóreas		
Sobreestimación de copas arbóreas		
Subestimación de copas arbóreas		

Figura 50: Corrección de la delimitación automática de copas arbóreas en la zona de vegetación dispersa

Por lo tanto, la delimitación de copas arbóreas en la zona de vegetación arbórea dispersa resultó de un proceso semi – automático que permitió minimizar esfuerzos en cuanto a la delimitación manual de cada árbol. Se delimitaron un total de 537 árboles con un área de copa arbórea de 1.55 ha, los que se observan en la Figura 51. No se incluyeron palmeras para la delimitación.

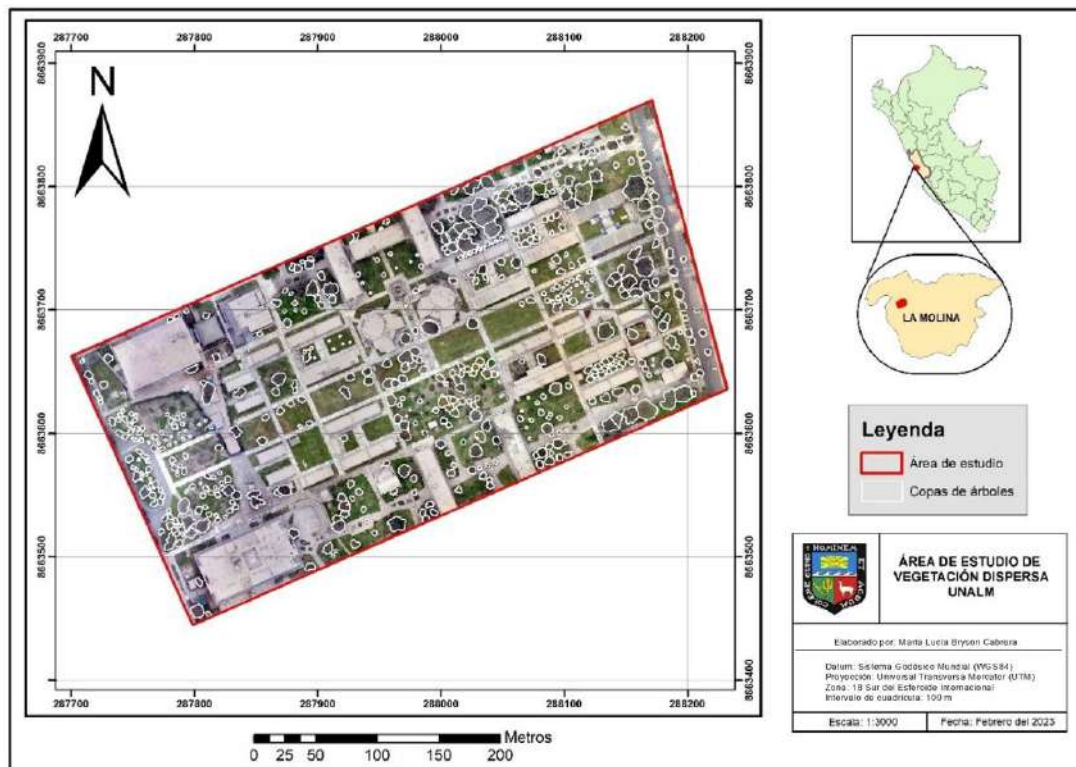


Figura 51: Mapa de copas arbóreas delimitadas en la zona de evaluación de vegetación dispersa

4.4.2. Delimitación manual de árboles en la zona de vegetación densa

A. Superposición ráster

Para el caso de la zona de vegetación densa, se realizó la unificación de bandas al igual que en la vegetación dispersa para su posterior agrupamiento y contorno de objetos por segmentación. Sin embargo, el ráster segmentado resultante no delimitó eficientemente las copas arbóreas.

Tal como se observó en la zona dispersa, los árboles se agruparon entre sí debido a sus características similares, ya sea por la altura o la respuesta fotosintética de árboles cercanos (Figura 52). El proceso de segmentación pudo verse afectado entonces por la alta densidad de árboles, debido a ello se delimitaron las copas manualmente.

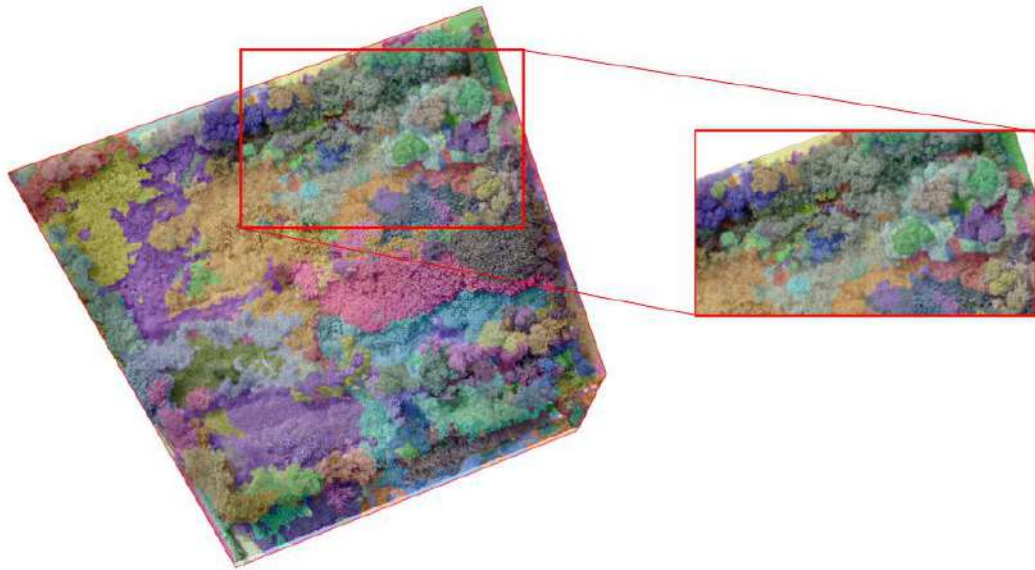


Figura 52: Segmentación de las bandas unificadas DSM, el NDVI y Ortomosaico RGB, de la zona de vegetación densa

B. Edición manual de copas arbóreas

Para la delimitación de copas se observó que el DSM agrupó varios árboles con alturas similares, lo que dificultó visualizar las copas individuales por lo que las bandas unificadas que incluyeron el DSM no resultaron de gran ayuda. Por otro lado, las bandas unificadas sin DSM, resultaron más eficiente en la discriminación de árboles individuales. En la Figura 53 se muestra una comparación visual de los archivos ráster en el reconocimiento de copas arbóreas de estrato vertical superior.

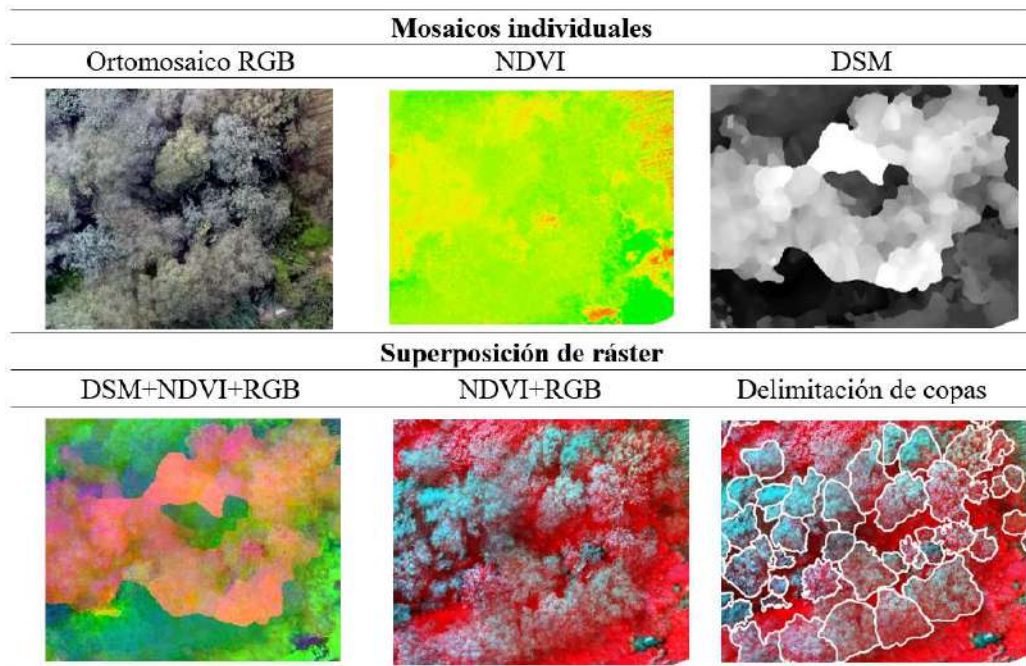


Figura 53: Vista de archivos ráster para la delimitación de árboles de estrato vertical superior en la zona de vegetación arbórea densa

En la Figura 54 se observan vistas de los ráster para la delimitación de árboles de estrato vertical inferior. En este caso la unificación de bandas NDVI y Ortomosaico RGB también discriminó mejor las copas arbóreas.

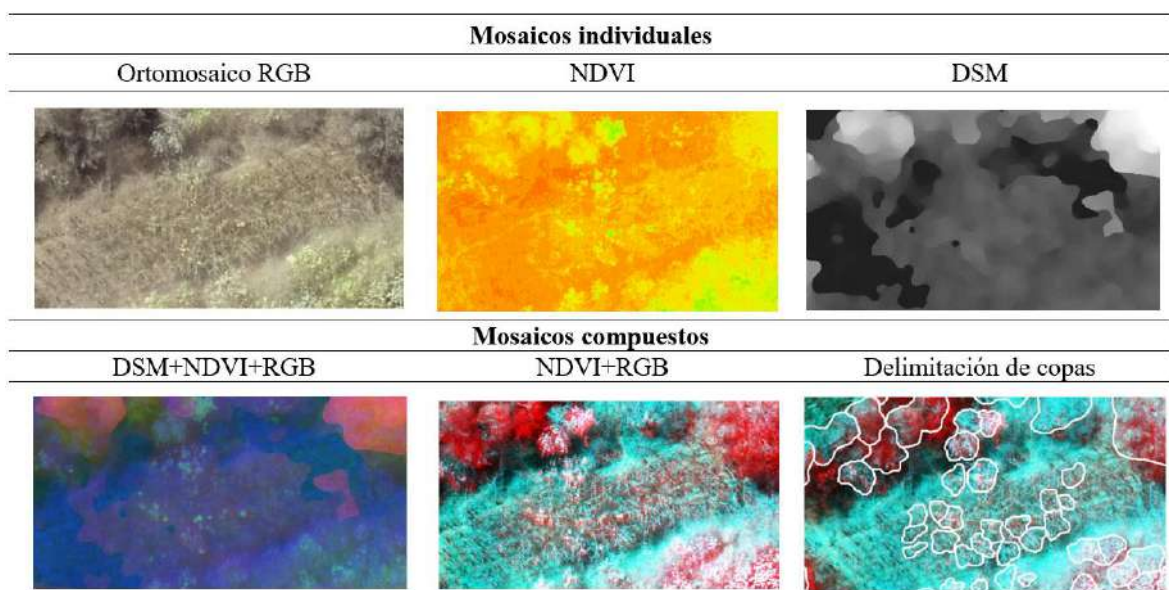


Figura 54: Vista de mosaicos para la delimitación de árboles de estrato vertical inferior en la zona de vegetación arbórea densa

En la zona de vegetación densa se delimitaron un total de 760 árboles que sumaron un área de 1,88 ha.

4.5. Evaluación de campo

4.5.1. Selección de muestras

En la Figura 55 se observa el mapa de muestreo de la zona de vegetación densa a una escala de 1:1 500 la cual se evaluó en setiembre del 2022; durante la toma de datos se observó indicios de que el campo no había recibido riego de mantenimiento y además se encontró evidencia de actividad extractiva de árboles (Anexo 21), en algunos casos la tala de individuos afectó a otros cercanos en su caída.

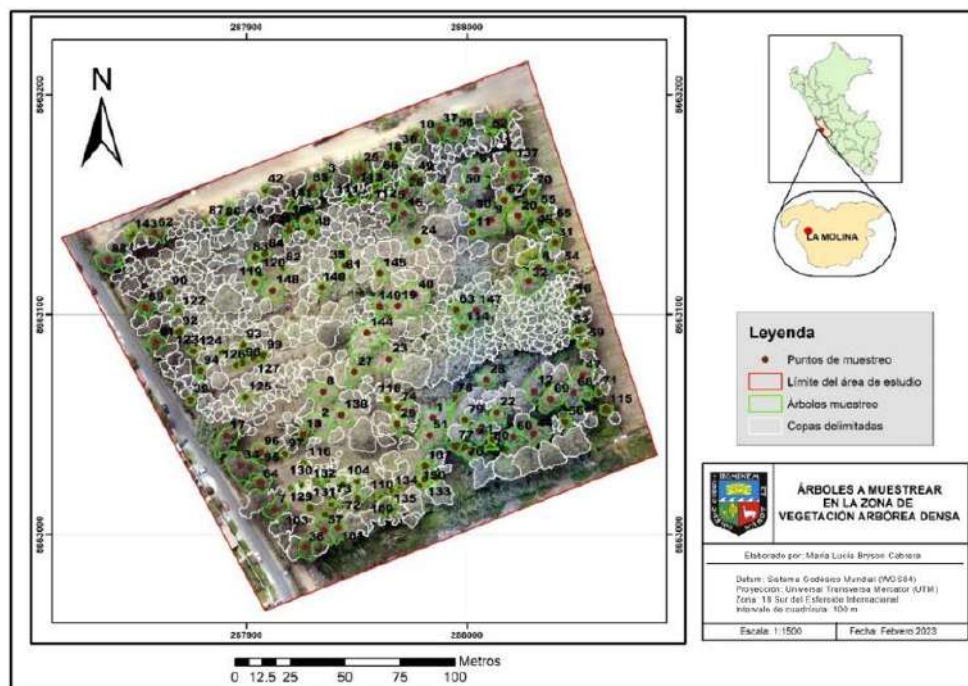


Figura 55: Árboles a muestrear en la zona de vegetación densa

En la Figura 56 el mapa de muestreo de la zona de vegetación dispersa con una escala de 1:3 000, su evaluación se realizó en octubre del 2022.



Figura 56: Árboles a muestrear en la zona de vegetación dispersa

4.5.2. Toma de datos

A. Evaluación general y determinación de vigor

En la Figura 57 se observa la toma de datos en campo para la caracterización general haciendo uso de cinta diamétrica, hipsómetro y libreta de campo en la zona de vegetación densa.



Figura 57: Toma de datos con a) cinta diamétrica, b) hipsómetro y c) libreta de campo, en la zona de vegetación densa

B. Registro fotográfico

En la Figura 58 se observa como ejemplo las vistas capturadas de un árbol de huaranguay de la zona de vegetación dispersa.

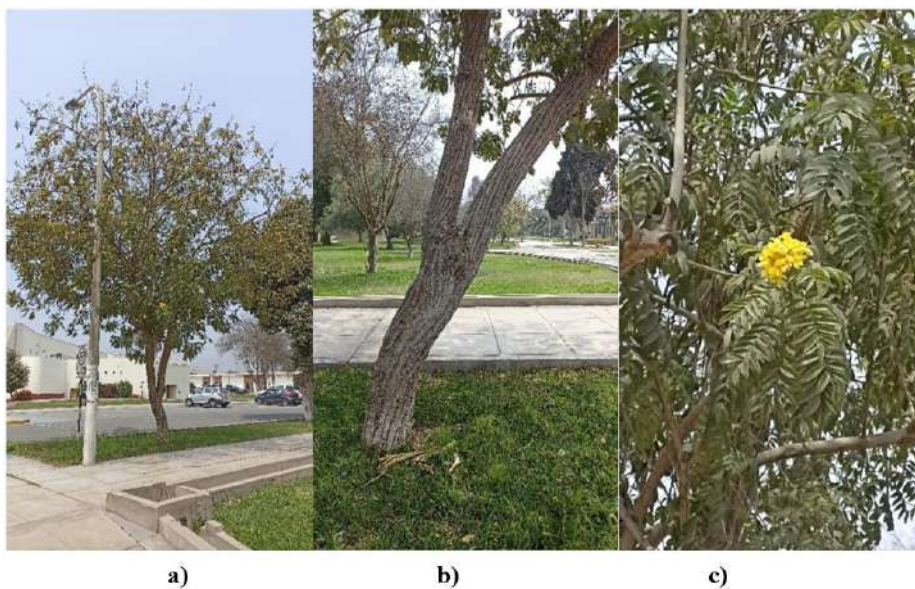


Figura 58: Captura de imágenes con a) vista general de árbol, b) vista del fuste y c) de flores y frutos, para una muestra de huaranguay en zona de vegetación dispersa

C. Sistematización de base de datos

Los formularios de inventario sistematizados de las zonas de evaluación de vegetación densa y dispersa se observan en los Anexos 24 y 25 respectivamente.

4.5.3. Áreas de entrenamiento

A. Asignación de vigor

En la Tabla 15 se observan la reclasificación de vigor. Las clases de vigor fueron reducidas para simplificar el proceso ya que, como lo explica Chuvieco (2002), eliminar clases de transición puede ayudar a incrementar la precisión de los mapas en base al índice Kappa cuando se trabaja con el método de clasificación.

Tabla 15: Reclasificación de vigor

Inventario		SIG	
Clase	Código	Clase	Código
Vigor Alto	VA	Alto	1
Vigor Regular a Alto	VRA		
Vigor Regular	VR	Medio	2
Vigor Regular a Bajo	VRB		
Vigor Bajo	VB	Bajo	3
Muerto	M		

En la Figura 59 se observan vistas de eucaliptos con las clases de vigor alto, medio y bajo ubicados en campo y sus correspondientes vistas en los ortomosaicos RGB.

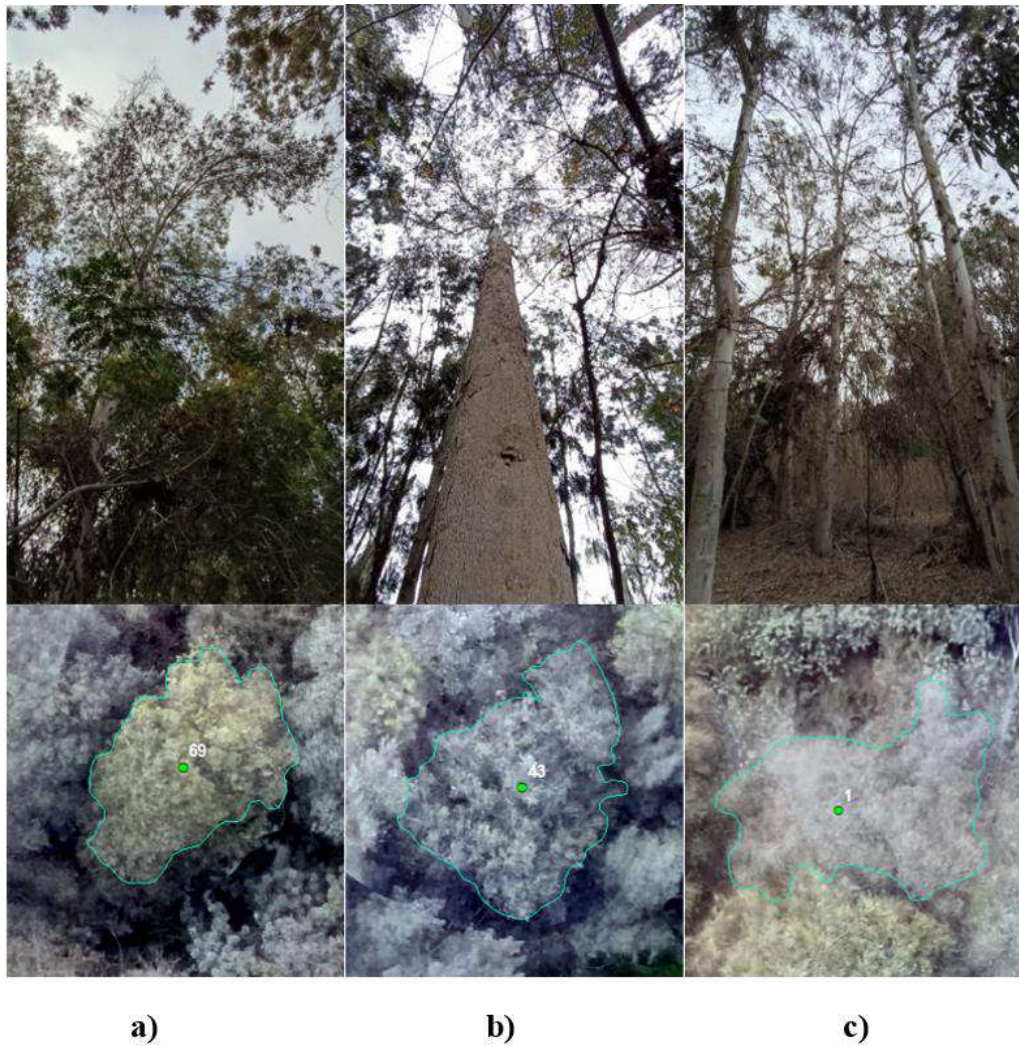


Figura 59: Clases de vigor para el eucalipto spp. con vistas desde campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) vigor alto, b) vigor medio, c) vigor bajo (vegetación densa)

i. Vigor alto en la zona de vegetación densa

Se encontró que los árboles de vigor alto fueron predominantemente de estrato superior con una defoliación baja de hasta 25% de la copa con una severidad de daño media o leve.

Entre los agentes de daño más frecuentes se identificaron, agentes bióticos como insectos perforadores en el fuste, entre los agentes abióticos se encontró alta competencia entre individuos y daño mecánico como machetazos al fuste.

Según menciona Carrasco *et al.* (2019), árboles con una defoliación de hasta 25% corresponden a árboles en equilibrio que a pesar de presentar agentes nocivos no representan una amenaza ya que estos individuos son capaces de revertir la situación y recuperarse. En la figura 60 se muestran ejemplos de la clase de vigor alto en vegetación densa.

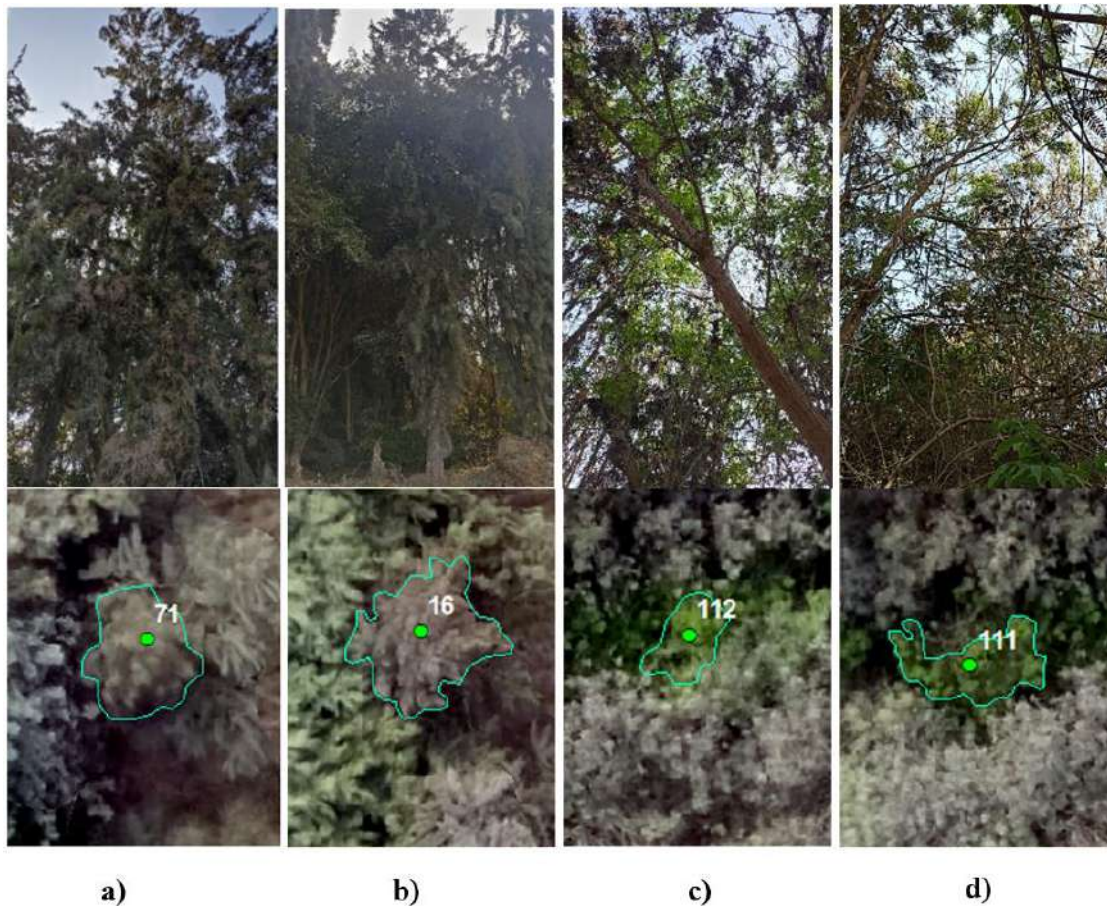


Figura 60: Clase de vigor alto para diferentes especies con vistas desde campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) casuarina, b) casuarina, c) huaranguay, d) fresno (vegetación densa)

ii. Vigor medio en la zona de vegetación densa

La clase de vigor 2 o medio correspondió predominantemente a árboles con una defoliación entre el 25 % a 75 % de la copa. En esta clase se ubicaron en general árboles codominantes y algunos individuos de estrato superior. Estos fueron afectados en general, por agentes de daño ambientales como sequía o alta competencia o en algunos casos por agentes de daño bióticos como insectos y otros patógenos con mayor severidad de daño que los de vigor alto.

Según Carrasco *et al.* (2019) los árboles con características de vigor medio son importantes de analizar a detalle para determinar medidas de recuperación ya que según su porcentaje de defoliación podrían recuperar su vigor con las condiciones sanitarias correctas.

Los árboles con vigor medio corresponden a individuos que de no corregirse su situación pueden no retornar a su estado de equilibrio por el ataque latente de agentes nocivos. La mayoría de los árboles se ubicaron en esta clase por ser el rango más amplio. En la Figura 61 se muestran ejemplos de esta clase.

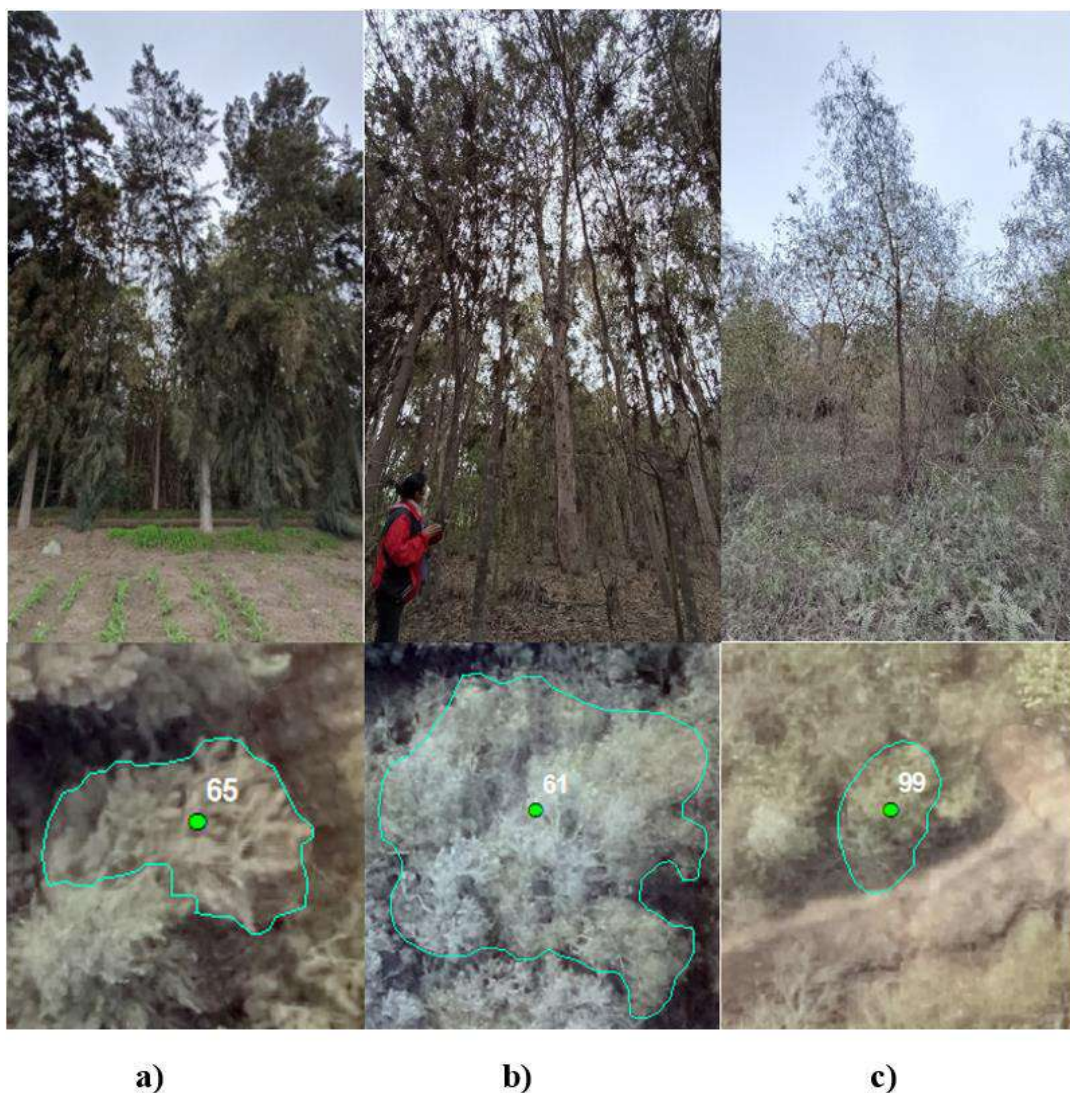


Figura 61: Clase de vigor medio para diferentes especies con vistas desde campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) casuarina, b) eucalipto, c) eucalipto (vegetación densa)

iii. Vigor bajo en la zona de vegetación densa

Los árboles de vigor bajo correspondieron a árboles perennes enfermos con una defoliación mayor al 75% y árboles muertos, las especies caducifolias en estado de defoliación natural también se ubicaron en este rango debido a que su respuesta espectral se asemejaba a los árboles muertos o perennes con alta defoliación (Figura 62). En general se trató de individuos de estrato vertical 2 o codominantes y de estrato vertical 3 o inferior con una severidad de daño alta, ubicados en zonas de suelo con indicios de sequía y de gran competencia entre individuos.

Según Carrasco *et al.* (2019), los árboles con defoliación de 60 a 95% son individuos que han sufrido un daño grave por parte de los agentes nocivos al punto de perder su capacidad de recuperación por sí mismos y su persistencia se ha visto comprometida, por lo que un tratamiento fitosanitario no es garantía de su recuperación por lo que se recomienda tomar en consideración su extracción y reemplazo por individuos sanos.

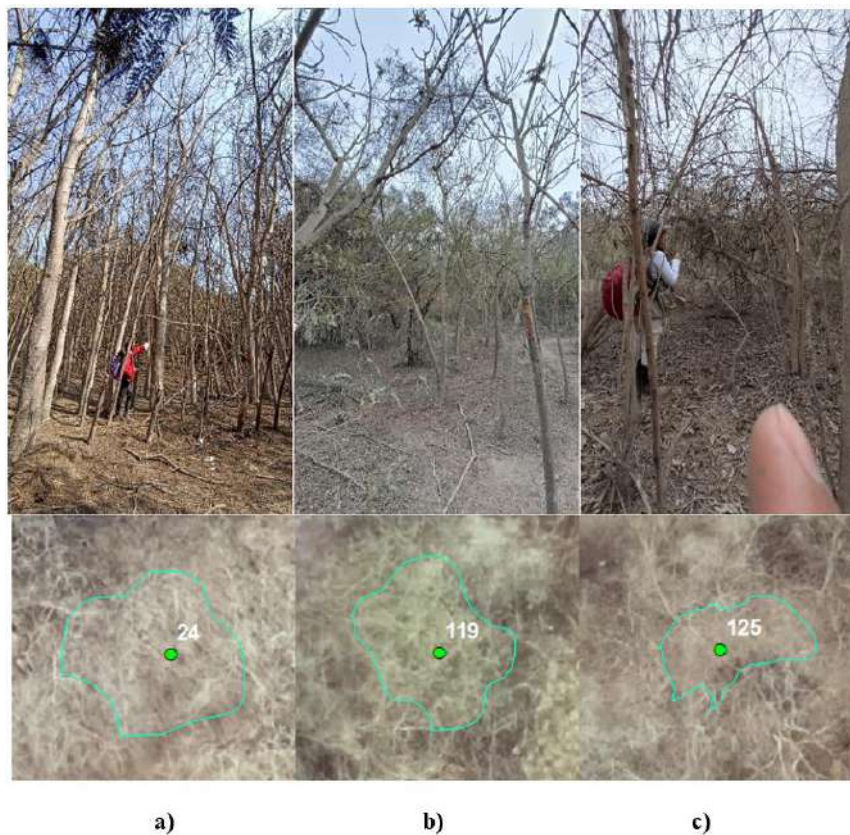


Figura 62: Clase de vigor bajo para diferentes especies con vistas desde campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) papelillo, b) huaranguay, c) calistemo. (vegetación densa)

Como resultado de esta evaluación se obtuvieron 150 árboles muestreados: 32 individuos de vigor alto, 73 de vigor medio y 45 de vigor bajo.

iv. Vigor alto en la zona de vegetación dispersa

Los árboles de vigor alto presentaron en general una baja defoliación (igual o menor a 25%), a diferencia de la zona de vegetación densa, el vigor alto se halló en árboles de diferentes clases de altura: alto, mediano y bajo.

Se encontró que esta zona contaba con servicios de riego y mantenimiento de poda de árboles, por lo que muchos de ellos se desarrollaron con abundante follaje. Ejemplos de vigor alto en vegetación dispersa se observan en la Figura 63 para el caso del ficus encontrado en las 3 clases de altura.

Según Carrasco *et al.* (2019) árboles con alta competencia de recursos influye en una reducción del vigor y por ende del desarrollo del árbol, por lo que se considera que, al mantener los árboles de la vegetación dispersa un mayor distanciamiento entre sí se reduce la competencia y permite un mejor entorno para su desarrollo.

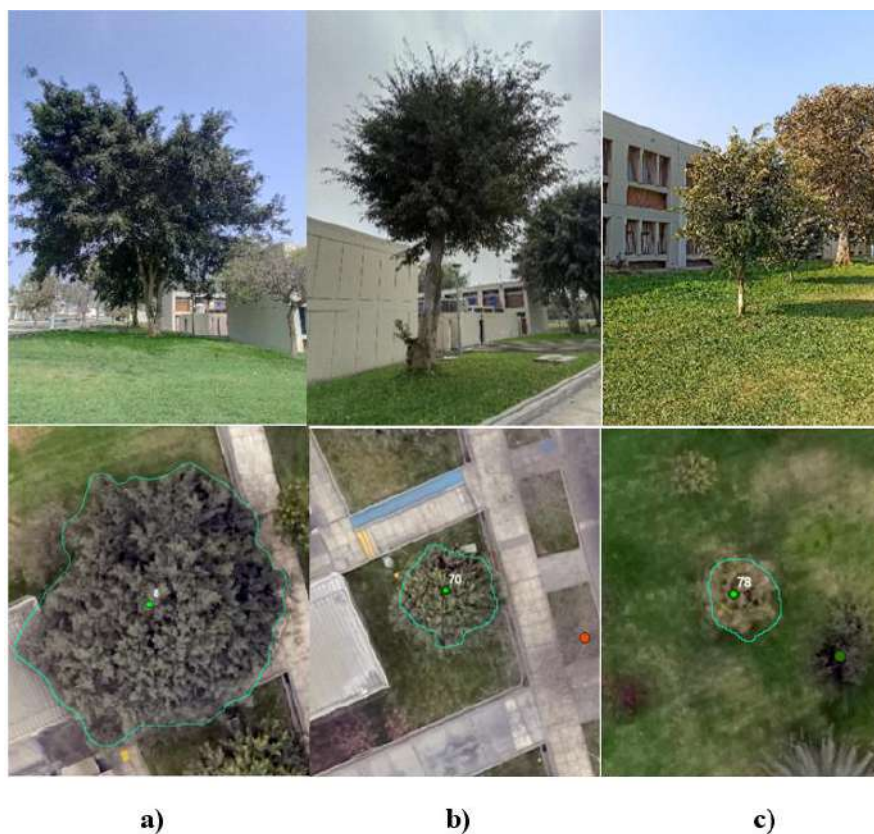


Figura 63: Clase de vigor alto para la especie ficus en diferentes estratos, con vistas desde campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) árbol alto, b) árbol mediano y c) árbol bajo (vegetación dispersa)

v. Vigor medio en la zona de vegetación dispersa

Se observó vigor medio en árboles medianos y bajos, correspondiendo a árboles con defoliación de copa desde un 25 a 75%, además se encontraron árboles que, aunque presentaron baja defoliación (menor a 25%), presentaron alta severidad de ataques tipo biótico como hongos o insectos en hojas particularmente en árboles frutales, lo que inducía a la marchitez de la copa. En la Figura 64 se aprecia ejemplos de vigor medio para el caso del papelillo en diferentes clases de altura.

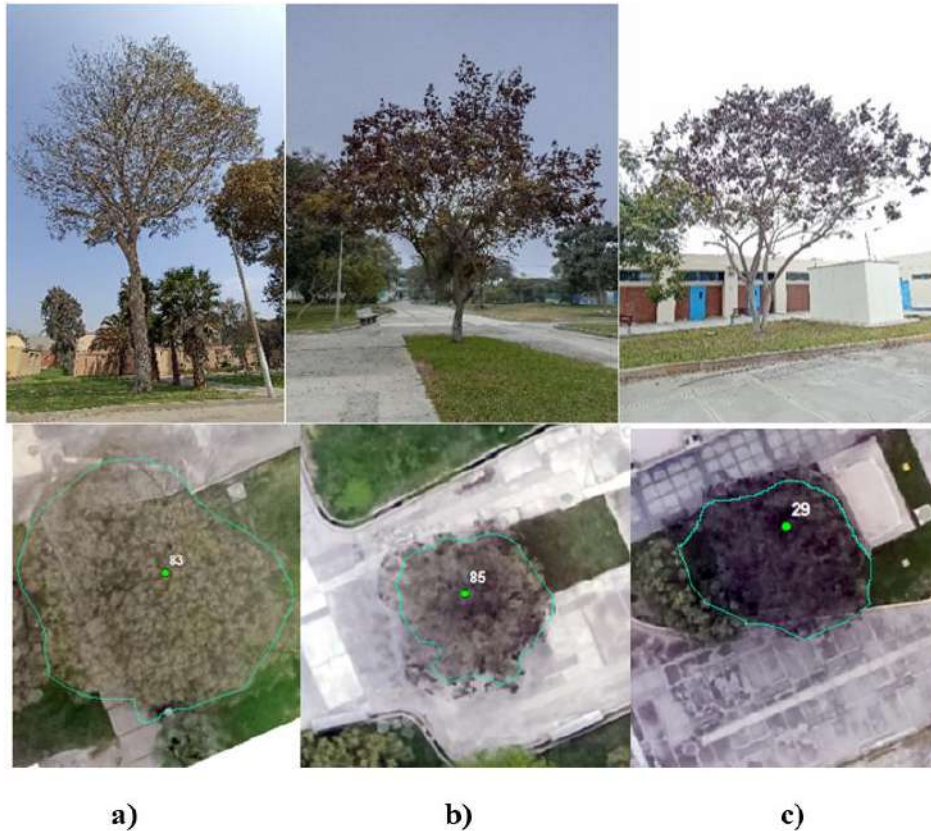


Figura 64: Clase de vigor medio para la especie papelillo en diferentes estratos, con vistas desde campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) árbol alto, b) árbol mediano, c) árbol bajo (vegetación dispersa)

vi. Vigor bajo en la zona de vegetación dispersa

Se trató de individuos con una defoliación alta mayor al 75% de la copa. Se hallaron árboles perennifolios medianos y bajos. Entre los agentes de daño más recurrentes se encontraron agentes bióticos como hongos o insectos que afectaban la copa y/o fuste de los árboles.

Se observó que, en el caso de árboles defoliados, los valores de sus copas fueron influenciados por la reflectancia del suelo (Figura 65).

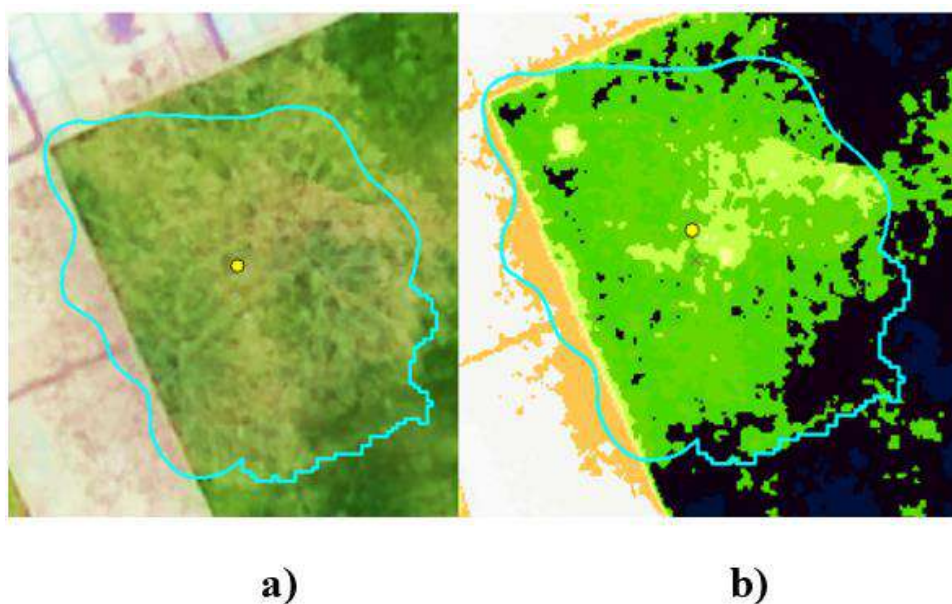


Figura 65: Árbol evaluado como vigor bajo en campo, con vista desde los mosaicos a) Ortomosaico y b) NDVI, donde el pasto se observa a través de la copa defoliada, (vegetación dispersa)

Debido a que la reflectancia del pasto a través de las copas defoliadas significaba un conflicto para el proceso de clasificación, se decidió eliminar de la muestra a estos individuos por no guardar concordancia entre la información de campo y la de SIG. Por lo que sólo se incluyeron las muestras de árboles de vigor bajo ubicados sobre suelo desnudo, cuya reflectancia si permitió observar la defoliación de la copa (Figura 66).

Se elaboró una lista de especies caducifolias y perennifolias, la cual se presenta en el Anexo 27. Todas las especies caducifolias se observaron en defoliación parcial o total a excepción de la morera, que presentó una copa con abundante follaje.

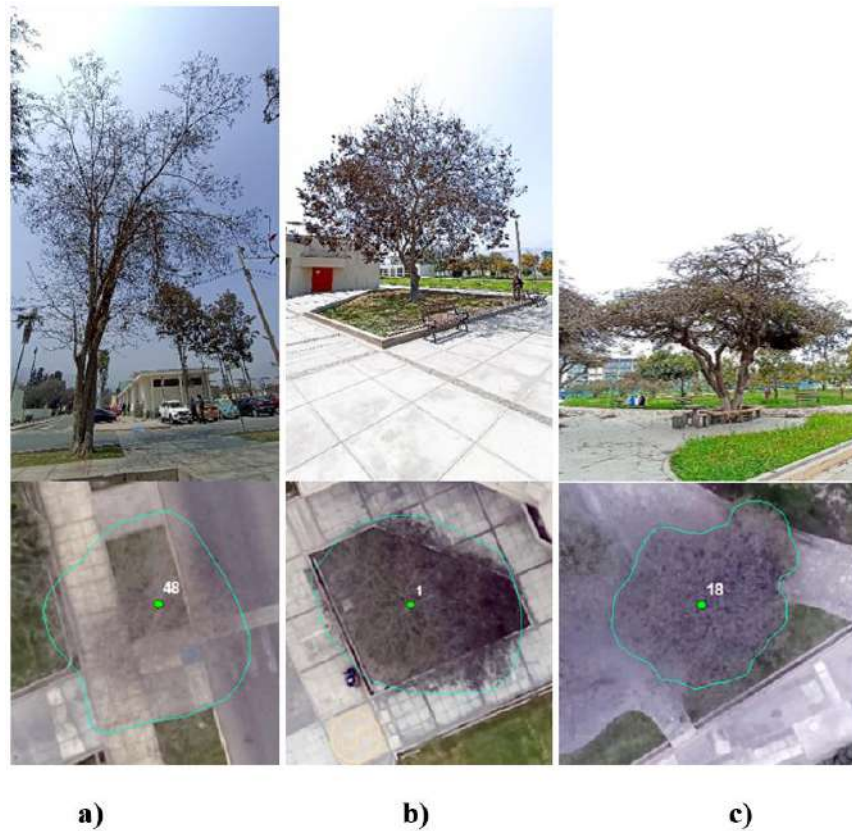


Figura 66: Clase de vigor bajo en diferentes estratos, con vistas desde campo en la parte superior y en SIG en la parte inferior, donde a) árbol pecano alto, b) árbol papelillo, de altura mediana y c) árbol ponciana real de altura baja, (vegetación dispersa)

Se obtuvieron como resultado 140 árboles muestreados: 73 árboles de la clase de vigor alto, 48 árboles de la clase de vigor medio y 19 muestras de árbol con vigor bajo.

Los datos de vigor de la base de datos se integraron a las copas delimitadas, en la Figura 67 y 68 se observan las copas delimitadas de la zona de vegetación densa y dispersa respectivamente, con la información de la clase “Vigor” recogida en campo asignada a las copas muestreadas.

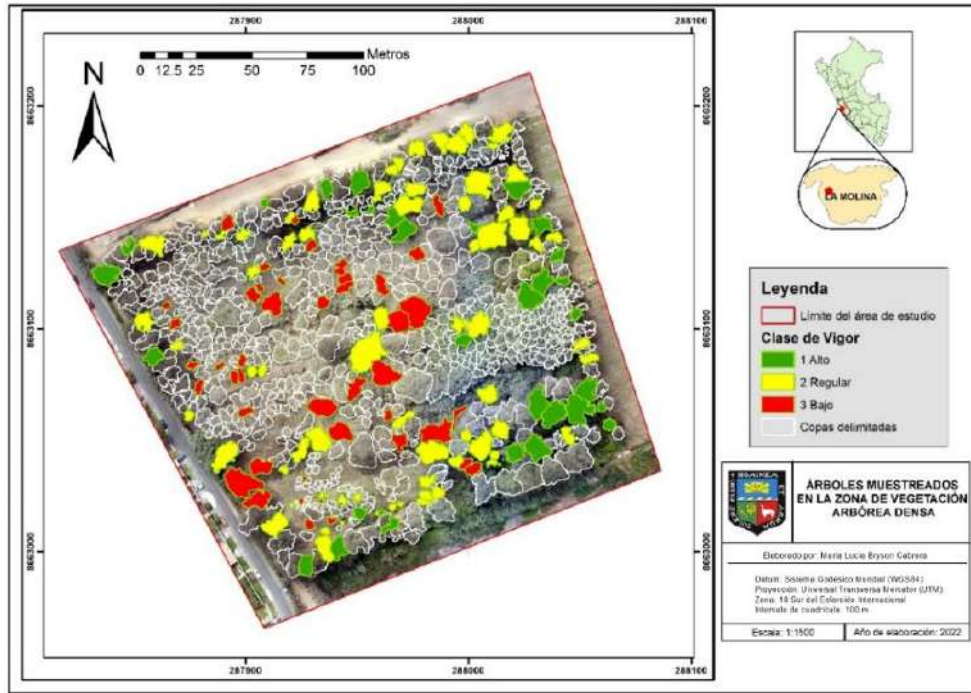


Figura 67: Información del vigor arbóreo evaluado en campo en la zona de vegetación densa

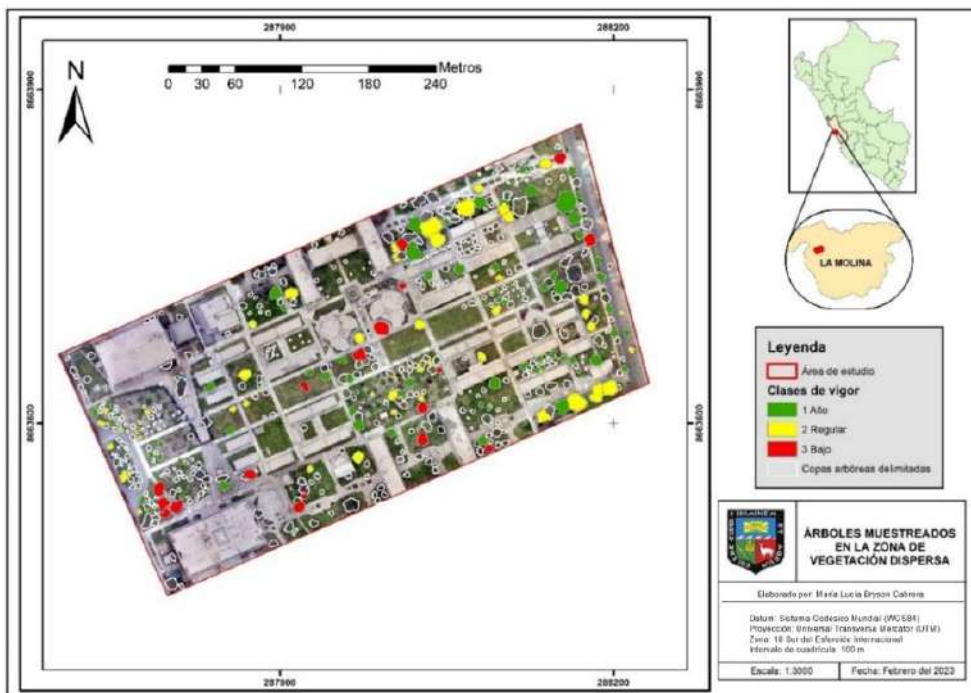


Figura 68: Información del vigor arbóreo evaluado en campo en la zona de vegetación dispersa

B. Cálculo de estadísticos

En las Figuras 69 y 70 y 71 se muestran como ejemplos los valores de “Moda” de los mosaicos DSM, NDVI y GLI respectivamente de la zona de vegetación dispersa.

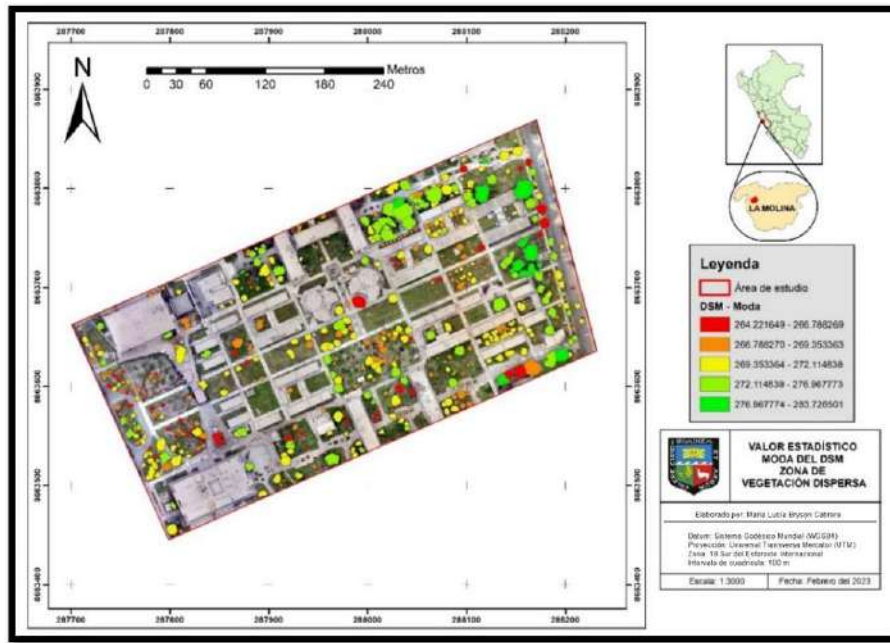


Figura 69: Valores de moda del DSM en copas de vegetación dispersa

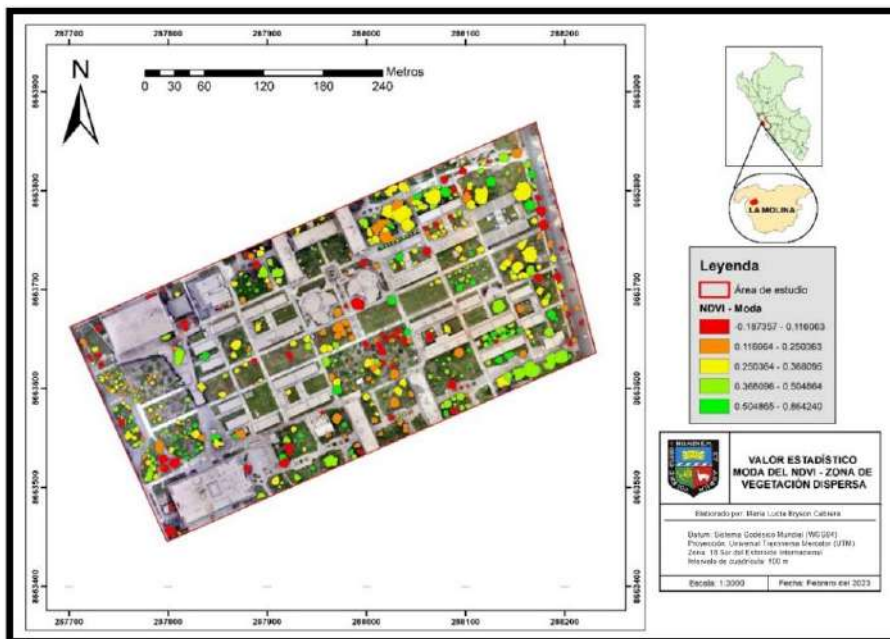


Figura 70: Valores de moda aplicada al NDVI sobre las copas de vegetación dispersa

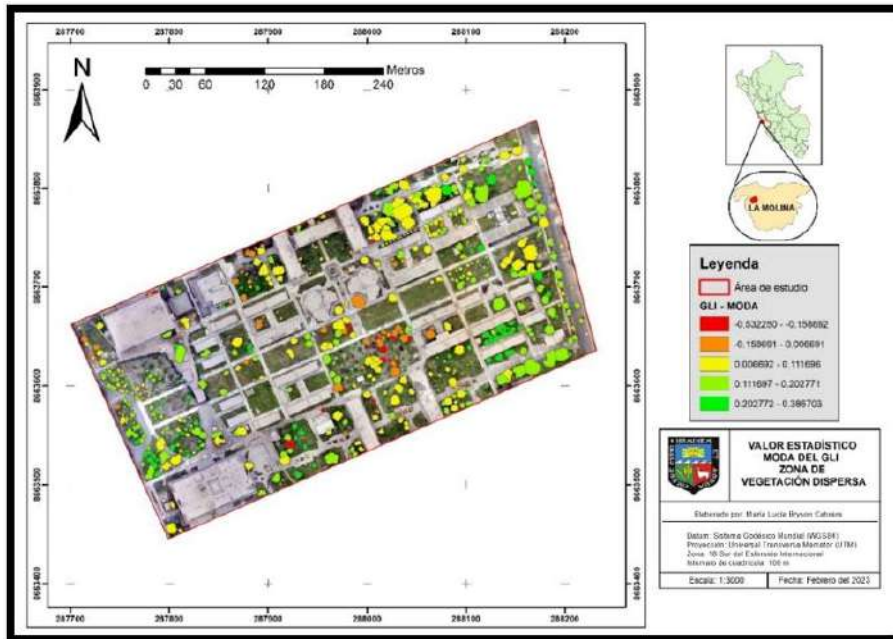


Figura 71: Valores de moda aplicada al GLI sobre las copas de vegetación dispersa

Se repitió el proceso para la vegetación densa. En las Figuras 72 y 73 y 74 se muestran como ejemplo los valores de “Moda” de mosaicos DSM, NDVI y GLI de esta zona respectivamente.

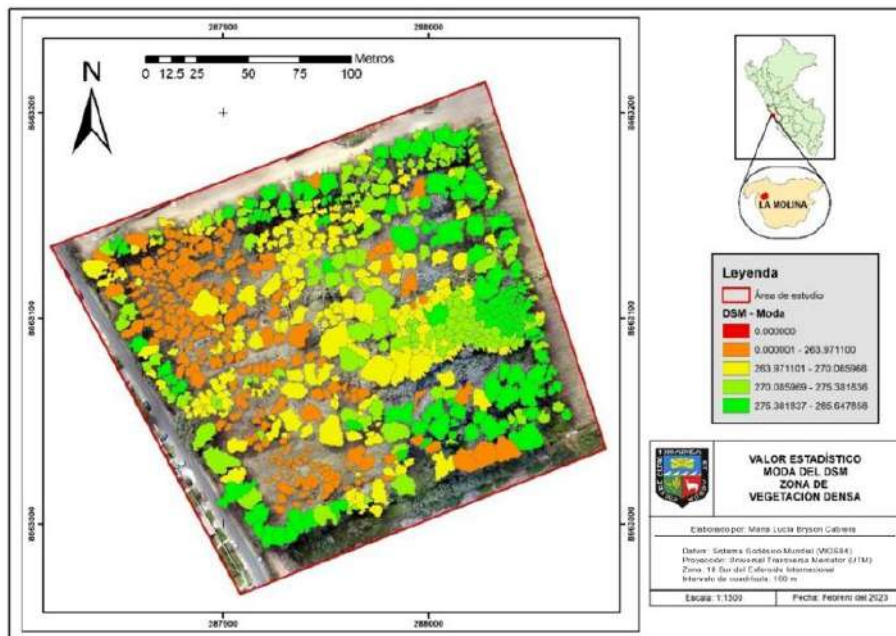


Figura 72: Valores de moda aplicada al DSM sobre las copas de vegetación densa

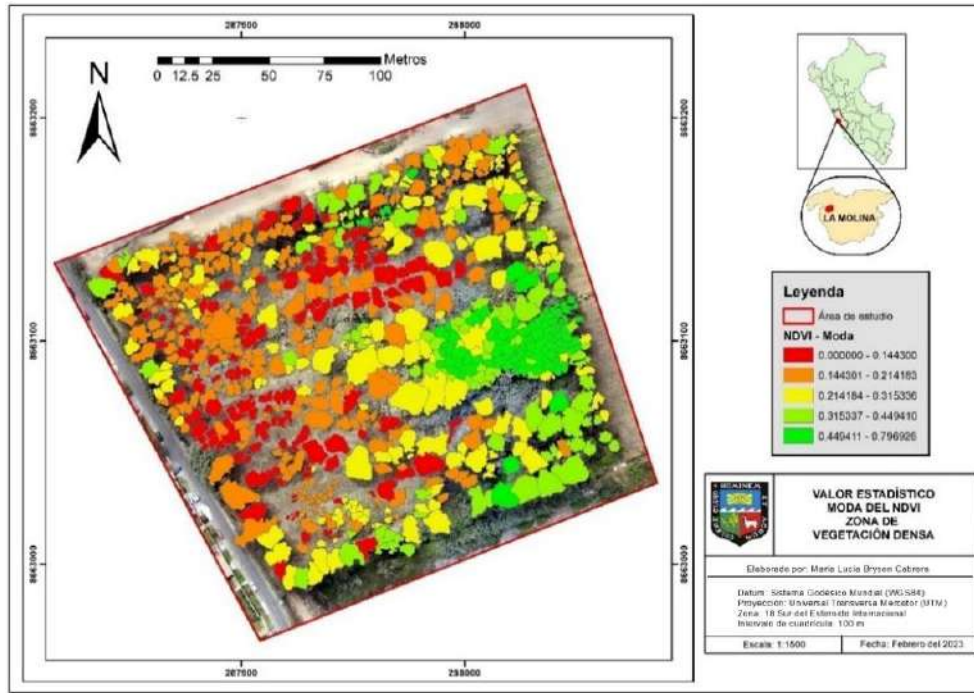


Figura 73: Valores de moda aplicada al NDVI sobre las copas de vegetación densa

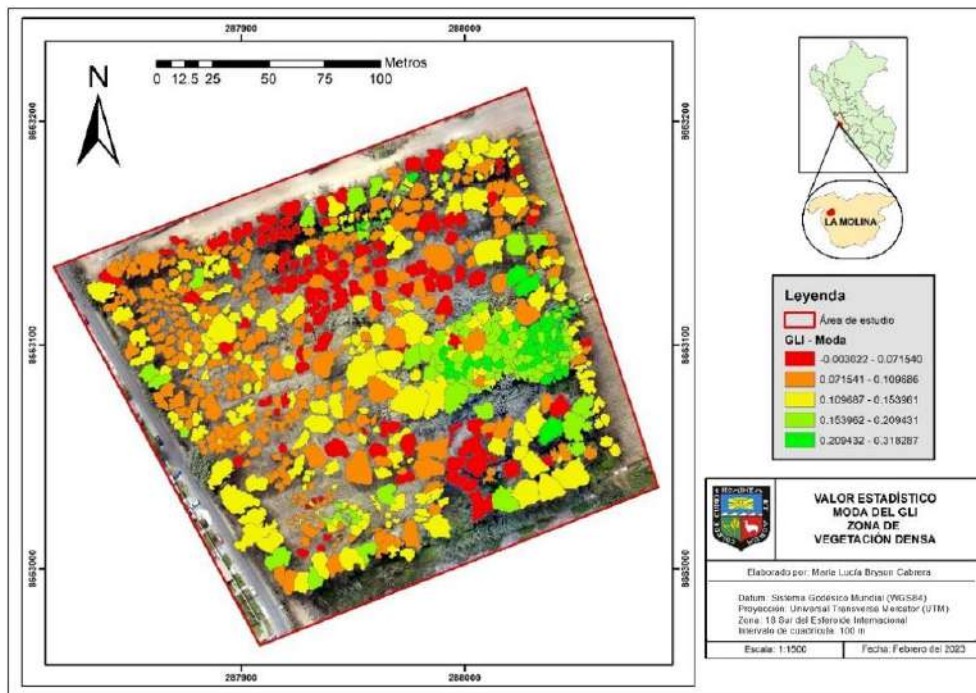


Figura 74: Valores de moda aplicada al GLI sobre las copas de vegetación densa

C. Extracción de las copas de la muestra

Se extrajeron las copas de la muestra evaluada en campo en un archivo *shapefile* con nombre “Copas_muestreo” cuya tabla de atributos contenía la información de vigor y los valores estadísticos de los mosaicos.

D. Selección de copas para entrenamiento

En la Tabla 16 se detalla el número de copas designadas para la clasificación de vigor y su posterior validación.

Tabla 16: Número de copas para clasificación de vigor y validación

Zona de evaluación	N° Total de copas	N° de copas para clasificación (80%)	N° de copas para validación (20%)
Vegetación densa	150	120	30
Vegetación dispersa	140	112	28

Como se observa, la zona de vegetación densa contó con un mayor número de muestras (150) en comparación con la zona de vegetación dispersa (140) debido al mayor número de árboles delimitados en esta.

La Tabla 17 indica la distribución del número de copas utilizadas en el entrenamiento de los clasificadores, las que se usaron en la herramienta “*Train Vector Classifier*”.

Tabla 17: N° de copas para el entrenamiento de clasificadores

Zona de evaluación	N° Total de copas	N° de copas para el entrenador (64%)	N° de copas para el validador (12%)
Vegetación densa	120	96	24
Vegetación dispersa	112	90	22

E. Entrenamiento de clasificadores

Para seleccionar los mejores clasificadores, se combinaron variables y diversos valores de parámetros.

Se llevaron a cabo un total de 90 pruebas de entrenamiento de clasificadores como lo muestra la Tabla 18, los cuales fueron empleados para la clasificación de vigores.

Tabla 18: Número de pruebas realizadas en el entrenamiento de clasificadores

Zona de estudio	Índices de Vegetación	N° de Pruebas
Vegetación densa	NDVI	7
	GLI	8
	NGRDI	6
	RG	5
	TGI	5
	VARI	6
	vNDVI	5
Subtotal		42
Vegetación dispersa	NDVI	8
	GLI	9
	NGRDI	5
	RG	7
	TGI	6
	VARI	7
	vNDVI	6
Subtotal		48
Total general		90

Por ejemplo, para la zona de vegetación densa, con el índice NDVI se realizaron 7 pruebas donde se variaron parámetros y en algunos casos se incluyó el DSM.

En la Figura 75 se muestra como ejemplo la captura de pantalla de la herramienta “Train Vector Classifier” donde se ajustaron los parámetros “Maximum depth of the tree” y “Maximum number of trees in the forest” para entrenar clasificadores con NDVI incluyendo el DSM para la zona de vegetación densa, como output se obtuvieron clasificadores en formato model.

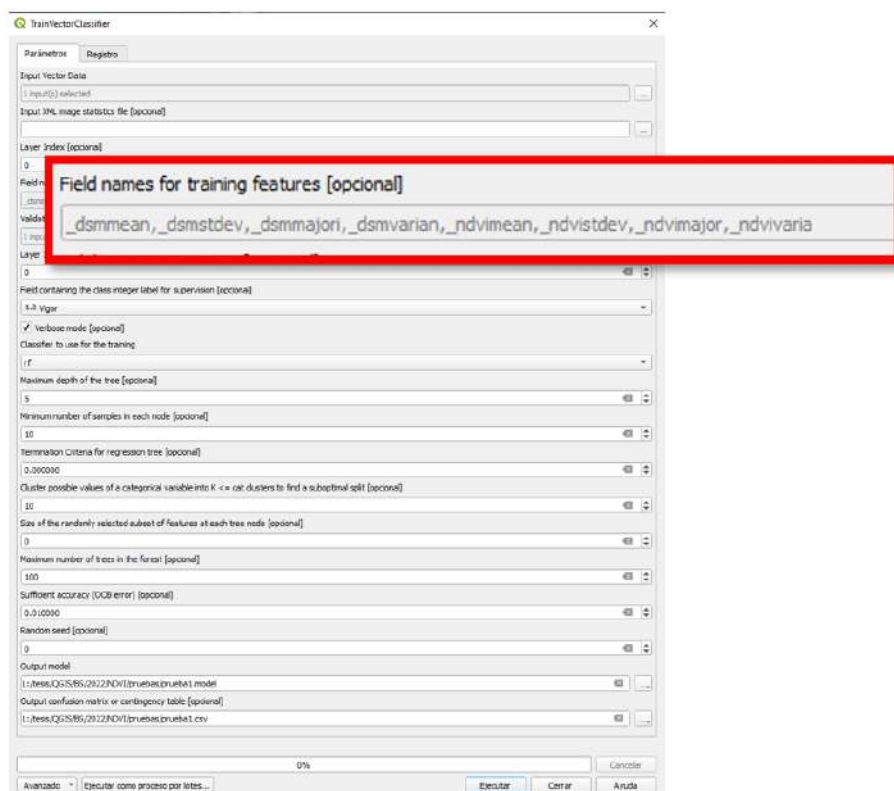


Figura 75: Configuración de la herramienta “*Train Vector Classifier*” para el entrenamiento de un clasificador con NDVI y DSM para la zona de vegetación densa

4.5.4. Clasificación

Como resultado se procesaron 90 clasificaciones de vigor mediante clasificación supervisada con el algoritmo *Random Forest*, las cuales fueron finalmente validadas para encontrar el mejor mapa de vigor para las zonas de estudio.

En las figuras 76 y 77 se observan como ejemplos los mapas de vigor obtenidos con los índices NDVI y GLI para la zona de vegetación densa.

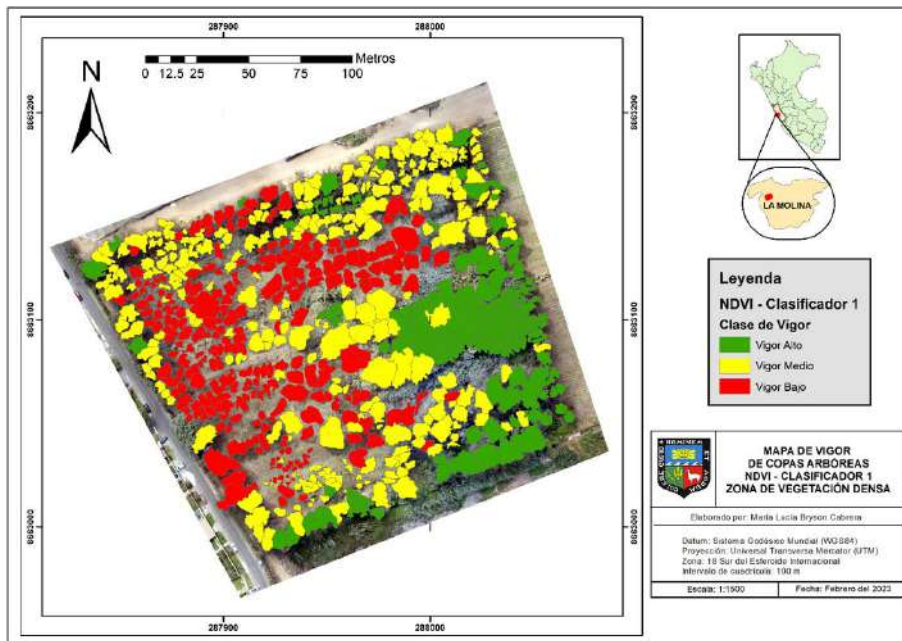


Figura 76: Mapa de vigor obtenido con el índice multispectral NDVI mediante su primer clasificador de prueba, para la zona de vegetación densa

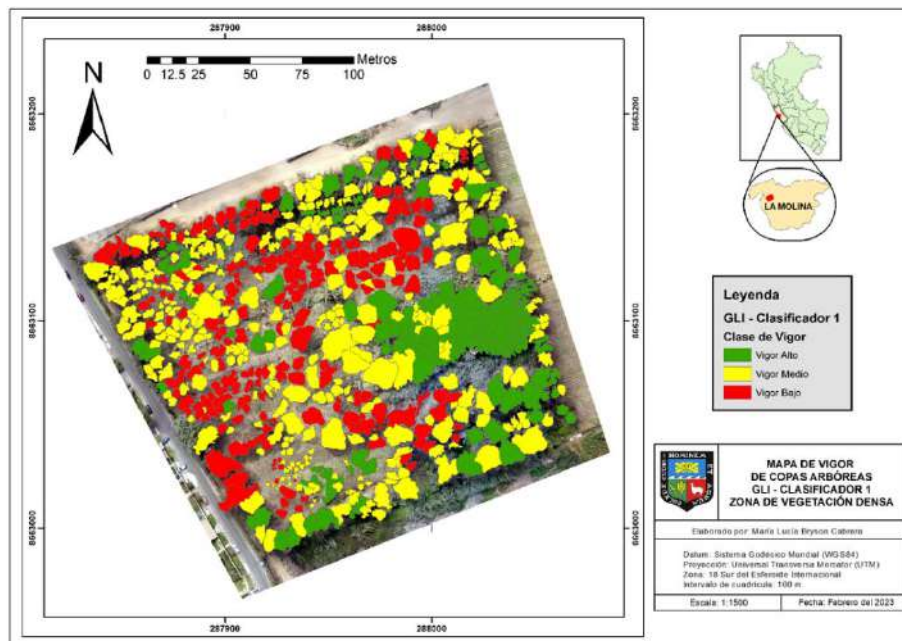


Figura 77: Mapa de vigor obtenido con el índice óptico RGB GLI mediante su primer clasificador de prueba, para la zona de vegetación densa

En las Figuras 78 y 79 se observan como ejemplos los mapas de vigor obtenidos con los índices NDVI y NGRDI para la zona de vegetación dispersa.

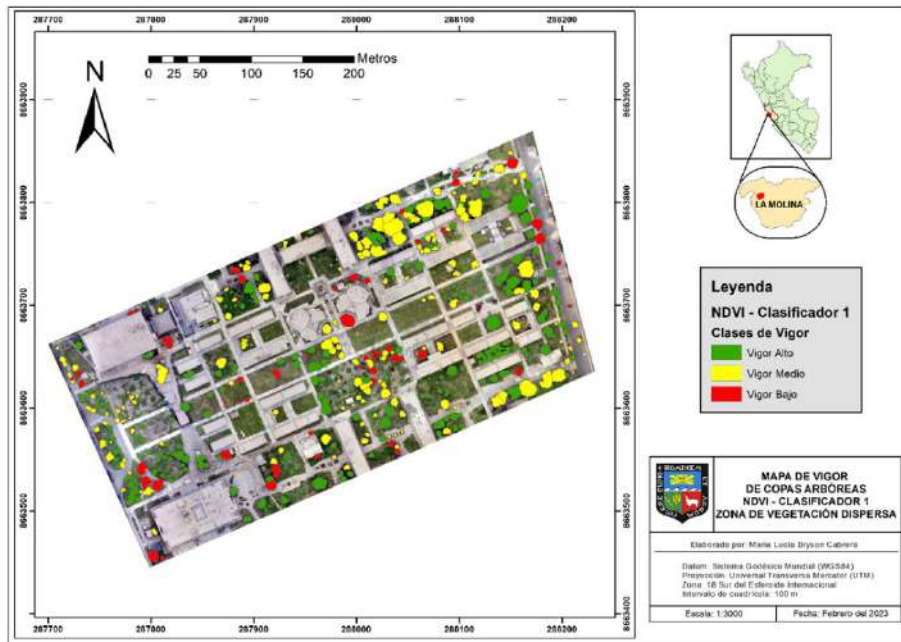


Figura 78: Mapa de vigor obtenido con el índice multispectral NDVI mediante su primer clasificador de prueba, para la zona de vegetación dispersa

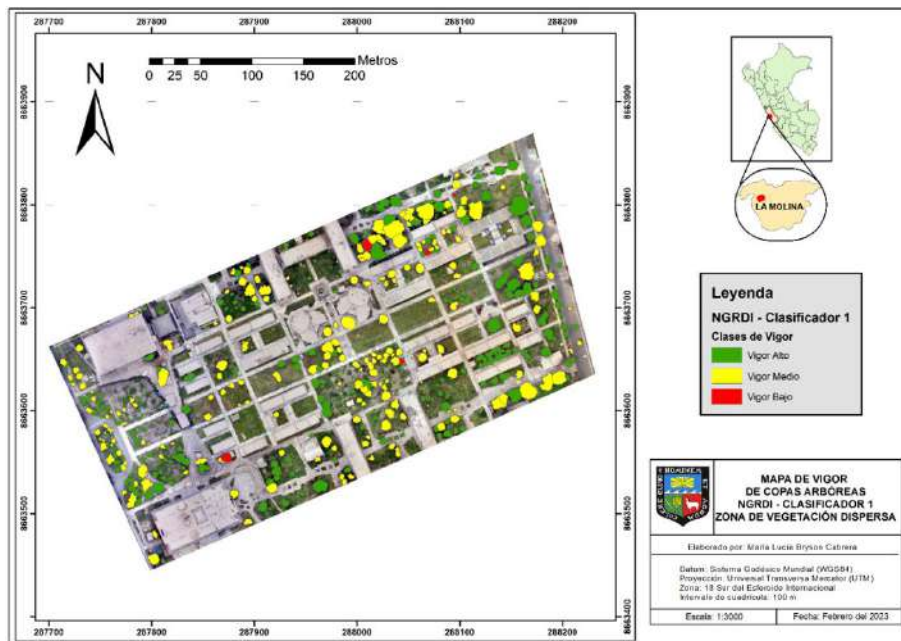


Figura 79: Mapa de vigor obtenido con el índice óptico RGB NGRDI mediante su primer clasificador de prueba, para la zona de vegetación dispersa

4.5.5. Validación

A. Obtención de Matrices de confusión

En la Figura 80 se muestra el *shapefile* de copas delimitadas “ValKappa” que sirvió de base para la validación de las clasificaciones de vigor en la zona de vegetación densa.

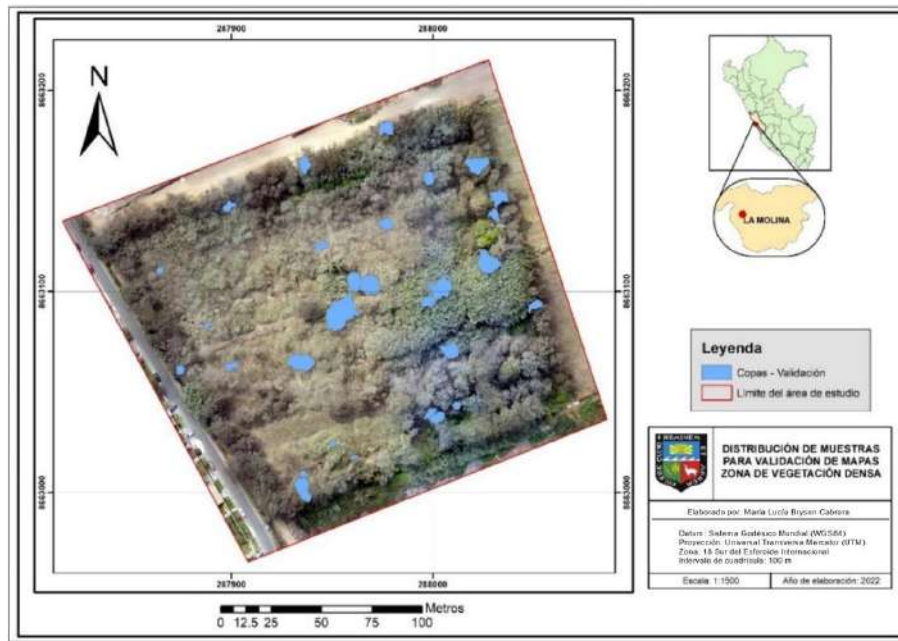


Figura 80: Copas delimitadas para la validación de las clasificaciones de vigor en la zona de vegetación densa

Asimismo, en la Figura 81 se observan las copas correspondientes para la validación de las clasificaciones de vigor en la zona de vegetación dispersa.

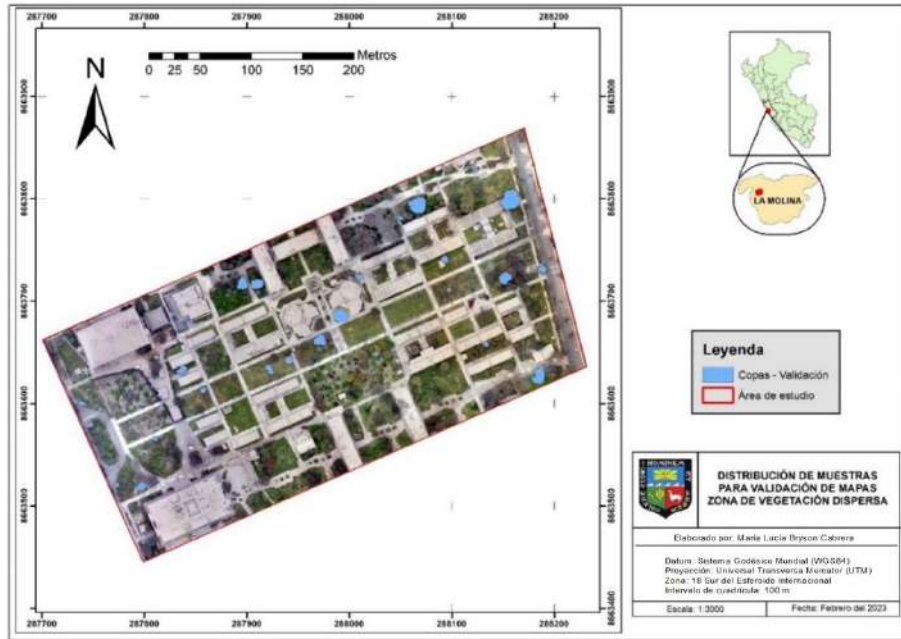


Figura 81: Copas delimitadas para la validación de las clasificaciones de vigor en la zona de vegetación dispersa

Se construyó la matriz de confusión para cada mapa de vigor, como resultado se obtuvo 90 matrices de confusión correspondientes a las 90 clasificaciones procesadas. En la Tabla 19 se muestra como ejemplo la matriz de confusión de la clasificación obtenida con el NDVI en la zona de vegetación densa, donde se muestra la concordancia entre el mapa y los datos de campo; donde para el vigor 1 (alto) en el mapa, 5 de 6 árboles clasificados se corresponden con lo encontrado en campo, mientras que para el vigor 2 (medio), 13 de 16 árboles fueron correctamente clasificados, y finalmente todos los árboles de vigor 3 (bajo) tuvieron concordancia entre el mapa y los datos de campo.

Tabla 19: Matriz de confusión para el Mapa de Vigor de la Vegetación Densa mediante Índice de Vegetación NDVI

		CAMPO			Total
		Vigor 1	Vigor 2	Vigor 3	
MAPA	Vigor 1	5	1	0	6
	Vigor 2	1	13	2	16
	Vigor 3	0	0	8	8
Total		6	14	10	30

En la Figura 82 se observa el mapa de las muestras para validación clasificadas con NDVI y los datos de vigor obtenidos en campo.

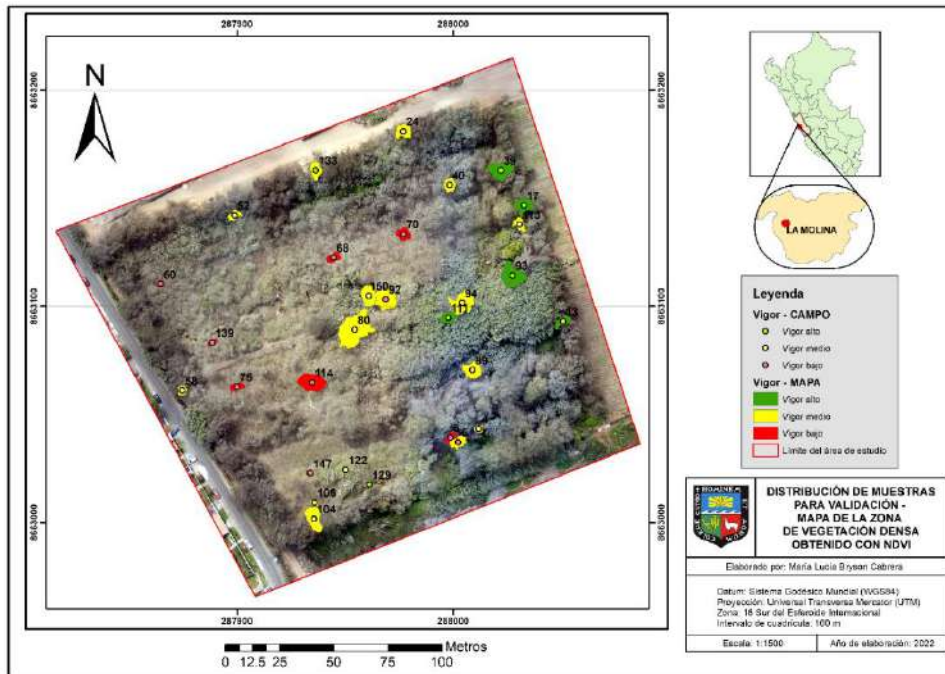


Figura 82: Mapa de copas para validación, con el vigor obtenido con NDVI y el vigor obtenido en campo

B. Cálculo del Índice de Kappa

Se calculó el índice de Kappa para cada matriz de confusión obtenido con las clasificaciones. En la Tabla 20 se muestra como ejemplo el índice de Kappa del NDVI en la zona de vegetación densa.

Tabla 20: Cálculo del Índice de Kappa para el Mapa de Vigor de la Vegetación Densa obtenido con el NDVI

Cálculo del Índice de Kappa	
Po	0,87
Pe	0,38
K	0,79

Donde:

Po= Número de aciertos/Número total de clases.

Pe= Cálculo generado desde la matriz de confusión.

K= Índice de Kappa.

C. Selección del mejor mapa de vigor

Se elaboró una tabla Excel para comparar los índices Kappa de cada mapa de vigor generado. Se resaltó el clasificador que resultó con mayor K, en caso de empate entre clasificadores se resaltó el que requirió variar menos parámetros por motivos de practicidad

i. Zona de vegetación densa

Se realizaron en total 42 mapas de vigor para la zona de vegetación densa, en la Tabla 21 se muestran la fuerza de concordancia obtenida según el índice K obtenido con los mapas según su clasificador.

Tabla 21: Fuerza de concordancia de mapas de vigor generados según clasificadores para la zona de vegetación densa

Fuerza de concordancia de clasificadores de la zona de vegetación densa				
Tipo de Índice de Vegetación	Índice de Vegetación	Clasificador	K	Fuerza de concordancia
Multiespectral	NDVI	NDVI	0.79	C
		NDVI+7 (TD)	0.79	C
		NDVI+DSM	0.79	C
		NDVI+DSM+10 (TD)	0.79	C
		NDVI+DSM+250 (TN)	0.79	C
		NDVI+250 (TN)	0.79	C
		NDVI+DSM+7 (TD)	0.79	C
Óptico RGB	NGRDI	NGRDI	0.28	A
		NGRDI + 7 (TD)	0.35	A
		NGRDI + DSM	0.50	M
		NGRDI+DSM+6 (TD)	0.44	M

	NGRDI+DSM+250 (TN)	0.56	M
	NGRDI+DSM+2 (TD)+250 (TN)	0.42	M
RG	RG	0.27	A
	RG+6 (TD)	0.41	M
	RG+DSM	0.38	A
	RG+DSM+6 (TD)	0.51	M
	RG+DSM+250 (TN)	0.55	M
TGI	TGI	0.21	A
	TGI+6 (TD)	0.12	L
	TGI+DSM	0.22	A
	TGI+DSM+7 (TD)	0.03	L
	TGI+DSM+250 (TN)	0.25	A
VARI	VARI	0.17	L
	VARI+6 (TD)	0.23	A
	VARI+DSM	0.40	A
	VARI+DSM+7 (TD)	0.50	M
	VARI+DSM+250 (TN)	0.50	M
	VARI+DSM+7 (TD) +250 (TN)	0.45	M
vNDVI	vNDVI	0.12	L
	vNDVI+6 (TD)	0.22	A
	vNDVI+DSM	0.38	A
	vNDVI+DSM+7 (TD)	0.38	A
	vNDVI+DSM+250 (TN)	0.32	A
GLI	GLI	0.36	A
	GLI+6 (TD)	0.31	A
	GLI+DSM	0.57	M
	GLI+DSM+7 (TD)	0.52	M
	GLI+DSM+150 (TN)	0.57	M
	GLI+DSM+250 (TN)	0.62	C
	GLI+DSM+200 (TN)	0.56	M
GLI+DSM+6 (TD)	0.40	A	

Donde:

K = Índice de Kappa.

DSM = *Digital Surface Model*

TD = “*Maximum depth of the tree*”

TN = “*Maximum number of trees in the forest*”

 Clasificador con mayor índice de Kappa de mapa de vigor.

En la Tabla 22 se observan los mapas de cada índice de vegetación y sus respectivos índices de Kappa para la zona de vegetación densa. Los mapas correspondientes a esta zona se observan en los Anexos 40 a 47.

Tabla 22: Mapas de vigor obtenidos con cada IV con mayor índice de Kappa para la zona de vegetación densa

Sensor	Índice de Vegetación	Índice K del mapa de vigor	Fuerza de concordancia
Multiespectral	NDVI	0,79	Considerable
	GLI	0,63	Considerable
Óptico RGB	NGRDI	0,56	Moderada
	RG	0,55	Moderada
	VARI	0,50	Moderada
	vNDVI	0,38	Aceptable
	TGI	0,22	Aceptable

Según se muestra en la Tabla 22 los mapas de vigor con mayor precisión fueron el índice multiespectral NDVI y el índice óptico GLI, ambos obtuvieron una fuerza de concordancia considerable para la zona de vegetación densa, de entre ellos el que obtuvo el mayor índice de Kappa fue el NDVI con un K de 0,79.

Otros índices ópticos como el NGRDI, RG y VARI resultaron con una fuerza de concordancia moderada, mientras que el TGI y vNDVI obtuvieron las precisiones más bajas con una concordancia aceptable.

Como resultado se obtiene que los mejores índices para la determinación de vigor en árboles individuales en la zona de vegetación densa son el índice multiespectral NDVI y el índice óptico GLI.

Para el caso del NDVI se observó que fue preciso para la clasificación de vigores en zona de vegetación densa, ya que el incluir el DSM o variar parámetros en el algoritmo, no significó un aumento en la precisión de mapas, por lo tanto, no aportaron en mejorar la clasificación de vigores.

Para el caso del índice GLI, se considera que la técnica de clasificación supervisada con *Random Forest*, incluyendo al DSM como parámetro y un número de 250 de “*Maximum number of trees in the forest*”, permite un mejor desempeño del índice para clasificar el vigor en la zona de vegetación densa.

Este índice RGB por lo tanto es una buena alternativa frente a índices multispectrales para vegetación densa. Ramirez (2019), Costa *et al.* (2020), Hunt (2011), entre otros, han encontrado también que los índices RGB son una buena alternativa para mapear diversos tipos de vegetación con gran cobertura sobre el suelo.

Según Weier y Herring (2000) y Costa *et al.* (2020), el NDVI es el más adecuado para analizar el vigor de la vegetación ya que incluye el infrarrojo cercano en su cálculo, cuya respuesta se asocia a la estructura celular foliar de la vegetación, mientras que la banda roja refleja los valores más bajos cuando la vegetación está sana, lo que permite una mayor ventaja frente a los índices RGB, cuyos cálculos se basan en la información de las bandas roja, verde y azul.

ii. Zona de vegetación dispersa

Se realizaron en total 48 mapas de vigor para la zona de vegetación dispersa, en la Tabla 23 se muestran la fuerza de concordancia de cada mapa.

Tabla 23: Fuerza de concordancia de mapas de vigor generados según clasificadores para la zona de vegetación dispersa

Fuerza de concordancia de clasificadores de la zona de vegetación dispersa				
Tipo de Índice de Vegetación	Índice de Vegetación	Clasificador	K	Fuerza de concordancia
Multiespectral	NDVI	NDVI	0.60	M
		NDVI+6 (TD)	0.60	M
		NDVI+DSM	0.59	M
		NDVI+DSM+6 (TD)	0.59	M
		NDVI++DSM+200 (TN)	0.59	M
		NDVI+DSM+250 (TN)	0.53	M
		NDVI+250 (TN)	0.60	M
		NDVI+200 (TN)	0.60	M
Óptico RGB	NGRDI	NGRDI	0.34	A
		NGRDI + 9 (TD)	0.09	L
		NGRDI + DSM	0.15	L
		NGRDI+DSM+6 (TD)	0.08	L
		NGRDI+250 (TN)	0.28	A
	RG	RG	0.12	L
		RG+8 (TD)	0.17	L
		RG+DSM	0.21	A
		RG+DSM+8 (TD)	0.05	L
		RG+DSM+10 (TD)	0.05	L
		RG+250 (TN)	0.12	L
	TGI	TGI	0.33	A
		TGI+6 (TD)	0.02	L
		TGI+DSM	0.15	L
TGI+DSM+10 (TD)		0.22	A	
TGI+DSM+6 (TD)		0.02	L	
VARI	VARI	0.34	A	
	VARI+7 (TD)	0.27	A	

	VARI+DSM	0.14	L
	VARI+DSM+6 (TD)	0.08	L
	VARI+DSM+10 (TD)	0.08	L
	VARI+250 (TN)	0.33	A
	VARI+200 (TN)	0.33	A
	vNDVI	0.14	L
	vNDVI+6 (TD)	0.14	L
	vNDVI+DSM	0.15	L
vNDVI	vNDVI+DSM+7 (TD)	0.07	L
	vNDVI+200 (TN)	0.08	L
	vNDVI+DSM+200 (TN)	0.15	L
	GLI	0.27	A
	GLI+7 (TD)	0.21	A
	GLI+DSM	0.34	A
	GLI+DSM+7 (TD)	0.14	L
	GLI+150 (TN)	0.21	A
GLI	GLI+DSM+150 (TN)	0.14	L
	GLI+200 (TN)	0.21	A
	GLI+DSM+250 (TN)	0.14	L
	GLI+250 (TN)	0.21	A


Donde:

IV = Índice de Vegetación

DSM = *Digital Surface Model*

TD = “*Maximum depth of the tree*”

TN = “*Maximum number of trees in the forest*”

 Clasificador con mayor índice de Kappa de mapa de vigor.

El mapa obtenido con el índice multispectral NDVI tuvo la mayor fuerza de concordancia, mientras que, los índices RGB obtuvieron resultados, en general, muchos menores.

En la Tabla 24 se observan los mapas de vigor con mayor K obtenidos con cada índice de vegetación para la zona de vegetación dispersa. Los mapas correspondientes a esta zona se encuentran en los Anexos 48 al 53.

Tabla 24: Mapas de vigor obtenidos con cada IV con mayor índice de Kappa para la zona de vegetación dispersa

Sensor	Índice de Vegetación	Índice de Kappa (K)	Fuerza de concordancia
Multiespectral	NDVI	0,60	Considerable
	GLI	0,34	Aceptable
Óptico RGB	NGRDI	0,34	Aceptable
	VARI	0,34	Aceptable
	TGI	0,33	Aceptable
	RG	0,21	Aceptable
	vNDVI	0,15	Leve

El mapa del NDVI obtuvo el mayor índice de Kappa, por lo tanto, es el mapa de mayor precisión para la vegetación dispersa. Por otro lado, los mapas elaborados con los índices RGB: GLI, NGRDI y VARI y TGI, tuvieron regulares valores de índice K y fueron superiores a otros mapas RGB (RG y vNDVI) pero bastante menores respecto al NDVI.

Los mapas producidos con índices de vegetación RGB, no fueron precisos para clasificar vegetación dispersa, debido a varios factores, tanto ambientales (luminosidad), como fenológicos (floración, defoliación natural), de cobertura de suelo (vegetación baja) y humedad del suelo.

Al respecto Morales *et al.* (2023), utilizó índices de vegetación multiespectral y ópticos para evaluar árboles urbanos; encontró que mientras que el NDVI tuvo alta correlación positiva con la densidad de copa y la fluorescencia de clorofila en árboles urbanos, índices de vegetación ópticos como el NGRDI guardaron una baja correlación con estos parámetros, sin embargo,

recomienda su uso para reducir los efectos de la floración en el análisis de la salud de los árboles con NDVI.

4.5.6. Análisis de resultados

A. Influencia de las bandas visuales en los índices de vegetación

Según los resultados, índices que incluyen las bandas rojas, verde y azul en su cálculo como el GLI, obtuvieron en general mejores resultados que índices que operan sólo con las bandas roja y verde. Esto puede deberse al comportamiento de la reflectancia de elementos como la vegetación sana, vegetación enferma y el suelo, como se observa en la Figura 83. Índices con sólo 2 bandas (roja y verde) se apoyan para determinar vegetación sana, en la diferencia entre la reflectancia en el verde (reflectancia máxima) y el rojo (reflectancia mínima), tal como lo hacen índices multispectrales como el NDVI con las bandas infrarroja y roja respectivamente; sin embargo al no incluir la banda azul en su cálculo, se pierde información de reflectancia de elementos como la vegetación seca o suelo, que presentan mayores valores de reflectancia en las bandas roja y azul que las presentes en la vegetación sana, por ello, pueden ser más sensibles a los cambios de vigor que los índices que incluyen sólo las bandas roja y verde.

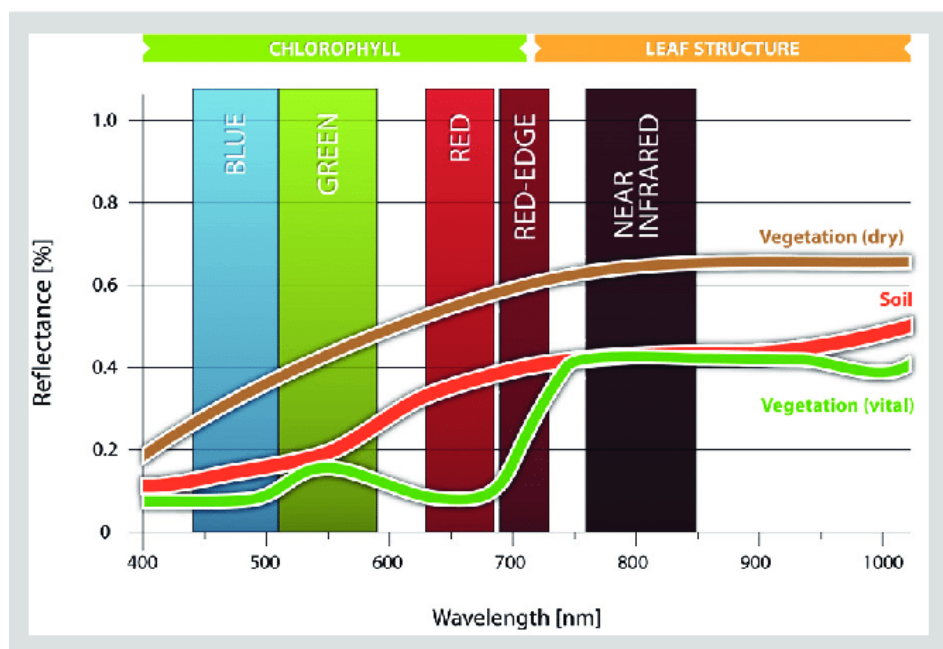


Figura 83: Sensibilidad de reflectancia en la bandas visibles e infrarrojo cercano, según la vegetación

B. Tipos de clasificadores

Como resultado de las pruebas, por cada IV se resumieron los clasificadores en 5 tipos con un ajuste de variables y parámetros determinado, los cuales se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25: Tipos de clasificadores diseñados para la clasificación de vigor

Clasificadores que produjeron mapas con mayor índice K para cada Índice de vegetación				
Clasificadores	Vegetación Densa		Vegetación dispersa	
	N° de Mapas con mayor K	%	N° de Mapas con mayor K	%
IV	1	14	4	57
IV+> N° “ <i>Maximum depth of the tree</i> ”	0	0	0	0
IV+DSM	1	14	3	43
IV+DSM+>N° “ <i>Maximum depth of the tree</i> ”	0	0	0	0
IV+DSM+> N° “ <i>Maximum number of trees in the forest</i> ”	5	71	0	0
N° total de índices de vegetación	7	100	7	100

Donde:

IV = Índice de Vegetación

DSM = *Digital Surface Model*

Los resultados muestran que la mejor combinación de parámetros y variables para la zona de vegetación densa, es la inclusión del DSM y el aumento de “*Maximum number of trees in the forest*” ya que, en general ayudó a aumentar la precisión de los mapas (para el 71% de los índices de vegetación), mientras que aumentar el “*Maximum depth of the tree*” no mejoró ninguno de los mapas.

Al respecto Nadi y Moradi (2019) realizaron un estudio donde evaluaban el rendimiento de las clasificaciones con *Random Forest*, variando parámetros como el “*Maximum depth of the tree*” y el “*Maximum number of trees in the forest*”. Encontraron que aumentar el “*Maximum depth of the tree*” no necesariamente implicaba una mayor precisión en la clasificación, por el contrario, aumentar este valor en cierto grado disminuía el rendimiento de las clasificaciones supervisadas. Esto debido a que aumentar el “*Maximum depth of the tree*”, generaba un árbol más complejo que aumentaba la variabilidad de la clasificación. Por otro lado, aumentar el “*Maximum number of trees in the forest*” manteniendo un bajo número de “*Maximum depth of the tree*” (con menos nodos, y por tanto menor variabilidad y complejidad) ayudó a encontrar una mayor precisión en las clasificaciones supervisadas.

Para la vegetación dispersa se encontró que los mejores mapas fueron los obtenidos con clasificadores que incluyeron solo el índice de vegetación sin variar los demás parámetros (57%), esto podría deberse a que esta zona presentó mayor variedad de elementos (iluminación, fenología, suelo, humedad de suelo), lo que aumentó la variabilidad en las clasificaciones, por lo que la precisión no se incrementó variando parámetros; sólo el DSM aumentó la precisión en el 43% de las veces. Por lo que se puede decir que los clasificadores mientras más simples sean, producen mapas con una mayor precisión en zonas de vegetación dispersa con alta heterogeneidad de datos.

C. El vigor en las zonas de estudio

Las clases de vigor para la zona de vegetación densa muestran una relación directa entre el vigor y otros datos como el dap, ht y dc (Tabla 26), por lo que el vigor alto se encontró en general en árboles de estrato superior con mayores valores de dap, ht y dc, mientras que un vigor bajo se encontró en árboles con menores valores de los mismos, por lo que se puede decir que en bosques el vigor se asocia con la altura, diámetro de fuste y tamaño de la copa de los árboles.

Al respecto Schinaker, *et al.* (1999) citado por Claros (2019) indica que las dimensiones de la copa de los árboles son reflejo de su vigor, por lo que copas densas y altas se corresponden con un mayor vigor en comparación con copas poco densas y bajas, estas últimas serían indicio de condiciones poco favorables de crecimiento (estrés por humedad, competencia, plagas, etc).

Tabla 26: Clases de vigor vs valores promedios de medición obtenidos del inventario en la zona de vegetación densa

	Clases de vigor	Valores promedio de inventario		
		dap (cm)	ht (m)	dc (m)
Inventario	1 (Alto)	34.39	14.47	7.00
	2 (Medio)	23.70	10.62	5.39
	3 (Bajo)	16.80	6.84	4.59
NDVI	1 (Alto)	32.97	14.28	6.56
	2 (Medio)	25.08	10.81	5.76
	3 (Bajo)	16.04	6.85	4.37
GLI	1 (Alto)	37.15	15.52	7.36
	2 (Medio)	24.16	10.61	5.47
	3 (Bajo)	16.44	6.96	4.54

El vigor se presentó de forma distinta para la zona de vegetación dispersa. Se observó que el vigor alto se ubica sobre todo en los árboles de menor tamaño, influido por la presencia de frutales.

El vigor medio se encontró en árboles de estrato vertical superior, aunque muchos árboles se encontraban con vigor alto, varios de estos individuos se encontraban en estado de defoliación natural o presentaron flores en la copa, lo que influyó en su información espectral y su posterior clasificación Tabla 27.

Por último, el vigor bajo se encontró en árboles de baja altura, pero de gran diámetro de copa y de fuste por la presencia de poncianas. Cabe resaltar que para evaluar el vigor bajo se tuvo que prescindir de datos de campo de árboles defoliados ubicados sobre pasto para evitar confusión en el entrenamiento de clasificadores, por lo que se limitó a árboles defoliados sobre suelo desnudo, entre ellos y en su mayoría poncianas.

Al respecto Morales *et al.* (2023) expresa que un alto valor de densidad de copa indica que el árbol posee un número mayor de hojas, lo que se traduce en una mayor capacidad para realizar fotosíntesis y por lo tanto desarrollarse mejor.

Tabla 27: Clases de vigor vs valores promedios de medición obtenidos del inventario en la zona de vegetación dispersa

	Clases de vigor	Valores promedio de inventario		
		dap (cm)	ht (m)	dc (m)
Inventario	1 (Alto)	16.96	5.20	5.34
	2 (Medio)	23.59	14.77	6.34
	3 (Bajo)	31.70	6.13	8.69
NDVI	1 (Alto)	16.02	5.05	5.17
	2 (Medio)	27.60	15.16	7.01
	3 (Bajo)	27.10	5.63	8.10

D. Valores Radiométricos de índices de vegetación

i. Índice de Vigor Multiespectral - NDVI

En la Tabla 28 se muestran los valores promedios del NDVI para las clases de vigor en las zonas de vegetación.

Tabla 28: Valores promedio del NDVI para las clases de vigor

Clase de Vigor	Promedio de NDVI	
	Vegetación densa	Vegetación dispersa
1 (Alto)	0.44	0.47
2 (Medio)	0.31	0.33
3 (Bajo)	0.16	0.23

En la zona de vegetación densa, respecto al vigor alto, Weier y Herring (2000) consideran un valor de 0,72 para árboles sanos; sin embargo, para el presente estudio, este valor se encontró sólo en la zona de los ficus, para el resto de árboles evaluados como de vigor alto, el NDVI arrojó un índice promedio de 0,44. Esto puede deberse a que hojas amplias y lustrosas (como las de los ficus y sauces) reflejan mucho mejor la luz y su información espectral que hojas pequeñas y con texturas más gruesas lo que permite que se obtenga un valor NDVI más alto para el ficus. Por otro lado, el valor radiométrico del vigor bajo se asimilan a lo mencionado por Weier y Herring (2000), cuyos valores de NDVI para árboles enfermos se ubicaban en 0,14.

Respecto a la zona de vegetación dispersa, los valores de NDVI mostraron valores más altos que para la zona de vegetación densa; lo que sugiere que los árboles en la zona dispersa presentaron en general árboles más vigorosos que aquellos árboles de vegetación densa. Dicha información se corresponde con lo observado en campo; ya que, mientras que la zona dispersa contaba con riego y mantenimiento constante (lo que ayuda a un mejor desarrollo de la vegetación), la zona densa mostró evidencia de falta de riego y mantenimiento al área, que indujo a la pérdida de vigor en sus árboles.

ii. Índices de Vegetación Ópticos RGB

En la Tabla 29 se muestran los valores promedio de cada índice de vegetación óptico RGB por clase de vigor para las zonas de estudio. Se observa que los índices GLI, TGI y VARI presentan relación directa con el vigor arbóreo, ya que sus valores aumentan conforme aumenta el vigor, por otro lado, los índices NGRDI y RG aumentan cuando el vigor arbóreo disminuye, por lo que guardan relación inversa con este parámetro; estos resultados se reflejan en ambas zonas de evaluación.

Tabla 29: Valores promedio de los índices de vegetación RGB por clase de vigor

Índice de Vegetación	Clase de vigor	Vegetación densa	Vegetación dispersa
GLI	1 (Alto)	0,17	0,17
	2 (Medio)	0,15	0,1
	3 (Bajo)	0,11	0,01
NGRDI	1 (Alto)	-0,002	-0,02
	2 (Medio)	-0,07	-0,12
	3 (Bajo)	-0,11	-
RG	1 (Alto)	1,07	1,14
	2 (Medio)	1,13	1,43
	3 (Bajo)	1,25	1,32
TGI	1 (Alto)	2,97	3,84
	2 (Medio)	2,64	3,07
	3 (Bajo)	2,49	-
VARI	1 (Alto)	0,32	-0,07
	2 (Medio)	0,28	-0,14
	3 (Bajo)	0,18	-0,16
vNDVI	1 (Alto)	-0,05	0,6
	2 (Medio)	-0,07	0,57
	3 (Bajo)	-0,13	0,54

Donde:

- No clasificado

E. Factores que afectan la clasificación del vigor arbóreo a nivel de copa

i. Fenología

- Defoliación natural

La defoliación natural de especies caducifolias no es indicio de un vigor bajo sino más bien responde a la fenología del árbol y su estacionalidad, por lo que árboles caducos pueden clasificarse erróneamente al no requerir de ningún tratamiento para recuperar su densidad de copa, lo que sugiere que se debería reconsiderar la inclusión de estas especies en defoliación para próximos estudios de vigor arbóreo, o tener especial tratamiento con estos datos.

Copas defoliadas también significaron un inconveniente en la clasificación de vigor debido a que reflejaron información espectral del suelo a través de la copa, dando altos valores de vigor cuando se ubican sobre pasto en buen estado en lugar de clasificarse como de vigor bajo como correspondería.

Como se puede observar en la Figura 84, todos los individuos se encuentran defoliados, sin embargo, posterior a la clasificación de vigores, muchas de estas copas fueron clasificadas como de vigor alto o medio debido al pasto del suelo, sólo fueron clasificados correctamente los árboles ubicados en zona de suelo desnudo o cercanos al concreto por lo que se reflejó valores bajos del NDVI.

Ubicación			Mosaico			Clasificación de vigor	Especie Caducifolia	Valor NDVI	
Este	Norte	Zona	Ortomosaico	NDVI				Pasto	Concreto
288 205	8 663 645	18S				Medio	Ponciana	—	0,02
287 990	8 663 685	18S				Bajo	Ponciana	0,24	0,02
287 959	8 663 627	18S				Alto	Tulipán africano	0,48	0,1
288 185	8 663 627	18S				Medio	Jacarandá	0,39	0,07

Figura 84: Valores de NDVI de copas arbóreas defoliadas

- Floración

A pesar que algunos árboles fueron evaluados como de vigor alto en campo, la presencia de floración afectó y redujo el promedio de NDVI a nivel de copa. Esto debido a que el NDVI utiliza la banda roja para calcular el índice, por lo que la presencia de floración influyó en la radiometría de la copa de acuerdo a la cantidad, tamaño y color de las flores.

En la Figura 85 se observa a detalle cómo la floración altera la clasificación del vigor arbóreo, encontrándose que mientras más se acercan a una tonalidad rojiza, las flores inducen a una respuesta espectral de vigor bajo.

En un árbol de Huaranguay, con flores amarillas, de tamaño mediano y poco abundantes, se apreciaron valores de NDVI de 0,28 a nivel de hojas, y un NDVI de 0,38 a nivel de copa, lo que no alteró en gran medida la clasificación de vigor alto. Por otro lado, flores color ámbar, de tamaño pequeño, pero de regular abundancia en la copa como en el caso de las mimosas, resultaron en un NDVI de 0,19 a nivel de hojas y 0,35 a nivel de copa, clasificándolo con un vigor medio. Por último, flores de tonalidades rojizas como en el caso del Tulipán africano

con flores amplias y abundantes, se registró valores de NDVI de 0,15 a nivel de flor y 0,29 a nivel de copa, asemejando la copa a un vigor arbóreo bajo.

Morales *et al.* (2023) al respecto señala que la floración es una etapa fenológica que interfiere en el verdor de las hojas y que puede provocar una baja correlación entre la relación de índices de vegetación como el NDVI y la presencia de clorofila en la copa del árbol. Debido a este detalle se recomienda que en próximos estudios de vigor se analicen especies por separado en lugar de analizar todas las especies en una sola población para disminuir la heterogeneidad de datos.


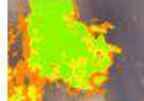
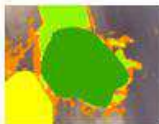



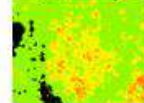


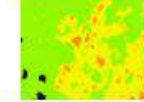

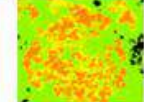


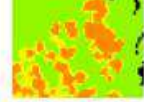
Ubicación			Mosaicos		Copa delimitada	Clasificación de vigor	Especie	Color de flor	Abundancia	Tamaño de flores	Valor NDVI	
Este	Norte	Zona	Ortomosaico	NDVI								
288 210	8 663 649	18S	A nivel de copa				Alto	Huaranguay	Amarillo	Pocas flores	Medianas	0.38
			A nivel de Flor									0.28
288 001	8 663 625	18S	A nivel de copa				Medio	Mimosa	Ambar	Regular	Pequeñas	0.35
			A nivel de Flor									0.19
287 921	8 663 541	18S	A nivel de copa				Bajo	Tulipan africano	Rojo	Muchas flores	Grandes	0.29
			A nivel de Flor									0.15

Figura 85: Valores de NDVI de copas vigorosas con presencia de flores

ii. Factores ambientales

- Luminosidad

En la Figura 86 se muestra el ortomosaico RGB de la zona de vegetación densa, se observa diferencias de luminosidad con una sombra ubicada cerca al vértice D, por lo que se halló

diferencias radiométricas en comparación con el resto del mosaico. Árboles muestreados de alto vigor ubicados en la zona de sombra reflejaron en los mosaicos valores radiométricos semejantes a los de vigor bajo o medio, por lo se reemplazó dichos datos con otras muestras de campo de vigor medio o bajo que si guardaran coherencia con el mosaico. En la Figura 87 se observan sombras en el mosaico de vegetación dispersa.

Hunt (2011) indica que un problema en el estudio de vegetación con índices ópticos como el TGI, es el cambio de la iluminación provocados por la intensidad de luz y exposición del sensor, el cual debe ser corregido posteriormente para evitar fallas en el proceso de evaluación de clorofila.

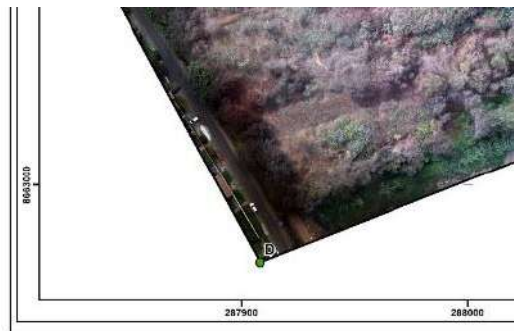


Figura 86: Sombra identificada en el ortomosaico RGB de la zona de vegetación densa

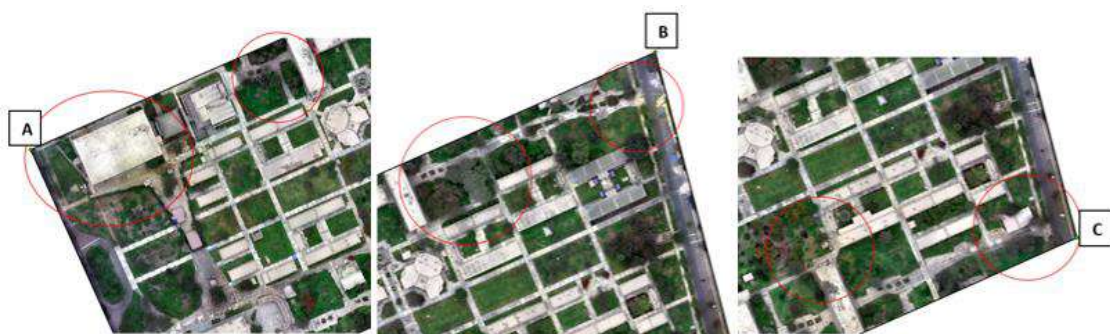


Figura 87: Zonas de sombras en el mosaico de vegetación dispersa

Según PIX4D (2021) las correcciones radiométricas permiten corregir defectos producidos por diferencias en la reflectancia de la imagen generados por la iluminación de la escena y la influencia del sensor, dicho proceso se ejecuta mediante el paso 3 (DSM, Ortomosaico e

Índices) del programa *PIX4D Mapper*. Cabe resaltar que para el procesamiento fueron aplicadas las correcciones radiométricas automáticas en este paso (ítem 3.3.3.), sin embargo, visualmente se podían seguir observando el efecto de sombras en algunas zonas de los mosaicos, por lo que como recomendación se podría realizar una calibración manual en el programa a fin de mejorar resultados.

V. CONCLUSIONES

1. La metodología seguida ha permitido seleccionar adecuadamente el mejor índice de vegetación para clasificar el vigor tanto para la vegetación densa como para la vegetación dispersa.
2. Se logró clasificar el vigor de la vegetación densa en “Bosque simulado y plantación forestal” con buena precisión.
3. El vigor de los árboles individuales en la vegetación dispersa, fue clasificado con precisión media.
4. Todos los índices de vegetación aplicados permitieron delimitar muy bien las copas de los árboles en la vegetación dispersa de forma semi automática.
5. La delimitación de las copas de los árboles en la vegetación densa fue manual.
6. Los mejores índices de vegetación para clasificar el vigor de los árboles fueron los que incluyeron la banda infrarroja.
7. Los índices de vegetación RGB que tuvieron mejor desempeño en la clasificación del vigor de los árboles fueron los que incluían las bandas rojas, verde y azul.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar vuelos a horas cercanas al mediodía para evitar incidencia de sombras entre las copas de árboles, además se recomienda evitar prolongar los tiempos entre un vuelo y otro, lo que se puede prevenir teniendo siempre a disposición baterías cargadas para el momento de cambio al final de cada vuelo.
- La aplicación del algoritmo *Linear Rutter Shutter* del programa PIX4D permite mejorar resultados en mosaicos donde se perciban errores de empalme provocados por el movimiento de las copas por efecto del viento, se recomienda usar la calculadora de desplazamiento del pixel ofrecido por PIX4D *Mapper* para conocer si se recomienda para el RPA que se esté usando.
- Se recomienda trabajar con pocas clases de vigor para simplificar el proceso SIG, asimismo realizar una comparación previa entre los datos de campo y los mosaicos a fin de encontrar posibles factores que influyan en una buena clasificación de vigor, como sombras en el mosaico, floración o presencia de especies caducas en defoliación natural, y analizar si es necesario tomar datos adicionales para mejorar los datos de muestreo.
- Un estudio más específico con pocas especies y en un estado fenológico apropiado, sin floración ni en estado de defoliación natural puede mejorar valores de precisión en los índices, por lo que se recomienda replicar la metodología bajo estas condiciones a fin de encontrar mejores resultados.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Árboles de Lima (s.f.). Servicio de parques de Lima, Perú.

Barrena, V; Garnica, C; Ortiz, H; Huamaní, J; Clemente, C; Bryson, M. (2019a). Elaboración del ortomosaico mediante Vehículo Aéreo no Tripulado Lancaster 5 del Campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Informe Técnico. Laboratorio de Teledetección Aplicada y SIG. FCF-UNALM. INNOVATE Perú. 8 p.

Barrena, V; Garnica, C; Ortiz, H; Huamaní, J; Clemente, C; Bryson, M. (2019b). Manual de operaciones del Lancaster 5. Laboratorio de Teledetección Aplicada y SIG. FCF-UNALM. INNOVATE Perú. 52 p.

Begazo, K. (2020). “Almacenamiento de carbono de tres especies forestales presentes en áreas verdes de la ciudad de Lima”. (Trabajo para optar el grado académico de magíster en ciencias ambientales). Universidad Agraria La Molina., Perú.

Bravo, N. (2019). Teledetección espacial y procesamiento de imágenes satelitales de acceso gratuito con el uso de software libres (2). Huánuco.

Carrasco, Á., Guzmán, J., Ruiz, J., Rodríguez, S. (2019). Manual de Diagnóstico Fitosanitario. Recuperado el 12 de octubre del 2022 de <https://www.uco.es/investigacion/proyectos/biodehesa/wp-content/uploads/Manual-de-diagn%C3%B3stico-fitosanitario-dehesa-1.pdf>

Casco, V. (2017). Informe de evaluación de exactitud temática, del mapa de cobertura forestal y cambio de uso de la tierra (2015-2016), Paraguay.

- Castillo, M. (2019). Análisis de imágenes multiespectrales aéreas de una parcela de cultivo de palta. (Trabajo de Fin de Grado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.
- Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá (2014). Universidad EIA, Colombia. Recuperado de: <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/project>.
- China, D. (2002). Teledetección del bosque. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Costa Rica: Libro Universitario Regional.
- Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de Teledetección Espacial (3). Edición Rialp.
- Chuvieco, E. (2008). Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio. Barcelona: Editorial Ariel.
- Chuvieco, E. (2008). Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio (3). Barcelona: Ariel.
- Claros, A. (2019). Estimación del volumen de fustes a partir de fotografías aéreas captadas desde un VANT en el distrito de Chanchamayo, Junín. (Trabajo de Fin de Grado). Universidad Agraria La Molina., Perú.
- Cohen, J. (1960). Un coeficiente de acuerdo a las escalas nominales. *Medición educativa y psicológica*, 20 (1), 37-46. DOI: 10.1177/001316446002000104
- Costa, L., Nunes, L. y Ampatzidis, Y. (2020). A new visible band index (vNDVI) for estimating NDVI values on RGB images utilizing genetic algorithms. *Computer and Electronics in Agriculture*, 172, 105334. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816991932383X?via%3Dihub>
- Costales, G. (2018). Análisis comparativo entre los software de prueba Agisoft y PIX4D para el procesamiento de datos obtenidos con fotogrametría de vehículo aéreo no tripulado

(UAV) de bajo costo aplicado a proyectos de medio ambiente. (Trabajo de Fin de Grado). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.

Di Liberto, S. (2022). Selección de árboles semilleros de *Cedrelinga cateniformis*, *Simarouba amara* y *Guatteria elata* en plantaciones forestales mediante el uso de RPA. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.

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. (Trabajo de fin de Máster). Universidad Complutense de Madrid. España.

Dirección General Aeronáutica Civil (DGAC) (2015). Norma Técnica Complementaria 001-2015: Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia. Lima – Perú. Recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/321488-ntc-001-2015-requisitos-para-las-operaciones-de-sistemas-de-aeronaves-pilotadas-a-distancia>

DJI (2018). DJI GS PRO. Manual de usuario. Recuperado de: https://dl.djicdn.com/downloads/groundstation_pro/20181102/GS_Pro_User_Manual_v2.0_EN_201811.pdf

DJI (2019). P4 Multispectral- Manual de usuario V1.0. Recuperado de: https://dl.djicdn.com/downloads/p4-multispectral/20200311/P4_Multispectral_User_Manual_v1.0_ES.pdf

Duarte, E., Emanuelli, P., Milla, F., Orellena, O., & López, S. (2015). Análisis de cambios de la cobertura forestal y uso de la tierra mediante imágenes satelitales de alta resolución espacial: sitio piloto cantón de Puriscal años 2009-2012-2015 República de Costa Rica. *San José, Costa Rica: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.*

Eastman, J. (2003). IDRISI Kilimanjaro. Guide to GIS and Image Processing (14). Labs Clark University.

- Feng, Q., Liu, J., 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>
- Frau, C., Gajardo, J., Ormazábal, Y., Morales, Y. & Montecinos, R. (2006). Teledetección y Sig en el Ámbito Forestal: Experiencias en Chile. Centro de Geomática de la Universidad de Talca. Centro de Geomática de la Universidad de Talca. v.2 p. 171-185
- Fredericksen, T., Contreras, F. y Pariona, W. (2001). Guía de Silvicultura para Bosques Tropicales de Bolivia. Santa Cruz: El País.
- Gitelson, A, Kaufman, Y., Stark, R. y Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of the Environment*, 80 (1), 76-87. doi: 10.1016 / s0034-4257 (01) 00289-9
- Godoy, O. y Rueda, M. (2016). El uso de inventarios forestales para entender la evolución, el mantenimiento, y el funcionamiento de la diversidad de especies. *Ecosistemas*, 25 (3), 80-87.
- Guillen, M., Algeet, N., Fernández, A., Tomé, J., Peñalber, J. y Mas, H (2019). Monitoreo y evaluación de sanidad del bosque mediterráneo mediante imágenes hiperespectrales. Eds. Ruiz, L., Estornell, J., Calle, A. y Antuña. C. Teledetección [Recurso electrónico]: hacia una visión global del cambio climático (pp. 101-104). Ediciones Universidad de Valladolid.
- Hinojosa, S., Gallardo, J., Hinojosa, F. y Meléndez, A. (2021). Evaluation of segmentation parameters in OBIA for classification of land covers from UAV images. *Revista de Teledetección*, 58, 89-103. <https://doi.org/10.4995/raet.2021.14782>
- Huerta, P., Lombardi, I., Barrena, V., Cuba, K. (2008). Instructivo de Campo. Brigadas de Caracterización. Proyecto UNALM – ITTO PD 251/03 Rev. 3(F).

- Hunt, E., Daughtry, C., Eitel, J., Long, D. (2011). Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. *Agronomy Journal* 103, 1090–1099
- Hunt, E., Doraiswamy, P., McMurtrey, J., Daughtry, C., Perry, E. y Akhmedov, B. (2013). A visible mband index for remote sensing leaf chlorophyll content at canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 103-112. doi: 10.1016 / j.jag.2012.07.020
- Kaufman, Y y Tanre, D. (1992). Índice de vegetación resistente a la atmósfera (ARVI) para EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 261–270. doi:10.1109/36.134076
- Kharuf, S., Hernández, L., Orozco, R., Aday, O., Delgado, I. (2018). Análisis de imágenes multispectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 39(2), 81-91. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/326160432 Analisis de imagenes multiespectrales adquiridas con vehiculos aereos no tripulados](https://www.researchgate.net/publication/326160432_Analisis_de_imagenes_multiespectrales_adquiridas_con_vehiculos_aereos_no_tripulados)
- Lárraga, H., Piedad, A., Hernández, D. y Espinosa, O. (2020). Clasificación de coberturas terrestres: Métodos supervisados y no-supervisados a cultivos de caña de azúcar. *TECTZAPIC Revista Académico-Científica* 6(2). 59-70. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/606819>
- Li, M., Ma, L., Blaschke, T., Cheng, L. y Tiede, D. (2016). Una comparación sistemática de diferentes técnicas de clasificación basadas en objetos utilizando imágenes de alta resolución espacial en entornos agrícolas. *Revista internacional de observación terrestre aplicada y geoinformación*, 49, 87–98. doi:10.1016/j.jag.2016.01.011
- Louhaichi M., Borman M. y Johnson D., (2001) Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. *Geocarto International*, 16(1), 65-70. DOI: 10.1080/10106040108542184

- Louhaichi, M., Borman, M. y Johnson, D. (2001) Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat, *Geocarto International*, 16:1, 65-70, DOI: 10.1080/10106040108542184
- Malleux, J. (1982). *Inventarios forestales en bosques tropicales*. Lima, Perú.
- Martínez, T., Plascencia, F. y Rodríguez, L. (2012). La relación entre los carbohidratos y la vitalidad en árboles urbanos. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(3), 459-468. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.03.016>
- McKinnon, T. y Hoff, P. (2017). Comparing RGB – Based Vegetation Indices With NDVI For Drone Based Agricultural Sensing. *Agribotix*, 1-8. Recuperado de: <https://agribotix.com/wp-content/uploads/2017/05/Agribotix-VARI-TGI-Study.pdf>
- McRoberts, R., Tomppo, E. y Czaplewski, R. (1992). Diseños de muestreo de las evaluaciones forestales nacionales. *Antología de conocimiento para la evaluación de los recursos forestales nacionales*. Roma, Italia: FAO-SLU. Recuperado de : http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/national_forest_assessment/images/PDFs/Spanish/KR2_ES_4_.pdf
- Mejía, L. y Troya, J. (2021). “Evaluación de la susceptibilidad a movimientos de masas por deslizamientos mediante los índices de vegetación NDVI y SBI del cantón Alausí, provincia de Chimborazo” (Trabajo para optar el grado de bachiller). Cuenca – Ecuador.
- Mesas, F., Torres, J., Clavero, I., García, A., Peña, J., Borra, I., López, F. (2015). Assessing optimal flight parameters for generating accurate multispectral orthomosaics by UAV to support site-specific crop management, 7 (10), 12793-12814.
- Mitsikostas, E. (2017). *Monitorización y optimización de tierras con drones y fotogrametría aérea para aplicaciones de precisión en agricultura* (Trabajo de Fin de Grado). Universitat Politècnica de València, Valencia.

- Mora, M. y Cañarte, D. (2017). Relación de la variación espectral mediante índices de vegetación en Quinoa (*Chenopodium quinoa*) en un ensayo controlado y un cultivo comercial (Trabajo de Fin de Grado). Universidad de las Fuerzas Armadas. Ecuador.
- Morales, L., Martínez, T., Hernández, P., Gómez, A., Alvarado, D., y Saavedra, L. (2023). Estado de salud de los árboles en áreas verdes urbanas a través de indicadores de copa e índices de vegetación.
- Moreno, L., Ramos, V., Pohl, M. y Huguet, F. (2018). Comparative study of multispectral satellite images and RGB images taken from drones for vegetation cover estimation Central America and Panama Convention, 38, 1-8. IEEE. doi: 10.1109 / CONCAPAN.2018.8596362
- Móstiga, M. (2014). Prospección y evaluación de los insectos y ácaros perjudiciales en especies forestales del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina. (Tesis para optar por el título de ingeniera forestal). La Molina, Perú.
- Mounir Louhaichi , Michael M. Borman & Douglas E. Johnson (2001) Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat, Geocarto International, 16:1, 65-70, DOI: 10.1080/10106040108542184
- Nadi, A. y Moradi, H. (2019). Aumentando las Vistas y Reduciendo la Profundidad en Random Forest. Sistemas Expertos con Aplicaciones, 138, doi:10.1016/j.eswa.2019.07.018
- Nebiker, S., Annen, A., Scherrer, M., y Oesch, D. (2008). A light-weight multispectral sensor for micro UAV: Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 37(B1), 1193-1199.
- Núñez, J, Penella, A., Pérez-Gil, R., Costes, I., Gallardo, J., y Pérez, D. (2022). Presencia de la tecnología de vehículos aéreos no tripulados en los dominios de investigación en ciencias de la sustentabilidad. Interciencia, 47 (6),232-239. [fecha de Consulta 13 de

Febrero de 2023]. ISSN: 0378-1844. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33971864005>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2004). Inventario Nacional Forestal. Manual de Campo. Guatemala. Recuperado el 12 de febrero del 2023 de: <https://www.fao.org/3/ae578s/AE578S06.htm>

Ortiz, D. (2010). Comparación de dos sistemas de información Geográfica (ILWIS y ARCGIS) en el levantamiento de uso y cobertura del suelo y utilización del ERDAS IMAGINE para la elaboración del mosaico en un sector del Juncal, Municipio de Palermo, Departamento de Huila. (Trabajo de Fin de Grado). Universidad Surcolombiana, Colombia.

OTB CookBook (2022). Recuperado el 12 de febrero del 2023 de: <https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook-8.0/Installation.html>

OTB CookBook (2023). Recuperado el 12 de febrero del 2023 de: https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook/Applications/app_TrainVectorClassifier.html#shark-random-forests-classifier-options

Otzen, T., y Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. International Journal of Morphology, 35(1), 227-232. Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>

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>

PERU LNG (2021). Consultoría para el Análisis e Interpretación de Imágenes Satelitales Para la Determinación de la Cobertura Vegetal en el Área de Influencia del Gasoducto de PERU LNG para el año 2021

PIX4D (2021). Herramientas - Calculadora de desplazamiento vertical de píxeles. Recuperado el 12 de febrero del 2023 de: <https://support.PIX4D.com/hc/en-us/articles/202560159-How-to-improve-the-outputs-of-dense-vegetation-areas-using-PIX4Dmapper>

PIX4D (2021). How to correct for the Rolling Shutter Effect - PIX4Dmapper. Recuperado el 12 de febrero del 2023 de: <https://support.PIX4D.com/hc/en-us/articles/208460436-How-to-correct-for-the-Rolling-Shutter-Effect>

PIX4D (2021). How to improve the outputs of dense vegetation areas using PIX4Dmapper?. Recuperado el 12 de febrero del 2023 de <https://support.PIX4D.com/hc/en-us/articles/202560159-How-to-improve-the-outputs-of-dense-vegetation-areas-using-PIX4Dmapper>

PIX4D (2021). How to improve the outputs of dense vegetation areas using PIX4Dmapper?. Recuperado el 12 de febrero del 2023 de: <https://support.PIX4D.com/hc/en-us/articles/202560159-How-to-improve-the-outputs-of-dense-vegetation-areas-using-PIX4Dmapper>

PIX4D (2021). Radiometric corrections. Recuperado el 12 de febrero del 2023 de: <https://support.PIX4D.com/hc/en-us/articles/202559509-Radiometric-corrections>

PIX4D (2021). Recuperado el 12 de febrero del 2023 de: <https://support.PIX4D.com/hc/en-us/articles/115000409383-TOOLS-Vertical-pixel-displacement-calculator>

PIX4D (2021). Using the Index Calculator with PIX4DMapper. Recuperado el 12 de febrero del 2023 de: <https://support.PIX4D.com/hc/en-us/articles/202558729-Using-the-Index-Calculator-with-PIX4DMapper>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre & Gobierno Regional de Huánuco. (2020). Elaboración del estudio agroforestal y silvopastoril en el marco del proceso de zonificación forestal de la provincia de Puerto Inca, región Huánuco. Informe no publicado, Perú.

Qgis Project. (2022) Recuperado el 12 de febrero del 2023 de:
https://docs.qgis.org/3.16/es/docs/user_manual/processing_algs/otb.html

Ramírez, C. (2019). Uso de un vehículo aéreo no tripulado como alternativa para evaluar el estado nutricional de una plantación de *Gmelina arborea* Roxb. (Tesis para optar por el título de ingeniera forestal). San Carlos, Costa Rica.

Roque, F. (2021). Modelo para la identificación de especies de mangle mediante fotografía aérea con VANT y algoritmo de clasificación Random Forest, en Bahía de La Paz, BCS (Trabajo para optar el grado académico de magíster). La Paz – México.

Rossi, A., Rhody, H., Salvaggio, C. y Walvoord, D. (2012). Marco de flujo de trabajo abstraído con una estructura de aplicación de movimiento. Taller de procesamiento de imágenes del oeste de Nueva York. (9-12). doi: 10.1109 / wnyipw.2012.6466647

Rouse, J., Haas, R., Schell, J., y Deering, D. (1973). Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. 3 rd ERST Symposium, NASA, 1, 309-317. Recuperado el 8 de marzo del 2023 de: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>

SENAMHI (s.f) Recuperado el 15 de marzo del 2023 de
<https://www.senamhi.gob.pe/mapas/mapa-estaciones/ dat esta tipo.php?estaciones=472AC278>

SERFOR (2021). Metodología para la elaboración del estudio forestal en el marco de la zonificación forestal.

Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección. (2022). Estatutos. Recuperado de:
<https://www.isprs.org/documents/pdf/statutes22.pdf>

Tagle, X., Falen, L., Bartholomeus, H., Cárdenas, R., Flores, G., Herold, M., Honorio, E. y Baker, T. (2019). Identifying and Quantifying the Abundance of Economically

Important Palm in Tropical Moist Forestl Using UAV Imagery. Remote Sensing, 12, 9. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/rs12010009>

Tucker, C. (1979). Combinaciones lineales de rojo e infrarrojo fotográfico para el seguimiento de la vegetación. Detección remota del medio ambiente, 8(2), 127–150. doi:10.1016/0034-4257(79)90013-0

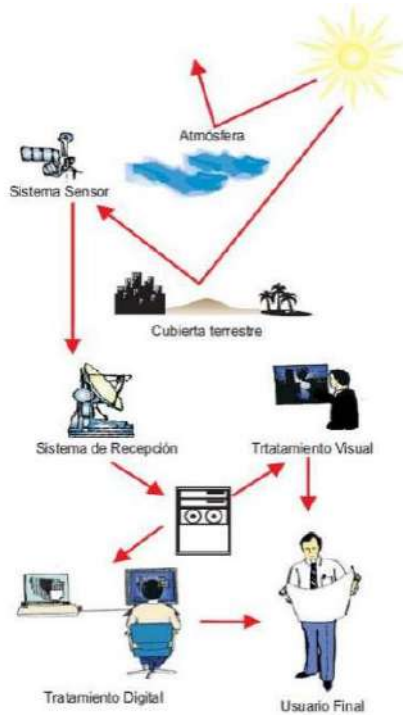
Unidad de Evaluación y Monitoreo Forestal (s.f.). Recuperado el 12 de febrero del 2023 de: <http://www.lamolina.edu.pe/Facultad/forestales/teledeteccion/descargas.htm>

Vásconez, N. y Sevilla, H. (2018). Uso de los sensores remotos en mediciones forestales. European scientific journal, 14 (15), 58-7.

Weier, J. y Herring, D. (2000) Medición de la vegetación (NDVI y EVI). Observatorio de la Tierra de la NASA, Washington DC. Recuperado de <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation>

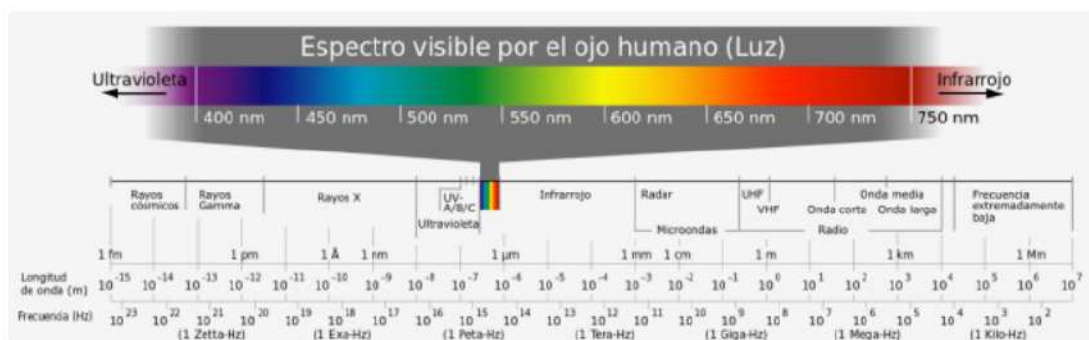
VIII. ANEXOS

Anexo 1: Elementos que componen un sistema de teledetección



Fuente: Chuvieco (1996)

Anexo 2: Representación del espectro electromagnético



Fuente: Moreno *et al.* (2018)

Anexo 3: Cartel de ingreso al área de vegetación densa



Anexo 4: Vuelo exploratorio sobre el área de vegetación densa

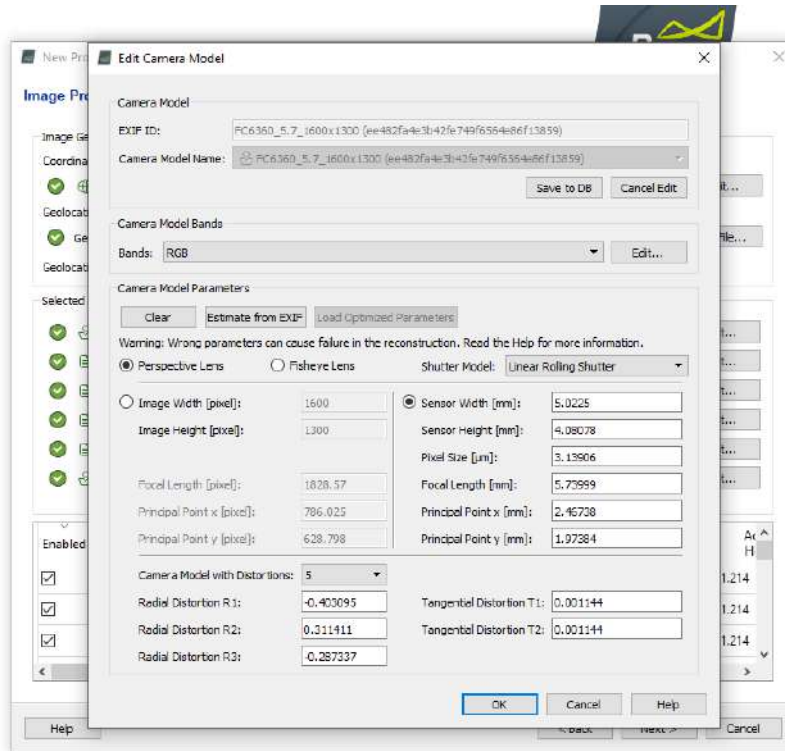


Anexo 5: Parámetros recomendados para vuelos con RPA en zonas con vegetación

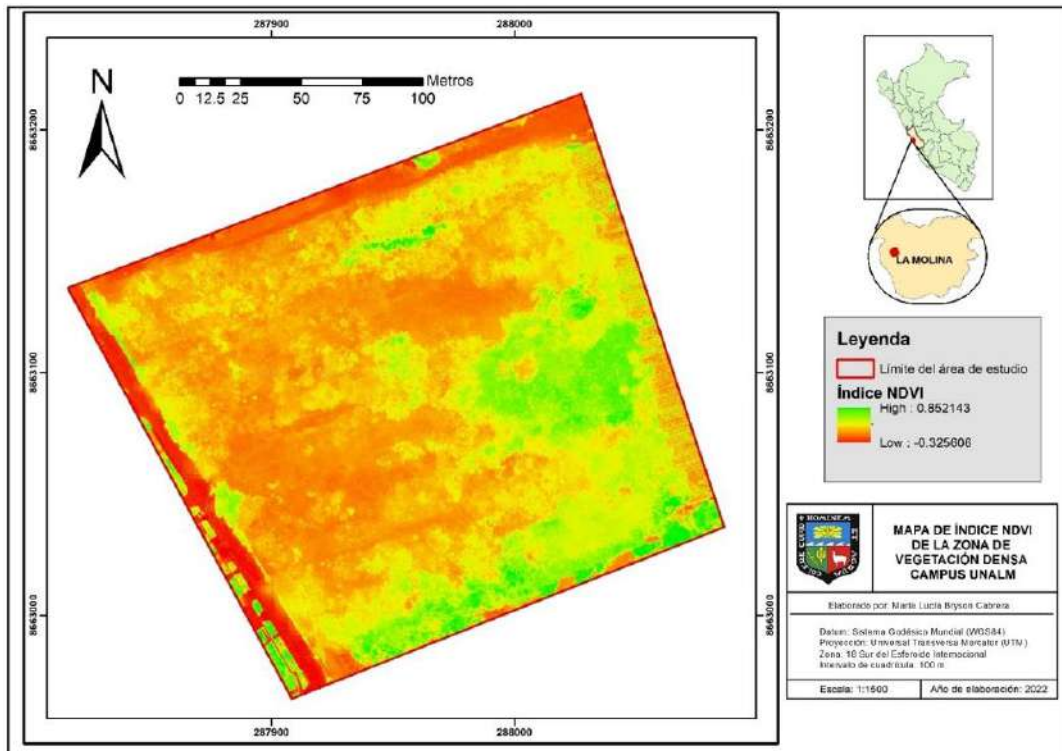
	Altura de vuelo	Aumentar la altura de vuelo para disminuir distorsiones de perspectiva, permite al programa detectar similitudes visuales entre imágenes superpuestas
Procesamiento inicial	Superposición o traslape	Aumentar la superposición con un mínimo de 85% de traslape frontal y 70% de traslape lateral
	Escala de imagen	Procesar con escala de imagen 1/2 en el paso 1 para aumentar la cantidad de imágenes calibradas
Densidad de nube de puntos	Altura de vuelo	Aumentar altura de vuelo
	Superposición o traslape	Mantener un mínimo de 85% de traslape frontal y lateral
	Escala de imagen	1/4 o 1/8 para zonas de sólo vegetación densa, 1/2 y escala múltiple para zonas de vegetación con presencia de carreteras o edificios.
Ortofoto	Mejora de DSM	Eliminar ruido de nube de puntos
	Método	Triangulación en lugar del algoritmo de ponderación de distancia inversa (IDW)

Fuente: Documentación de PIX4D (2021)

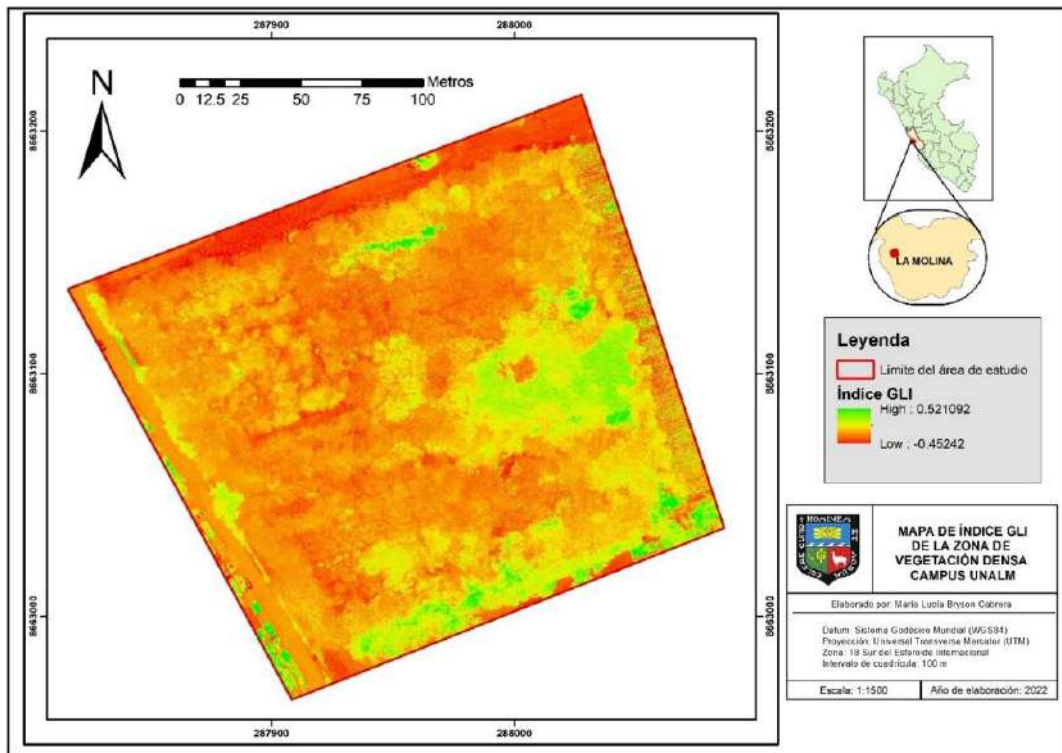
Anexo 6: Configuración para aplicar el algoritmo Linear Roller Shutter



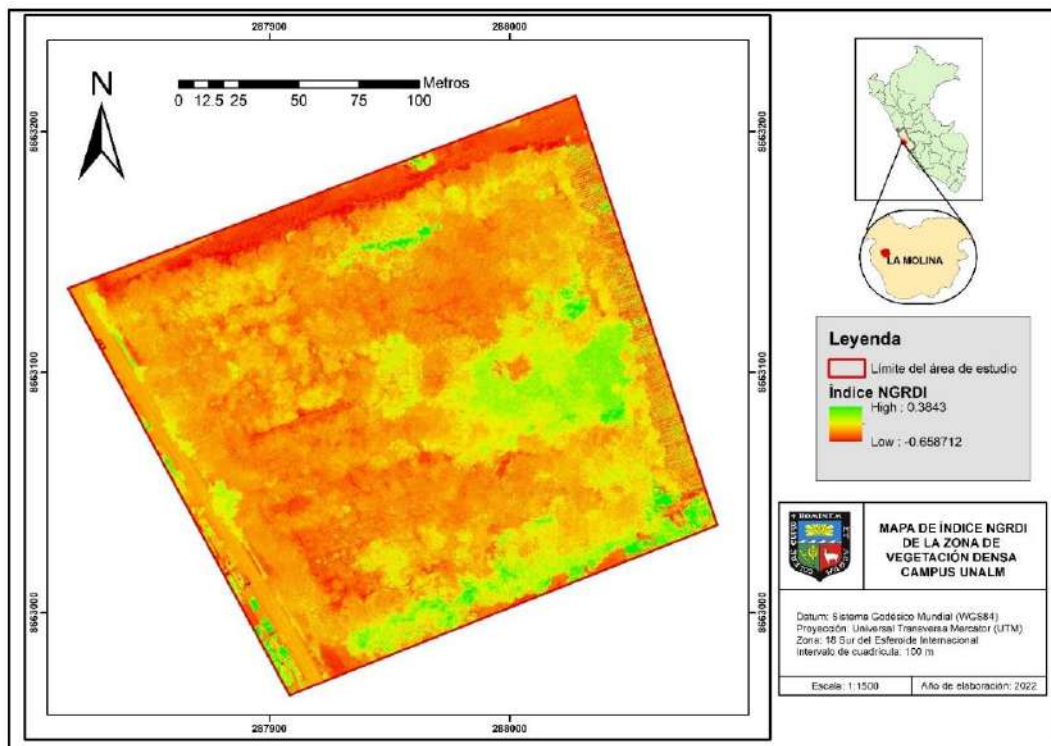
Anexo 7: Índice de vegetación multispectral NDVI de la zona de vegetación densa



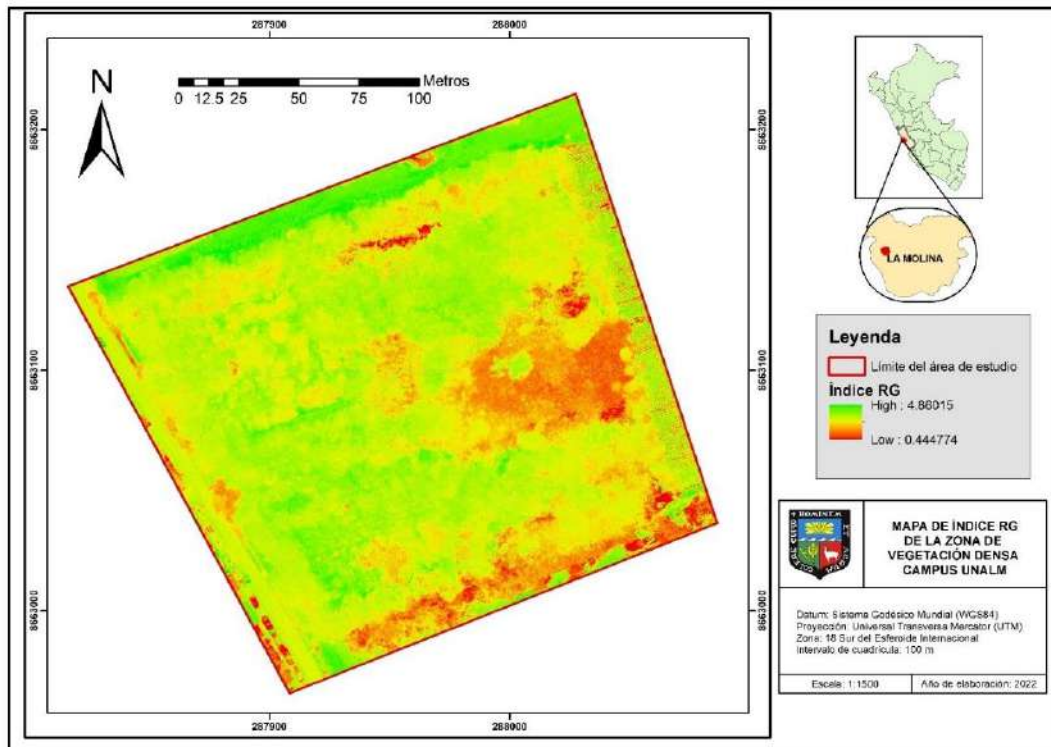
Anexo 8: Índice de vegetación óptico GLI de la zona de vegetación densa



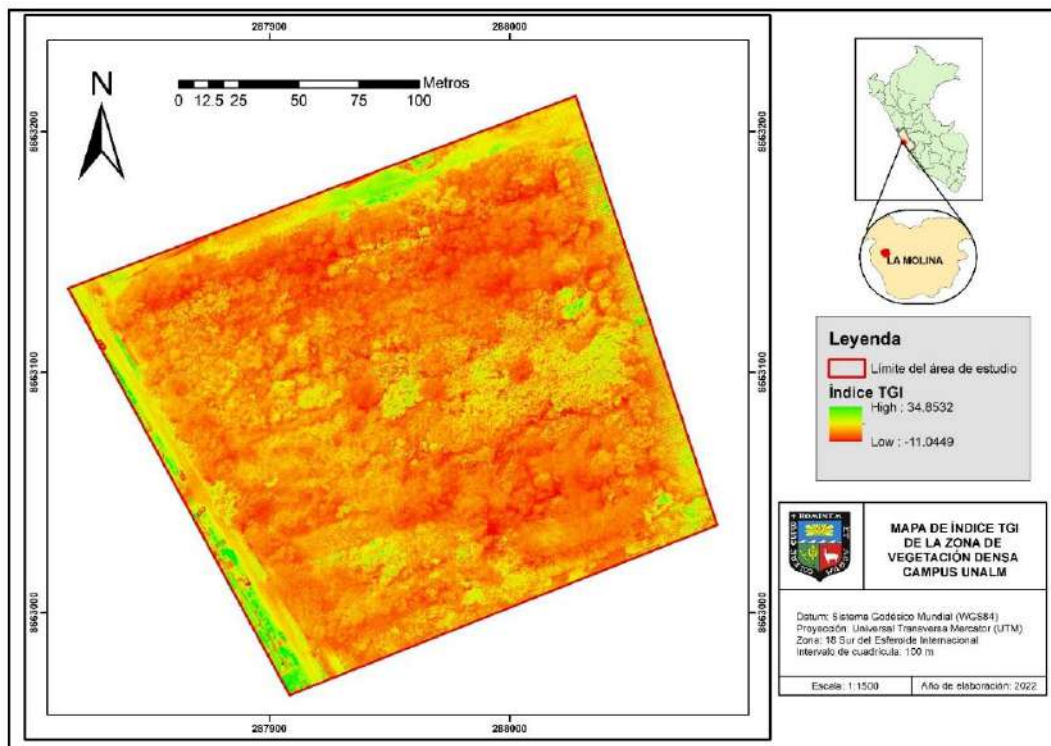
Anexo 9: Índice de vegetación óptico NGRDI de la zona de vegetación densa



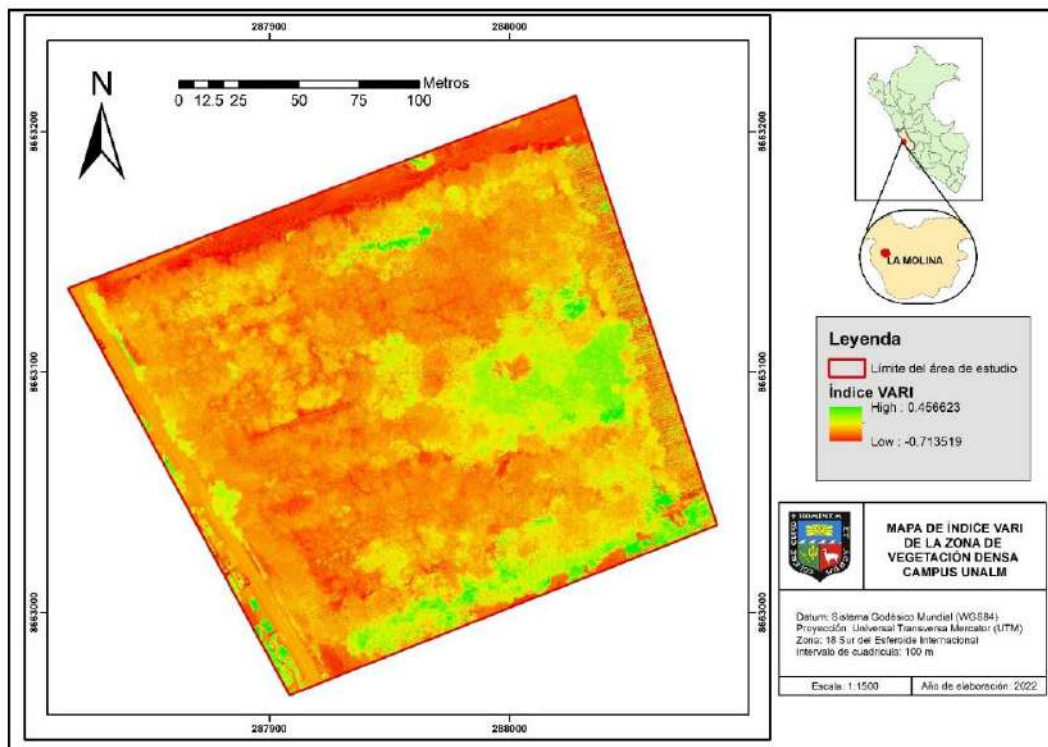
Anexo 10: Índice de vegetación óptico RG de la zona de vegetación densa



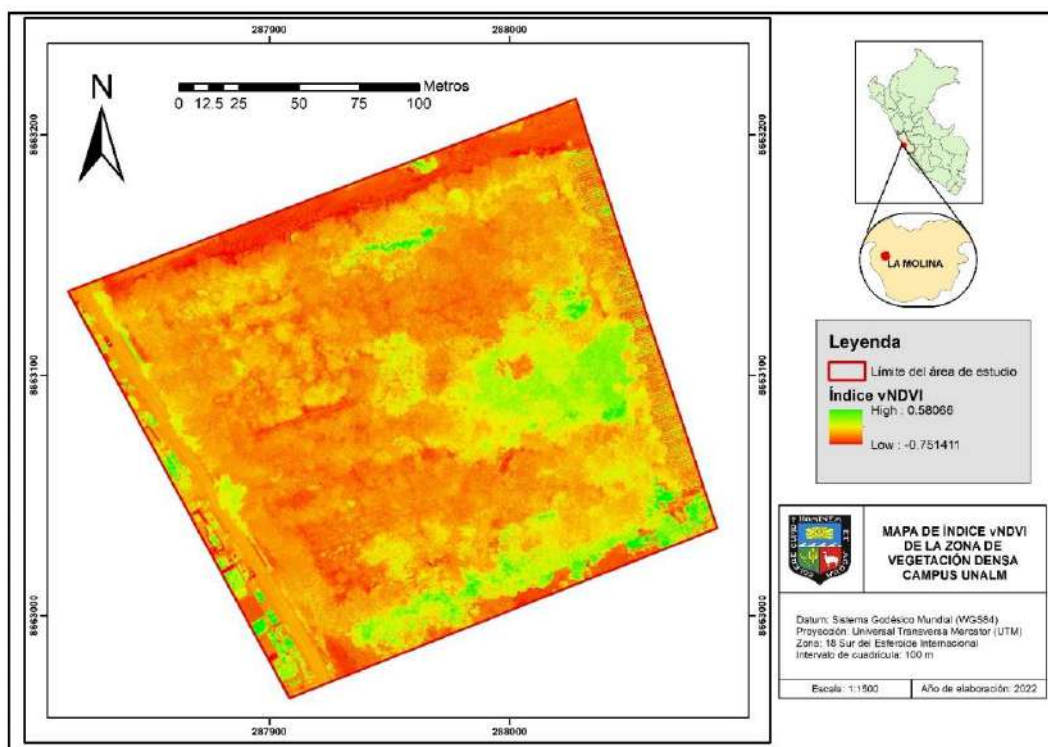
Anexo 11: Índice de vegetación óptico TGI de la zona de vegetación densa.



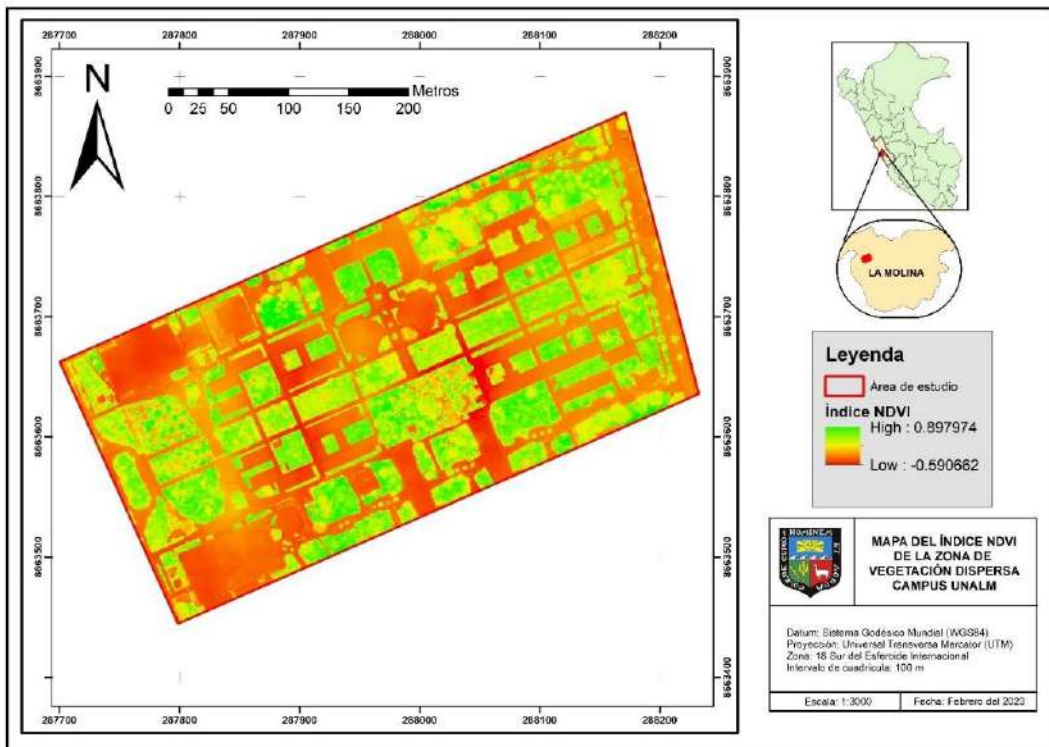
Anexo 12: Índice de vegetación óptico VARI de la zona de vegetación densa



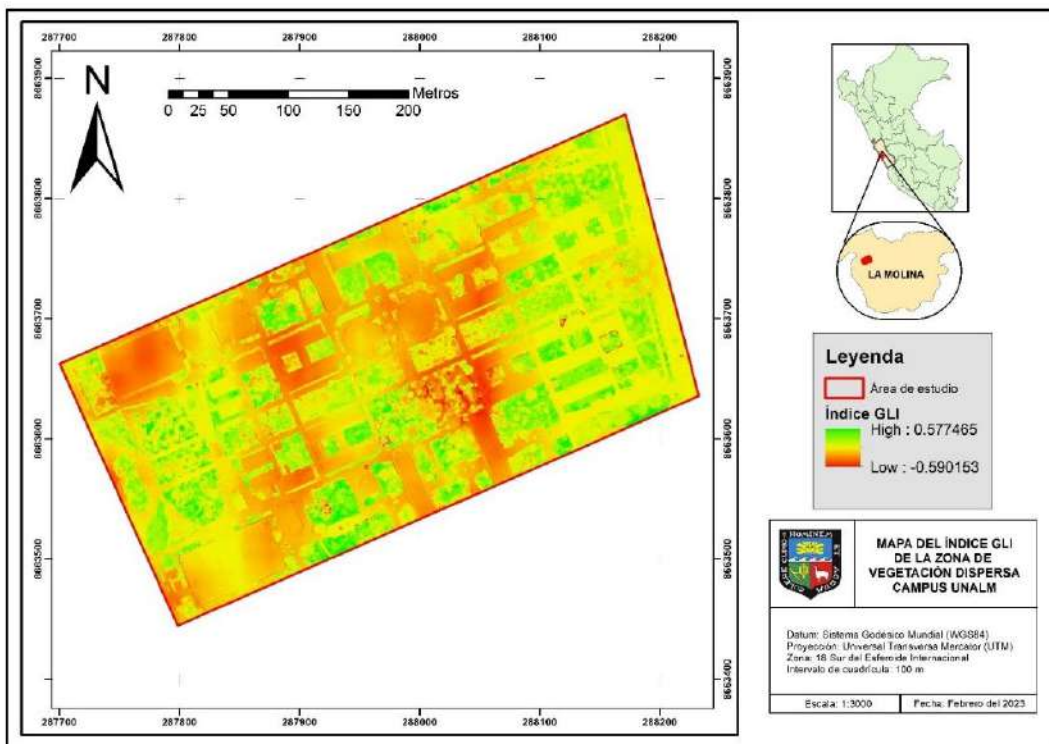
Anexo 13: Índice de vegetación óptico vNDVI de la zona de vegetación densa



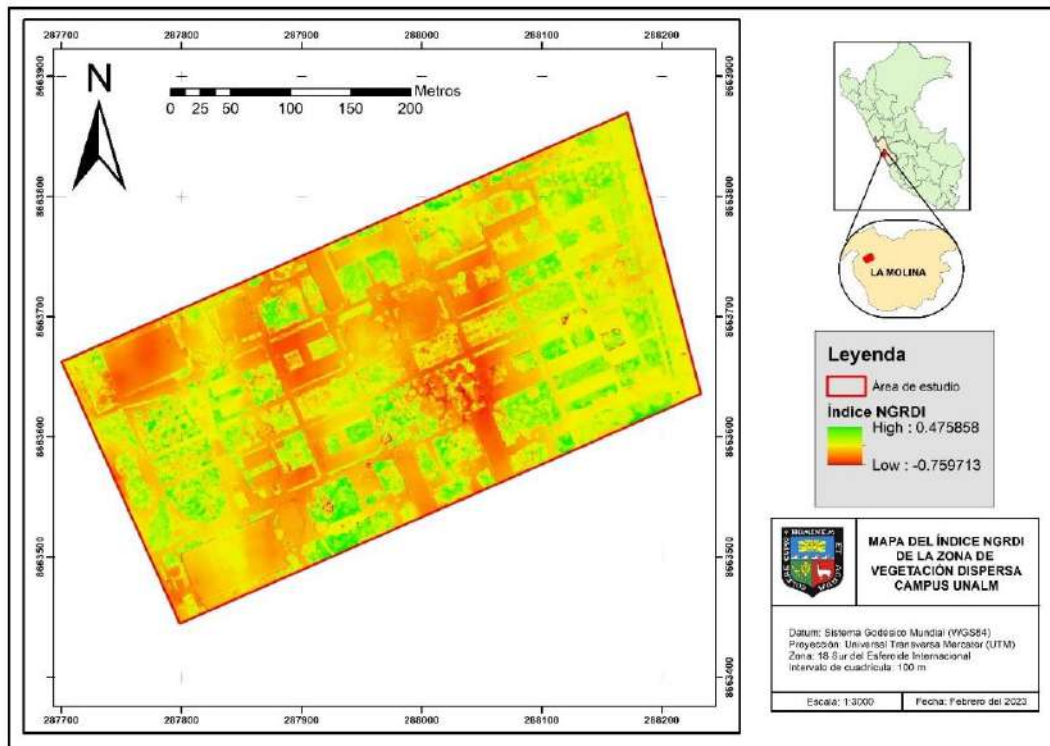
Anexo 14: Índice de vegetación multispectral NDVI de la zona de vegetación dispersa



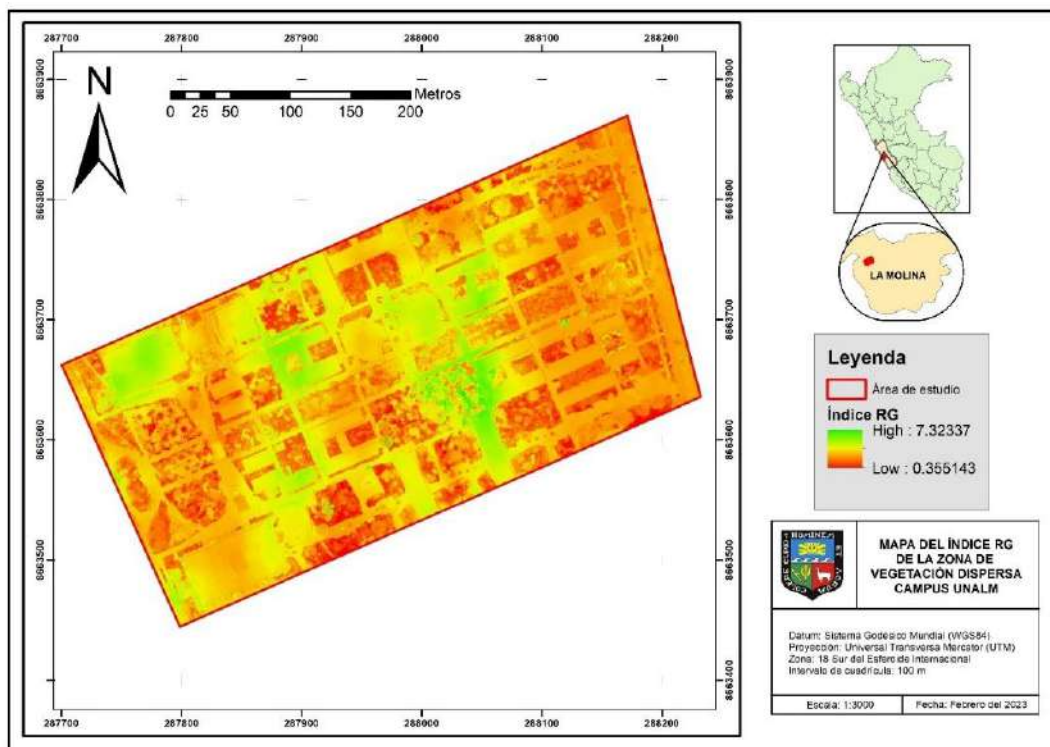
Anexo 15: Índice de vegetación óptico GLI de la zona de vegetación dispersa



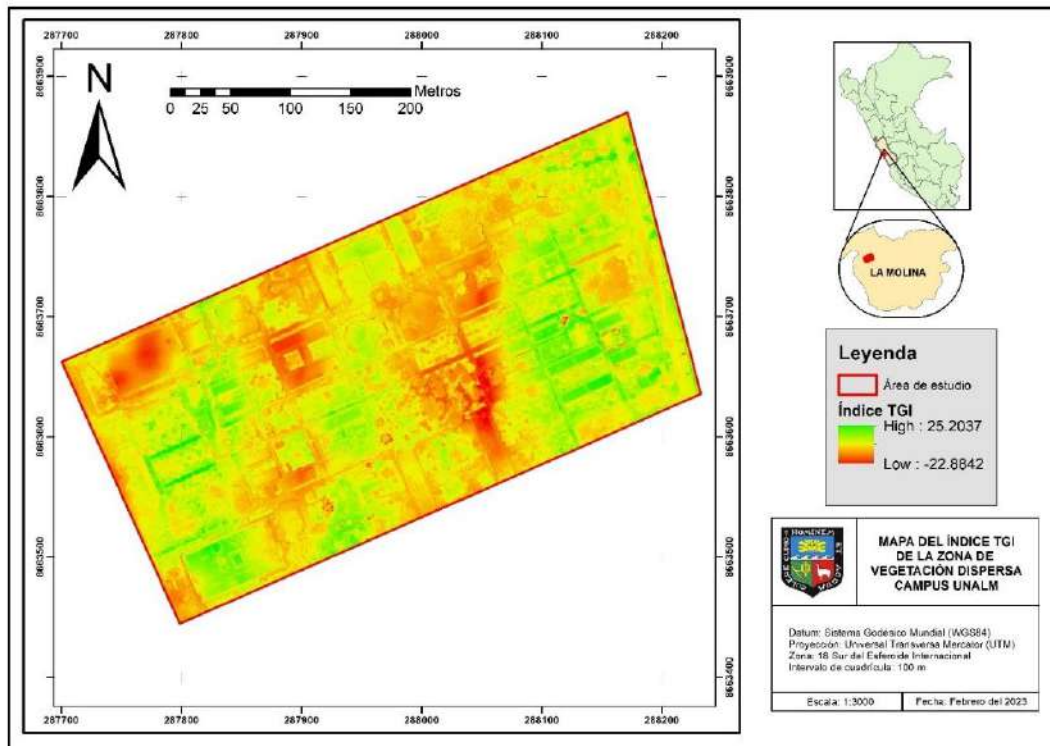
Anexo 16: Índice de vegetación óptico NGRDI de la zona de vegetación dispersa



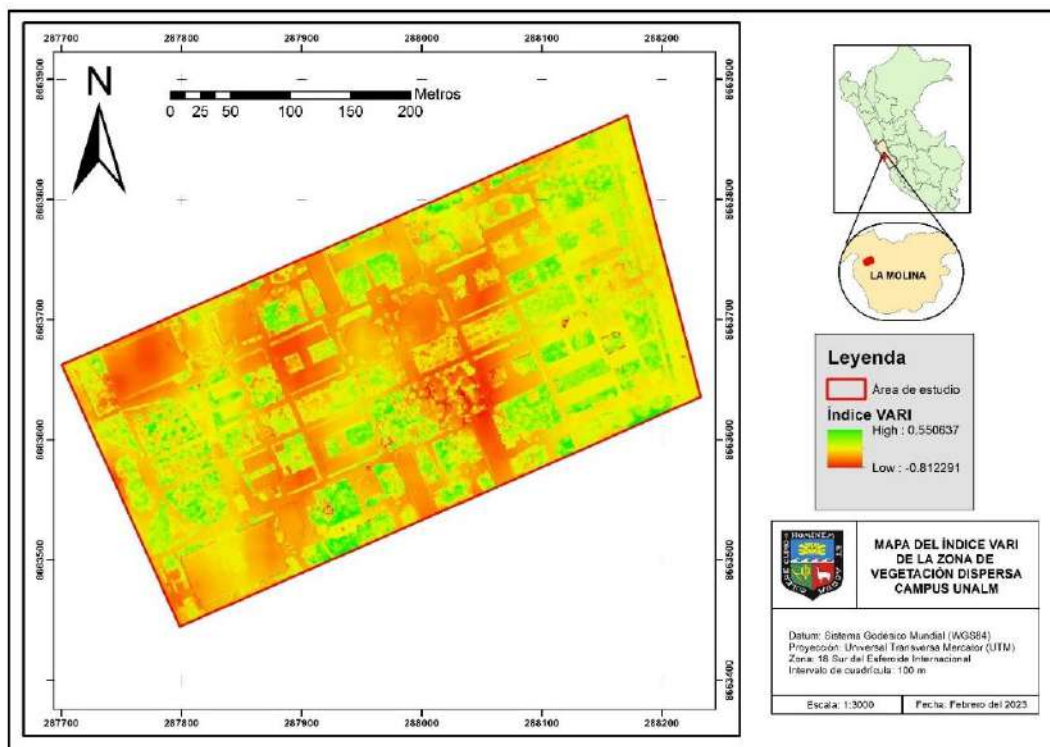
Anexo 17: Índice de vegetación óptico RG de la zona de vegetación dispersa.



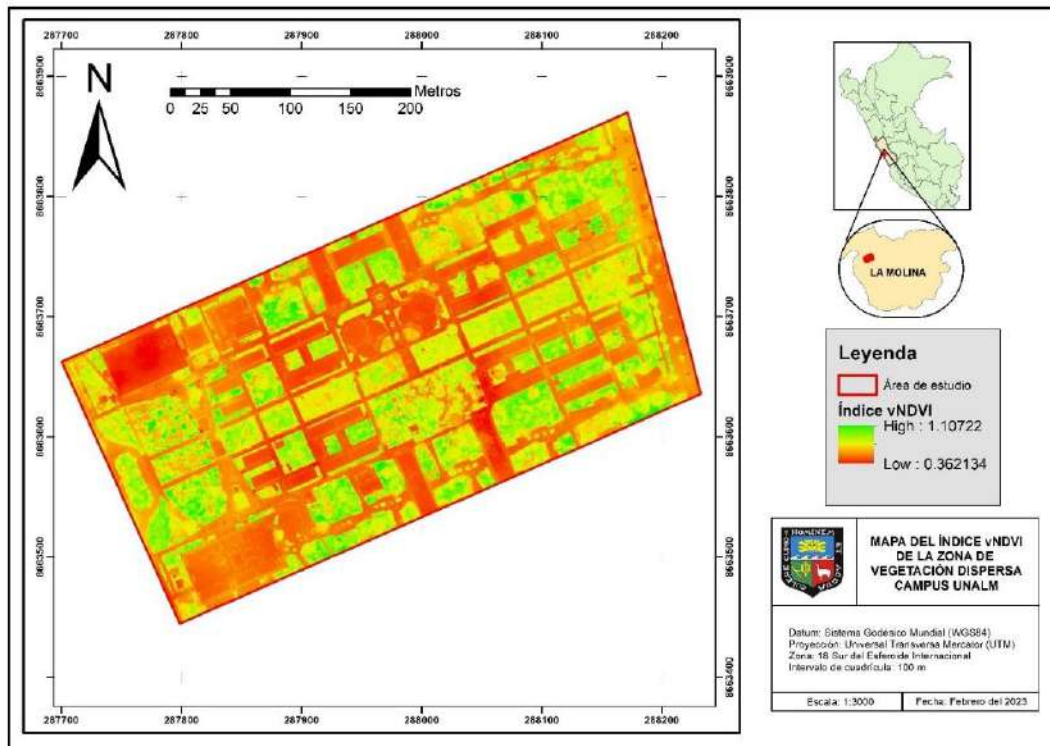
Anexo 18: Índice de vegetación óptico TGI de la zona de vegetación dispersa



Anexo 19: Índice de vegetación óptico VARI de la zona de vegetación dispersa



Anexo 20: Índice de vegetación óptico vNDVI de la zona de vegetación dispersa



Anexo 21: Evidencias de extracción de individuos en agosto del 2022



Anexo 22: Codificación para los parámetros de caracterización general

Parámetro	Código
Calidad de fuste	
Recto y sin defectos	A
Recto con defectos	B
Inclinado	C
Inclinado con defectos	D
Torcido	E
Estrato vertical	
Dominante	1
Codominante	2
Dominado	3
Flores y frutos	
Presencia de flores	1
Presencia de frutos	2
Presencia flores y frutos	3
Sólo hojas	4

Anexo 23: Codificación para tipo de Agente de Daño

TIPO DE AGENTE DE DAÑO	
Abiótico	Código
Ambiental	
Sequía	Sq
Antrópico	
Poda Mecánica	PM
Daño Mecánico	DM
Biótico	Código
Insecto	I
Hongo	H
Otros	O
Competencia	C

Anexo 24: Inventario forestal del área de la zona de evaluación de vegetación densa

N°	N. Común	N. Científico	Familia	Dap (cm)	Altura del árbol (m)		Calidad de fuste			Diámetro de copa (cm)		Defoliación (%)	Agente de daño					Vigor	Fenología	%	Estrato	Flores y frutos	Obs	Fecha	
					hf	ht	5 m	10 m	15 m	Dc<	Dc>		Agente abiótico 2	Severidad	Agente abiótico 3	Severidad	Agente biótico								Severidad
1	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	35,1	9.0	17.0	B			9.0	13.0	80	AA-Sq			I	2	B	V	40	1	4			30/08/2022
2	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	22.0	6.0	12.0	A			7.0	7.0	26					R	V	80	1	4			28/08/2022	
3	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	38,1	4,5	19.0	A			11.0	15.0	20					RA	Fl	40	1	1			1/09/2022	
4	Tipa	<i>Tipuana tipu</i>	Fabaceae	22,5	7.0	12.0	C			5.0	7.0	80	AA-Sq			I	3	B	V	20	3	4	Alta competencia entre individuos		27/08/2022
5	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	32,5	9.0	13.0	B	B		7.0	9.0	25					RA	V	75	1	4			27/08/2022	
6	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	52,9	7.0	17.0	B			11.0	13.0	25					RA	V	50	1	4	Exhudación y enredaderas en fuste		28/08/2022	
7	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	39,2	8.0	15.0	B			5.0	8.0	60	An-DM	3			RB	B	30	2	1			4/09/2022	
8	Tipa	<i>Tipuana tipu</i>	Fabaceae	33,5	2.0	8.0	C			12.0	15.0	90	AA-Sq			I	3	B	V	10	2	4			28/08/2022
9	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	52.0	13.0	26.0	A			11.0	13.0	50	AA-PN		AA-C		R	V	50	1	4			28/08/2022	
10	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	59,1	3.0	16.0	B			9.0	9.0	30	AA-C		AA-PN		R	B	20	1	1			27/08/2022	

11	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	37,1	9.0	15.0	B		6.0	10.0	50				R	V	35	2	4	28/08/2022		
12	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	37.0	8.0	15.0	C	A	5.0	6.0	25	AA-C	2		RA	V	75	2	4	24/08/2022		
13	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	27,5	8.0	13.0	C		6.0	8.0	30			I	1	R	V	70	1	4	28/08/2022	
14	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	17,9	6.0	11,5	B		6.0	7.0	80	An-DM	3		B	B	40	2	1	1/09/2022		
15	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	34,3	6.0	12.0	C		7.0	7.0	25	AA-C		I	2	RA	V	75	2	4	27/08/2022	
16	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina ceae	40.0	10.0	19.0	B	B	4.0	4.0	25	AA-C	2		RA	Fl	50	2	1	Lindero	24/08/2022	
17	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	58,9	3.0	16.0	C		7,5	14.0	35				R	Fl	35	1	1	4/09/2022		
18	Tipa	<i>Tipuana tipu</i>	Fabaceae	30,5	3.0	8.0	C		5.0	6.0	60	AA-C			RB	V	40	2	4	27/08/2022		
19	Tipa	<i>Tipuana tipu</i>	Fabaceae	35.0	4.0	9.0	C		7.0	8.0	85	AA-Sq	1	AA-C	B	V	15	1	4	28/08/2022		
20	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	50,4	8.0	26.0	A		10.0	13.0	60	AA-C		AA-PN	RB	V	40	1	4	28/08/2022		
21	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina ceae	22,3	9.0	16.0	B		2.0	8.0	75	AA-DM	2		RB	V	25	3	4	30/08/2022		
22	Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	34,3	10.0	17.0	B		5.0	6.0	30			I	3	R	V	70	1	4	Exhudación	30/08/2022
23	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	59.0	1,5	12.0	A				100	AA-Sq			M	D		1	4	28/08/2022		
24	Papelillo	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Sapindaceae	33.0	2.0	11.0					100				M	D		2	4	27/08/2022		
25	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	45.0	9.0	17.0	B		5.0	10.0	25			I	2	RA	V	75	1	4	27/08/2022	

26	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	38,5	5.0	12,5	D	10.0	12,5	35	AA - DM	2		R	V	65	1	4	27/08/2022		
27	Jacaranda á	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	23,1	2.0	7.0	E	4.0	4.0	90	AA-Sq			B	V	10	2	4	28/08/2022		
28	Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	38,2	7.0	13.0	C	7.0	9.0	30				R	V	75	2	4	30/08/2022		
29	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	37.0	7.0	15.0	C	8.0	14.0	80			I	2	B	V	40	1	4	30/08/2022	
30	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	33,1	14.0	20.0	B	3.0	5.0	25	AA-C		I-P	2	RA	V	20	1	4	28/08/2022	
31	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarinaceae	29,8	3.0	9.0	C	6.0	7.0	10				A	Fl	70	2	2	Lindero	28/08/2022	
32	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	51.0	7.0	15.0	E	8.0	9.0	25	AA-C		I-P		RA	V	20	1	4	Ubicación cerca del letrero	28/08/2022
33	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	34,1	11.0	16.0	C	C	4.0	7.0	50	An-PM	3	I	3	R	V	50	2	4	27/08/2022
34	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	58,8	4,5	15.0	B	4.0	8.0	76			I-P	2	B	B	60	1	3	Sequía	4/09/2022
35	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae							100				M	D			2	4		
36	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	30,5	7.0	9.0	C	3.0	4.0	30	AA-C			R	B	70	2	1		27/08/2022	
37	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	48.0	3.0	16.0	B	4.0	9.0	26				R	B	80	1	1	Daño mecánico pronunciado, alta floración	27/08/2022	
38	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	56.0	6.0	16.0	B	12.0	13.0	25	An-DM	2		RA	V	75	2	4		4/09/2022	
39	Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	41,5	5.0	19.0	E	5.0	13.0	60				RB	B		3	1	Clorosis, ubicado en claro	1/09/2022	

40	Tipa	<i>Tipuana tipu</i>	Fabaceae	30.0	3.0	9.0	C		9.0	13.0	90	AA-Sq						B	V	10	2	4		28/08/2022
41	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	36,6	12.0	16.0	B	E	3.0	7.0	50	AA-PN	3	AA-PM	2	I	3	R	V	50	2	4	Alta competencia entre individuos	27/08/2022
42	Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	28,7	2.0	12.0	B		5.0	5,5	25							RA	Fl	20	2	1	Exhudación moderada en fuste	1/09/2022
43	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	39,4	8.0	16.0	C		7.0	9.0	45					O	3	R	V	55	1	4		30/08/2022
44	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	46.0	9.0	16.0	A	C	7.0	7.0	25	AA-C	2			I-P	2	RA	V	75	2	4	Exhudación, presencia de perforadores en fuste	24/08/2022
45	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	35,9	6.0	14.0	A		10.0	17.0	30	AA-C				O		R	V	80	2	4	Clorosis en hojas	28/08/2022
46	Molle costeño	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	13,2	1,5	6.0	E		5.0	5.0	75							RB	V	25	3	2		1/09/2022
47	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	48.0	6.0	19.0	A		8.0	12.0	25	An-DM	3					RA	V	75	1	4	Machetazos antiguos	24/08/2022
48	Papelillo	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Sapindaceae	14,8	3.0	11.0	A		6.0	6.0	100							M	D	98	2	4		1/09/2022
49	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	26,9	5.0	10.0	B		8.0	12.0	60					I	2	RB	V	40	2	4		27/08/2022
50	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	50,6	5.0	14.0	B		5.0	10.0	50	AA-PN						R	V	50	1	4		27/08/2022
51	Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	51.0	4.0	16.0	B		9.0	17.0	60	AA-DM				O	3	RB	V	40	1	4		30/08/2022
52	Tipa	<i>Tipuana tipu</i>	Fabaceae	22,1	8.0	12.0	C	C	5.0	5.0	40					I	3	R	V	60	2	4	Copas entrelazadas	27/08/2022

53	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina ceae	25.0	8.0	12.0	C		4.0	6.0	40	AA-C	2		R	Fl	25	2	1	Lindero	24/08/2022		
54	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina ceae	21,7	7.0	15.0	A		3.0	4.0	15				RA	Fl	10	2	2	Lindero	28/08/2022		
55	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina ceae	45,1	7.0	17.0	A		5.0	6.0	25				RA	Fl	10	1	2	Lindero	28/08/2022		
56	Grevillea	<i>Grevillea robusta</i>	Proteaceae	37.0	2.0	19.0	A		5.0	5.0	30	An-DM	3		R	V	70	2	4		24/08/2022		
57	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	54.0	4,5	13.0	E		9.0	16.0	50			H	2	R	V	50	3	4		4/09/2022	
58	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	42,5	3.0	13.0	C		5.0	14.0	26	AA-C			R	Fr	50	2	3	Alta presencia de floración	27/08/2022		
59	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina ceae	38.0	4.0	14.0	B		5.0	7.0	30	An-DM	3		R	Fl	60	2	1	Lindero	24/08/2022		
60	Grevillea	<i>Grevillea robusta</i>	Proteaceae	35.0	9.0	16.0	B	A	4.0	8.0	10	AA-C	2		I-P	2	A	V	90	2	4	Exhudación, presencia de perforadores en fuste	24/08/2022
61	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	46,4	6.0	16.0	B		6.0	12.0	40	AA-PN			I-P	3	R	V	60	2	4		27/08/2022
62	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	42.0	7.0	13.0	C		10,5	8.0	55					RB	D	98	2	4		1/09/2022	
63	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	13,3	7.0	9.0	E		3.0	4.0	70	AA-Sq				RB	V	20	3	4		28/08/2022	
64	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	39,8	2.0	13.0	B		7.0	10.0	76				I-P	2	B	B	30	2	1	Sequía	4/09/2022
65	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina ceae	38,5	4,5	14.0	C		6.0	9.0	35	AA-C			R	Fl	25	2	2	Lindero	28/08/2022		

66	Fresno	<i>Fraxinus americana</i>	Olaceae	12,8	6.0	8,5	C		3.0	4.0	70			RB	V	30	3	4		27/08/2022		
67	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	21,5	10.0	16.0	A		2.0	4.0	30	AA-C		R	V	70	2	4		28/08/2022		
68	Grevillea	<i>Grevillea robusta</i>	Proteaceae	25.0	8.0	17.0	A		4.0	6.0	20	AA-C	3	RA	V	80	2	4		24/08/2022		
69	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	49.0	10.0	20.0	A		7.0	12.0	20	AA-C	3	RA	V	80	1	4	Exhudación	24/08/2022		
70	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarinaeae	29,9	6.0	8.0	E		4.0	7.0	30	AN-DM	2	R	Fl	10	2	2	Exhudación en fuste, ubicación en lindero	28/08/2022		
71	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarinaeae	33.0	6.0	16.0	A		3.0	7.0	25	An-PM	3	RA	Fl	20	2	1	Lindero, lianas en fuste	24/08/2022		
72	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	6.0	4,5	6.0	A		1.0	1,5	40	AA-DM	AA-C	R	V	60	2	4		28/08/2022		
73	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	5.0	3,5	4,5	B		0,5	1.0	70	AA-DM	AA-C	RB	V	30	2	4		28/08/2022		
74	Tipa	<i>Tipuana tipu</i>	Fabaceae	24.0	4.0	8.0	E		7.0	10.0	70	AA-Sq	3	AA-C	RB	V	30	3	4		30/08/2022	
75	Grevillea	<i>Grevillea robusta</i>	Proteaceae	13,8	10.0	13.0	A	E	4.0	5.0	80	AA-DM	3	B	V	55	2	4		30/08/2022		
76	Grevillea	<i>Grevillea robusta</i>	Proteaceae	20,9	10.0	15.0	A	A	6.0	8.0	80			B	V	75	2	4		30/08/2022		
77	Grevillea	<i>Grevillea robusta</i>	Proteaceae	18,3	10.0	15.0	A	A	5.0	5.0	55			RB	V	75	2	4		30/08/2022		
78	Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	16,5	4,5	8.0	C		5.0	6.0	100			H	1	M	D	0	3	4	tumoración	30/08/2022
79	Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	36,3	10.0	24.0	A	A	5.0	9.0	55			I	3	RB	V	45	1	4		30/08/2022
80	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarinaeae	29.0	9.0	20.0	B		3.0	3.0	60			O	1	RB	V	40	1	4	tumoración, exhudación	30/08/2022

81	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	44,2	3.0	8.0	A	11.0	14.0	100	AA-Sq			M	D	2	4	30/08/2022		
82	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	14,5	3,5	5.0	E	4.0	4.0	90	AA-Sq	O		B	V	10	2	4	30/08/2022	
83	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	8,3	2.0	4.0	C	4.0	4.0	60	AA-Sq	O	3	RB	V	40	3	4	30/08/2022	
84	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	15,2	1,6	6.0	E	6.0	9.0	80				B	V	75	2	4	30/08/2022	
85	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	52,3	11.0	20.0	E	9.0	9,5	40	DM			R	Fl	30	1	1	1/09/2022	
86	Grevillea	<i>Grevillea robusta</i>	Proteaceae	15,6	6.0	9.0	A	3.0	4,5	30				R	V	70	3	4	1/09/2022	
87	Grevillea	<i>Grevillea robusta</i>	Proteaceae	24,2	6.0	11.0	A	4.0	5.0	30				R	V	90	2	4	1/09/2022	
88	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	56,8	10.0	24.0	C	10.0	14.0	20				RA	B	50	1	3	1/09/2022	
89	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	39,7	6.0	13.0	E	7.0	8.0	28				R	B	30	1	1	1/09/2022	
90	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	16,9	4.0	6.0	E	4.0	4.0	80				B	V	25	2	2	1/09/2022	
91	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	40,6	8.0	20.0	A	8.0	12.0	15				RA	V	80	1	4	1/09/2022	
92	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	14,5	2,8	6.0		5.0	5.0	55				RB	Fl	45	2	2	1/09/2022	
93	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	11,8	1,7	5,5	E	1,5	2.0	80	AA-Sq	2		B	V		3	4	tumoración en fuste	1/09/2022
94	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	8,2	1,5	2,5	E	2.0	4,5	70	AA-C	3		B	Fl	35	3	3	Sequía	1/09/2022
95	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	11.0	2.0	12.0	E	8.0	10.0	90	AA-Sq	1	AA-C	2	B	V	10	2	4	4/09/2022

96	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	17,4	2,5	8.0	E		5.0	8.0	90	AA-Sq	1		I-P	3	B	V	10	2	4		4/09/2022	
97	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	14,3	4.0	7.0	E		3.0	4,5	75				H		RB	V	25	2	4		4/09/2022	
98	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	15,7	3,5	5,5	E		5.0	7.0	76	AA-Sq	2		I	3	B	Fr	40	2	2	Sequia	4/09/2022	
99	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	9,3	3,5	6,5	B		4.0	5.0	30	An-DM	3				R	V	75	2	2		4/09/2022	
100	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	3.0	1.0	3,5	C		1.0	1.0	26				I	3	R	V	95	3	4		4/09/2022	
101	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	47,4	7.0	12.0	C		7.0	10.0	20	An-DM	2				RA	V	80	2	4		4/09/2022	
102	Sauco	<i>Sambucus peruviana</i>	Caprifoleaceae	2,8	1,5	4.0	C		4.0	4.0	90	AA-Sq	1				B	V	10	2	4	arbustivo con dap promedio de 2,8 cm	4/09/2022	
103	Sauco	<i>Sambucus peruviana</i>	Caprifoleaceae	3.0	2.0	3,5	C		4.0	4.0	95	AA-Sq	1		I	2	B	V	5	2	4	arbustivo con dap promedio de 3 cm	4/09/2022	
104	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	5,3	3.0	5.0			5.0	6.0	40	AA-Sq	2				R	V	60	2	4		4/09/2022	
105	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	5,4	3,5	5.0			7.0	9.0	25	AA-C	2	AA-Sq	2	H	2	RA	V	75	2	4		4/09/2022
106	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	9,5	3.0	6.0			1.0	5.0	30	AA-DM	3				R	Fr	40	2	2		4/09/2022	
107	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	9,4	2.0	4.0			4,5	5.0	30	AA-DM	3				R	Fr	30	2	2		4/09/2022	
108	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	7,4	3.0	4,5	E		4.0	4.0	30				I-P	2	R	V	70	2	4	clorosis	4/09/2022	
109	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	3.0	2.0	3,5	E		1,5	2,5	60				O	3	RB	V	40	2	4		4/09/2022	

110	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	16,1	3,5	7.0	C		4.0	5.0	25	AA-DM	3			RA	V	60	2	4	con enredaderas	4/09/2022
111	Fresno	<i>Fraxinus americana</i>	Olaceae	22,5	6.0	12,5			4.0	6.0	25	AA-C	2			RA	V	70	2	4		4/09/2022
112	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	17,2	2.0	9.0			9.0	15.0	25					RA	V	75	2	4		4/09/2022
113	Grevillea	<i>Grevillea robusta</i>	Proteaceae	12,5	4.0	10.0			3.0	4.0	65					RB	V	35	2	4		4/09/2022
114	Ficus	<i>Ficus spp.</i>	Moraceae	20,6	5.0	9.0	B		2,5		15	AA-C	2			RA	V	85	2	4		4/09/2022
115	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarinaceae	31,5	10.0	18.0	A	A	3.0	6.0	25	AA-C	2			RA	Fl	50	2	1	Lindero	24/08/2022
116	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	5.0	3.0	5.0	A		0,6	0,9	100	AA-Sq	1	AA-C	1	M	D	0	2	4		28/08/2022
117A	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	12,9	2.0	5.0	C		4.0	5.0	40	AA-Sq		AA-C		R	V	60	2	4		28/08/2022
117B	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	6.0	4.0	5.0	C		2.0	3.0	40			AA-C		R	V	60	2	4		28/08/2022
117C	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	6,6	3.0	5.0	C		4.0	4.0	40			AA-C		R	V	60	2	4		28/08/2022
118A	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	13,6	1,3	3.0	C		3.0	5.0	95	AA-Sq				B	V	5	3	4		30/08/2022
118B	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	7,5	1,4	3,5	C		1,5	4.0	95	AA-Sq			O	B	V	5	3	4		30/08/2022
118C	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	6,8	1,6	2.0	C		2.0	2.0	95	AA-Sq				B	V	5	3	4		30/08/2022
119A	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	6,3	3.0	5.0	C		2.0	3.0	95	AA-Sq				B	V	5	3	4		30/08/2022
119B	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	4,3	2.0	5.0	E		1.0	2.0	95	AA-Sq				B	V	5	3	4		30/08/2022
119C	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	3.0	2.0	5.0	C		1.0	1.0	95	AA-Sq				B	V	5	3	4		30/08/2022

120A	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	11,5	1,5	5.0	_	1,5	1,5	90	AA-C		AA-DM				B	V	30	2	4		30/08/2022	
121	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	18,3	4.0	6,5	E	7.0	8.0	60	AA-C	2	AA-Sq	1	O	3	RB	V	40	3	4	Presencia de tumores	1/09/2022	
122	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	6,6	2.0	3.0		8.0	8.0	85							B	Fl	20	3	3		1/09/2022	
123	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	5,8	1,8	3.0		1.0	4.0	100							M	D		2	4		1/09/2022	
124A	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	7,4	4.0	6,5	E	1.0	4.0	85	AA-Sq	2					B	V		2	4		1/09/2022	
124B	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	5,2	1,5	2.0	E	1.0	2.0	85	AA-Sq	2					B	V		3	4		1/09/2022	
125A	Calistemo	<i>Callistemon ciminalis</i>	Myrtaceae	5,9	2.0	3.0	E	2.0	4.0	100	AA-Sq	1					M	D		3	4	muerto	4/09/2022	
125B	Calistemo	<i>Callistemon ciminalis</i>	Myrtaceae	3,5	1,7	2.0	E	2.0	2.0	100	AA-Sq	1					M	D		3	4	muerto	4/09/2022	
125C	Calistemo	<i>Callistemon ciminalis</i>	Myrtaceae	4,2	1,3	2.0	C	2.0	2.0	100	AA-Sq	1					M	D		3	4	muerto	4/09/2022	
126A	Calistemo	<i>Callistemon ciminalis</i>	Myrtaceae	6,1	2.0	4,5	C	3.0	3.0	76	AA-Sq	2	AA-DM	3			B	Fr	70	2	2	Sequía	4/09/2022	
126B	Calistemo	<i>Callistemon ciminalis</i>	Myrtaceae	5.0	2,5	4.0	C	3.0	3.0	76	AA-Sq	2	AA-DM	3			B	Fr	70	2	2	Sequía	4/09/2022	
127A	Calistemo	<i>Callistemon ciminalis</i>	Myrtaceae	5,5	1,3	4.0	C	1,5	2.0	75					O	3	RB	Fr	50	2	2		4/09/2022	
127B	Calistemo	<i>Callistemon ciminalis</i>	Myrtaceae	4,1	1,3	2,5	C	1.0	2.0	70					O	3	RB	Fr	50	2	2		4/09/2022	
128A	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	4,5	3,5	5.0	C	2,5	3.0	60	AA-Sq	1				H	3	RB	V	40	2	4		4/09/2022
128B	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	4,6	3,2	5.0	C	2,5	3.0	60	AA-Sq	1				H	3	RB	V	40	2	4		4/09/2022
128C	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	4.0	3,2	5.0	C	2,5	3.0	60	AA-Sq	1				H	3	RB	V	40	2	4		4/09/2022
129A	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	5,5	2.0	5,5	C	3.0	3.0	90	AA-C	2				H	3	B	V	30	2	4		4/09/2022

129B	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	4,4	2.0	5,5	C		3.0	3.0	90	AA-C	2		H	3	B	V	30	2	4	4/09/2022
129C	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	3,6	2.0	5,5	C		3.0	3.0	90	AA-C	2		H	3	B	V	30	2	4	4/09/2022
130A	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	4,5	2,8	4.0	C		2.0	2.0	90	AA-C	2		H	3	B	V	10	2	4	4/09/2022
130B	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	4,2	2,5	4.0	C		2.0	2.0	90	AA-C	2		H	3	B	V	10	2	4	4/09/2022
130C	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	3,2	3.0	4.0	C		2.0	2.0	90	AA-C	2		H	3	B	V	10	2	4	4/09/2022
131A	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	7,2	2,5	6.0	C		1.0	3.0	50	AA-C	2		H	3	R	V	50	2	4	4/09/2022
131B	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	5,2	4.0	5,5	C		1.0	1.0	50	AA-C	2		H	3	R	V	50	2	4	4/09/2022
131C	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	5,6	5.0	6.0	C		1.0	2.0	50	AA-C	2		H	3	R	V	50	2	4	4/09/2022
131D	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	4,5	4.0	5.0	E		1.0	2.0	50	AA-C	2		H	3	R	V	50	2	4	4/09/2022
132A	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	6,7	3.0	4.0	C		2.0	3.0	90	AA-C	2		H	3	B	V	10	2	4	4/09/2022
132B	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	4,7	3.0	4.0	C		1.0	3.0	90	AA-C	2		H	3	B	V	10	2	4	4/09/2022
132C	Boliche	<i>Sapindus sp.</i>	Sapindaceae	4,6	3.0	4.0	C		2.0	3.0	90	AA-C	2		H	3	B	V	10	2	4	4/09/2022
133A	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	16,5	7.0	8.0	C		1.0	5.0	30				I	2	R	V	80	2	4	4/09/2022
133B	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	10,5	7.0	8.0	C		3.0	3.0	30						R	V	80	2	4	4/09/2022
133C	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	6.0	6.0	8.0	C		1.0	2.0	30				H	2	R	V	80	2	4	4/09/2022
133D	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	8,8	7.0	8.0	C		2.0	2.0	30						R	V	80	2	4	4/09/2022
134A	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	7,1	4,5	5,5	C		1.0	1.0	30				I-P	3	R	V	70	2	4	4/09/2022
134B	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	7,4	4,5	5,5	C		1.0	1.0	30				I-P	3	R	V	70	2	4	4/09/2022

135A	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	14,6	4.0	5,5	C		3.0	4.0	25	AA-Sq	2			RA	V	35	3	4	4/09/2022	
135B	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	15,1	4.0	5.0	C		2.0	3.0	25	AA-Sq	2			RA	V	35	3	4	4/09/2022	
136	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	46,5	16.0	21.0	C	C	5.0	6.0	25	AA-C		I-P	2	RA	V	75	1	4	27/08/2022	
137	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	50,3	14.0	21.0	C	C	C	5.0	5.0	40	AA-C		I-P	2	R	V	60	1	4	27/08/2022
138A	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	30,2	3.0	9.0	A		5.0	8.0	95	AA-Sq		I	2	B	V	5	2	3	28/08/2022	
138B	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	26,4	3.0	9.0	A		4.0	4.0	95	AA-Sq		I	2	B	V	5	2	3	28/08/2022	
138C	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	29.0	2.0	9.0	A		6.0	10.0	95	AA-Sq		I	2	B	V	5	2	3	28/08/2022	
139A	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	17,9	3,5	8.0	C		4.0	4.0	95	AA-DM				B	V	5	2	4	30/08/2022	
139B	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	6,2	5.0	6.0	C		1.0	2.0	100	AA-DM				M	D		2	4	30/08/2022	
140A	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	19,4	3.0	7.0	A		6.0	8.0	90	AA-Sq				B	V	10	2	4	30/08/2022	
140B	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	29,2	2.0	7.0	C		6.0	8.0	90	AA-Sq				B	V	10	2	4	30/08/2022	
141	Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	32,6	5.0	13.0	C		5.0	10.0	30	DM	2	H-P	2	R	Fl	40	3	1	1/09/2022	

142	Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	13,5	2,5	4.0	C		8.0	10.0	90	DM	2		H-P	2	B	V	10	3	4		1/09/2022	
143A	Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	43,6	7.0	14.0	C		11.0	14.0	25						RA	B	30	1	1		1/09/2022	
143B	Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	10.0	7,5	10.0	C		3.0	3.0	25						RA	FL	40	1	3		1/09/2022	
144A	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	19,9	2.0	11.0	E		5.0	8.0	75	AA-Sq					RB	V	20	1	4		28/08/2022	
144B	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	11,2	3.0	9.0	E		1.0	4.0	75	AA-Sq					RB	V	15	3	4		28/08/2022	
145A	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	39,5	6.0	11.0	A		5.0	7.0	95				O	2	B	Fr	2	1	2	Presenta un solo fruto en la copa	30/08/2022	
145B	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	44.0	5.0	11.0	A		5.0	6.0	95	AA-Sq					B	Fr	2	1	2		30/08/2022	
146A	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	16,7	1,4	6,5	E		5.0	11.0	75	AA-C	1	AA-Sq	1	O	1	RB	V	15	3	4	Presencia de tumores	1/09/2022
146B	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	16,4	2,5	6.0	E		3.0	5.0	70	AA-C	1	AA-Sq	1	O	1	RB	V	20	3	4	Presencia de tumores	1/09/2022
147A	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	35,4	8.0	15.0	E	E	5.0	8.0	65	AA-C						RB	V	35	1	4		28/08/2022
147B	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Myrtaceae	31,7	9.0	16.0	A	B	5.0	7.0	70	AA-C						RB	V	30	1	4		28/08/2022
148A	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	31,3	2.0	7.0	A		3.0	7.0	100	AA-Sq						M	D		2	4		30/08/2022

148B	Oreja de negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	21,4	3.0	7.0	A	3.0	4.0	100	AA-Sq	AA-DM		M	D	2	4		30/08/2022	
149A	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	20,5	2.0	6.0	E	5	6	75	AA-Sq			RB	V	20	2	4	Entrelaza a individuo F7-686	28/08/2022
149B	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	24.0	1,5	5.0	E	6	6	75	AA-Sq			RB	V	10	2	4		28/08/2022
150A	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	9,8	5.0	6.0	C	3	4	30			I-P	2	R	V	85	2	4	4/09/2022
150B	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	8,3	5.0	7.0	C	2	2	30			I-P	2	R	V	85	2	4	4/09/2022

Anexo 25: Inventario forestal del área de la zona de evaluación de vegetación dispersa

N°	N. Común	N. Científico	Familia	Altura del árbol (m)		Calidad de fuste		Diámetro de copa (cm)		Defoliación (%)	Agente de daño						Vigor	Estrato	Flores y frutos	Obs	Fecha	
				Dap (cm)	hf	ht	5m	10m	Dc <		Dc >	Agente abiótico 2	Severidad	Agente abiótico 3	Severidad	Agente biótico 1						Severidad
21	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	36,3	2,5	7	C		8	10	5	An-PM	3					A	2	1		17/09/2022
38	Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	39	2	6	A		8	8	5	An-PM	3					A	3	4		18/09/2022
59	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	12,3	2	4	E		3,5	4	10	AA-C	3					A	3	3		16/09/2022
3A	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	17,8	2,5	5	E		6	6	20					I	2	RA	2	1	masticadores de hojas	15/09/2022
3B	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	16,5	2,5	5	E		6	6	20					I	2	RA	2	1	masticadores de hojas	15/09/2022
3C	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	12,4	2,5	5	E		6	6	20					I	2	RA	2	1	masticadores de hojas	15/09/2022
3D	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	10,8	2,5	5	E		6	6	20					I	2	RA	2	1	masticadores de hojas	15/09/2022
4A	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	10,5	1,8	4,5	E		4	4,5	5							A	3	1		15/09/2022
4B	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	9,9	1,8	4,5	E		4	4,5	5							A	3	1		15/09/2022
4C	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	8,8	1,8	4,5	E		4	4,5	5							A	3	1		15/09/2022
5	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	16,7	1,8	5,5	C		5	6	60	AA-C	2	An-Pm	2			RB	3	3		18/09/2022
6A	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	41,4	1,8	11	C		9	9	70					H	2	RB	3	2		16/09/2022
6B	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	31,3	1,8	8	E		9	9	70					H	2	RB	3	2		16/09/2022
7A	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	8,6	3	6	C		3	3	5					I	2	A	3	3		18/09/2022

7B	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	9	1,8	6	E	3	3	5				I	2		A	3	3	18/09/2022	
8A	Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	48,5	2	12	D	17	18	10							A	1	2	11/09/2022	
8B	Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	61,3	4,5	10	D	17	18	10							A	1	2	11/09/2022	
9	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	54,5	4	7	E	8	11	50				H	3		R	2	2	16/09/2022	
10A	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	6,5	2	3,5	E	11	11	10							A	3	1	15/09/2022	
10B	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	9,7	2	3,5	E	3	3	10							A	3	1	15/09/2022	
10C	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	4	2	3,5	E	3	3	10							A	3	1	15/09/2022	
11D	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	4,6	2	3,5	E	3	3	10							A	3	1	15/09/2022	
11E	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	7,5	2	3,5	E	3	3	10							A	3	1	15/09/2022	
11F	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	5,4	2	3,5	E	3	3	10							A	3	1	15/09/2022	
11	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	9,6	1,8	5	C	4,5	5,5	50							R	3	3	18/09/2022	
70B	Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	48	5,5	10	E	6,5	8	0	An-PM	3		I	2	H	2	A	2	4	15/09/2022
13A	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	8,5	2	5	E	3	3,5	40				H	2		R	2	1	15/09/2022	
13B	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	6	2	5	E	3	3,5	40				H	2		R	2	1	15/09/2022	
13C	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	5	2	5	E	3	3,5	40				H	2		R	2	1	15/09/2022	
13D	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	6,2	2	5	E	3	3,5	40				H	2		R	2	1	15/09/2022	
13E	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	7	2	5	E	3	3,5	40				H	2		R	2	1	15/09/2022	
14	Pino colorado	<i>Pinus sp.</i>	Pinaceae	18,7	1,3	2,5	C	2	2	5				H	2		A	3	2	17/09/2022	
15	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	22,7	2	4	C	5	6	3							A	3	1	16/09/2022	
16	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	50,5	2,5	8	E	9	9	30							R	2	3	18/09/2022	
70A	Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	36	5	10	E	6,5	8	0	An-PM	3		I	2	H	2	A	2	4	15/09/2022
74	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	20,2	3	5	E	5	5,5	5	An-PM	3					A	3	3	16/09/2022	
80	Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	44	8	12	E	C	11	12,5	0	An-PM	3				A	2	4	15/09/2022	
18B	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	4,5	2	4	E	10	10	85				H	2		B	3	2	18/09/2022	
18C	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	3,7	3	4	E	10	10	85				H	2		B	3	2	18/09/2022	
18D	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	4	2	4	E	10	10	85				H	2		B	3	2	18/09/2022	

19	Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> sp.	Myrtaceae	39,5	2	7	C	11,5	15	40			I	2		R	2	1	exhudación pronunciada en fuste	15/09/2022
20	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	49,5	3,5	8	E	11	11	70	AA-C	2	H	3		RB	2	2		16/09/2022
116	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	89	4,5	10	A	11	11	3	An-PM	3	H	2	I	2	A	1	4	16/09/2022
22B	Lúcumo	<i>Pouteria lucuma</i>	Sapotaceae	8,4	1,6	3,5	E	4	4,5	20			H	2		RA	3	2		18/09/2022
22A	Lúcumo	<i>Pouteria lucuma</i>	Sapotaceae	14,4	1,3	3,5	B	4	4,5	20			H	2		RA	3	2		18/09/2022
23	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	30,9	3,5	7,5	C	5	6	80	An-PM	2	H	2		B	2	1		18/09/2022
24	Tipa	<i>Tipuana tipu</i>	Fabaceae	71,4	4,5	9,5	C	11,5	12,5	20			I	3		R	2	2		11/09/2022
119A	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	7,7	2	4	E	3	4	5	An-PM	3				A	3	3		18/09/2022
26	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	47,2	4	8,5	C	10	10	76			H	2		B	2	4		17/09/2022
27	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	11	1,5	5	E	4	5	10			H	2		A	3	3		18/09/2022
28A	Lúcumo	<i>Pouteria lucuma</i>	Sapotaceae	8,5	1,5	3,5	E	4	4,5	15			I	2	H	3	R	3	2	18/09/2022
28B	Lúcumo	<i>Pouteria lucuma</i>	Sapotaceae	7,6	1,5	3,5	E	4	4,5	15			I	2	H	3	R	3	2	18/09/2022
28C	Lúcumo	<i>Pouteria lucuma</i>	Sapotaceae	4,5	1,5	3,5	E	4	4,5	15			I	2	H	3	R	3	2	18/09/2022
28D	Lúcumo	<i>Pouteria lucuma</i>	Sapotaceae	8,5	1,5	3,5	E	4	4,5	15			I	2	H	3	R	3	2	18/09/2022
28E	Lúcumo	<i>Pouteria lucuma</i>	Sapotaceae	6,2	1,5	3,5	E	4	4,5	15			I	2	H	3	R	3	2	18/09/2022
28F	Lúcumo	<i>Pouteria lucuma</i>	Sapotaceae	7,7	1,5	3,5	E	4	4,5	15			I	2	H	3	R	3	2	18/09/2022
29A	Papelillo	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Sapindaceae	24,5	1,8	7	C	7	10	90						B	3	2		18/09/2022
29B	Papelillo	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Sapindaceae	24,3	1,7	7	C	7	10	90						B	3	2		18/09/2022
30A	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	11,7	1,8	4	E	4,5	6	15						RA	3	1		18/09/2022
30B	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	11,2	1,8	4	E	4,5	6	15						RA	3	1		18/09/2022
30C	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	18	1,8	4	E	4,5	6	15						RA	3	1		18/09/2022
30D	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	15,5	1,8	4	E	4,5	6	15						RA	3	1		18/09/2022
30E	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	12,7	1,8	4	E	4,5	6	15						RA	3	1		18/09/2022
31A	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	44,2	2	6	E	7,5	11	90			H	1	I	2	B	3	2	18/09/2022

31B	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	47,5	2	6	E	7,5	11	90			H	1	I	2	B	3	2	18/09/2022
31C	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	32,8	5	6	E	7,5	11	100			H	1	I	2	M			18/09/2022
31D	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	33,7	4,5	6	E	7,5	11	90			H	1	I	2	B	3	2	18/09/2022
119B	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	4	2	4	E	3	4	5	An-PM	3					A	3	3	18/09/2022
119C	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	3,8	2	4	E	3	4	5	An-PM	3					A	3	3	18/09/2022
119D	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	4,5	2	4	E	3	4	5	An-PM	3					A	3	3	18/09/2022
119E	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	3,7	2	4	E	3	4	5	An-PM	3					A	3	3	18/09/2022
33A	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	26,2	1,6	4,8	C	7	7	10			I	2			A	3	2	18/09/2022
33B	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	11,1	1,6	4,8	C	7	7	10			I	2			A	3	2	18/09/2022
33C	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	15	1,6	4,8	C	7	7	10			I	2			A	3	2	18/09/2022
33D	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	16,5	1,6	4,8	C	7	7	10			I	2			A	3	2	18/09/2022
119F	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	4	2	4	E	3	4	5	An-PM	3					A	3	3	18/09/2022
125	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	34,8	3,3	5,5	E	5	5,5	10	An-PM	3					A	3	3	16/09/2022
36A	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	5,4	1,3	3	C	2	3	10			O	2			A	3	3	clorosis en hojas 18/09/2022
36B	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	5	1,8	3	C	2	3	10							A	3	3	18/09/2022
126	Morera	<i>Morus nigra</i>	Moraceae	30	2	6,5	C	6	8	0	An-PM	3		H	2		A	2	2	11/09/2022
18A	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	3,8	3	4	E	10	10	85	An-PM	3		H	2		B	3	2	18/09/2022
39A	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	38,8	3	5	E	9,5	10,5	90	An-DM	2		H	1		B	3	2	18/09/2022
39B	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	32,9	1,8	5	E	9,5	10,5	100	An-DM	2		H	1		M			18/09/2022
39C	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	33,9	2,8	5	E	9,5	10,5	90	An-DM	2		H	1		B	3	2	18/09/2022
40A	Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	4,1	0,2	3	E	1	1	0							A	3	4	16/09/2022
40B	Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	4,5	0,2	3	E	1	1	0							A	3	4	16/09/2022

40C	Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	3,2	0,2	3	E	1	1	0					A	3	4		16/09/2022		
40D	Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	2,7	0,2	3	E	1	1	0					A	3	4		16/09/2022		
41	Acacia amarilla	<i>Albizia lebeck</i>	Fabaceae	65	3	10	D	16	16	40	An-PM	2			R	1	4	lianas en fuste	18/09/2022		
42A	Papelillo	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Sapindaceae	24,5	2,5	6	D	8	9	90			H	3	B	2	3		17/09/2022		
42B	Papelillo	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Sapindaceae	25,9	1,5	6	E	8	9	90			H	3	B	2	3		17/09/2022		
102	Papelillo	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Sapindaceae	31,2	1,6	6,,5	E	8	8	85	An-DM	3			B	2	2		11/09/2022		
123	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	28,3	3	5,5	D	9	9	90	An-PM	3		H	2	I	3	B	3	2	18/09/2022
1	Papelillo	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Sapindaceae	52	2	8	E	10	10	98	An-PM	3			M	2	2		18/09/2022		
2A	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	20	3	5,5	D	2,5	2,5	35	An-DM	3			R	3	3		16/09/2022		
44A	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	7	1,7	4	E	2,5	3	10					A	3	1		15/09/2022		
44B	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	5,5	1,7	4	E	2,5	3	10					A	3	1		15/09/2022		
44C	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	6,9	1,7	4	E	2,5	3	10					A	3	1		15/09/2022		
44D	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	2,8	1,7	4	E	2,5	3	10					A	3	1		15/09/2022		
44F	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	4,7	1,7	4	E	2,5	3	10					A	3	1		15/09/2022		
44E	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	6,8	1,7	4	E	2,5	3	10					A	3	1		15/09/2022		
45	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	14	1,6	4	E	4	5	25	AA-C	2			RA	3	3		18/09/2022		
46	Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Annonaceae	13,6	1,6	3,5	E	5	5	20	AA-SM	2		H	2	RA	3	4		18/09/2022	
47	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	24,3	3,5	5	E	4	4,5	30					R	3	3		15/09/2022		
48A	Pecano	<i>Carya illinoensis</i>	Juglandaceae	48	4	10	C	10	11	93					B	1	4		15/09/2022		
48B	Pecano	<i>Carya illinoensis</i>	Juglandaceae	33	4	11	C	10	11	93					B	1	4		15/09/2022		
2B	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	15,8	3	5,5	D	2,5	2,5	35	An-DM	3			R	3	3		16/09/2022		
50A	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	6,8	1,8	4,3	E	4	5	10					A	3	1	Presencia de botones	15/09/2022		
50B	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	4,2	5,8	4,3	E	4	5	10					A	3	1	Presencia de botones	15/09/2022		

50C	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	5,6	1,8	4,3	E	4	5	10							A	3	1	Presencia de botones	15/09/2022		
50D	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	5,8	1,8	4,3	E	4	5	10							A	3	1	Presencia de botones	15/09/2022		
50E	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	3	1,8	4,3	E	4	5	10							A	3	1	Presencia de botones	15/09/2022		
50F	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	3,3	1,8	4,3	E	4	5	10							A	3	1	Presencia de botones	15/09/2022		
50G	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	6,3	1,8	4,3	E	4	5	10							A	3	1	Presencia de botones	15/09/2022		
50H	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	5,8	1,8	4,3	E	4	5	10							A	3	1	Presencia de botones	15/09/2022		
50I	Olivo	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	5	1,8	4,3	E	4	5	10							A	3	1	Presencia de botones	15/09/2022		
51A	Pino	<i>Pinus sp.</i>	Pinaceae	33,4	1,5	6	E	6	11	80							B	3	2		18/09/2022		
51B	Pino	<i>Pinus sp.</i>	Pinaceae	23,5	5	6	E	6	11	80							B	3	2		18/09/2022		
25	Mimosa	<i>Acacia retinoides</i>	Fabaceae	18,7	1,5	6,5	C	5	6	30	An-PM	3	AA-C	3	H	3	R	2	1		17/09/2022		
53	Eucalipto	<i>Eucalyptus sp.</i>	Myrtaceae	33,2	4,5	7	C	5	7	40					H	3	R	2	1		15/09/2022		
54	Pino colorado	<i>Pinus sp.</i>	Pinaceae	17,8	1,3	2,5	C	3	4	15					H	3	R	3	2		17/09/2022		
55	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	14	1,8	6,5	A	3	3	10							A	3	3		18/09/2022		
56	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	25	1,4	7	C	5	6,5	20					I	2	RA	4	3		11/09/2022		
32A	Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Annonaceae	11,1	1,6	3	E	4,5	5	35	An-PM	3			H	2	I	2	R	3	4		18/09/2022
58	Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	36	0,15	8	B	3	3	0							A	2	4		16/09/2022		
32B	Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Annonaceae	12,2	1,6	3	E	4,5	5	35	An-PM	3			H	2	I	2	R	3	4		18/09/2022
60	Acacia amarilla	<i>Albizia lebeck</i>	Fabaceae	33,5	3	10	E	14	14	35	An-PM	2					R	1	4	lianas en fuste	18/09/2022		
61	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	32,7	1,3	6,5	C	6	8	20							RA	4	3		11/09/2022		
62	Mimosa	<i>Acacia retinoides</i>	Fabaceae	14,7	1,6	3,5	C	3	4	50	An-PM	2			H	1	R	3	1		17/09/2022		
63A	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	7	0,3	4	E	4	4	3							A	3	1		16/09/2022		
63B	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	6	0,3	4	E	4	4	3							A	3	1		16/09/2022		
63C	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	5	0,3	4	E	4	4	3							A	3	1		16/09/2022		

63D	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	5,2	0,3	4	E	4	4	3					A	3	1	16/09/2022					
63E	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	3,5	0,3	4	E	4	4	3					A	3	1	16/09/2022					
63F	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	3	0,3	4	E	4	4	3					A	3	1	16/09/2022					
64A	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	20,2	2	4,5	E	6	6	5		H	2	I	2	A	3	1	18/09/2022				
64B	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	14,2	3	4,5	E	6	6	5		H	2	I	2	A	3	1	18/09/2022				
65A	Lúcumo	<i>Pouteria lucuma</i>	Sapotaceae	13	1,6	3	E	5	7	10		H	2			A	3	2	clorosis 18/09/2022				
65B	Lúcumo	<i>Pouteria lucuma</i>	Sapotaceae	14	1,5	3	E	5	7	10		H	2			A	3	2	clorosis 18/09/2022				
66	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	12,2	2,5	4	A	3	3	25						RA	3	3	16/09/2022				
67E	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	10,9	1,5	4,5	E	6	6	15		H	3	I	2	R	3	1	18/09/2022				
67F	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	9,8	1,5	4,5	E	6	6	15		H	3	I	2	R	3	1	18/09/2022				
67A	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	15,5	1,5	4,5	E	6	6	15		H	3	I	2	R	3	1	18/09/2022				
67B	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	15,2	1,5	4,5	E	6	6	15		H	3	I	2	R	3	1	18/09/2022				
67C	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	15,9	1,5	4,5	E	6	6	15		H	3	I	2	R	3	1	18/09/2022				
67D	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	16,4	1,5	4,5	E	6	6	15		H	3	I	2	R	3	1	18/09/2022				
68	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	81,3	6	8	E	8	10	10		H	2			A	2	4	tumores en fuste 18/09/2022				
69	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	41,6	2,5	9	E	10	12	90		H	2	I	3	B	2	2	18/09/2022				
32C	Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Annonaceae	6,9	1,6	3	E	4,5	5	35	An-PM	3				H	2	I	2	R	3	4	18/09/2022
32D	Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Annonaceae	9,4	1,6	3	E	4,5	5	35	An-PM	3				H	2	I	2	R	3	4	18/09/2022
71	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	47,4	2	8	B	6	11	50		I	2				R	1	2	11/09/2022			
72	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	30,2	1,5	6	C	7	7	5							A	3	4	18/09/2022			
73A	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	25,1	1,4	8	B	6	8	10							A	2	3	18/09/2022			
76B	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	15,1	1,5	8	E	6	8	10							A	2	3	18/09/2022			
34	Mimosa	<i>Accacia retinoides</i>	Fabaceae	22,2	2,5	5	C	5	5	35	AA-C	3				I	3			R	3	3	17/09/2022
75	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	28,3	3	4,5	E	5	5	30	AA-Sq	2						R	3	3	16/09/2022		
76A	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	24,1	3	5,5	C	8	8	70						O	3	H	2	RB	2	2	16/09/2022
76B	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	23,2	3,5	7	C	8	8	70						O	3	H	2	RB	2	2	16/09/2022

77	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	44,9	2,5	9	D	5	11	50	An-PM	2		H	2	I	2	R	2	2		18/09/2022
78A	Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	7,1	0,3	3,5	A	2	2	0				H	2			A	3	4		16/09/2022
78B	Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	5,6	0,3	3,5	A	2	2	0								A	3	4		16/09/2022
78C	Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	8,5	0,3	3,5	A	2	2	0								A	3	4		16/09/2022
79	Tipa	<i>Tipuana tipu</i>	Fabaceae	21,2	1,3	5	C	6	6	40				H	2			R	2	4		18/09/2022
52	Mimosa	<i>Acacia retinoides</i>	Fabaceae	10,5	2	3	E	2,5	3	40	An-PM	3		I	3	H	2	R	2	1		17/09/2022
81	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	44	3	5	E	5,5	5	80	An-PM	1		H	3			B	3	4		18/09/2022
92	Tipa	<i>Tipuana tipu</i>	Fabaceae	21,9	5,5	11	C	8	10	40	An-PM	3		H	3			R	2	2	líquenes en fuste	11/09/2022
93A	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	9,8	2	4	E	3	3	40	AA-C	3						R	3	3		16/09/2022
83	Papelillo	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Sapindaceae	90,8	6	11	A	9	12	55				H	3	I	3	RB	1	4		16/09/2022
84A	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	11	2	4,5	C	5	5	30				O	2			R	1	3	clorosis	18/09/2022
84B	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	8,2	3	4,5	C	5	5	30				O	2			R	1	3	clorosis	18/09/2022
84C	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	9,4	2	4,5	E	5	5	30				O	2			R	1	3		18/09/2022
93B	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	5,5	2	4	E	3	3	40	AA-C	3						R	3	3		16/09/2022
107	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	39	4,5	8	B	6	7	35	An-PM	3		H	2			R	2	1		17/09/2022
86A	Guanábana	<i>Annona muricata</i>	Annonaceae	12,7	1,5	3	A	3	4	30				H	2	I	3	R	3	4	clorosis	18/09/2022
86B	Guanábana	<i>Annona muricata</i>	Annonaceae	12,3	1,5	3	C	3	4	20				H	2	I	2	RA	3	4	clorosis	18/09/2022
87	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	36,2	3	5	E	5	5,5	5								A	3	1		16/09/2022
88	Árbol de júpiter	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	Lythraceae	30,8	2	6,5	A	5	7	90								B	2	4		11/09/2022
117A	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	12,3	1,8	4,5	E	6	6	30	An-DM	3	AA-C	2				R	3	3		18/09/2022
117B	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	9,7	1,7	4,5	E	6	6	30	An-DM	3	AA-C	2				R	3	3		18/09/2022
90	Eucalipto	<i>Eucalyptus sp.</i>	Myrtaceae	52	3	13	D	6	6	10				H	2			A	1	1		15/09/2022
91B	Higuera	<i>Ficus carica</i>	Fabaceae	12,7	1,7	5	E	6	6	40				I	2			R	2	4		17/09/2022
91C	Higuera	<i>Ficus carica</i>	Fabaceae	10	1,7	5	E	6	6	40				I	2			R	2	4		17/09/2022
91A	Higuera	<i>Ficus carica</i>	Fabaceae	22,3	1,7	5	E	6	6	98				I	2			M	2	4		17/09/2022

129	Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	27,6	1,7	11,5	C	4	4	50	An-PM	3			R	2	2	11/09/2022		
130	Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	36,7	3,5	15,5	A	3,5	5,5	30	An-PM	3			R	2	2	11/09/2022		
35	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	41,8	1,9	4,5	A	7	7	20	An-PM	3	H	2		RA	3	4	17/09/2022	
94A	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	22,2	2,5	5	E	4,5	6,5	10			H	2	I	2	A	3	2	17/09/2022
94B	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	29,9	2,5	5	E	4,5	6,5	10			H	2	I	2	A	3	2	17/09/2022
95A	Inga	<i>Inga edulis</i>	Fabaceae	18,8	2	7,5	E	4	6	10						A	2	4	18/09/2022	
95B	Inga	<i>Inga edulis</i>	Fabaceae	13,7	3	7,5	E	4	6	10						A	2	4	18/09/2022	
96	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	20,3	1,5	5,5	C	4	6	20						RA	3	2	18/09/2022	
97F	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	8,5	1,3	4,5	E	6	6	5						A	3	4	18/09/2022	
97G	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	8,8	1,3	4,5	E	6	6	5						A	3	4	18/09/2022	
97A	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	13,4	1,3	4,5	E	6	6	5						A	3	4	18/09/2022	
97B	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	17	1,3	4,5	E	6	6	5						A	3	4	18/09/2022	
97C	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	8,9	1,3	4,5	E	6	6	5						A	3	4	18/09/2022	
97D	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	12,4	1,3	4,5	E	6	6	5						A	3	4	18/09/2022	
97E	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	6	1,3	4,5	E	6	6	5						A	3	4	18/09/2022	
97H	Molle costeño	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anacardiaceae	7	1,3	4,5	E	6	6	5	An-PM	2	H	2	I	2	A	3	4	18/09/2022
98A	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	9	2,3	3,5	E	3	4	30	AA-C	2				R	3	2	18/09/2022	
98B	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	9,6	2,3	3,5	E	3	4	30	AA-C	2				R	3	2	18/09/2022	
99	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	81,8	4,5	11	A	6	8	10						A	2	4	16/09/2022	
100	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	14,5	1,8	3,5	C	4	5	50						R	3	3	18/09/2022	
101	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	32,8	2,5	6	B	6	7,5	15			H	3		R	2	1	15/09/2022	
43A	Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Annonaceae	8,1	1,5	3	E	4	4	20	An-DM	3	H	2		RA	3	2	18/09/2022	

103A	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	8,6	1,6	5	E	7	8	5			O	2		A	3	3	clorosis	18/09/2022	
103B	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	9,4	1,8	5	E	7	8	5			O	2		A	3	3	clorosis	18/09/2022	
103C	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	8,6	1,5	5	E	7	8	5			O	2		A	3	3	clorosis	18/09/2022	
104	Mimosa	<i>Acacia retinoides</i>	Fabaceae	20,5	1,5	4	C	6	6	30	AA-C	2	H	2		R	3	1		17/09/2022	
43B	Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Annonaceae	7,6	1,5	3	E	4	4	20	An-DM	3	H	2		RA	3	2		18/09/2022	
106A	Ceibo	<i>Ceiba sp.</i>	Bombacaceae	55,8	2	11	D	12	14	20						RA	1	4		18/09/2022	
106B	Ceibo	<i>Ceiba sp.</i>	Bombacaceae	39,8	3	11	C	12	14	20						RA	1	4		18/09/2022	
43C	Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Annonaceae	5,8	1,5	3	E	4	4	20	An-DM	3	H	2	I	2	RA	3	2		18/09/2022
43D	Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Annonaceae	8,6	1,5	3	E	4	4	20	An-DM	3	H	2	I	2	RA	3	2		18/09/2022
109A	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	24,5	3	5	E	5	6	95			H	1		B	3	2		18/09/2022	
109B	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	26,7	4	5	E	5	6	100			H	1	I	2	M			18/09/2022	
109C	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	35,5	1,8	5	E	5	6	100			H	1	I	2	M			18/09/2022	
110	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	18,4	2,5	5	E	7	7	70	AA-C	2				RB	3	3		18/09/2022	
111	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	28,5	3	6	C	4	4,5	20						RA	3	1		15/09/2022	
112	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	29,6	3	6	C	6	7	30			H	2	I	2	R	2	2		16/09/2022
113	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	30	3	6,5	E	7	7	55			H	2		RB	2	2		16/09/2022	
114	Pino colorado	<i>Pinus sp.</i>	Pinaceae	23,8	2	7	B	8	8,5	15	An-PM	2	H	3		R	2	2		17/09/2022	
115	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	12,5	1,6	4	E	5	5	50						R	3	3		18/09/2022	
49	Mimosa	<i>Acacia retinoides</i>	Fabaceae	11,1	2,5	5	E	4	5	20	AA-C	3	H	2		RA	2	3		17/09/2022	
57	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	13,5	2,3	5,5	C	3,5	5	15	AA-C	3				RA	3	3		16/09/2022	
82A	Mimosa	<i>Acacia retinoides</i>	Fabaceae	20,1	2	4	E	6	6	20	An-PM	3	H	2		RA	3	1		17/09/2022	
118A	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	11,8	3	5	E	5	6	40						R	3	2		18/09/2022	
118B	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	11,5	2,5	5	C	5	6	40						R	3	2		18/09/2022	
118C	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	14	1,3	5	C	5	6	60						RB	3	2		18/09/2022	
82B	Mimosa	<i>Acacia retinoides</i>	Fabaceae	17,5	1,3	3,5	E	6	6	20	An-PM	3	H	2		RA	3	1		17/09/2022	

89A	Acacia amarilla	<i>Albizia lebeck</i>	Fabaceae	39,4	2	7	C	12	12	25	AA-C	3				RA	2	4	18/09/2022
89B	Acacia amarilla	<i>Albizia lebeck</i>	Fabaceae	23,2	3	7	C	12	12	25	AA-C	3				RA	2	4	18/09/2022
105	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	19,5	3	6	E	4,5	5,5	25	AA-C	3				RA	3	3	16/09/2022
124	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	10,4	2	4,5	A	4	4	25	AA-C	3	An-DM	3		RA	3	3	16/09/2022
12	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	45,2	5	8	E	7	7,5	70	An-PM	3		H	2	RB	2	4	17/09/2022
120	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Melaceae	46,6	2	7	A	9	9	90						B	2	2	18/09/2022
121A	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	42,3	3	7,5	C	11	11	15						RA	2	1	18/09/2022
121B	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	40	3	7,5	A	11	11	11						RA	2	1	18/09/2022
122	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	21	1,8	4,5	C	7	9	10						A	3	2	18/09/2022
17B	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	17	5	7	B	7	9	65	AA-DM	3		H	3	RB	2	3	18/09/2022
17A	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	25,8	2	7	B	7	9	65	AA-DM	3		H	3	RB	2	3	18/09/2022
37	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	33,2	3,5	##	D	6	6	60	An_DM	3		H	2	RB	2	3	18/09/2022
85A	Papelillo	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Sapindaceae	30,2	1,4	6	C	6	6,5	65	An-PM	3				RB	2	2	11/09/2022
127	Huaranguay	<i>Tecoma spp.</i>	Bignoniaceae	23,6	1,8	4,5	C	5	5	10						A	3	3	16/09/2022
128	Acacia amarilla	<i>Albizia lebeck</i>	Fabaceae	41,7	1,5	9	E	8	15	45	An-DM	1		I	3	R	2	4	18/09/2022
85B	Papelillo	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Sapindaceae	21	1,4	6	A	6	6,5	65	An-PM	3				RB	2	2	11/09/2022
108	Papelillo	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Sapindaceae	29,3	1,5	6	C	10	11	70	An-DM	3				RB	2	2	11/09/2022
131A	Morera	<i>Morus nigra</i>	Moraceae	17,4	2	3,5	C	4	7	40				I	3	R	2	2	11/09/2022
131B	Morera	<i>Morus nigra</i>	Moraceae	12,7	2,5	4,5	C	4	7	40				I	3	R	2	2	11/09/2022
132	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	50	4,5	12	D	10	13	55				I	2	RB	1	2	11/09/2022
133A	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	31,7	1,8	8	E	6,5	11	20				H	2	RA	4	4	tumoración en fuste 11/09/2022

133B	Molle serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	18	3	6	C	6,5	11	20				H	2		RA	4	4	11/09/2022	
134A	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	15,5	2,5	4,5	E	3,5	3,5	30				H	2		R	2	1	15/09/2022	
134B	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	8,8	3	4,5	E	3,5	3,5	30				H	2		R	2	1	15/09/2022	
135A	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	25,7	2	4,5	E	3	3,5	60				H	1		RB	2	1	15/09/2022	
135B	Palto	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	20,5	2	4,5	E	3	3,5	5				H	2		A	2	1	15/09/2022	
136	Grevillea	<i>Grevillea robusta</i>	Proteaceae	31,7	4	8	C	3,5	4	70				H	2		RB	2	2	16/09/2022	
137	Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	38,5	2,5	6,5	E	9	9	0							A	3	2	16/09/2022	
138	Ponciana real	<i>Delonix regia</i>	Caesalpinaceae	66,7	1,4	4	C	9	13	60	An-PM	2		H	1	I	2	RB	3	2	18/09/2022
139A	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	12,7	2,5	4,5	E	4	5	60				H	3		RB	3	2	18/09/2022	
139B	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	8,8	2,4	4,5	D	4	5	60				H	3		RB	3	2	18/09/2022	
140	Pino colorado	<i>Pinus sp.</i>	Pinaceae	32	1,3	3,5	E	3	6	10	AA-C	2	An-DM	3	H	2	A	3	2	18/09/2022	

Anexo 26: Coordenadas de puntos de muestreo

Vegetación densa			Vegetación dispersa		
N° individuo	Coordenada X	Coordenada Y	N° individuo	Coordenada X	Coordenada Y
1	287985	8663053	1	287991	8663686
2	287932	8663051	2	288207	8663699
3	287936	8663162	3	288094	8663702
4	287986	8663156	4	288094	8663718
5	287967	8663150	5	287748	8663578
6	288033	8663122	6	288081	8663661
7	287913	8663011	7	287748	8663601
8	287935	8663065	8	288157	8663799
9	288011	8663143	9	288185	8663629
10	287977	8663182	10	288120	8663730
11	288003	8663137	11	287744	8663611
12	288031	8663065	12	288087	8663578
13	287926	8663046	13	288102	8663709
14	287892	8663146	14	287969	8663629
15	287972	8663146	15	288162	8663657
16	288048	8663107	16	288003	8663758
17	287891	8663045	17	288005	8663746
18	287966	8663172	18	287806	8663525
19	287969	8663104	19	288145	8663732
20	288023	8663145	20	288195	8663633
21	288011	8663043	21	287971	8663599
22	288014	8663056	23	287921	8663534
23	287965	8663080	24	288067	8663793
24	287978	8663133	25	288026	8663622
25	287951	8663167	26	288029	8663615
26	287972	8663156	27	287749	8663616
27	287949	8663074	28	287773	8663600
28	288009	8663070	29	287874	8663556
29	287968	8663051	30	287957	8663657
30	288003	8663145	31	287794	8663529
31	288040	8663133	32	287784	8663572
32	288028	8663115	33	288061	8663738
33	288000	8663188	34	288002	8663626
34	287897	8663032	35	288081	8663585
35	287945	8663122	36	287817	8663556
36	287969	8663175	37	288003	8663750
37	287988	8663184	38	288025	8663689
38	287927	8662994	39	287791	8663541
39	287874	8663062	40	288065	8663618
40	287976	8663109	41	288039	8663766
41	288015	8663188	42	288027	8663586

42	287908	8663157	43	287793	8663581
43	288006	8663047	44	288106	8663724
44	288030	8663046	45	287776	8663531
45	288030	8663138	46	287792	8663568
46	287899	8663143	47	288185	8663747
47	288052	8663072	48	288179	8663766
48	287929	8663137	49	288010	8663628
49	287976	8663163	50	288086	8663708
50	287998	8663157	51	287923	8663634
51	287983	8663045	52	288035	8663655
52	288010	8663182	53	288137	8663722
53	288051	8663093	54	287983	8663626
54	288043	8663122	55	287756	8663594
55	288033	8663148	56	288169	8663805
56	288045	8663052	57	288121	8663653
57	287935	8663002	58	288087	8663613
58	287994	8663183	59	288130	8663647
59	288054	8663087	60	288034	8663775
60	288021	8663045	61	288163	8663827
61	288004	8663166	62	288004	8663640
62	287858	8663137	63	288169	8663647
63	287995	8663102	64	287964	8663641
64	287906	8663024	65	287780	8663610
65	288039	8663141	66	288146	8663664
66	287960	8663163	67	287971	8663678
67	288017	8663152	68	287848	8663545
68	288049	8663065	69	288009	8663762
69	288038	8663062	70	288169	8663770
70	288030	8663156	71	288102	8663794
71	288060	8663065	72	288034	8663733
72	287943	8663013	73	287897	8663717
73	287939	8663016	74	288201	8663682
74	287969	8663058	75	288217	8663666
75	288002	8663037	76	288172	8663711
76	287999	8663040	77	287909	8663718
77	287995	8663041	78	288080	8663617
78	287994	8663062	79	287874	8663690
79	287999	8663052	80	288165	8663785
80	288011	8663040	81	288010	8663725
81	287943	8663118	82	288015	8663637
82	287916	8663121	83	288168	8663620
83	287904	8663126	84	287902	8663705
84	287908	8663128	85	288078	8663812
85	287930	8663158	86	287774	8663587
86	287889	8663142	87	288154	8663660
87	287881	8663143	88	288094	8663809

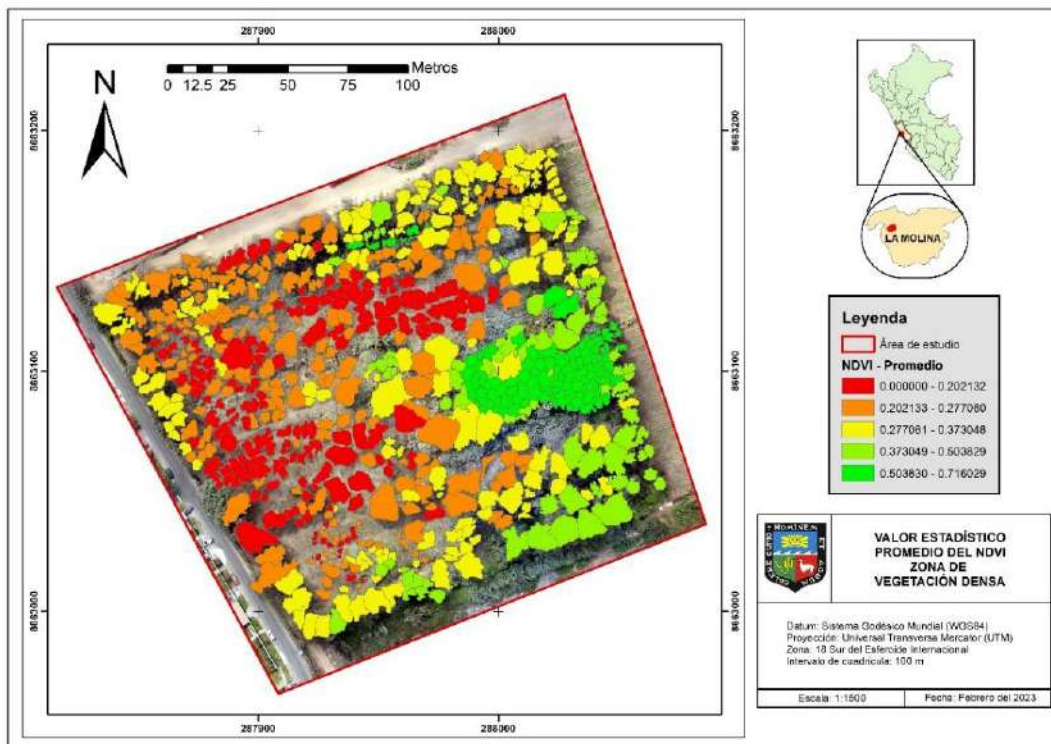
88	287837	8663125	89	288021	8663780
89	287854	8663103	90	288150	8663722
90	287865	8663111	91	288043	8663649
91	287859	8663087	92	288050	8663781
92	287869	8663092	93	288134	8663658
93	287898	8663086	94	287998	8663592
94	287879	8663075	95	287836	8663632
95	287906	8663038	96	287926	8663645
96	287906	8663038	97	287941	8663643
97	287917	8663037	98	287783	8663521
98	287898	8663078	99	288093	8663637
99	287908	8663082	100	287927	8663560
100	287936	8663009	101	288093	8663741
101	287941	8663003	102	288152	8663839
102	287938	8663014	103	287733	8663610
103	287929	8663012	104	288025	8663649
104	287950	8663024	105	288210	8663650
105	287950	8663017	106	288017	8663752
106	287986	8663026	107	287965	8663612
107	287981	8663031	108	288139	8663834
108	287970	8663021	109	287795	8663519
109	287959	8663017	110	287759	8663551
110	287961	8663018	111	288188	8663733
111	287948	8663152	112	288179	8663687
112	287956	8663154	113	288175	8663700
113	287958	8663158	114	288001	8663611
114	287998	8663094	115	287739	8663600
115	288063	8663057	116	288154	8663617
116	287926	8663033	117	287773	8663520
117	287944	8663023	118	287857	8663614
118	287964	8663062	119	287812	8663535
119	287904	8663115	120	287971	8663662
120	287906	8663119	121	287917	8663524
121	287919	8663139	122	287855	8663594
122	287869	8663101	123	287970	8663570
123	287876	8663084	124	288137	8663651
124	287889	8663083	125	288212	8663682
125	287899	8663063	126	288080	8663800
126	287896	8663077	127	288196	8663703
127	287903	8663080	128	288019	8663761
128	287920	8663021	129	288123	8663829
129	287925	8663023	130	288118	8663828
130	287931	8663024	131	288099	8663799
131	287937	8663025	132	288105	8663787
132	287934	8663023	133	288125	8663808
133	287981	8663025	134	288097	8663712

134	287966	8663020	135	288096	8663733
135	287965	8663012	136	288136	8663608
136	288022	8663163	137	288184	8663657
137	288021	8663169	138	287869	8663645
138	287943	8663054	139	287869	8663619
139	287943	8663128	140	287811	8663565
140	287934	8663112	22	287771	8663593
141	287920	8663150			
142	287923	8663149			
143	287848	8663137			
144	287955	8663092			
145	287961	8663119			
146	287927	8663143			
147	288004	8663102			
148	287912	8663111			
149	287960	8663104			
150	287978	8663022			

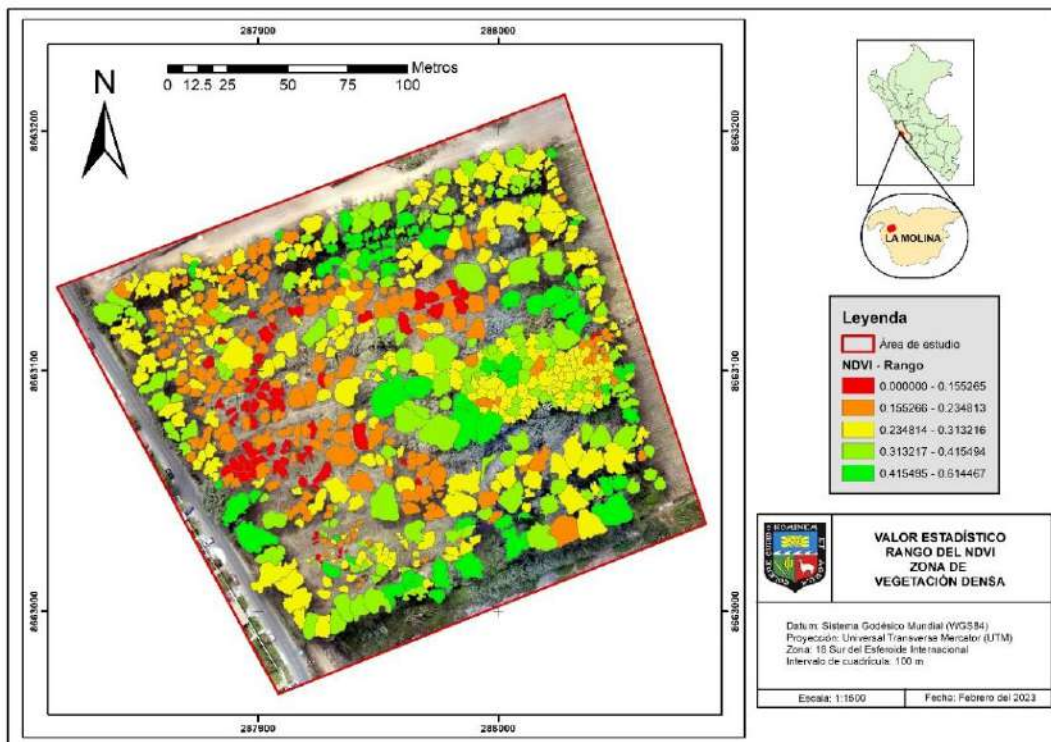
Anexo 27: Lista de especies y su carácter de follaje

Perennifolias	Caducifolias	Semicaducifolias
Casuarina	Ceibo	Jacarandá
Calistemo	Pecano	Tipa
Mango	Ponciana real	
Mimosa	Jacarandá	
Araucaria	Tara	
Tamarix	Tipa	
Ficus	Papelillo	
Molle serrano	Oreja de negro	
Molle costeño	Árbol de júpiter	
Huaranguay	Cedro	
Pacae	Tulipán africano	
Palto	Morera	
Eucalipto	Fresno	
Gravillea		
Acacia		
Sauce		
Molle serrano		
Molle costeño		
Chirimoya		
Ciprés		
Guanábana		
Lúcumo		
Olivo		
Pino		
Morera		
Boliche		
Sauco		

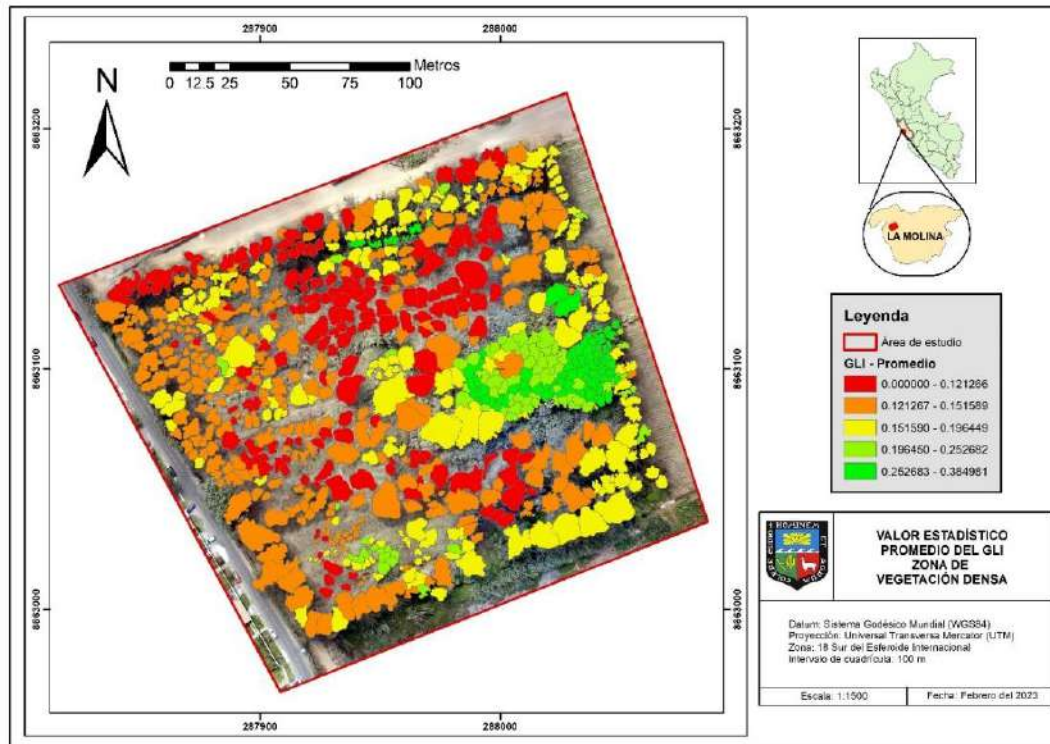
Anexo 28: Estadística de promedio aplicado al NDVI sobre las copas de vegetación densa



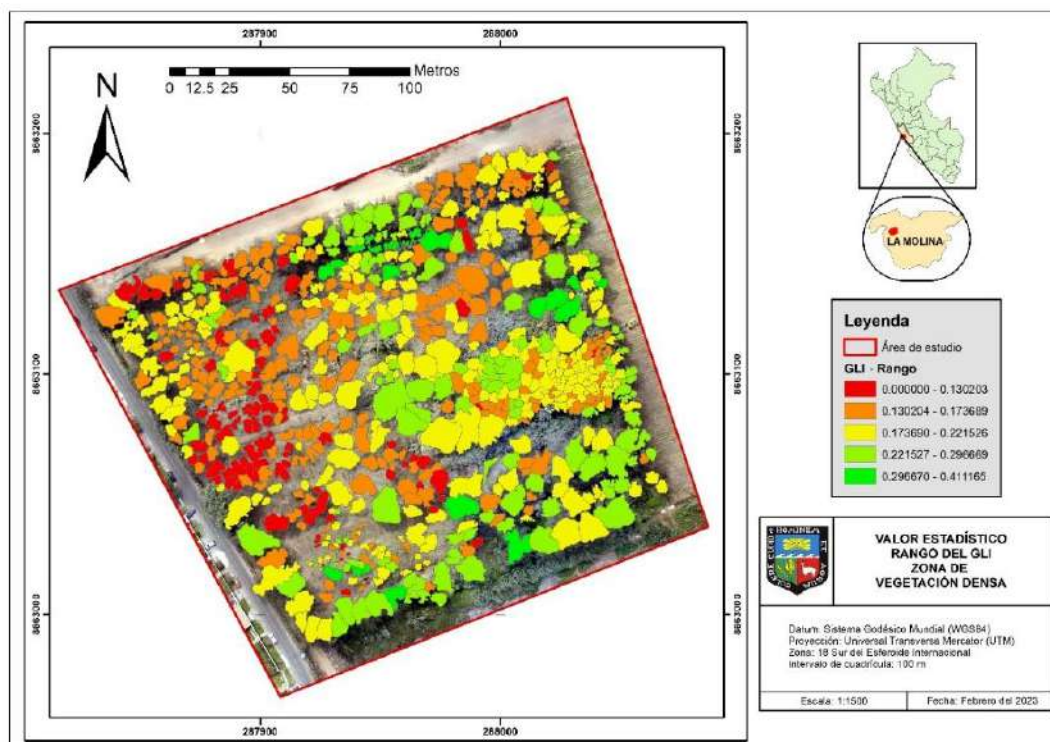
Anexo 29: Estadística de rango aplicado al NDVI sobre las copas de vegetación densa.



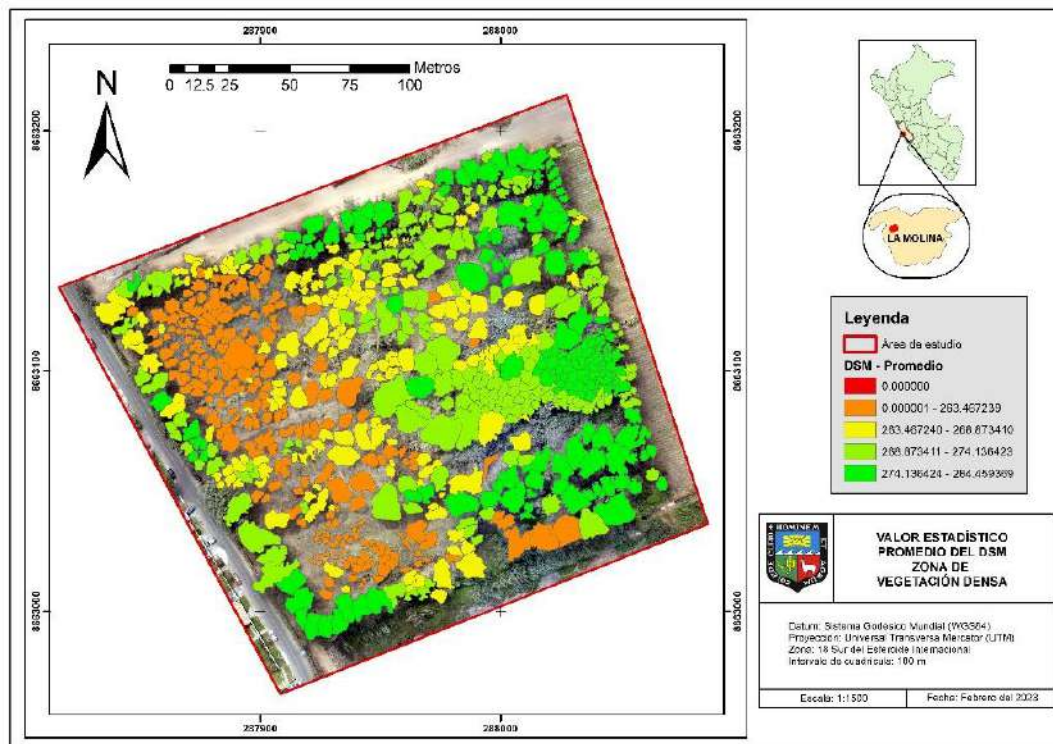
Anexo 30: Estadística de promedio aplicado al GLI sobre las copas de vegetación densa



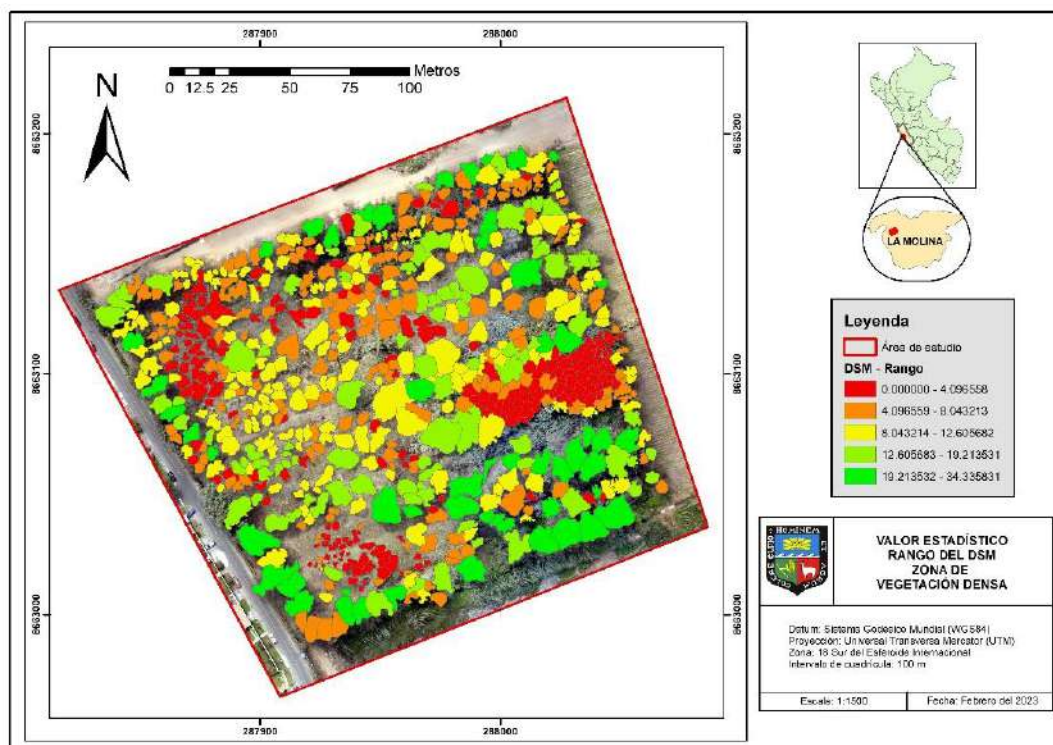
Anexo 31: Estadística de rango aplicado al GLI sobre las copas de vegetación densa



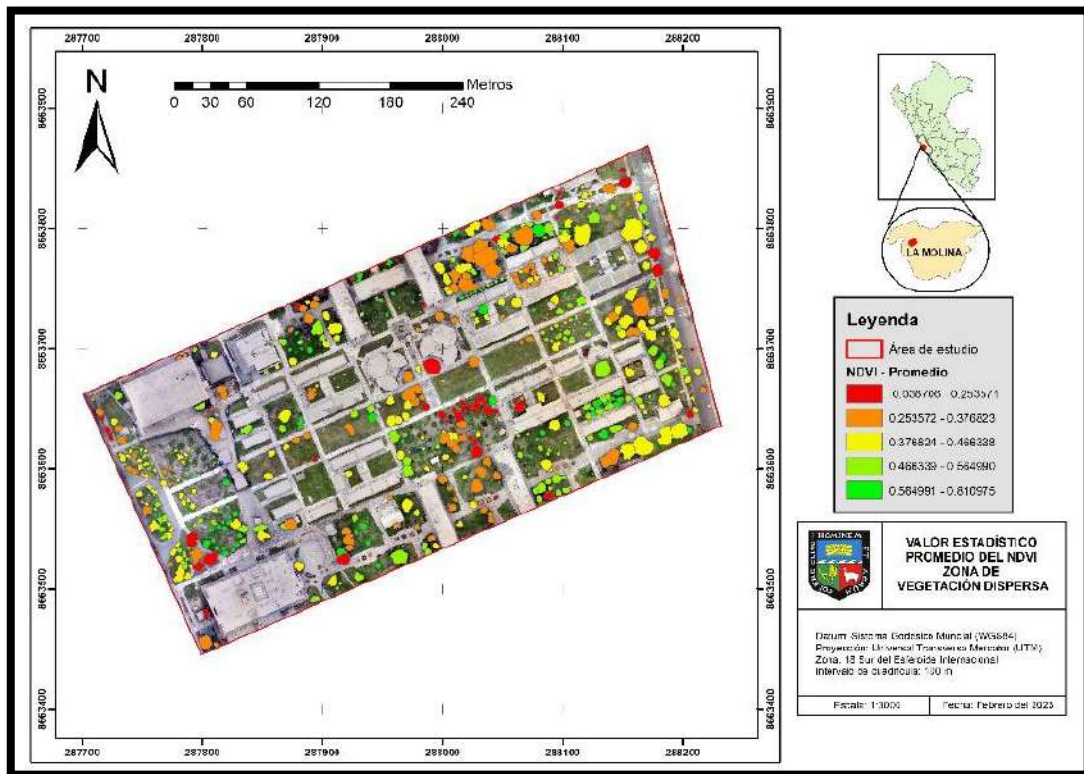
Anexo 32: Estadística de promedio aplicado al DSM sobre las copas de vegetación densa



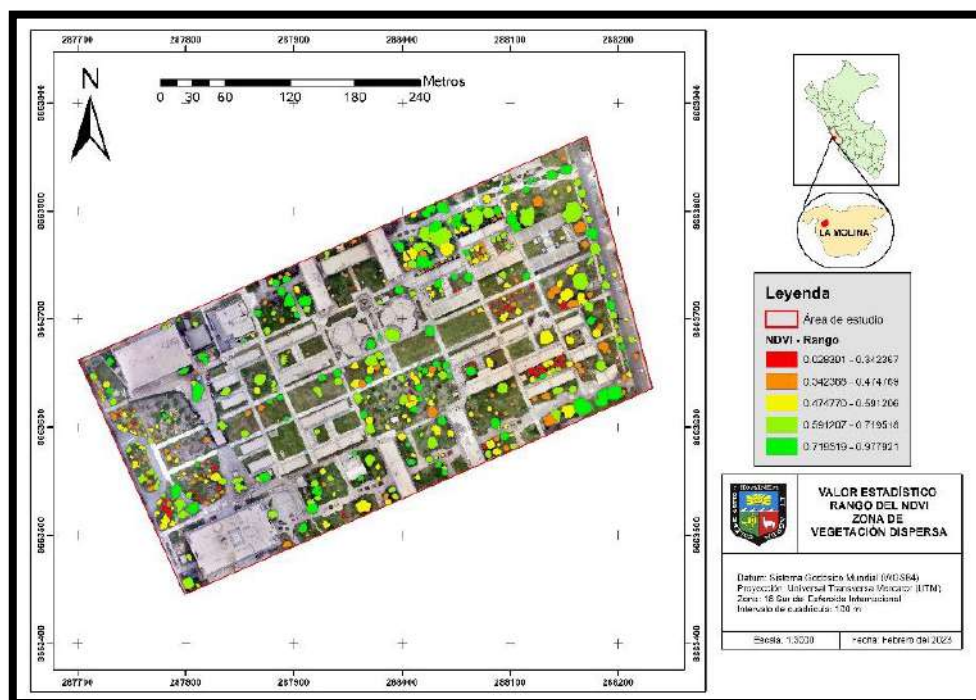
Anexo 33: Estadística de rango aplicado al DSM sobre las copas de vegetación densa



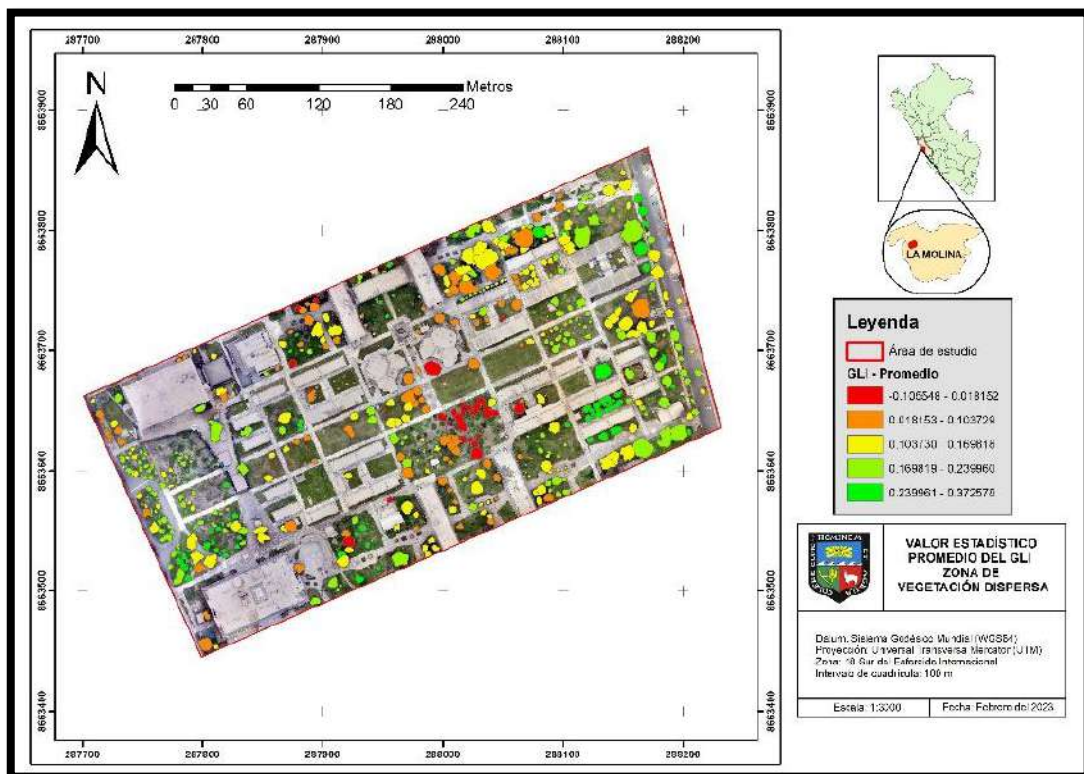
Anexo 34: Estadística de promedio aplicado al NDVI sobre las copas de vegetación dispersa



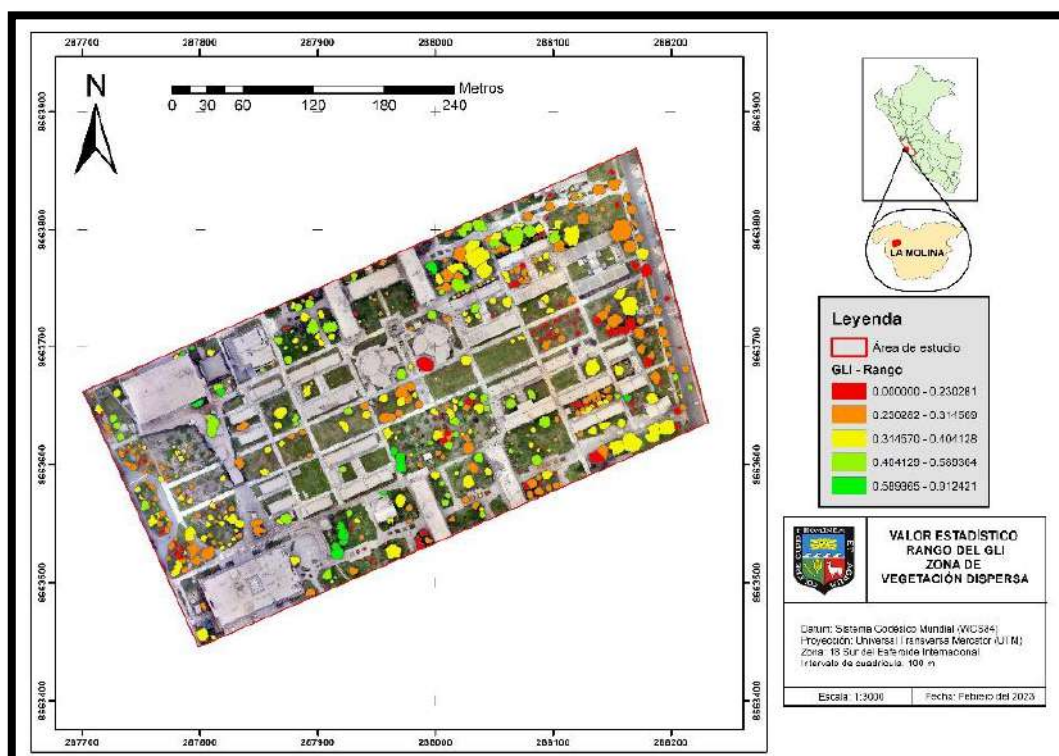
Anexo 35: Estadística de rango aplicado al NDVI sobre las copas de vegetación dispersa



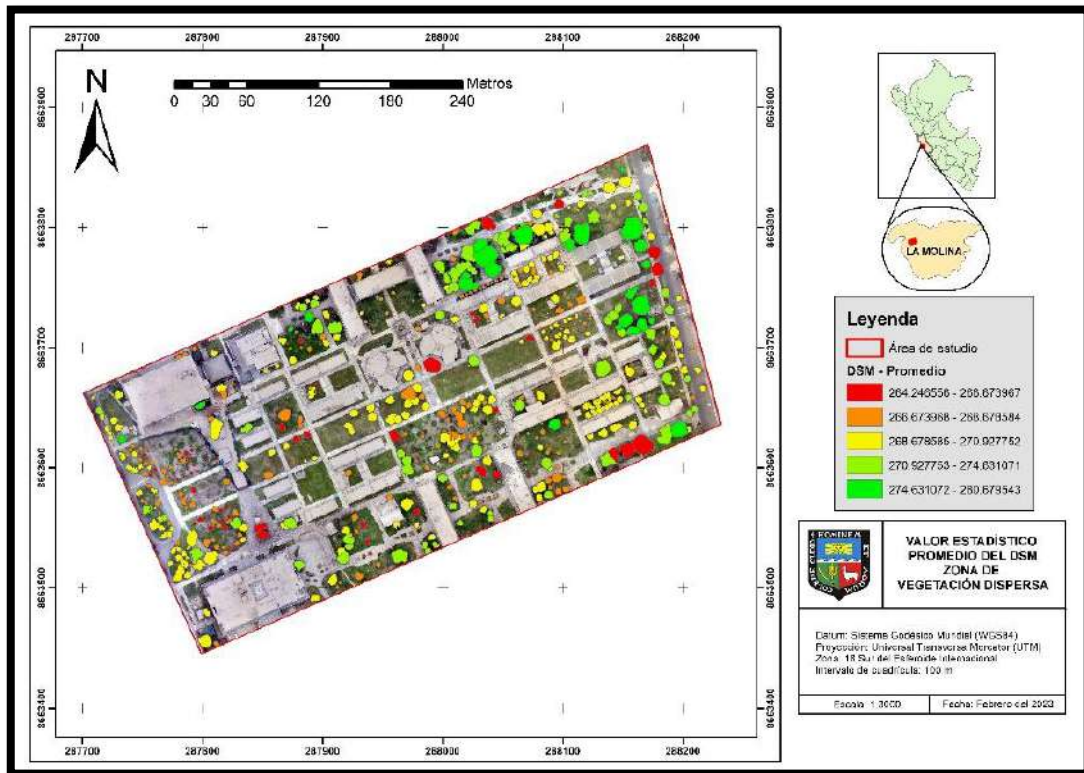
Anexo 36: Estadística de promedio aplicado al GLI sobre las copas de vegetación dispersa



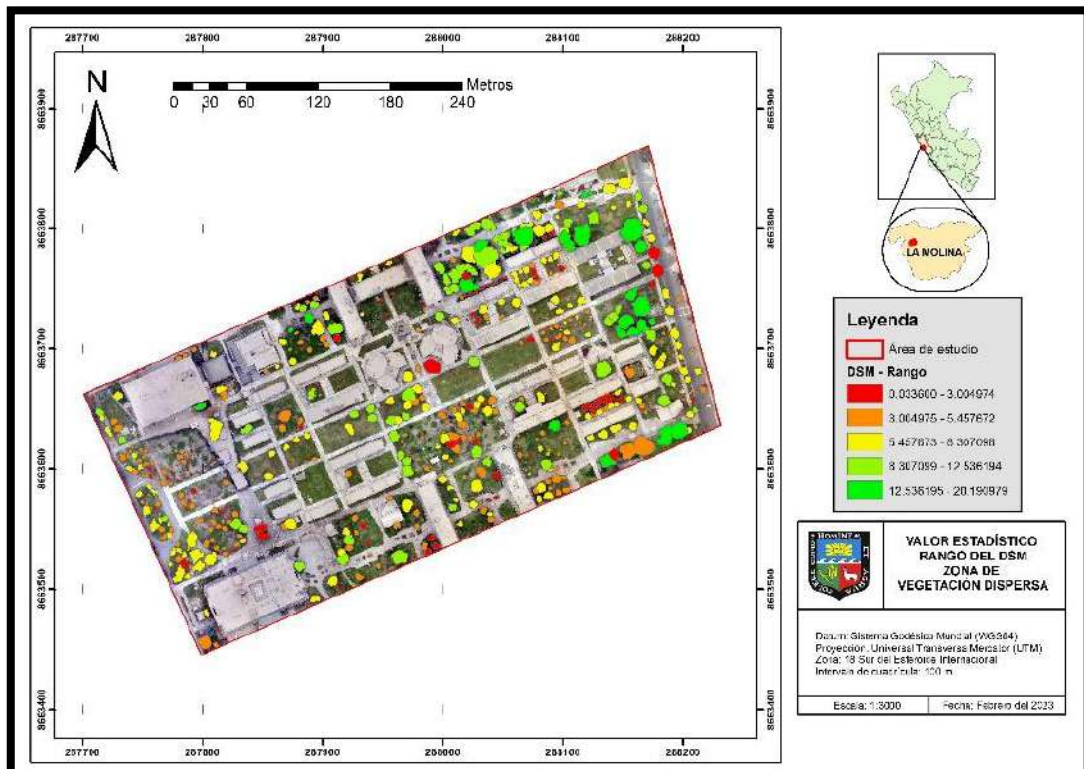
Anexo 37: Estadística de rango aplicado al GLI sobre las copas de vegetación dispersa



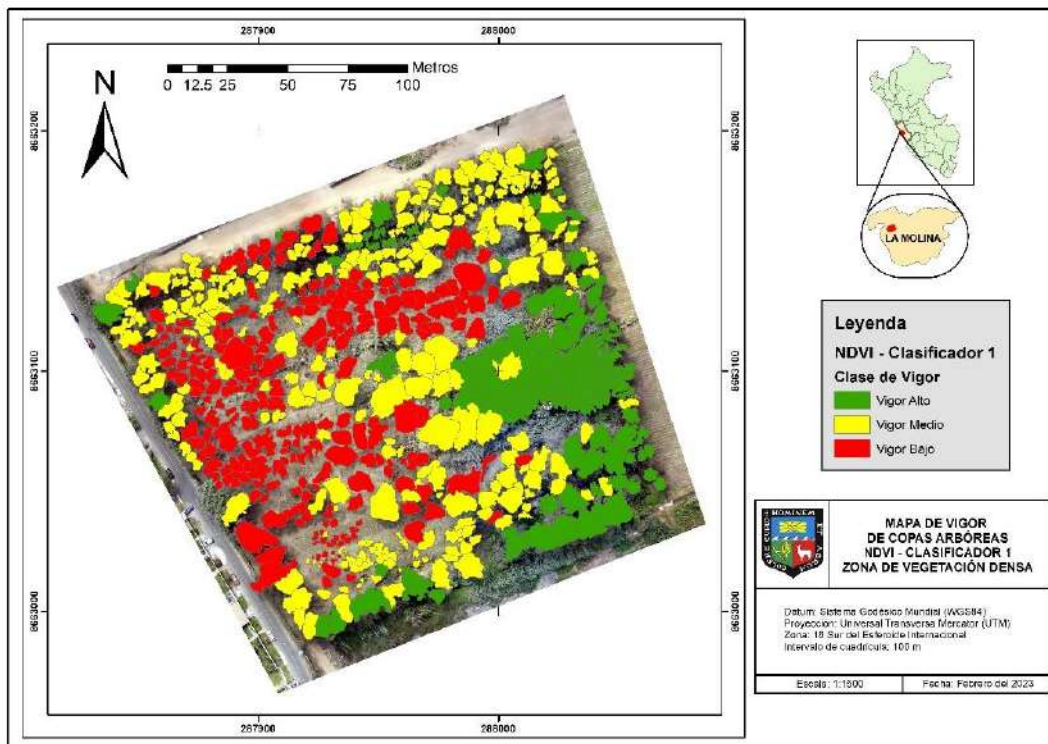
Anexo 38: Estadística de promedio aplicado al DSM sobre las copas de vegetación dispersa



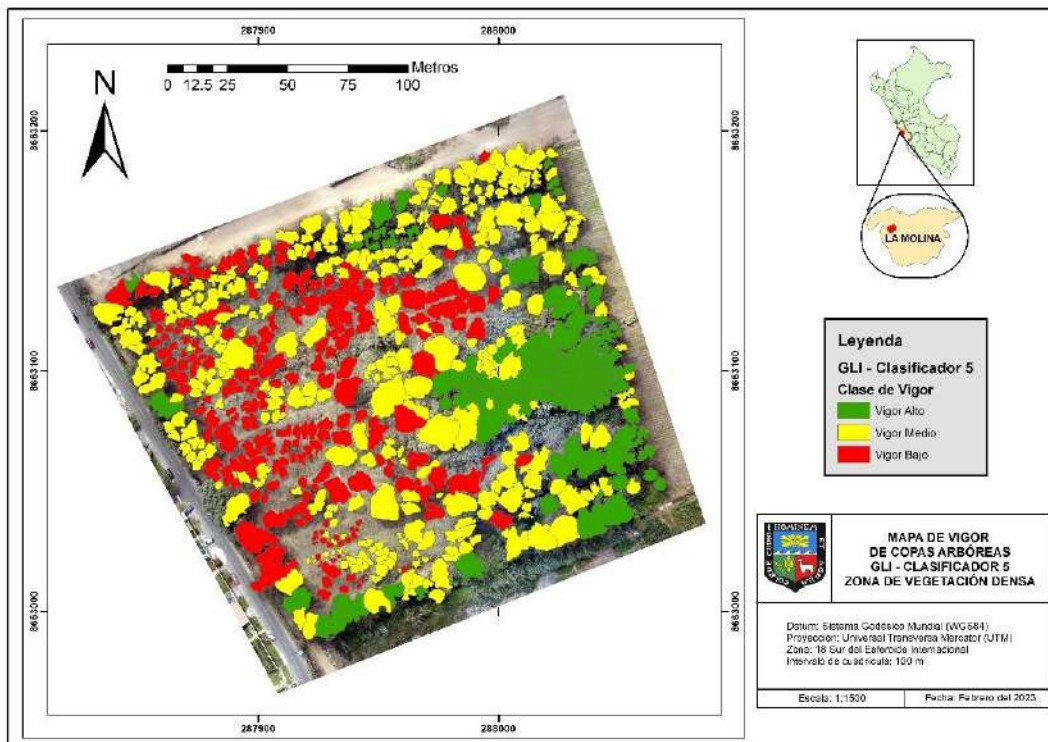
Anexo 39: Estadística de rango aplicado al DSM sobre las copas de vegetación dispersa



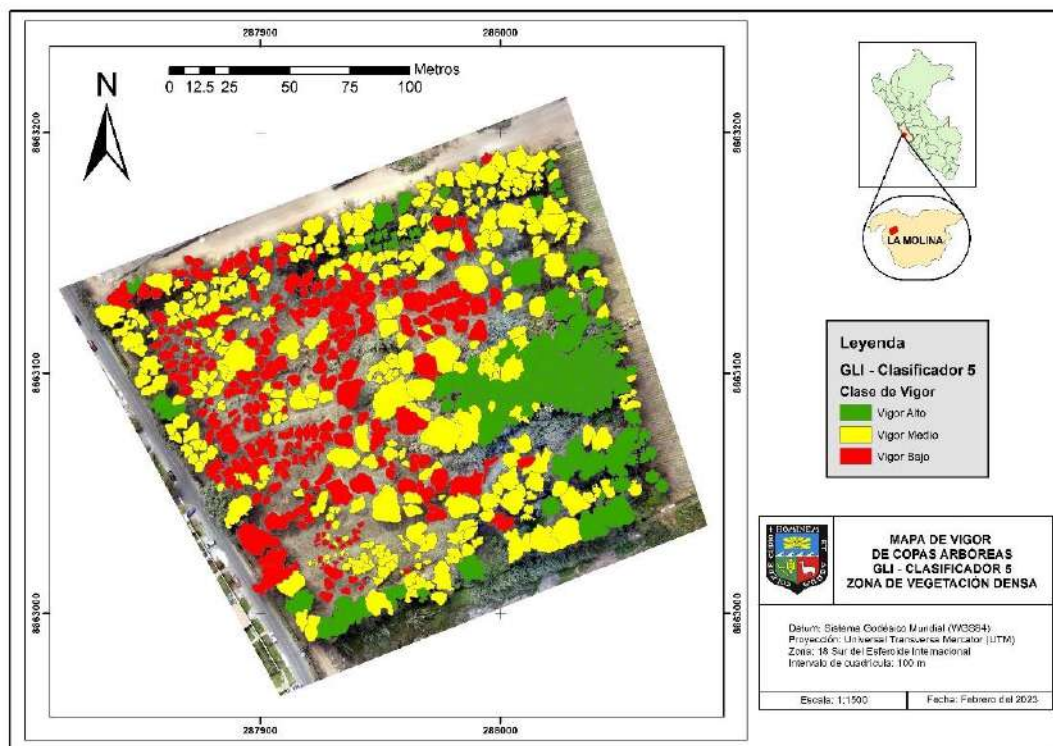
Anexo 40: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice NDVI – clasificador 1 en la zona de vegetación densa



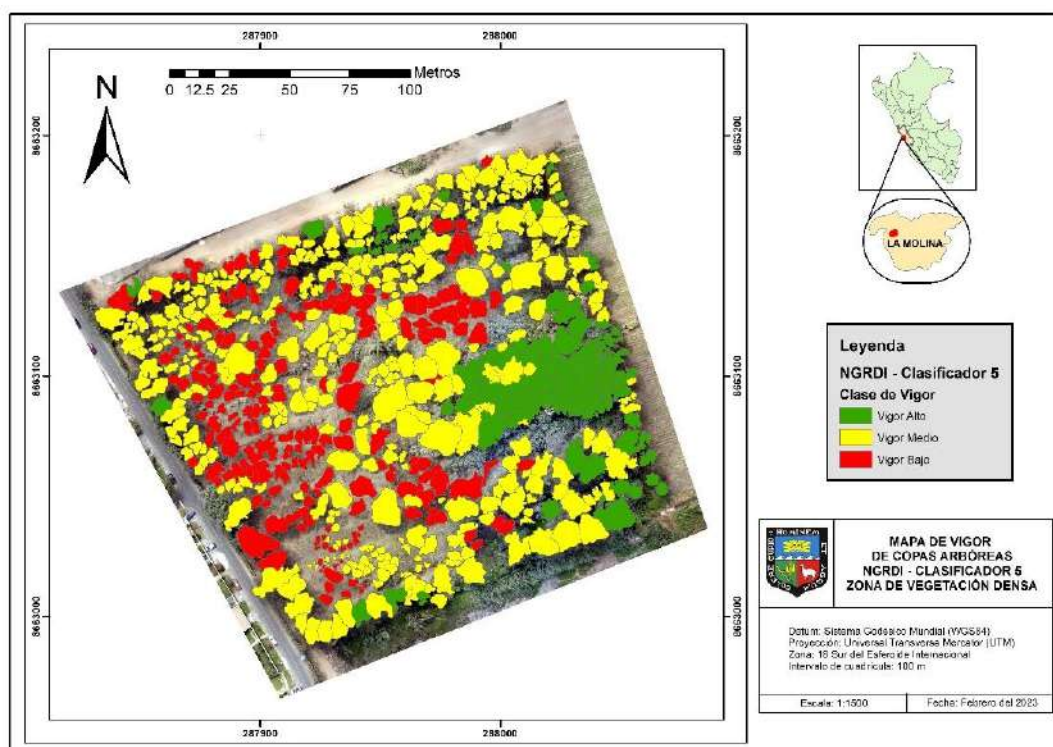
Anexo 41: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice GLI – clasificador 5 en la zona de vegetación densa



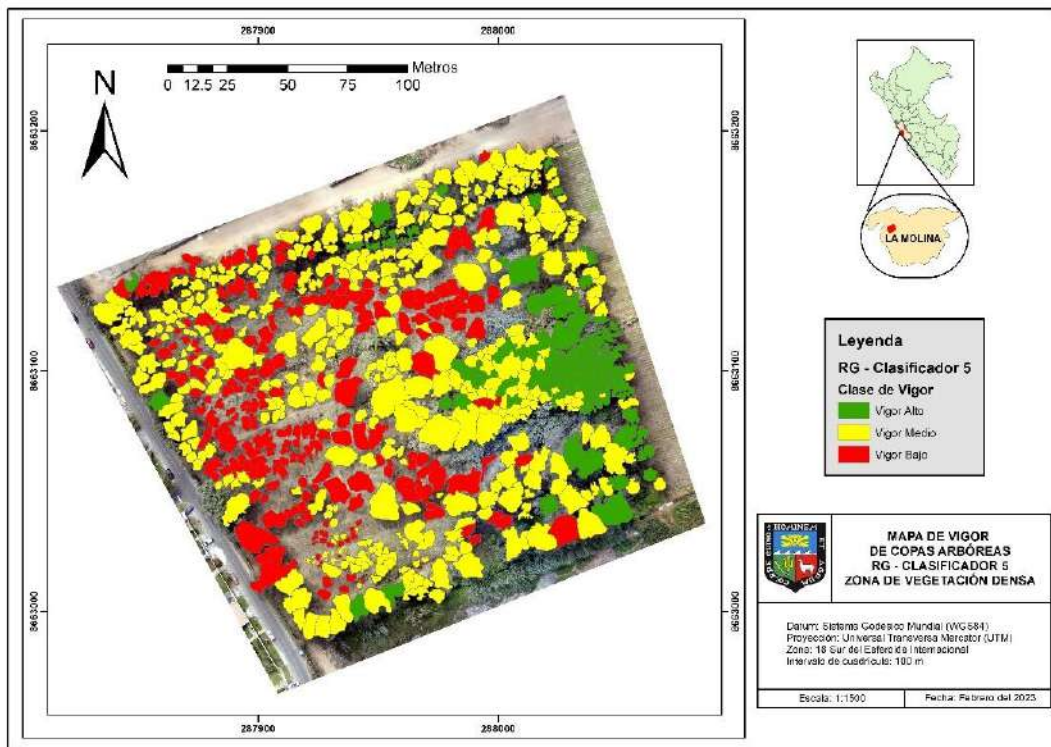
Anexo 42: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice GLI – clasificador 5 en la zona de vegetación densa



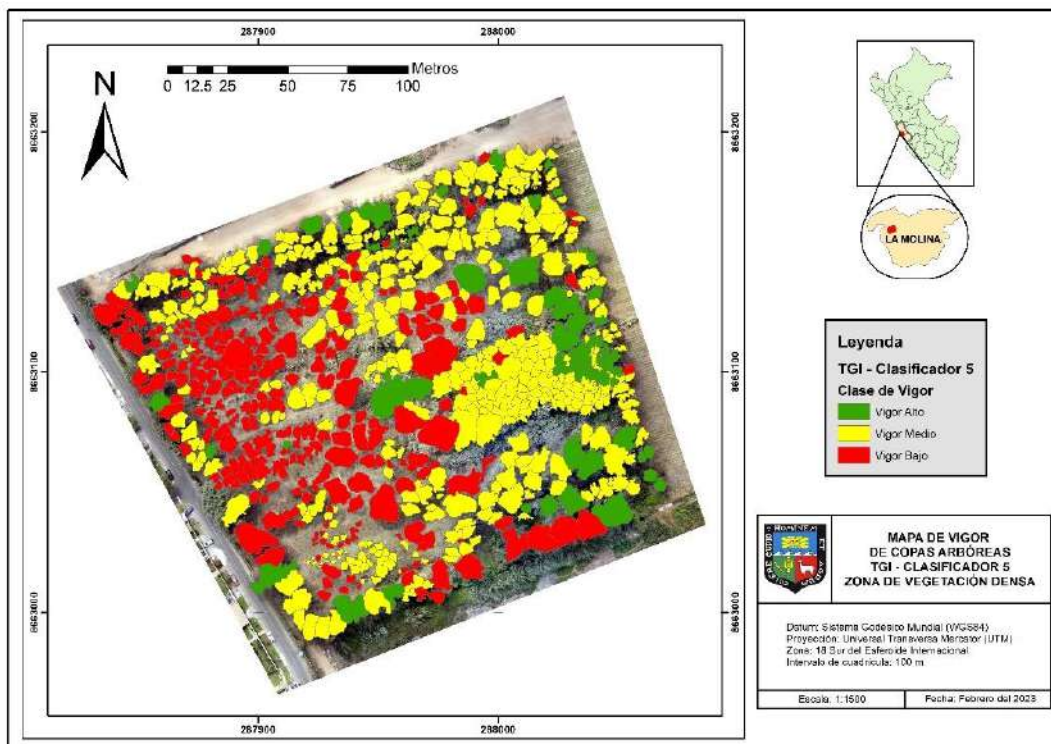
Anexo 43: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice NGRDI – clasificador 5 en la zona de vegetación densa.



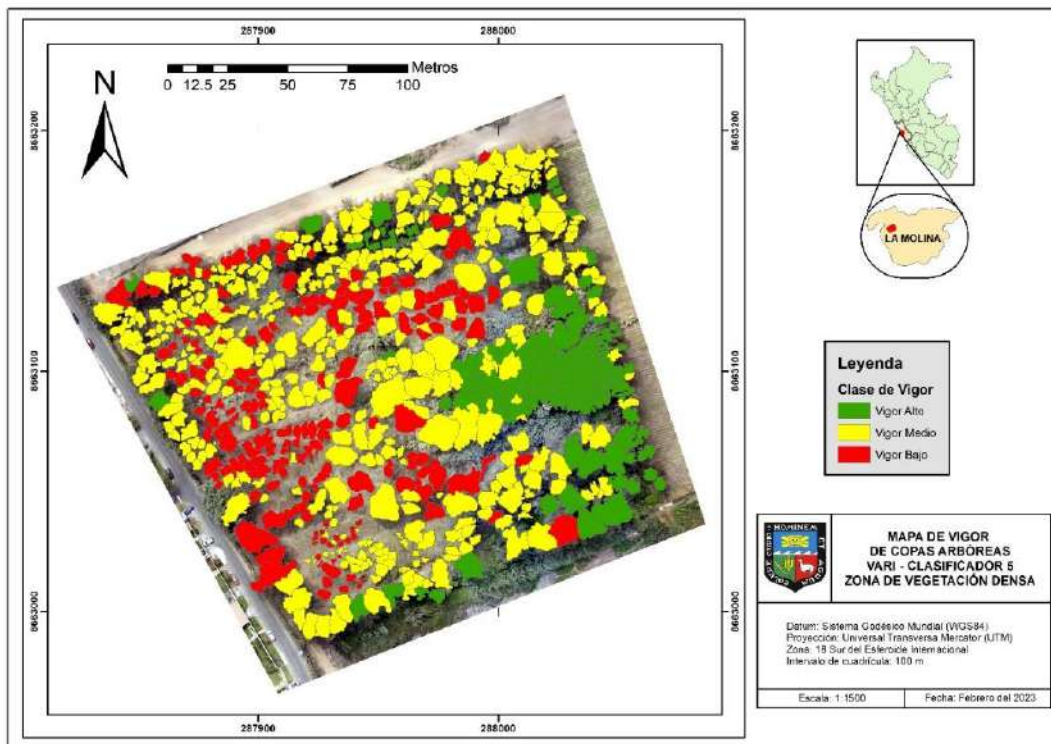
Anexo 44: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice RG – clasificador 5 en la zona de vegetación densa



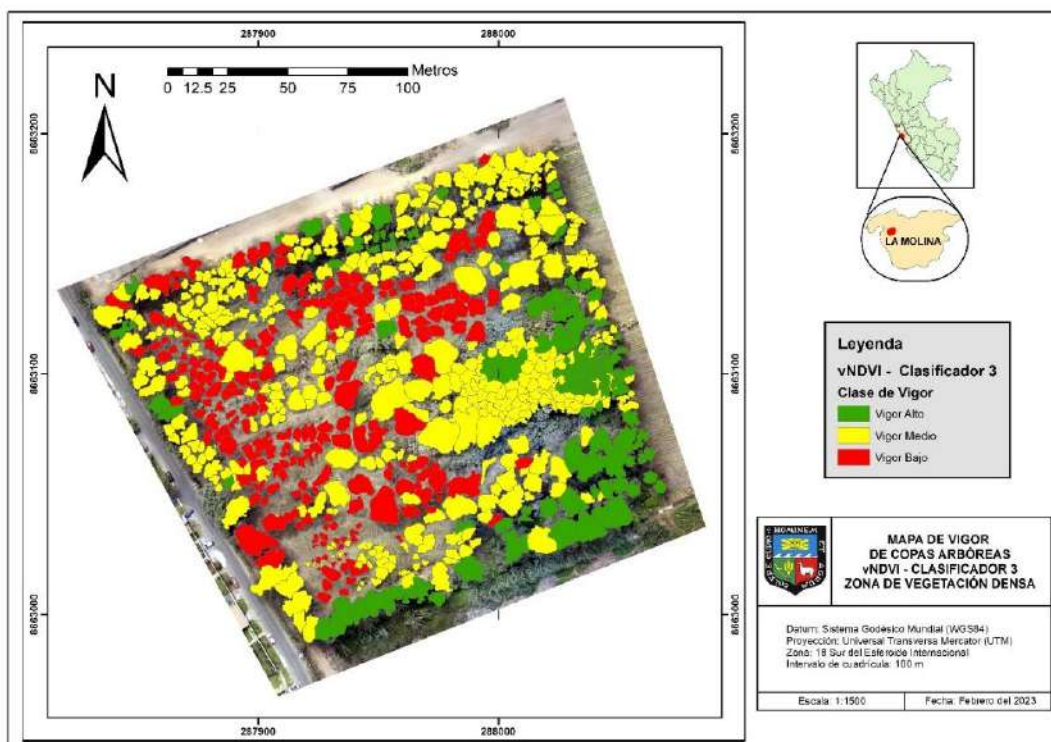
Anexo 45: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice TGI – clasificador 5 en la zona de vegetación densa.



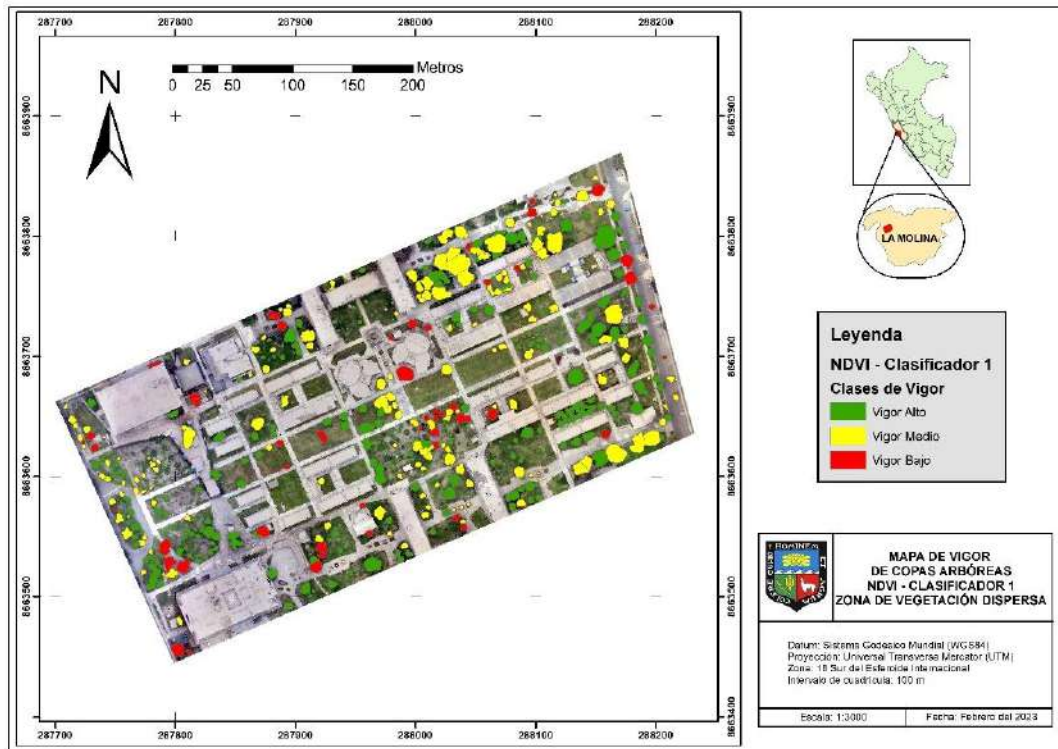
Anexo 46: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice VARI – clasificador 5 en la zona de vegetación densa



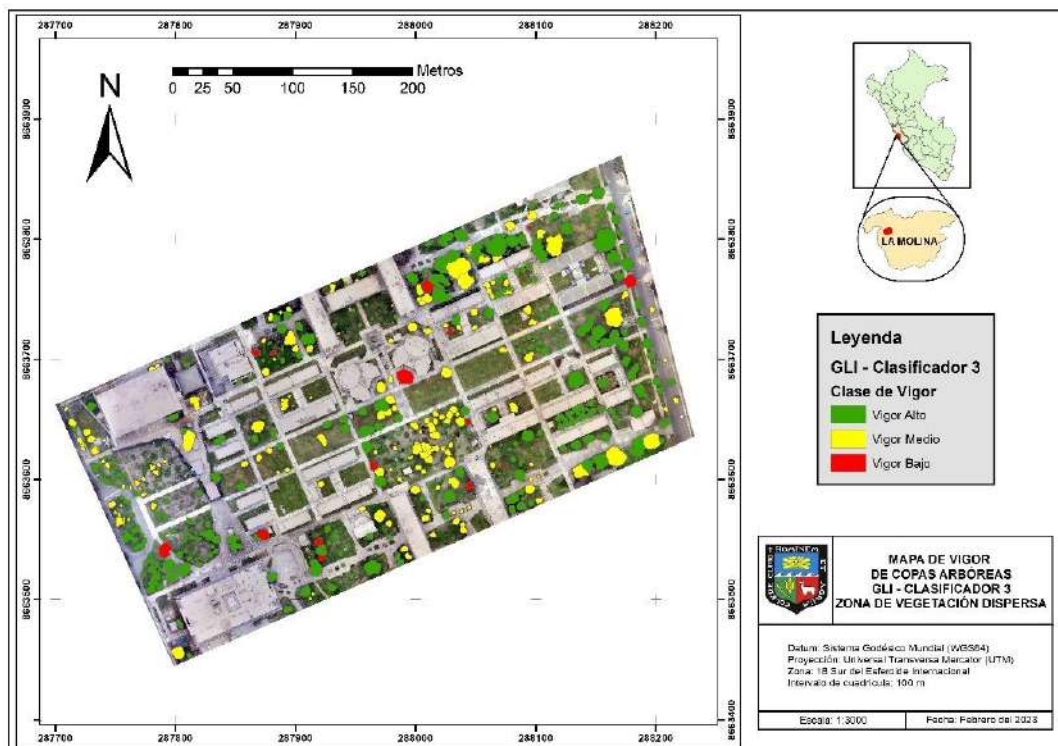
Anexo 47: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice vNDVI – clasificador 3 en la zona de vegetación densa



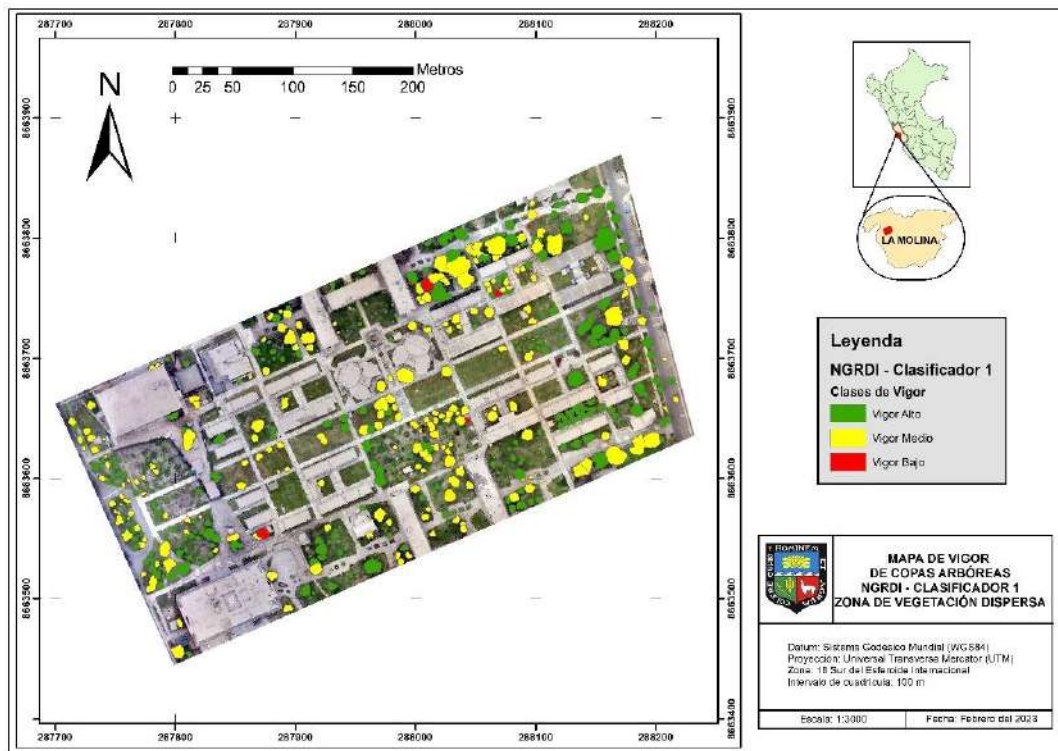
Anexo 48: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice NDVI – clasificador 1 en la zona de vegetación dispersa



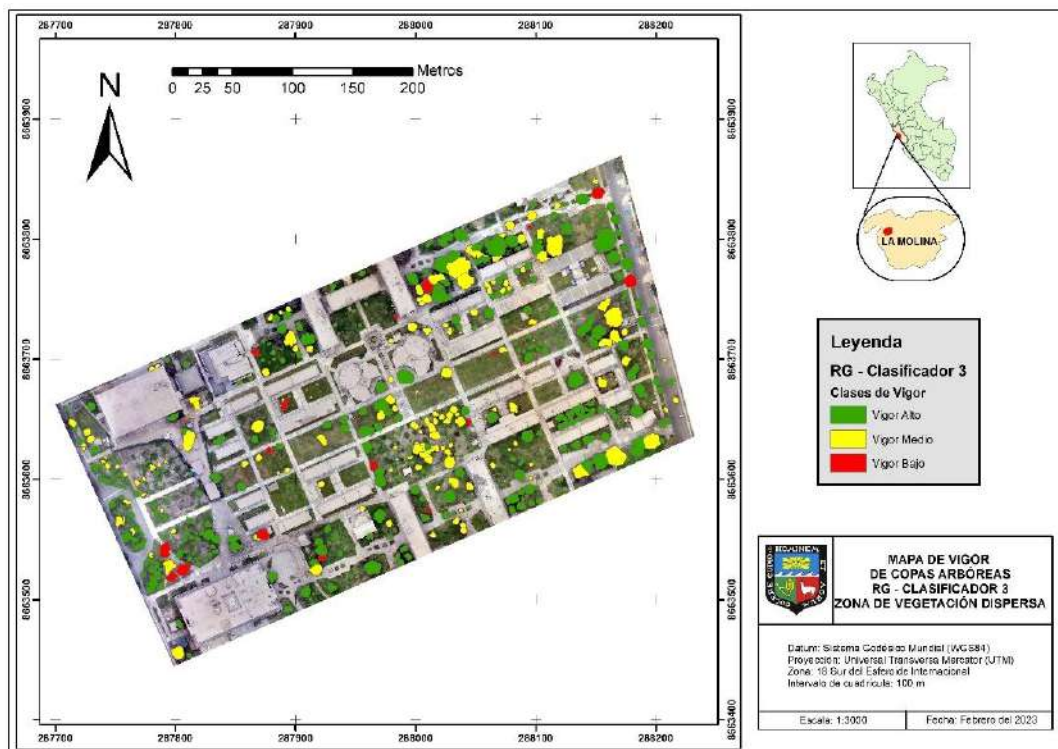
Anexo 49: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice GLI – clasificador 3 en la zona de vegetación dispersa



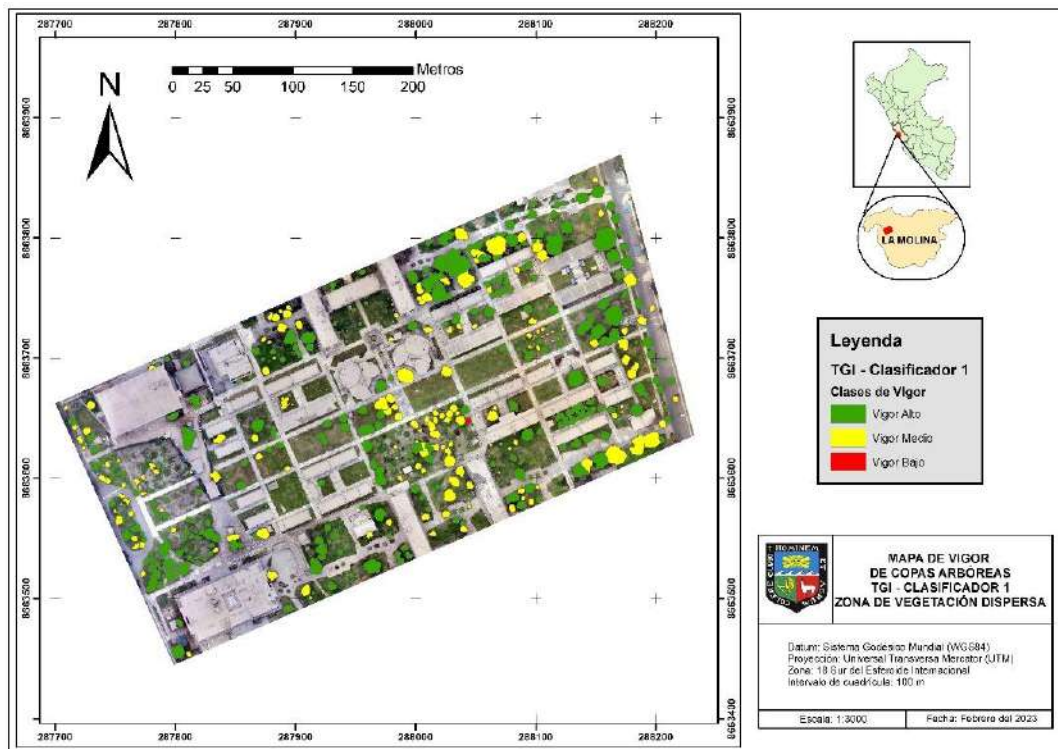
Anexo 50: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice NGRDI – clasificador 1 en la zona de vegetación dispersa



Anexo 51: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice RG – clasificador 3 en la zona de vegetación dispersa



Anexo 52: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice TGI – clasificador 1 en la zona de vegetación dispersa



Anexo 53: Mapa de vigor arbóreo obtenido con el índice vNDVI – clasificador 3 en la zona de vegetación dispersa

