

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN
AMBIENTAL



**Contenido de carbono de la regeneración natural y detección de
variables dasométricas mediante RPAS en tres comunidades
campesinas de Piura, 2023**

TESIS

**Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con
mención en Gestión Ambiental**

Autor: Br. Antoni David Jimenez Dios

Tumbes, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN
AMBIENTAL



**Contenido de carbono de la regeneración natural y detección de
variables dasométricas mediante RPAS en tres comunidades
campesinas de Piura, 2023**

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Luis Alberto Bermejo Requena (presidente)

Dr. Eber Leopoldo Herrera Palacios (secretario)

Mg. Eder Esaud Hidalgo Sandoval (miembro)

Tumbes, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN
AMBIENTAL



Contenido de carbono de la regeneración natural y detección de variables dasométricas mediante RPAS en tres comunidades campesinas de Piura, 2023

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y forma:

Br. Antoni David Jimenez Dios (Autor)

Dr. Miguel Antonio Puestas Chully (Asesor/a)

Tumbes, 2024

ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
Licenciada
Resolución del Consejo Directivo N° 155-2019-SUNEDU/CD
ESCUELA DE POSGRADO
Tumbes – Perú

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En Tumbes, a los 23 días del mes de enero del dos mil veinticuatro, siendo las dieciséis horas y cero minutos, en los ambientes de la escuela de posgrado - Aula 02 - Ciudad Universitaria, se reunieron el jurado calificador de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes designado con resolución N° 0241-2022/UNTUMBES-EPG-D, del 26 de mayo de 2022. Dr. Luis Alberto Bermejo Requena (presidente) Dr. Eber Leopoldo Herrera Palacios (secretario), Mg. Eder Esaud Hidalgo Sandoval (vocal), Dr. Miguel Antonio Puescas Chully (Asesor) se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de tesis titulada: **Contenido de carbono de la regeneración natural y detección de variables dasométricas mediante Rpas en tres comunidades campesinas de Piura, 2023.** para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en Gestión Ambiental, presentado por el: **Maestrando: ANTONI DAVID JIMÉNEZ DIOS** Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación el jurado según el artículo N° 65 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al : **Maestrando**, aprobado con calificativo de **MUY BUENA**

En consecuencia, queda apto, para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del grado académico de **Maestro en Ciencias con mención en Gestión Ambiental**, de conformidad con lo estipulado en la ley universitaria N° 30220, el estatuto, Reglamento General, Reglamento general de grados títulos y reglamento de tesis de la Universidad Nacional de Tumbes

Siendo las **diecisiete** horas y **treinta** minutos, del mismo día, se dio por concluido la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia de Público asistente.

Tumbes, 23 de enero de 2024

Dr. Luis Alberto Bermejo Requena
DNI N° 02642832
ORCID N° 0000-0001-5294-7034
Presidente

Dr. Eber Leopoldo Herrera Palacios
DNI N° 42450218
ORCID N° 0000-0002-7255-9087
Secretario

Mg. Eder Esaud Hidalgo Sandoval
DNI N°: 42311217
ORCID N° 0000-0002-8568-3255
Vocal

C.c.
Jurado de Tesis (03),
Asesor
Interesado
Coasesor (es)
Archivo (Director EPG).

Contenido de carbono de la regeneración natural y detección de variables dasométricas mediante Rpas en tres comunidades campesinas de Piura, 2023

por Antoni David Jimenez Dios



Dr. Miguel A. Puestas Chully
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1979-9572>
Docente EPG-Asesor de Tesis

Fecha de entrega: 15-feb-2024 05:10p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2267058058

Nombre del archivo: Informe_Turnitin-tesis-RNA-Antoni_jimenez_Dios.pdf (17.04M)

Total de palabras: 18868

Total de caracteres: 99405

Contenido de carbono de la regeneración natural y detección de variables dasométricas mediante Rpas en tres comunidades campesinas de Piura, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	repositorio.catie.ac.cr Fuente de Internet	1%
3	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	documentop.com Fuente de Internet	1%
6	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.ucm.edu.co Fuente de Internet	1%
8	www.scribd.com Fuente de Internet	1%

9	edoc.pub Fuente de Internet	1 %
10	guzlop-editoras.com Fuente de Internet	<1 %
11	1library.co Fuente de Internet	<1 %
12	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	www.sunass.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1 %
15	Submitted to Organismo de Evaluación y Fiscalización Trabajo del estudiante	<1 %
16	www.ibericadron.com Fuente de Internet	<1 %
17	apps.worldagroforestry.org Fuente de Internet	<1 %
18	sinia.minam.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
19	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

20	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
21	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	www.mdpi.com Fuente de Internet	<1 %
23	revistatyca.org.mx Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Tecnológica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
25	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1 %
26	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
27	es.readkong.com Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.utad.pt Fuente de Internet	<1 %
29	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
30	www.guheat.tcagp.upd.edu.ph Fuente de Internet	<1 %
31	docplayer.es	

	Fuente de Internet	<1 %
32	www.fontagro.org Fuente de Internet	<1 %
33	revistas.ufrj.br Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Liberty University Trabajo del estudiante	<1 %
35	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
36	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
37	www.aet.org.es Fuente de Internet	<1 %
38	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
39	David Vinué Visús. "Estimación de la biomasa forestal con imágenes de Sentinel-2 para la mejora de la gestión forestal en zonas mediterráneas", Universitat Politecnica de Valencia, 2023 Publicación	<1 %
40	www.cienciavitae.pt Fuente de Internet	<1 %

41	www.conafor.gob.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
42	A. Horrillo, P. Gaspar, C. Díaz-Caro, M. Escribano. "A scenario-based analysis of the effect of carbon pricing on organic livestock farm performance: A case study of Spanish dehesas and rangelands", Science of The Total Environment, 2021 Publicación	<1 %
43	Submitted to Embry Riddle Aeronautical University Trabajo del estudiante	<1 %
44	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
45	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
46	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
47	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
48	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Trabajo del estudiante	<1 %
49	ecologyandsociety.org Fuente de Internet	<1 %

50	edepot.wur.nl Fuente de Internet	<1 %
51	Submitted to Zamorano University Trabajo del estudiante	<1 %
52	repositorio.upeu.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
53	dl.djicdn.com Fuente de Internet	<1 %
54	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
55	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	www.econodron.com Fuente de Internet	<1 %
57	CESEL S A. "ITS de las Líneas de Transmisión Chilca – Zapallal a 500 kV y Chilca – Planicie – Zapallal a 220 kV.-IGA0013503", R.D. N° 0114-2021-MINEM/DGAAE , 2021 Publicación	<1 %
58	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %
59	www.itto.int Fuente de Internet	<1 %
60	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %

61	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
62	fdocuments.net Fuente de Internet	<1 %
63	INSETECO SRL. "ITS del Proyecto Levantamiento Sísmico 2D de 22.28 km de Líneas Adicionales en el Lote XXIX-IGA0016588", R.D. N° 444-2019-MINEM-/DGAAH, 2022 Publicación	<1 %
64	academic.oup.com Fuente de Internet	<1 %
65	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
66	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
67	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
68	repositorio.iiap.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
69	app.sni.gob.ec Fuente de Internet	<1 %
70	publications.aston.ac.uk Fuente de Internet	<1 %

71 storage.googleapis.com <1%
Fuente de Internet

72 revistas.unj.edu.pe <1%
Fuente de Internet

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 15 words
Excluir bibliografía Apagado


Dr. Miguel A. Puentes Chully
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1979-9572>
Docente EPG-Asesor de Tesis

DEDICATORIA

Esta investigación es dedicada a Dios y a mis padres por el apoyo constante, motivación y esfuerzo.

AGRADECIMIENTO

A dios por darme la vida y brindarme la fortaleza y tenacidad para cumplir el desarrollo de la presente tesis.

A mis padres Julio Cesar Jimenez Chorres y Yojani Dios Olaya por el apoyo constante en el desarrollo profesional estando en los buenos y malos momentos.

A Verina Cabrera Dioses y Arbildo García Núñez, por el apoyo durante la ejecución en campo de la presente investigación.

Al Dr. Miguel Puestas Chully, por su asesoramiento durante la ejecución del proyecto de tesis.

Agradezco a Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral (AIDER), por el apoyo y facilidades para ejecutar la presente tesis en comunidades campesinas.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I	24
INTRODUCCIÓN	24
CAPITULO II	27
REVISIÓN DE LITERATURA	27
2.1. Antecedentes	27
2.2. Bases teóricas -científicas	31
2.2.1. Fotogrametría	31
2.2.2. Vehículos aéreos no tripulados	32
2.2.3. Fotointerpretación	32
2.2.4. Segmentación de imágenes.....	33
2.2.5. Índices de vegetación	33
2.2.6. Secuestro de carbono	33
2.2.7. Bosque seco	34
CAPITULO III	36
MATERIALES Y METODOS	36
3.1. Tipo de investigación	36
3.2. Ubicación del área de estudio	36
3.3. Población y muestra.....	39
3.4. Unidades de muestreo	42
3.5. Equipos y materiales	43
3.5.1. Software.....	43
3.5.2. Equipos.....	43
3.5.3. Materiales	44
3.6. Parámetros de evaluación.....	44
3.7. Ecuaciones alometricas para estimar biomasa aérea y carbono forestal	45
3.8. Estimación de biomasa subterránea	46
3.9. Fracción de carbono	46

3.10. Parámetros de vuelo	47
3.11. Procesamiento de imágenes aéreas	47
3.11.1. Carga y procesamiento de imágenes	47
3.11.2. Orientación de fotografías aéreas.....	48
3.11.3. Generación de nube densa de puntos	48
3.11.4. Modelo digital de elevación y ortomosaico.....	49
3.11.5. Modelo digital de terreno	50
3.11.6. Modelo de altura de copas (CHM).	51
3.12. Delimitación de copa de árboles	51
3.12.1. Fotointerpretación de imágenes aéreas.....	51
3.12.2. Segmentación de imágenes mediante i. segment.....	52
3.12.3. Segmentación mediante cuencas inversas (IWS).....	53
3.12.4. Segmentación mediante índices de vegetación	54
3.12.5. Cálculo de altura total	55
3.13. Cálculo de diámetro de copa.....	55
3.14. Exactitud general	56
3.15. Correlación de variables dasometricas.....	56
3.16. Análisis de error	56
CAPITULO IV	58
RESULTADOS Y DISCUSIONES	58
4.1. Contenido de carbono en la regeneración natural en tres comunidades campesinas	58
4.1.1. Contenido de carbono en la comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera	58
4.1.2. Contenido de carbono en la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado	59
4.1.3. Contenido de carbono en la comunidad campesina Cury Lagarto.....	60
4.2. Detección de árboles y regeneración natural	62
4.2.1. Fotointerpretación de imágenes aéreas.	62
4.2.2. Segmentación de copas mediante i. segment	63

4.2.3. Índices espectrales de vegetación	63
4.2.4. Segmentación mediante cuencas inversas (IWS)	66
4.3. Ecuaciones alométricas para relacionar variables dasométricas y datos RPA 68	
4.3.1. Fotointerpretación de imágenes aéreas	69
4.3.2. Segmentación mediante cuencas inversas (IWS)	75
CAPITULO V	85
CONCLUSIONES	85
CAPITULO VI	86
RECOMENDACIONES	86
CAPITULO VII	87
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	87
ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comunidades campesinas del departamento de Piura como zona de estudio ...	36
Tabla 2. Características fisiográficas de las comunidades campesinas	38
Tabla 3. Especificaciones técnicas del equipo RPA Phantom 4 Multiespectral.....	43
Tabla 4. Parámetros de evaluación en inventario forestal	45
Tabla 5. Ecuaciones alométricas para estimar carbono forestal.....	45
Tabla 6. Parámetros de vuelo del equipo RPA.....	47
Tabla 7. Combinaciones minsize y theshold para aplicar el algoritmo i.segment.....	52
Tabla 8. Índices espectrales de vegetación	54
Tabla 9. Parámetros estadísticos del contenido de carbono en la comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera.....	59
Tabla 10. Parámetros estadísticos del contenido de carbono en la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado	60
Tabla 11. Parámetros estadísticos del contenido de carbono en la comunidad campesina Cury Lagarto	61
Tabla 12. Exactitud global de las combinaciones minsize y theshold.	63
Tabla 13. Parámetros estadísticos de la regresión lineal de fotointerpretación DAP y DC (RPA)	70
Tabla 14. Parámetros estadísticos de la regresión lineal de fotointerpretación AT y DC (RPA)	70
Tabla 15. Parámetros estadísticos de la regresión lineal de fotointerpretación DC y DC RPA.....	71
Tabla 16. Parámetros estadísticos de la regresión lineal de fotointerpretación AT y AT(RPA)	73
Tabla 17. Parámetros estadísticos de la regresión lineal de fotointerpretación DAP y AT (RPA)	73
Tabla 18. Parámetros estadísticos de la regresión lineal de fotointerpretación DC y AT (RPA)	74
Tabla 19. Parámetros estadísticos de la regresión lineal IWS DC y DC (RPA).....	76
Tabla 20. Parámetros estadísticos de la regresión lineal IWS DAP y DC (RPA)	76
Tabla 21. Parámetros estadísticos de la regresión lineal IWS AT y DC (RPA).....	77
Tabla 22. Parámetros estadísticos de la regresión lineal IWS AT y AT (RPA)	79
Tabla 23. Parámetros estadísticos de la regresión lineal IWS DAP y AT (RPA)	79
Tabla 24. Parámetros estadísticos de la regresión lineal IWS DC y AT (RPA).....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación, comunidades campesinas del área de estudio.....	37
Figura 2. Unidad muestral en la C.C. José Ignacio Távora Pasapera	39
Figura 3. Unidad muestral de la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado.....	40
Figura 4. Unidad muestral de la comunidad campesina Cury Lagarto	41
Figura 5. Unidad muestral para vuelo de equipo RPA	42
Figura 6. Orientación de fotografías aéreas	48
Figura 7. Generación de puntos de nube densa.....	49
Figura 8. Generación de modelo digital de elevación	49
Figura 9. Generación de ortomosaico	49
Figura 9. Generación de ortomosaico	50
Figura 10. Generación del modelo digital del terreno.....	50
Figura 11. Delimitación manual de copas arbóreas.	51
Figura 12. Generación de ráster del algoritmo i.segment.....	53
Figura 13. Ráster del modelo digital de copas CHM	53
Figura 14. Interfaz de estadística de zona.....	55
Figura 15. Detección de árboles mediante fotointerpretación.....	64
Figura 16. Umbralización de NDVI (0.1 - 0.6)	64
Figura 17. Umbralización de MSAVI (0.1 - 0.6).....	65
Figura 18. Umbralización NDRE (0.1 - 0.6)	65
Figura 19. Delineación de copas mediante segmentación de cuencas inversas	68
Figura 20. Regresión lineal de fotointerpretación entre DAP y DC (RPA)}	70
Figura 21. Regresión lineal de fotointerpretación entre AT y DC (RPA).....	71
Figura 22. Regresión lineal de fotointerpretación entre DC y DC RPA.....	72
Figura 23. Regresión lineal de fotointerpretación entre AT y AT (RPA)	73
Figura 24. Regresión lineal de fotointerpretación entre DAP y AT (RPA)	74
Figura 25. Regresión lineal de fotointerpretación DC y AT (RPA).....	75
Figura 26. Regresión lineal de IWS entre DC y DC (RPA).....	76
Figura 27. Regresión lineal de IWS entre DAP y DC (RPA).....	77
Figura 28. Regresión lineal de IWS entre AT y DC (RPA).....	78
Figura 29. Regresión lineal de IWS entre AT y AT (RPA)	79
Figura 30. Regresión lineal de IWS entre DAP y AT (RPA)	80
Figura 31. Regresión lineal de IWS entre DC y AT (RPA)	81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Medición de altura utilizando el clinómetro	92
Anexo 2. Forma de medición de diámetro a la altura del pecho (DAP).....	93
Anexo 3. Carta de solicitud de permiso para volar el equipo RPA en la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado	94
Anexo 4. Medición de diámetro de copa en árboles.....	95
Anexo 5. Medición de diámetro de copa en arboles.....	95
Anexo 6. Identificación de brinzales	96
Anexo 7. Medición de altura de latizales.....	96
Anexo 8. Medición de altura en latizales.....	97
Anexo 9. Medición de altura de latizales.....	98
Anexo 10. Ficha de evaluación de fustales DAP > = 5 cm.....	99
Anexo 11. Ficha de evaluación de latizales DAP < 5 cm.....	100
Anexo 12. Ficha de recolección de datos de la regeneración natural asistida	101
Anexo 13. Contenido de carbono en la comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera	102
Anexo 14. Contenido de carbono en la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado .	103
Anexo 15. Contenido de carbono en la comunidad campesina Cury Lagarto	104
Anexo 16. Diagrama de cajas y bigotes del contenido de carbono en la CC. José Ignacio Távara Pasapera	106
Anexo 17. Diagrama de cajas y bigotes del contenido de carbono en la CC. Juan Velasco Alvarado.....	107
Anexo 18. Diagrama de cajas y bigotes del contenido de carbono de la CC. Cury Lagarto	107
Anexo 19. Informe de procesamiento de fotografías aéreas.....	108
Anexo 20. Exactitud general de la detección mediante fotointerpretación	116
Anexo 21. Exactitud general de la detección i.segment t 0.05 y min 4500	117
Anexo 22. Exactitud general de la detección i.segment t0.65 y min 100	118
Anexo 23. Exactitud general de la detección i.segment t 0.03 y min 4000	119
Anexo 24. Exactitud general de la detección i.segment t 0.05 y min 200	120
Anexo 25. Exactitud general de la detección i.segment t0.05 y min 5000	121
Anexo 26. Exactitud general de la detección mediante segmentación de cuencas inversas (IWS)	122
Anexo 27. Exactitud general de la detección de regeneración natural mediante fotointerpretación.....	123
Anexo 28. Exactitud general de la detección de regeneración natural mediante segmentación de cuencas inversas (IWS).....	124

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo estimar el contenido de carbono de la regeneración natural, detectar mediante fotografías aéreas los individuos inventariados en campo y correlacionar las variables dasométricas de campo con las variables dasométricas obtenidas mediante RPAS. La metodología consiste en levantar unidades de muestreo en tres comunidades campesinas para determinar el contenido de carbono. Posteriormente se realizó un vuelo del equipo RPAS a 100 metros de altura en 16 hectáreas, donde se inventariaron árboles, latizales y brinzales. Las fotografías aéreas se procesaron en el software Agisoft Metashape obteniendo el modelo digital de terreno (MDT), modelo digital de elevación (MDE) y ortomosaico, los cuales se utilizaron para detectar los individuos forestales inventariados aplicando la fotointerpretación, segmentación mediante i.segment, índices espectrales de vegetación y segmentación de cuencas inversas (IWS). Finalmente se correlacionaron los datos obtenidos en campo y los datos obtenidos mediante RPAS según el modelo de detección utilizando la regresión lineal en el software R studio. Los resultados muestran la línea base de almacenamiento de carbono de la regeneración natural asistida en la comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera, Juan Velasco Alvarado y Cury Lagarto. La fotointerpretación es el modelo de mayor exactitud general con un valor 68.21% para la detección de árboles, sin embargo, el sesgo es muy amplio para ser utilizado en un inventario forestal, en el caso de la regeneración natural y latizales no es posible detectar con una exactitud general significativa. La correlación entre las variables muestra una alta concordancia entre diámetros de copas y alturas, obteniendo medidas de precisión altas con errores bajos en los valores predichos.

Palabras claves: Carbono, Regeneración Natural, Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia, Fotografías Aéreas.

ABSTRACT

The objective of this research was to estimate the carbon content of natural regeneration, detect through aerial photographs the individuals inventoried in the field and correlate the field dasometric variables with the dasometric variables obtained through RPAS. The methodology consists of collecting sampling units in three peasant communities to determine the carbon content. Subsequently, a flight of the RPAS equipment was carried out at 100 meters above sea level in 16 hectares, where trees, grasslands and saplings were inventoried. The aerial photographs were processed in the Agisoft Metashape software, obtaining the digital terrain model (MDT), digital elevation model (DEM) and orthomosaic, which were used to detect the forest individuals inventoried by applying photointerpretation, segmentation using i.segment, spectral vegetation indices and inverse watershed segmentation (IWS). Finally, the data obtained in the field and the data obtained through RPAS were correlated according to the detection model using linear regression in the R studio software. The results show the carbon storage baseline of assisted natural regeneration in the José Ignacio Távara Pasapera, Juan Velasco Alvarado and Cury Lagarto peasant community. Photointerpretation is the model with the highest general accuracy with a value of 68.21% for the detection of trees, however the bias is too wide to be used in a forest inventory, in the case of natural regeneration and latizals it is not possible to detect with a significant overall accuracy. The correlation between the variables shows a high agreement between crown diameters and heights, obtaining high precision measurements with low errors in the predicted values.

Keywords: Carbon, Natural Regeneration, Remotely Piloted Aircraft System, Aerial Photographs

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El cuarto informe del Panel Intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC), confirma que el calentamiento global de la superficie del planeta ha sido inducido por las actividades humanas, específicamente por el aumento de los Gases de efecto invernadero (GEI), como consecuencia del incremento de las actividades económicas y productivas de la revolución industrial y tendencia actual de consumo y uso no sostenible de los recursos naturales. En su quinto informe, el IPCC, concluye que en los últimos años se ha incrementado la temperatura promedio de la atmosfera, ha disminuido la extensión de los glaciales y aumentado la concentración de GEI en la atmosfera, el informe enfatiza que la influencia humana es inequívoca a la variación climática, y se requiere reducir de manera drástica las emisiones, para mantener en largo plazo el incremento de temperatura por debajo de los 1.5 °C. (MINAM, 2015).

El Perú se caracteriza por es un país con ecosistemas particularmente vulnerables al cambio climático, presenta siete de las nueve características, reconocidas por la CUMNUCC: (i) zonas costeras bajas, (ii) zonas áridas y semiáridas, (iii) zonas expuestas a inundaciones, sequias y desertificación, (iv) ecosistemas montañosos frágiles, (v) zonas propensas a desastres, (vi) zonas con alta contaminación atmosféricas y (vii) económica dependientes en gran medida de los ingresos generados por la producción y uso de combustible fósiles. (MINAM, 2015), siendo la categoría Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura

(USCUSS) la principal fuente de emisiones de GEI y representa el 51% del INGEI 2012, con 86742 GgCO₂ equivalente. (MINAM, 2016).

En el departamento de Piura, ya se observa los efectos del cambio climático, como una tendencia sostenida del incremento de la temperatura atmosférica promedio y de las temperaturas extremas (mínimas y máximas, diarias y estacionales) que van modificando las condiciones climáticas progresivamente en la que la población desarrolla su estilo de vida. La mayor probabilidad de recurrencia del fenómeno del niño, afectaría directamente la economía regional, otros eventos que se verían modificados en su intensidad y frecuencia por el cambio climático es la sequía, como en el 2004 afecto la demanda hídrica del sector agrícola y poblacional (Gobierno Regional de Piura, 2013).

Para enfrentar esta problemática, se ha creado algunos mecanismos internacionales como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático (1994) y el Protocolo de Kioto, los países firmantes se proponen a mitigar los GEI, a nivel que frene los efectos del sistema climático y promueva la adaptación de los sistemas de vida de la población. (Consejo Nacional del Ambiente, 2006). Como medida de mitigación y adaptación al cambio climático están los bosques que proporcionan múltiples bienes y servicios ecosistémicos, cumplen funciones reguladoras claves en procesos relacionados con el suelo, agua, aire, clima, paisaje ambiente y la vida en general. (FAO, 2016). La estrategia de mitigación incluyen la reducción de la emisiones derivadas de la deforestación, degradación del bosque y mejorar la función de los bosques como sumideros de carbono, estas estrategias de mitigación se convierten en proyectos, los cuales buscan recibir incentivos mediante créditos de carbono. (AIDER, 2015).

AIDER desde el 2011 ha propuesto alternativas enfocadas a la adaptación y mitigación ante el cambio climático, bajo un esquema de pago por servicios ecosistémicos a través del diseño e implementación de proyectos que favorecen la regeneración natural del bosque, mediante el modelo de protección y manejo de la regeneración natural con la participación activa de la población. (AIDER, 2015).

Por este motivo, para contribuir a la mitigación del cambio climático y proporcionar información científica para diseñar proyectos de carbono y promover el desarrollo

local de las comunidades, se estimó el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea y subterránea de la regeneración natural asistida y obtener ecuaciones alométricas que correlacione datos de campo con datos por fotografías aéreas, con la finalidad de agilizar el monitoreo del incremento de los sumideros de carbono y analizar la dinámica del bosque.

El objetivo principal de la investigación es estimar el contenido de carbono de la regeneración natural y detectar las variables dasométricas mediante Rpas en tres comunidades campesinas de Piura, 2023”.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

AIDER, (2015), En la investigación denominada “Evaluación de factibilidad de proyectos de carbono forestal en el Santuario Histórico Bosque de Pómac – SHBP”, área natural protegida ubicada en el norte del Perú, departamento de Lambayeque que posee una extensión de 5,887 ha. Es una de las cuatro áreas categorizada como santuario histórico en el sistema de áreas protegidas del Perú y conserva áreas representativas de bosque seco. Esta ANP sufre fuerte presión de ocupación del territorio, ocasionando la pérdida y degradación del ecosistema. Una de las principales causas es el ingreso sistemático de personas a talar árboles para obtener leña y carbón de algarrobo, madera de sapote para artesanías y del faique para embarcaciones. Por otra parte el 50% de las familias de la zona de amortiguamiento mantiene una ganadería extensiva de caprinos y ovinos. Esto constituye una constante amenaza. Como alternativa de conservación y restauración, en el 2012 se diseñó una estrategia que consiste en desarrollar actividades de reducción de emisiones de la deforestación y degradación del bosque, incrementos de contenido de carbono forestal y reforestación. Con estas acciones se protegerían los bosques y restaurarían las áreas deforestadas. Aplicando la estrategia se generaría 402 383.29 TCO₂ -e al año de inicio del proyecto.

Campos, (2017); En su investigación denominado “evaluación del nivel de carbono en bosques secundario a través de las características morfológicas de la especie forestal xerofítica (*Prosopis pallida*)”, realizada en el caserío

humedales altos del distrito de Salas, con el propósito de evaluar el nivel de carbono del algarrobo, debido al manejo inadecuado de estos recursos ya que los pobladores deforestan inconscientemente. Delimitaron parcelas de 100 m x 100 m, en el cual se realizó un inventario forestal, posteriormente mediante el método indirecto de medición en biomasa fresca, estimaron la captura de carbono, a partir de diámetro a la altura del pecho (DAP). Los resultados muestran una estimación de biomasa fresca mediante la ecuación de CASTILHO y la ecuación de captura de carbono $CC = BS \cdot 0.47$, obteniendo una estimación de 11.045 Tn/ha de carbono y una reducción de 40.5 Tn de CO₂.

Chang, Yeom, Jung, & Landivar, (2020), En su investigación compararon la forma del dosel y los índices de vegetación de naranjos infectados sanos para comprender mejor sus características significativas utilizando imágenes multiespectrales basadas en vehículos aéreos no tripulados (UAV). Los árboles se identificaron mediante umbralización filtrado morfológico, donde utilizaron el umbral de 0.6 para NDVI, clasificando los píxeles de cobertura vegetal o sin vegetación. Los fenotipos basados en UAV de cada árbol, como altura, diámetro de copa volumen de copa, se calcularon evaluaron con medidas de suelo correspondiente. También compararon los índices de vegetación de árboles infectados sanos para investigar sus diferencias espectrales. Los resultados mostraron coeficientes de correlación de la altura de los árboles diámetro de copa entre las mediciones terrestres y basadas en UAV fueron de 0.7 y 0.8 respectivamente.

De Lima Neto, Biondi, Araki, & Bobrowski, (2012); Tuvo como objetivo medir las copas arbóreas mediante fotografías aéreas de las calles de Curitiba (PR), con el objetivo de apoyar en el monitoreo de los arboles. Utilizaron tres áreas de muestreo de arbolado callejero en la ciudad de Curitiba, la medición se realizó en un programa de Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando ortofotos de las unidades muestrales. Compararon las copas de los arboles obtenidas digitalmente y mediante el método convencional,

logrando obtener en sus resultados que no existe diferencia significativa entre el método convencional y el método realizado en un entorno SIG.

Gallardo-Salazar & Pompa García, (2020); En su investigación propone una metodología para extraer características a nivel de árbol utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV), en un área de pinos distribuida espacialmente de forma regular. El análisis incluyó diferentes índices de vegetación estimados con un ortomosaico de alta resolución. Se encontraron resultados estadísticamente confiables a través de un flujo de trabajo de tres fases que consiste en la adquisición de imágenes, análisis del dosel y validación con mediciones de campo. De los 117 árboles en campo, 112 (95%), fueron detectados por el algoritmo, mientras que la altura, el área y el diámetro de copa fueron subestimados en 1.78 m, 7.58 m² y 1.21 m respectivamente. Los atributos individuales de los árboles obtenidos del UAV, como altura total (H) y el diámetro de copa (CD), permitieron generar buenas ecuaciones alométricas para inferir diámetro basal (BD) y diámetro a la altura del pecho (DAP) con R² de 0.76 y 0.79, respectivamente. Los índices espectrales fueron útiles como parámetros de vigor de los árboles, aunque destacó el NDVI, como el mejor proxy para monitorear la condición fitosanitaria del huerto. La consistencia de los resultados permite su aplicación en campo, incluyendo la complementación de información espectral que se puede generar; el aumento de la precisión y la eficiencia plantea un camino hacia los inventarios modernos.

Nasiri, y otros, (2021); En su investigación busca el potencial de las imágenes aéreas UAV de bajo costo para estimar altura de los árboles y diámetro de copa. Realizaron 2 vuelos en dos diferentes estaciones correspondientes a las condiciones leaf-off y leaf-on, para generar un modelo de terreno digital y un modelo superficial digital, que se emplearon además en el cálculo de un modelo de altura del dosel (CHM) para estimar la altura de los árboles, mientras el diámetro de copa se estimó mediante un algoritmo de segmentación de cuencas inversas. Las estimaciones de altura de árbol y diámetro de copa basadas en UAV se validaron con mediciones de campo y dieron resultados de 3.22 m (10.1%) y 0.81 m (7.02%) de errores

cuadráticos medios. Los resultados mostraron una alta concordancia entre las estimaciones y medidas de campo con un R^2 de 0.808 para la altura de árbol y un R^2 de 0.923 para el diámetro de copa. En general los resultados son aceptables y se confirma la utilidad de este enfoque para estimar la altura y diámetro de copa.

Panagiotidis, Abdollahnejad, Surovy, & Chiteculo, (2016); En su investigación usaron imágenes de alta resolución detectados por UAV a través de fotogrametría y estructura de movimiento (DfM) para estimar alturas de los árboles y los diámetros de las copas. Así mismo reconstruyeron estructuras 3D a partir de secuencias de imágenes 2D para dos áreas de 25 x 25 metros. Las especies compuestas en la parcela 1 incluía picea de noruega (*Picea abies L.*), alerce europeo (*Larix decidua Mill*) y pino silvestre (*Pinus sylvestris L.*). Mientras que la parcela 2 tiene principalmente picea de noruega y pino silvestre junto con individuos de alerce y abedul plateado (*Betula pendula Roth.*). el flujo de trabajo involucró modelos de altura de dosel (CHM) para obtener la altura de las especies forestales, el suavizado de las imágenes raster para obtener los máximos locales y la segmentación inversa de cuencas hidrográficas (IWS) para estimar los diámetros de copa con ayuda de un software (SIG). Finalmente se validaron la precisión de los datos comparando los resultados del UAV con las mediciones terrestres. Los resultados mostraron mayor concordancia entre los datos de campo y de teledetección para alturas que para los diámetros de copa basado en RMSE% que estaban en rango de 11.42 a 12.62 para altura y de 14.29 a 18.56 para diámetro de la copa, por lo general la precisión de los resultados fue aceptable y mostro metodos factibles para detectar alturas de árboles y diámetro de copa.

Grznárová, y otros, (2019); Este estudio tuvo como objetivo identificar la influencia de las especies de árboles en la precisión de la estimación del diámetro de copa a partir de imágenes de vehículos aéreos no tripulados de alta resolución. En la parcela 1 con especies forestales de hojas caducas identificaron 24 de 34 arboles lo que lleva a una tasa de detección del 71%. Los errores RMSE calculados entre los diámetros de copa de referencia y los diámetros de copa estimados por IWS en la parcela 1 y parcela 2 se calcularon en 0.80 m y 1.89 m, respectivamente.

Vargas, (2022), Este estudio fue desarrollado en el Bosque de Yanahuanca, distrito Bellavista, Jaén ; determinó la correlación entre diámetros de fuste y copa *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. Declarada “En Peligro” (EN), que es endémica del Bosque Tropical Estacionalmente Seco (BTES) y nativa de la región Nororiental del Marañón. El tamaño de la muestra se definió utilizando la ecuación de poblaciones infinitas , considerando un “t” del 95%, error del 5% y un coeficiente de variación de 11.77, obteniendo una unidad muestral de 30 arboles, registrando los atributos de forma de fuste y copa, iluminación de copa y otros. El diámetro de fuste se obtuvo por medición con cinta métrica y el diámetro de copa mediante digitalización de ortomosaicos obtenidos por RPA (sistema de Aeronave Pilotada a Distancia). La correlación entre diámetro de fuste y diámetro de copa fue de 0.937, con un coeficiente de determinación R^2 de 0.878. para corroborar fue calculada la correlación entre área basal y área de copa proyectada resultando igual a 0.768.

2.2. Bases teóricas -científicas

2.2.1. Fotogrametría

La fotogrametría según Bonneval, es la técnica que tiene como propósito definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto utilizando medidas hechas de una o varias fotos. Etimológicamente la palabra fotogrametría significa métrica de los escritos por luz, en esencia, la ciencia que utiliza fotografías para hacer medidas. (Quiroz, 2014).

Un RPA es una aeronave pilotada remotamente por una persona ubicada fuera de la aeronave (es decir en tierra, barco o en otra aeronave) quien

monitorea la aeronave en todo momento y tiene responsabilidad directa en la conducción segura de la aeronave durante el vuelo. Un RPA puede poseer varias tecnologías de piloto automático, pero en todo momento el piloto puede intervenir en la gestión del vuelo. Las aeronaves no tripuladas están subcategorizadas. Existen diversas denominaciones a estos vehículos según origen y etimología, las más conocidas son: DRON; denominado en el ámbito militar. La etimología proviene de 'drone' que viene de draen, abeja macho o zángano, el cual hace referencia al zumbido producido por sus motores, similares a los zánganos volando. UAV; Unmanned Aerial vehicle (vehículo aéreo no tripulado), termino obsoleto. (CENEPRED, 2017, p12)

2.2.2. Vehículos aéreos no tripulados

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV), son nuevas plataformas que se han utilizado cada vez más en los últimos años para aplicaciones forestales que se benefician del valor agregado por su flexibilidad, bajo costo, confiabilidad, autonomía y capacidad de suministro oportuno de datos de alta resolución. Las principales tecnologías están basadas en imágenes RGB, multiespectral e infrarrojo cercano. Los sensores LiDAR se están volviendo comúnmente utilizados para mejorar las estimaciones de los rasgos relevantes de la planta. Las principales aplicaciones forestales apuntan a inventariar recursos, mapear enfermedades, clasificar especies, monitorear incendios y estimación de brechas espaciales. (Matese, 2020).

Los modelos digitales de terreno son datos numéricos en conjunto que describen la distribución espacial de las características del territorio. Se puede realizar diversos tipos de MDT, entre estos modelos están los MDE (Modelo digital de elevaciones), datos numéricos que representa la altitud espacial de la superficie terrestre. MDS (Modelo digital de superficie), incluye en su estructura numérica los elementos elevados de la superficie terrestre tales como edificios, arboles, etc. (Quiroz, 2014).

2.2.3. Fotointerpretación

La fotointerpretación se basa en la identificación de usos sobre las imágenes de unidades de información, según la leyenda propuesta. Esta identificación se apoya en criterios clásicos de forma, tamaño, textura, tonalidad,

asociación contextual, etc. El resultado es la delimitación de polígonos de información, se atribuye un código de información según las clases previstas en la leyenda. (Universidad de Murcia, 2004).

2.2.4. Segmentación de imágenes

La segmentación de imágenes o reconocimiento de objetos es el proceso de agrupar píxeles similares en segmentos únicos, también denominados objetos. Se implementa un algoritmo de fusión y crecimiento de regiones. A cada objeto encontrado durante el proceso de segmentación se le asigna una identificación única y es una colección de píxeles contiguos que cumplen algunos criterios. Durante el procesamiento normal, solo se permite fusiones cuando la similitud entre dos segmentos es inferior al valor del umbral dado. Sin embargo durante el paso final, se proporciona un tamaño de segmento mínimo de 2 o mayor con un parámetro *minsize*, los segmentos con un recuento de píxeles menores se fusionarán con su vecino más similar incluso si la similitud es mayor que el umbral. El umbral debe ser mayor que 0 y menor que 1. Un umbral de 0 permitirá fusionar píxeles con valores idénticos, mientras que un umbral de 1 permitiría fusionar todo. Para reducir el efecto sal y pimienta, un tamaño mínimo mayor que 1 agregará una pasada adicional al procesamiento. Durante el paso final el umbral se ignora para cualquier segmento más pequeño que el tamaño establecido, lo que obliga a los segmentos muy pequeños a fusionarse con su vecino similar. (Momsen, 2023).

2.2.5. Índices de vegetación

Los índices de vegetación, son parámetros calculados a partir de los valores de reflectividad a distintas longitudes de onda y pretende obtener información relacionada con la vegetación, minimizando la influencia por perturbaciones ocasionadas por el suelo y atmósfera (Gilbert, González-Piqueras, & García-Garo, 1997).

2.2.6. Secuestro de carbono

Secuestro de carbono, es el ciclo de carbono está determinado por el almacenamiento y transferencia entre atmósfera, biósfera, litósfera y océanos. El stock de carbono es todo lo que se encuentra almacenado en

los diferentes componentes y los flujos son todos aquellos procesos que afectan al stock. Para diferenciar los flujos y stocks de carbono se considera las unidades de medida. Los stocks de carbono se expresan en términos de peso por unidad de área (Mg/ha), mientras los valores de flujo incluyen tiempo y cuantifican el carbono que entra o sale de un componente del stock de carbono en el tiempo (Mg ha⁻¹ año⁻¹). Por ejemplo, la biomasa total del bosque es un stock, expresado en (Mg/ha), incluyendo el carbono almacenado en fuste, ramas, hojas, raíces, madera muerta, hojarasca y suelo. Sin embargo, la productividad neta como la respiración, mortalidad, descomposición y fotosíntesis son flujos que normalmente se expresan en (Mg ha⁻¹ año⁻¹). Un área determinada de bosque se considera sumidero de carbono si la cantidad almacenada aumenta en un periodo de tiempo. Esto es posible si en los flujos agregan carbono al stock, y el crecimiento es más alto que la mortandad en un periodo dado. (Honorio & Baker, 2010)

2.2.7. Bosque seco

Los bosques secos de las llanuras de la costa norte están dominados por algarrobales junto al sapote ya erguidos como árboles y especies arbustivas como el vichayo y overo. Subiendo hacia las partes altas de la cordillera, las colinas dejan ser dominio del algarrobo para dar paso a mayor diversidad destacando especies como el hualtaco (*Loxopterygium huasango*), palo santo (*Bursera graveolens*), pasallo (*Eriotheca ruizii*), etc. Mucho más al norte en tumbes, hacia el este las cadenas montañosas, son un brazo de los andes, conocido como la cordillera de los amotapes, dividido por el río Tumbes, esta parte los bosques secos son dominados por el ceibo (*Ceiba trichistandra*), pretino (*Cavanillesia platanifolia*) y el guayacán (*Tabebuia chrysantha*). Los bosques secos del Perú según el mapa WWF-CDC-UNALM, tiene 4'576 974 hectáreas, representa el 3.54% de la superficie nacional (Angulo, 2009).

El bosque estacionalmente seco de llanura es un ecosistema subárido, caducifolio, homogéneo y extenso, dominado por árboles de *Prosopis pallida* y *P. limensis* "Algarrobo". Corresponde a una fisonomía general de bosque de hasta 5-8 metros de altura, con arbustos y herbazales efímeros. Además

del *Prosopis* tiene especies como la *Vachelia macracantha* “faique” y *Colicodendron scabridum* “sapote”. Se distribuye desde el nivel del mar hasta los 500 msnm aproximadamente. Abarca una superficie de 1.12% (1'452.575.98 ha), del territorio nacional, distribuido en los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque La Libertad e Ica. (Ministerio de ambiente, 2019).

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación, de acuerdo al fin que persigue es de tipo aplicada y en relación al enfoque de la investigación es de tipo cuantitativa, descriptiva y correlacional, puesto que brinda información sobre el contenido de carbono de la regeneración natural asistida del bosque seco en tres comunidades campesinas del departamento de Piura y relaciona los datos dasométricos de campo y obtenidos mediante fotografías aéreas.

3.2. Ubicación del área de estudio

El área de estudio corresponde a las comunidades campesinas José Ignacio Távara Pasapera, Cury Lagarto y Juan Velasco Alvarado, departamento de Piura.

Tabla 1.

Comunidades campesinas del departamento de Piura como zona de estudio

Comunidad campesina	Distrito	Provincia	Departamento
José Ignacio Távara Pasapera	Chulucanas, Tambogrande y Catacaos	Morropón y Piura	Piura
Juan Velasco Alvarado	Morropón, Santo Domingo	Morropón	Piura
Cury Lagarto	Las Lomas, Sullana y Lancones	Sullana y Piura	Piura

Figura 1.

Mapa de ubicación, comunidades campesinas del área de estudio

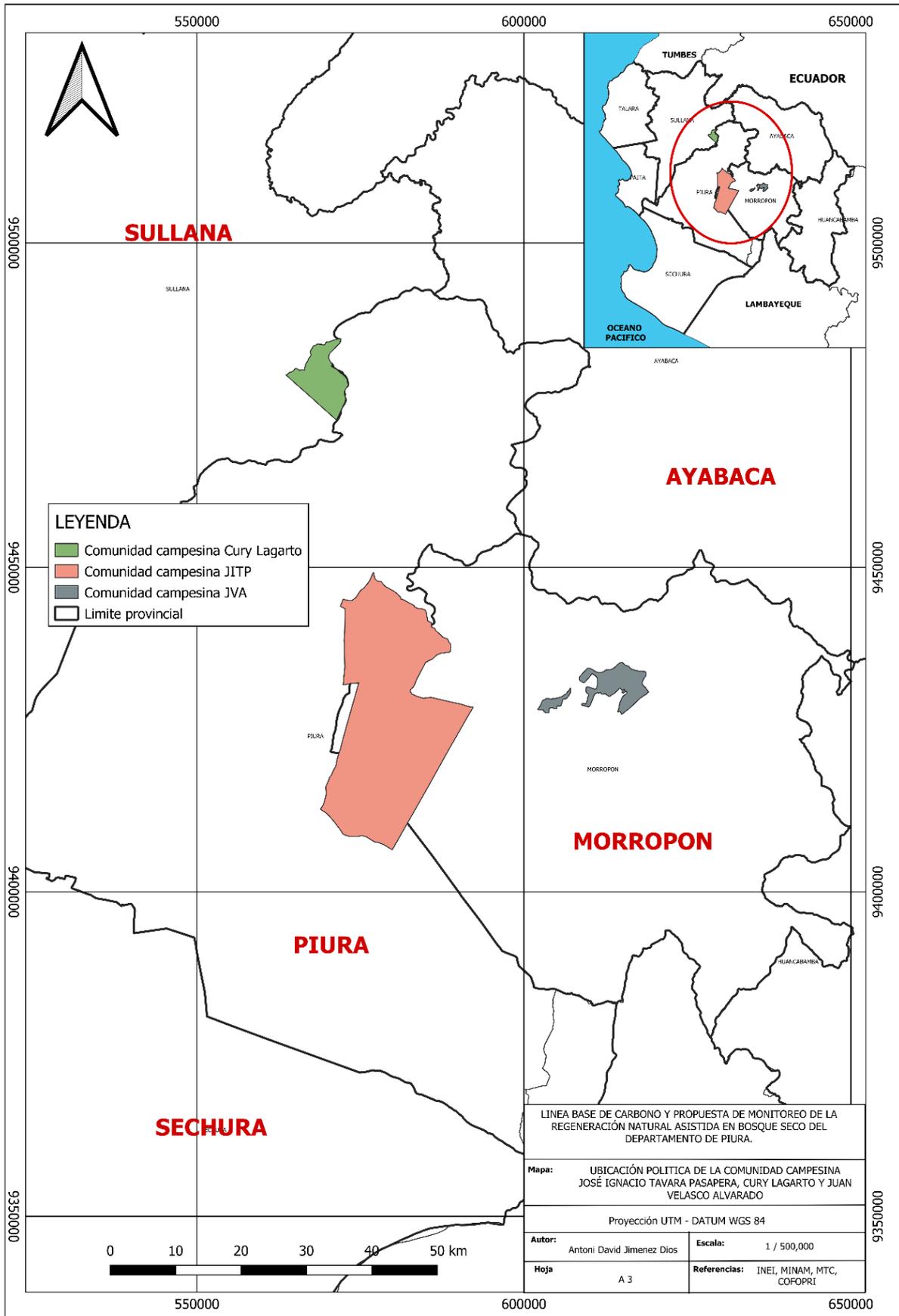


Tabla 2.

Características fisiográficas de las comunidades campesinas

Comunidad Campesina	Descripción
Comunidad Campesina Cury Lagarto	La comunidad campesina Cury Lagartos se ubica en el Sector de Cury, Distrito de Lancones, Provincia de Sullana, Región Piura y tiene una superficie de 5,470.33 ha. Su fisiografía es variada, con lomadas y ondulaciones moderadas, posee cerros con una topografía predominante, con pendientes de 5% a 20%. Presenta el bosque seco de llanuras y colinas, ubicado desde los 150 hasta los 200 msnm. La red hídrica la conforman quebradas como la buitrrera, que vierte sus aguas al río chipillico, es la red hidrográfica más importante de la zona. (Dávila, 2008; Bullón, 2014)
Comunidad Campesina José Ignacio Távara Pasapera	La comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera, su relieve varía de plano a ligeramente ondulado con pendiente de 2 a 5% asociadas a colinas de dunas. Tiene una superficie de 52,269 ha. El clima es cálido y seco, se ubica en la parte media de la cuenca Piura. El agua es escasa y debido a la limitada agua superficial el aprovechamiento se da a base de agua subterránea. (AIDER, 2015)
Comunidad campesina Juan Velasco Alvarado	La comunidad campesina Juan Velasco Alvarado, es parte de la cadena occidental montañosa de los Andes septentrional. El área de bosques en la zona la denominan cabecera de costa o comienzos de sierra entre 140 msnm, forma una rinconada con un conjunto de colinas bajas y medianas hasta los 850 msnm. Pertenece a la ecoregión de bosque seco ecuatorial y presenta un clima cálido árido en las

partes inferiores y templado semiarido en las partes altas. (Agroideas, 2011)

3.3. Población y muestra

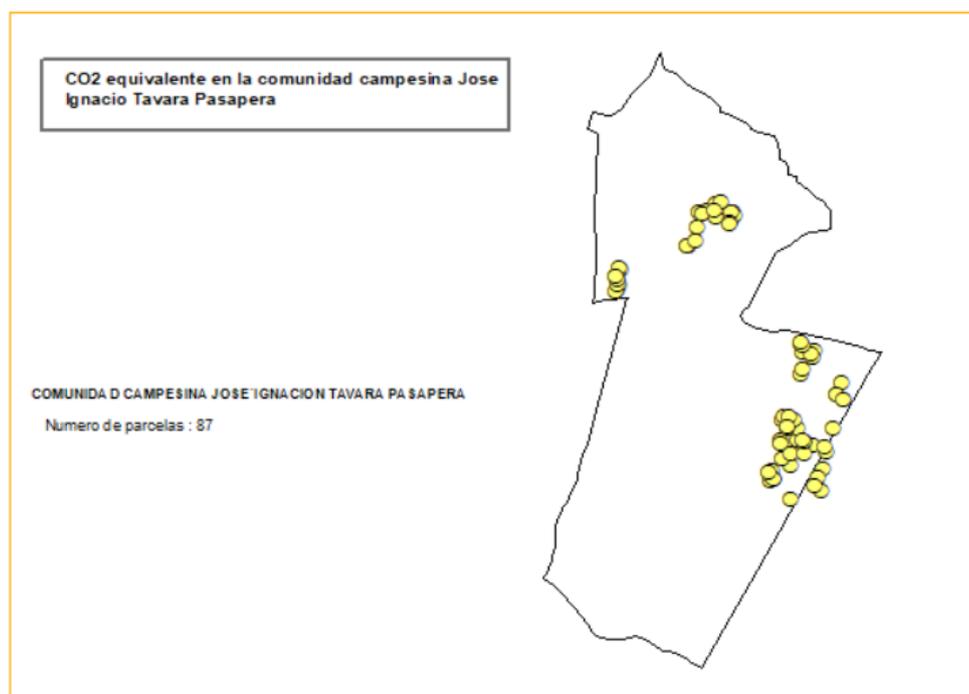
La población objetivo comprende el bosque seco de las comunidades campesinas José Ignacio Távara Pasapera, Cury Lagarto y Juan Velasco Alvarado. La muestra son la regeneración natural asistida el muestreo corresponde a las parcelas de evaluación.

El muestreo se diseñó en dos modelos.

En la comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera, la protección de la regeneración natural se realizó de manera grupal, se evaluó el 3% de la población, que corresponde a 87 unidades muestrales de 2901, respectivamente.

Figura 2.

Unidad muestral en la C.C. José Ignacio Távara Pasapera



La comunidad campesina Cury Lagarto y Juan Velasco Alvarado, se diseñó cuadrículas de 300 m x 300 m, en el contorno del área intervenida. Para el caculo del número de parcelas se empleó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{t^2 \cdot (CV)^2}{E^2}$$

Donde:

n: Número de muestras

t: Valor t obtenido de la tabla t de Student al 0.05

CV: Coeficiente de variación

E: Error de muestreo (10%)

Los coeficientes de variación para cada comunidad se determinaron mediante los diferentes inventarios que AIDER ha diseñado en la zona. Para la comunidad campesina de cury Lagarto el CV es de 45% y la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado el CV es de 56%.

Figura 3.

Unidad muestral de la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado

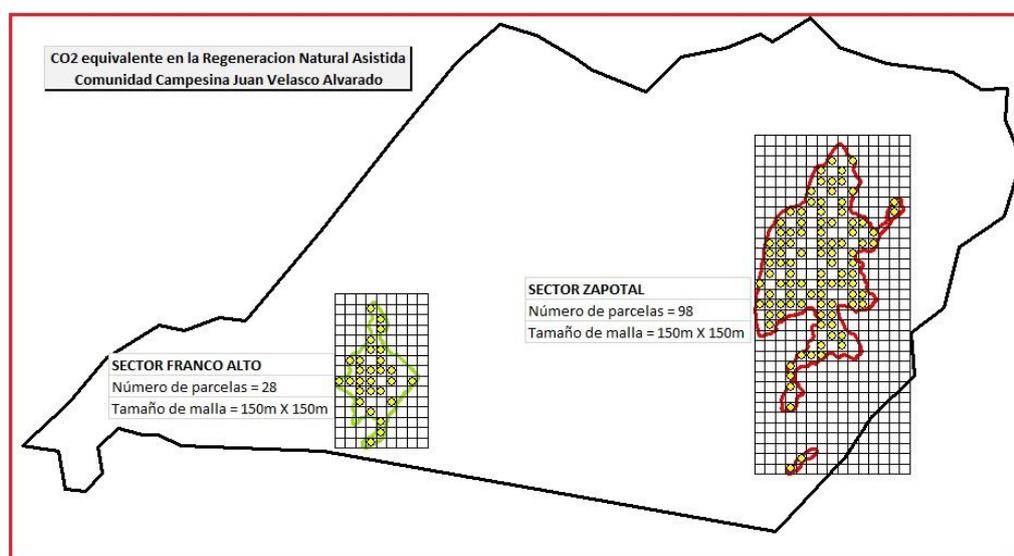
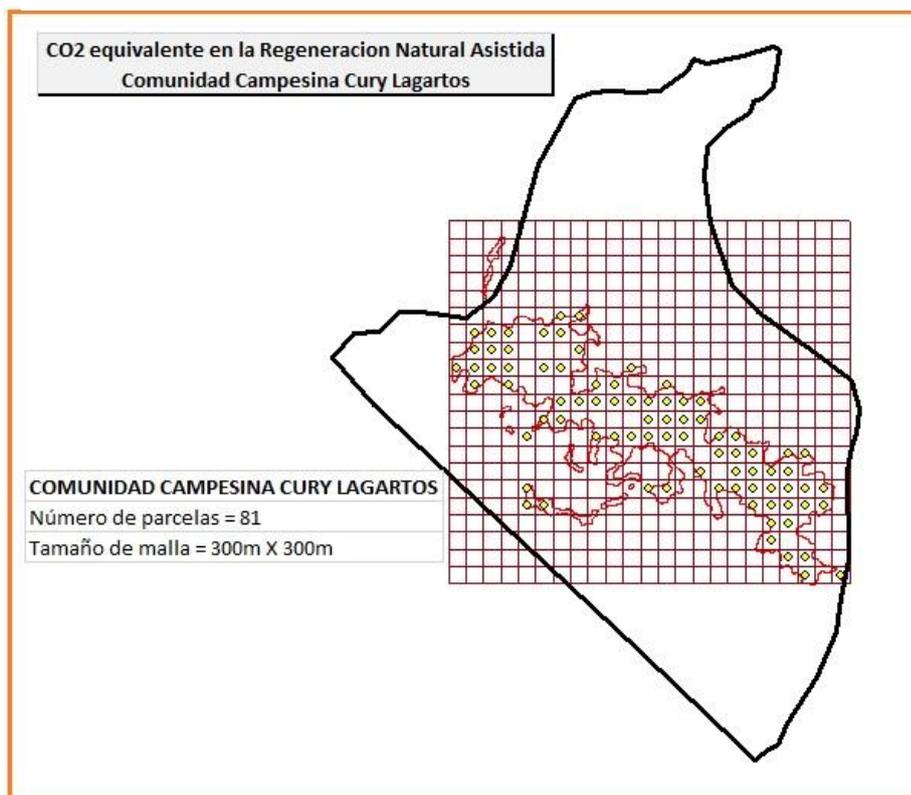


Figura 4.

Unidad muestral de la comunidad campesina Cury Lagarto



El Tamaño de muestra para realizar el vuelo de drones e inventario forestal para correlacionar datos, se realizó mediante la fórmula propuesta por la guía de inventario de la flora y vegetación del (MINAM, 2015):

$$N = a + b(S)$$

N: Superficie total de la muestra (ha)

S: superficie total a evaluar del área del proyecto (ha)

a: 5

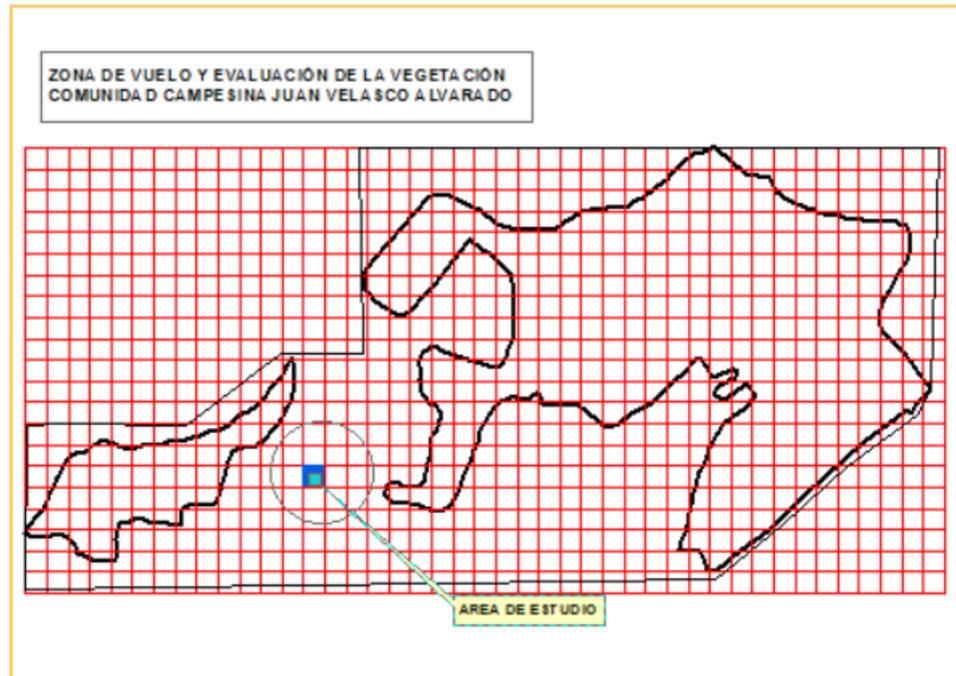
b: 0.001

Donde el valor de N corresponde a 10,296.87 ha que abarca la Comunidad Campesina Juan Velasco Alvarado y áreas aledañas de los centros poblados cercanos, obteniendo un tamaño de la muestra de 15.29, redondeando a 16 hectareas aproximadamente.

Posteriormente se establecieron cuadrículas de 400 x 400 metros de distancia en todo el área de estudio y aleatoriamente se obtuvo una cuadrícula que se utilizó para diseñar el plan de vuelo y evaluación de la vegetación.

Figura 5.

Unidad muestral para vuelo de equipo RPA



3.4. Unidades de muestreo

La evaluación realizada en la comunidad campesina Jose ignació Tavera Pasapera, la unidad de muestreo corresponde a los cercos de protección de la regeneración natural, siendo de diversas dimensiones, se evaluaron latizales menores a 5 cm de DAP.

En el caso de la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado y Cury Lagarto, la unidad de muestreo corresponde a una parcela circular de 10 metros de radio, donde se evaluaron latizales menores 5 cm de DAP.

Para el área del inventario donde se realizó el vuelo de dron, la parcela es de 16 hectareas, se divide en subparcelas cuadradas de 1 hectarea

donde se evaluaron fustales con DAP mayor a 5 cm. Aleatoriamente se seleccionó una subparcela de 1 hectarea para la evaluación de latizales menor a 5 cm de DAP.

3.5. Equipos y materiales

3.5.1. Software

Q gis 3.28

Agisoft Metashape

Arcgis 10.8

Excel

Power point

Microsorft word

R studio

3.5.2. Equipos

Laptop modelo MSI, procesador Intel (R), Core (TM) i7-10750H CPU @ 2.60 GHz 2.59 GHz, RAM 16 GB.

GPS Garmin 84 s

Rpas Phantom 4 Multiespctral

Tabla 3.

Especificaciones técnicas del equipo RPA Phantom 4 Multiespectral

Aeronave	Especificaciones
Peso de despegue	1487 g
Distancia diagonal (sin incluir hélices)	350 mm
Distancia max. Servicio sobre el nivel del mar	6000 m
velocidad de ascenso máxima	6 m/s (vuelo automático), 5 m/s (control manual)
Velocidad de descenso	3 m/s
Velocidad máxima	50 km/h

Tiempo de vuelo max 27 minutos aprox

Temperatura de funcionamiento De 0° C a 40° C

Cámara	Especificaciones
Sensores	Seis CMOS de 1/2.9°, incluye un sensor RGB, para imágenes de luz visible, y cinco sensores monocromos para imágenes multiespectrales
Filtros	Azul(B), 450 nm +- 16 nm, Verde (G) 560 nm +- 16 nm, Rojo ®, 650 nm +- 16 nm, Borde rojo (RE) 730 nm +- 16 nm, infrarrojo cercano (NIR) 840 nm +- 26 nm.

Fuente: (DJI, 2022)

3.5.3. Materiales

Clinómetro

Pie de rey

Fichas de evaluación

Tablero

Wincha metálica

Cinta métrica

Cinta diamétrica

3.6. Parámetros de evaluación

Se evaluaron los brinzales y latizales bajo manejo forestal para la estimación del reservorio de carbono, obteniendo los parámetros descritos en la tabla 4:

Tabla 4.**Parámetros de evaluación en inventario forestal**

Parámetro	Descripción	Instrumento
Altura (m)	Distancia vertical desde el suelo hacia el dosel del árbol.	Wincha metálica Clinómetro
Diámetro a la altura del pecho – DAP (cm)	Diámetro del tronco a 1.3 metros de altura.	Cinta diamétrica Pie de rey
Diámetro del cuello – DAC (cm)	Obtención del diámetro de cuello a 5 cm del suelo.	Pie de rey
Diámetro de copa (m)	Diámetro de copa mayor y menor.	Wincha metálica 5 m. Cinta métrica de 50 m.

En el caso del inventario que se realizó para correlacionar datos de campo y datos obtenidos mediante RPA, se evaluaron fustales con DAP mayor a 5 cm y latizales con DAP menor a 5 cm y mayor a 1.5 metros de altura, respectivamente.

3.7. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea y carbono forestal

La estimación de biomasa aérea y carbono forestal se aplicarán diferentes ecuaciones alométricas, descritas en la tabla 5.

Tabla 5.**Ecuaciones alométricas para estimar carbono forestal**

Grupo de especie	Ecuaciones alométricas	Descripción	Fuente
Biomasa aérea de la regeneración natural de algarrobo (3 cm – 5 cm de DAP)	$Y = 0.7661X + 0.4186$	Y: Biomasa aérea (Kg) X: Diámetro a la altura del pecho DAP ≥ 3 cm < 5 cm	AIDER (no publicado)
Carbono aéreo para brinzales con DAP < 5 cm	$Y = 0.0227 * X - 0.0091$	Y: carbono forestal (Kg).	AIDER (no publicado)

X: diámetro del cuello
(cm)

3.8. Estimación de biomasa subterránea

La biomasa subterránea consiste en toda la biomasa de las raíces. A menudo las raíces finas menores a 2 mm se excluyen, porque empíricamente no se las puede distinguir de la materia orgánica. Como hipótesis por defecto coherente de las Directrices del IPCC de 1996, los cambios en las existencias subterráneas de carbono pueden ser inexistentes. Como alternativa se puede utilizar valores por defecto de las relaciones biomasa subterránea / biomasa aérea (R), para estimar el crecimiento de la biomasa subterránea (IPCC, 2006).

En el presente estudio se eligió el valor de 0.27 (R) con la siguiente ecuación se obtuvo la biomasa subterránea:

Biomasa subterránea: Biomasa aérea x R

3.9. Fracción de carbono

Tonelada de carbono por tonelada de materia seca de la biomasa. Las estimaciones de la biomasa se convierten a valores de carbono utilizando la fracción de carbono de la materia seca (IPCC, 2006). En general por defecto es 0.5 a la biomasa total, ver ecuación:

Fracción de carbono: Biomasa total x 0.5

3.10. Parámetros de vuelo

En la aplicación DJI GO pro, se dibujó el área de la parcela de evaluación a sobrevolar, para ello se tuvo en cuenta los siguientes parámetros, descritos en la tabla 6.

Tabla 6.

Parámetros de vuelo del equipo RPA

Parámetros	Descripción
Altura	Se realizó a 100 metros de altura
Angulo de las líneas de vuelo	El ángulo corresponde según la dirección del sol
Cámara	La cámara del equipo Rpas fue RGB y multiespectral
Overlap	Se consideró el 85% de traslape
Velocidad de vuelo	La velocidad promedio que se uso fue de 6 m/s
GSD	5 cm de tamaño del pixel

3.11. Procesamiento de imágenes aéreas

El preprocesamiento de las fotografías aéreas se realizó en el software Agisoft Metashape, siguiendo el flujo que describe el informe técnico denominado “Fotogrametría digital con sistemas aéreos no tripulados para el análisis de sistemas agroforestales”.

3.11.1. Carga y procesamiento de imágenes

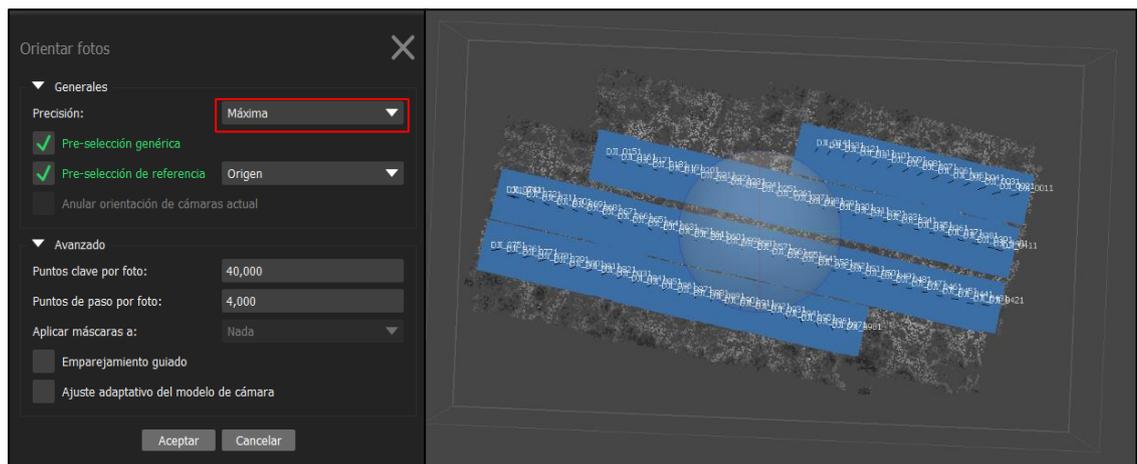
El primer paso consiste en cargar las fotografías en conjunto georreferenciados. Al llegar a 1000 fotografías, las imágenes se guardan en un nuevo folder y se reinicia la numeración, es importante explorar el set de fotografías antes de cargarlo con el fin de cerciorarse que todas las fotos estén completas y de buena calidad. (Rimolo, y otros, 2021)

3.11.2. Orientación de fotografías aéreas

La orientación de las imágenes permite a través de algoritmos, extraer puntos clave (Keypoints) y puntos de paso o enlace (matching points) en las zonas de traslape de las fotografías. En este punto se puede proyectar las imágenes a un espacio tridimensional, estimar su posición y orientación y generar una nube dispersa de puntos. (Rimolo, y otros, 2021).

Figura 6.

Orientación de fotografías aéreas

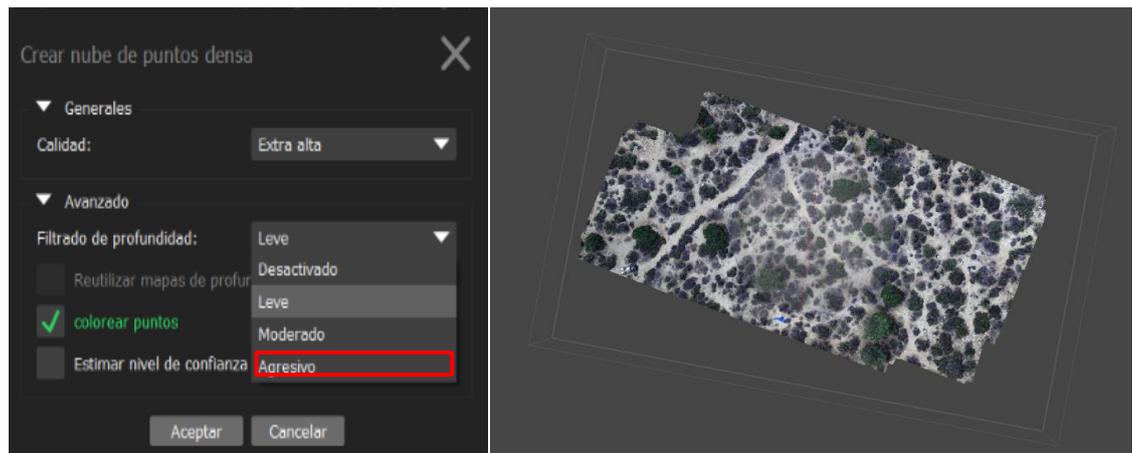


3.11.3. Generación de nube densa de puntos

Posteriormente se continua con el proceso más intensivo en tiempo y demanda en recursos computacionales. En la pestaña de opciones se debe elegir opciones de filtrado de profundidad de la nube. Un filtrado moderado brinda buenos resultados para sitios con vegetación abundante, aunque puede modificarse si los resultados no son satisfactorios. A partir de la nube de puntos densa se puede generar productos tales como modelos de elevación digital, mallados, modelos de teselas, orto mosaicos, etc. (Rimolo, y otros, 2021).

Figura 7.

Generación de puntos de nube densa



3.11.4. Modelo digital de elevación y ortomosaico

La creación del modelo digital de elevación (DEM), se localiza en flujo de trabajo y se debe ubicar el proceso llamado modelo digital de elevaciones, para obtener una mejor resolución la fuente de origen debe ser el modelo de nube densa. Los ortomosaicos se crean de manera similar al DEM en la opción llamada crear ortomosaico. (Rimolo, y otros, 2021).

Figura 8.

Generación de modelo digital de elevación

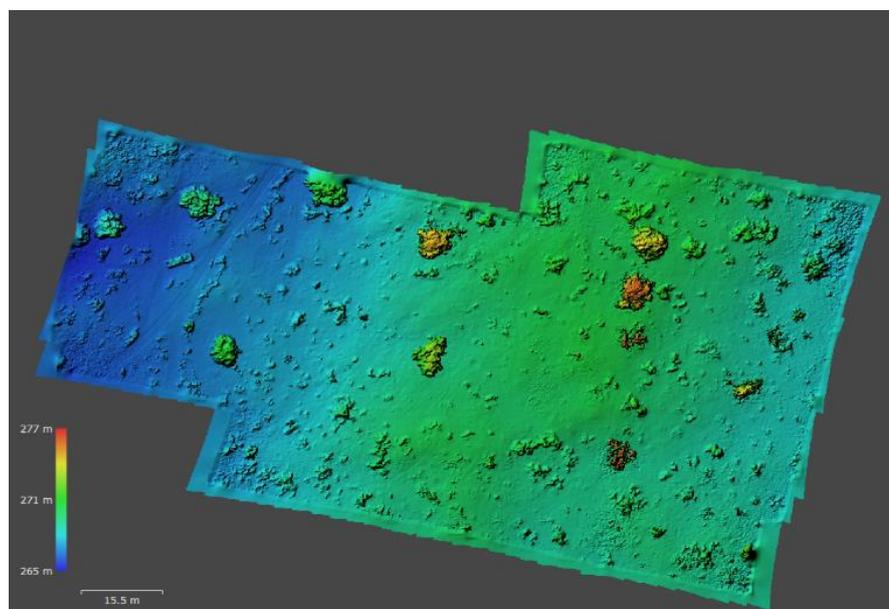
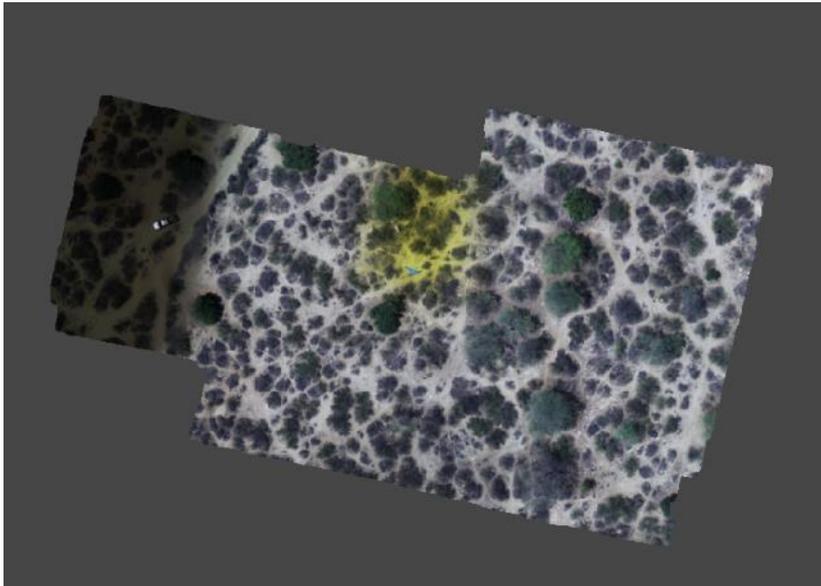


Figura 10.

Generación de ortomosaico

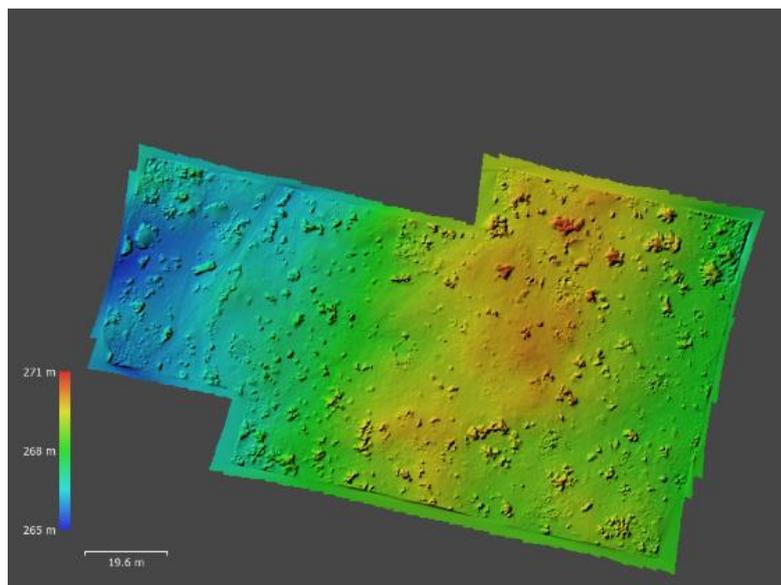


3.11.5. Modelo digital de terreno

Para el análisis de la cobertura vegetal es conveniente obtener un modelo de elevación del terreno (DTM), donde considera únicamente el nivel del suelo sin vegetación, o cualquier estructura. Agisoft Metashape, brinda la opción de crear un DTM, con la función de clasificar puntos del terreno, donde se asigna los puntos de nube densa que se identifica como puntos de suelo a una clase llamada terreno.

Figura 11.

Generación del modelo digital del terreno



3.11.6. Modelo de altura de copas (CHM).

Los ráster generados de DEM y DTM a partir del preprocesamiento de las fotografías aéreas es posible determinar la altura de los árboles mediante la diferencia del DEM y DTM en la calculadora ráster de un software GIS. (Tagle, Di Laberto, Falen, Dávila, & Roque, 2021)

$$\text{CHM} = \text{DSM} - \text{DTM}$$

CHM: Modelo de altura del dosel

DSM: Modelo Digital de Superficie

DTM: Modelo digital del terreno

3.12. Delimitación de copa de árboles

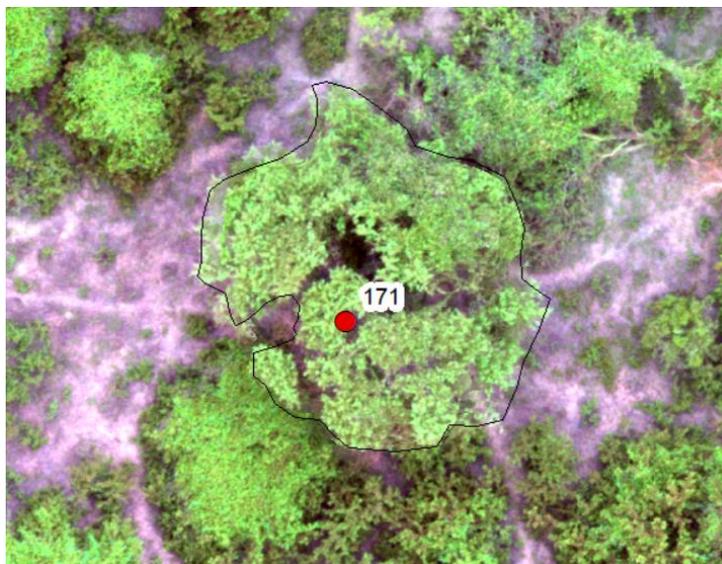
Para la delimitación de la copa de los árboles, se aplicó cuatro metodologías, de las cuales se determinará el grado de precisión con datos obtenidos en campo.

3.12.1. Fotointerpretación de imágenes aéreas

La copa de árboles se delimito manualmente identificando los individuos forestales que se inventariaron durante labores en campo, la siguiente figura 11 muestra el proceso de identificación y delimitación de los árboles.

Figura 12.

Delimitación manual de copas arbóreas.



3.12.2. Segmentación de imágenes mediante i. segment

I.segment, permite delimitar las copas de los árboles y otras coberturas. Para aplicar el algoritmo es necesario colocar dos umbrales, minsize, theshold, donde la combinación de ambos, permitirá identificar con precisión la copa de los árboles. La presente investigación se utilizó las siguientes combinaciones, descritas la tabla 7.

Tabla 7.

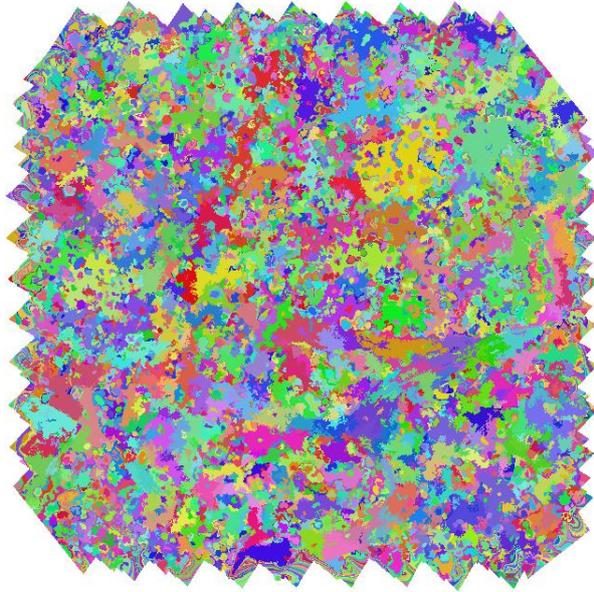
Combinaciones minsize y theshold para aplicar el algoritmo i. segment

N°	minsize	theshold	Referencia
1	4500	0.05	(Di Liberto, 2022)
2	100	0.65	(Pereira da Silva, 2017)
3	400	0.03	Autor
4	200	0.05	Autor
5	5000	0.05	Autor

En el programa Qgis se realizó mediante el algoritmo i. segment del comando Grass, como muestra la siguiente figura 12:

Figura 13.

Generación de ráster del algoritmo i.segment

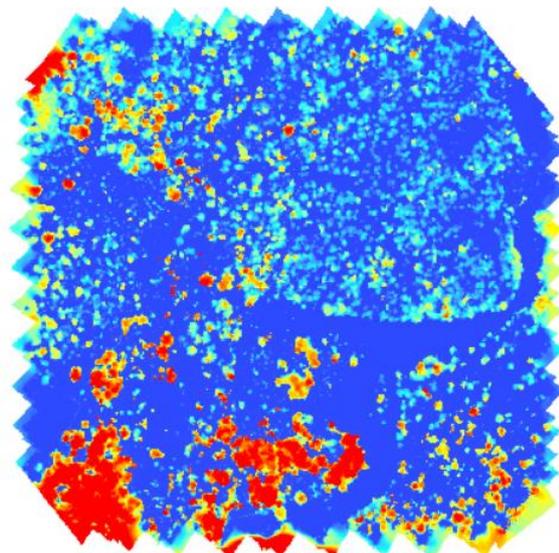


3.12.3. Segmentación mediante cuencas inversas (IWS)

Permite delinear copa de los árboles individuales, debido que se invierte el modelo digital de copas (CHM), donde las copas de los árboles se transforman en cuencas hidrográficas. Se utilizo el algoritmo “Channel Network and Drainage Basins”, de Saga, ejecutado en el programa Qgis 3.28.

Figura 14.

Ráster del modelo digital de copas CHM



3.12.4. Segmentación mediante índices de vegetación

Para delimitar las copas arbóreas se utilizaron índices espectrales de vegetación como modelo de detección, los índices aplicados se describen en la tabla 8.

Tabla 8.

Índices espectrales de vegetación

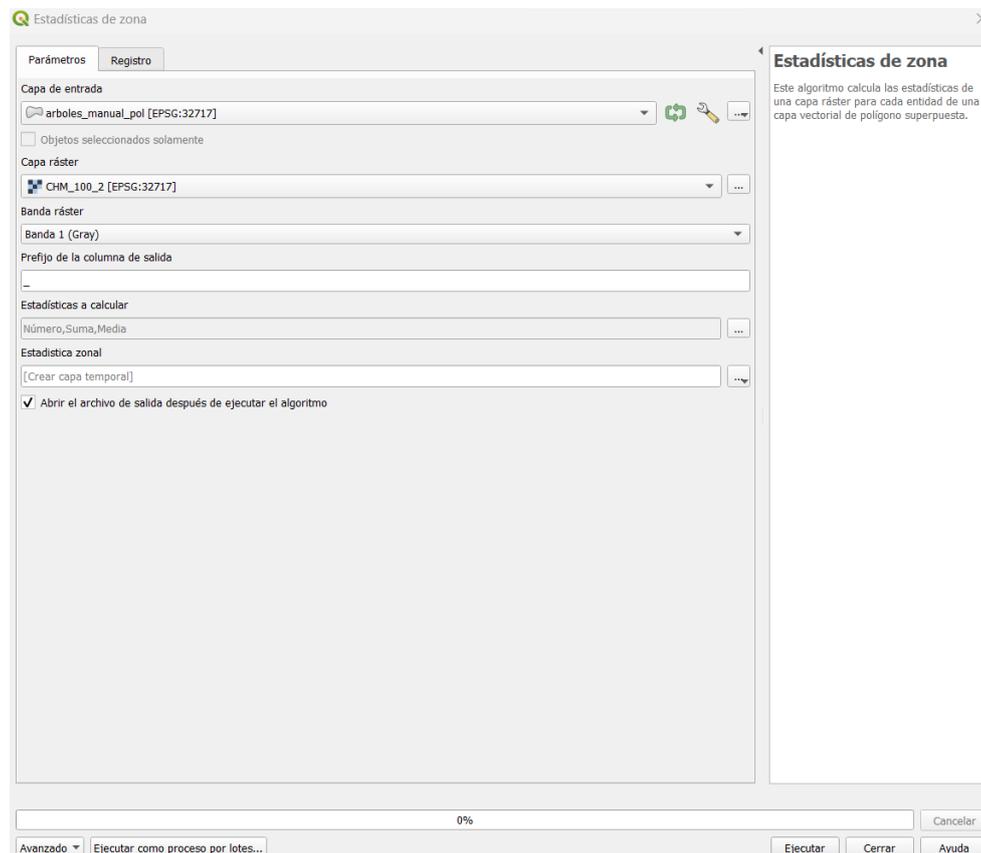
Índices de vegetación	Formula	Descripción	Referencia
NDVI (Índice de diferencia normalizada)	$(NIR - RED) / (NIR + RED)$	NIR: Canal espectral del infrarrojo RED: Canal espectral del rojo	(Rouse, J.W, Hass, Schell, & Deering, 1974)
NDRE (índice de diferencia normalizada RED Edge)	$(NIR/RED\ Edge) / (NIR\ RED\ Edge)$	NIR: Canal espectral del infrarrojo RED Edge: Canal espectral entre el rojo y nir.	(Barnes, y otros, 2000)
M SAVI	$\frac{2 \times NIR + 1 - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8 \times (NIR - RE)}}{2}$	NIR: Canal espectral del infrarrojo RED: Canal espectral del rojo	(Qi, Chehbouni, Huete, Kerr, & Sorooshian, 1994)

3.12.5. Cálculo de altura total

La capa espacial que delimita las copas de los árboles fue utilizada para calcular la altura total, para ello se aplicó el complemento estadístico de zona, el cual permite calcular varios valores de los píxeles de una capa ráster con la ayuda de una capa vectorial, donde calcula para cada polígono estadísticas sobre los píxeles que se encuentran dentro. En el presente estudio se utilizó el valor máximo del modelo CHM.

Figura 15.

Interfaz de estadística de zona



3.13. Cálculo de diámetro de copa

Posteriormente al detectar los árboles se seleccionó las metodologías que obtenga las precisiones más altas, donde se aplicó la siguiente fórmula:

$$DC: (\sqrt{A/\pi})2$$

Donde D_c : es el diámetro de la copa y A : área de la copa, de cada árbol individual.

3.14. Exactitud general

Esta medida proporciona el área clasificada correctamente. En ella "i", representa las filas de la matriz, i_i , son las unidades de muestreo que están clasificadas correctamente para cada clase k , y n es el tamaño de la muestra.

$$\text{Exactitud general} : \sum_{i=1}^k \frac{n_{ii}}{n}$$

Se obtiene la exactitud general de cada metodología, encontrando la más adecuada para la detección de árboles y regeneración natural.

3.15. Correlación de variables dasométricas

Las variables dasométricas obtenidas en campo y en gabinete se correlacionaron mediante el modelo lineal simple. (Szretter, 2017).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Donde ε es el término de error. Para cada valor de X , la correspondiente observación Y , consiste en el valor $\beta_0 + \beta_1 x$ más una cantidad ε , que puede ser positiva o negativa, que da en cuenta que la relación de X e Y no es exactamente lineal, están expuestas a variaciones individuales. (Szretter, 2017).

3.16. Análisis de error

Para determinar la precisión del modelo de regresión lineal se obtiene el error absoluto medio (MAE) y el error cuadrático medio (RMSE). Las fórmulas se expresan de la siguiente manera:

$$MAE : \frac{\sum_{n:1}^N |\hat{r}_n - r_n|}{N}$$

$$RMSE : \sqrt{\frac{\sum_{n:1}^N (\hat{r}_n - r_n)^2}{N}}$$

Donde: \hat{r}_n (calificación de la predicción), r_n (calificación real en el conjunto de datos de prueba) y N (es el número de pares de calificación entre los datos de prueba y los resultados de predicción).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Contenido de carbono en la regeneración natural en tres comunidades campesinas

4.1.1. Contenido de carbono en la comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera

En la comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera, de los 89 puntos de muestreo se inventariaron 20 parcelas, el resto no ha sido identificadas en el momento de la evaluación y parte han sido afectadas por las diversas acciones antrópicas e incendios forestales.

Se identificaron dos diferentes estratos relacionados al contenido de carbono por parcela de evaluación, el primer estrato se refiere para aquellas parcelas donde su contenido de carbono es mayor a 0.802 tn CO₂ eq /ha, el estrato numero dos se refiere a las parcelas cuyo contenido de carbono es menor a 0.802 tn CO₂ eq /ha.

El estrato 1 tiene un promedio muestral de 4.37534 tn CO₂ eq/ha, y en base a los parámetros estadísticos calculados, se estima que el promedio poblacional se encuentra entre los valores de 2.0276 tn CO₂ eq/ha y 6.7231 ton CO₂ eq/ha con un 95% de confianza.

$$P(2.0276 \text{ tn } CO_2 \text{ eq/ha} < u < 6.7231 \text{ tn } CO_2 \text{ eq/ha} = 95 \%)$$

El Estrato 2 tiene un promedio muestral de 0.3228 tn CO₂ eq /ha; y los parámetros estadísticos nos permiten señalar que el promedio poblacional se encuentra entre los valores 0.1193 tn CO₂ eq /ha y 0.5264 tn CO₂ eq /ha con un 95% de confianza.

$$P(0.1193 \text{ ton } CO_2 \text{ eq /ha} < u < 0.5264 \text{ ton } CO_2 \text{ eq/ha}) = 95\%$$

Tabla 9.

Parámetros estadísticos del contenido de carbono en la comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera

Parámetros estadísticos	Estrato 1	Estrato 2
Promedio	4.37534 tn/ha	0.3228 tn/ha
n (número de muestras)	10	10
s (desviación estándar)	3.28197 tn/ha	0.28457 tn/ha
Coficiente de variación (%)	75.01%	88.5%
Error estándar	1.03785 tn/ha	0.08999 tn/ha
Límite superior	6.72312 tn/ha	0.52641 tn/ha
Límite inferior	2.00275 tn/ha	0.11926 tn/ha

4.1.2. Contenido de carbono en la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado

En esta comunidad campesina, de las 126 parcelas contempladas en el diseño, solamente se obtuvieron resultados de 56 parcelas.

Se identificaron dos diferentes estratos relacionados al contenido de carbono por parcela de evaluación, el primer estrato se refiere para aquellas parcelas donde su contenido de carbono es mayor a 0.802 tn CO₂ eq /ha, el estrato numero dos se refiere a las parcelas cuyo contenido de carbono es menor a 0.802 tn CO₂ eq/ha.

El estrato 1 tiene un promedio muestral de 0.5786 tn CO₂ eq/ha, y en base a los parámetros estadísticos calculados, se estima que el promedio poblacional se encuentra entre los valores de 0.4196 tn CO₂ eq/ha y 0.7379 ton CO₂ eq/ha con un 95% de confianza.

$$P(0.4196 \text{ tn CO}_2\text{eq/ha} < u < 0.7379 \text{ tn CO}_2\text{eq/ha} = 95 \%)$$

El Estrato 2 tiene un promedio muestral de 0.0109 tn CO₂ eq /ha; y los parámetros estadísticos nos permiten señalar que el promedio poblacional

se encuentra entre los valores 0.0068 tn CO₂ eq /ha y 0.0149 tn CO₂ eq /ha con un 95% de confianza.

$$P(0.0068 \text{ ton } CO_2eq /ha < u < 0.0149 \text{ ton } CO_2eq/ha) = 95\%$$

Tabla 10.

Parámetros estadísticos del contenido de carbono en la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado

Parámetros estadísticos	Estrato 1	Estrato 2
Promedio	0.57875 tn/ha	0.01089 tn/ha
n (número de muestras)	33	23
s (desviación estándar)	0.44890 tn/ha	0.00933 tn/ha
Coefficiente de variación (%)	77.56%	79.60%
Error estándar	0.07814 tn/ha	0.00194 tn/ha
Límite superior	0.73792 tn/ha	0.01492 tn/ha
Límite inferior	0.42958 tn/ha	0.00685 tn/ha

4.1.3. Contenido de carbono en la comunidad campesina Cury Lagarto

En esta comunidad campesina, de las 81 parcelas contempladas en el diseño, solamente se obtuvieron resultados de 76 parcelas.

Se identificaron dos diferentes estratos relacionados al contenido de carbono por parcela de evaluación, el primer estrato se refiere para aquellas parcelas donde su contenido de carbono es mayor a 0.802 tn CO₂ eq /ha, el estrato numero dos se refiere a las parcelas cuyo contenido de carbono es menor a 0.802 tn CO₂ eq /ha.

El estrato 1 tiene un promedio muestral de 0.4452 tn CO₂ eq /ha, y en base a los parámetros estadísticos calculados, se estima que el promedio poblacional se encuentra entre los valores de 0.3715 tn CO₂ eq /ha y 0.5189 ton CO₂ eq/ha con un 95% de confianza.

$$P(0.3715 \text{ tn } CO_2eq/ha < u < 0.5189 \text{ tn } CO_2eq/ha) = 95 \%$$

El Estrato 2 tiene un promedio muestral de 0.0186 tn CO₂ eq /ha; y los parámetros estadísticos nos permiten señalar que el promedio poblacional se encuentra entre los valores 0.0149 tn CO₂ eq /ha y 0.0222 tn CO₂ eq /ha con un 95% de confianza.

$$P(0.0149 \text{ ton } CO_2 \text{ eq /ha} < u < 0.0222 \text{ ton } CO_2 \text{ eq/ha}) = 95\%$$

Tabla 11.

Parámetros estadísticos del contenido de carbono en la comunidad campesina Cury Lagarto

Parámetros estadísticos	Estrato 1	Estrato 2
Promedio	0.44520 tn/ha	0.01859 tn/ha
n (número de muestras)	42	34
s (desviación estándar)	0.23665 tn/ha	0.01040 tn/ha
Coeficiente de variación (%)	53.16%	55.98%
Error estándar	0.03551 tn/ha	0.00178 tn/ha
Límite superior	0.51895 tn/ha	0.01492 tn/ha
Límite inferior	0.37146 tn/ha	0.01496 tn/ha

La cantidad de toneladas de CO₂ equivalente, presente en la regeneración natural evaluada, en los bosques secos de las tres comunidades campesinas, notamos que en todas ellas existen dos estratos bien diferenciados. Si tenemos en cuenta que el proyecto que realizó la protección de la regeneración natural se ejecutó entre los años 2017 y 2021, es muy probable que el estrato 1, este conformado por la regeneración natural que nació y creció con el impacto del Fenómeno El Niño del 2017, mientras que el estrato 2, probablemente cuenten con regeneración natural establecida en los años posteriores, esto indica los beneficios que genera las intensas lluvias en los bosques y principalmente al resurgimiento y establecimiento de la regeneración natural, así lo afirma (SENAMHI, 2014), mencionando que los impactos positivos de las lluvias intensas, en eventos El Niño, favorecen la regeneración natural de los bosques secos en la costa norte, siendo una oportunidad para ejecutar actividades de restauración, como indica (Cerrón, Fremout, Atkinson, Thomas, & Jonathan, 2019); Los eventos del Fenómeno

de “El Niño”, es una gran oportunidad para recuperar áreas degradadas a menores costos, para ello se necesita identificar fuentes semilleras para establecer bancos de semillas y germoplasma.

Cuantificar el contenido de carbono de la regeneración natural , permite identificar el potencial que tiene los brinzales y latizales en almacenar carbono en su biomasa, si se realiza constantes monitoreos podríamos determinar durante el desarrollo de la planta la capacidad de almacenamiento en sus estadio del crecimiento, logrando proyectar el reservorio de carbono , tal como (AIDER, 2015), durante el proyecto “Reforestación, producción sostenible y secuestro de carbono en los bosques secos de José Ignacio Távora – Piura”, desarrollaron curvas de crecimiento del algarrobo y zapote , mediante obtención de información a los pobladores que conocen la edad de las especies, logrando generar ecuaciones alometricas, mediante el continuo monitoreo se desarrollarían nuevas ecuaciones.

Los estudios sobre cuantificación de carbono en bosque seco, se centra principalmente en el componente de toda la vegetación que incluye árboles, arbustos y regeneración natural, por ejemplo; (AIDER, 2015), durante el proyecto REDD+ “Reducción de la deforestación y degradación del bosque seco tropical en Piura y Lambayeque”, estimo el reservorio de carbono, para el bosque seco semidenso en 177.90 tn CO₂ eq /ha y el bosque seco denso 498.7 tn CO₂ eq /ha. En el caso del estudio de (Campos, 2017), logró determinar en un bosque secundario de algarrobo aproximadamente 11.045 tn/ha de carbono.

4.2. Detección de árboles y regeneración natural

4.2.1. Fotointerpretación de imágenes aéreas.

De los 195 árboles inventariados, se logró detectar mediante la fotointerpretación de las fotografías aéreas 133 árboles, logrando obtener una exactitud global del 68.21%, aproximadamente.

En el caso de la regeneración natural, de 94 individuos inventarios solo fue posible detectar 35, logrando obtener una exactitud global de 37.23%, respectivamente.

4.2.2. Segmentación de copas mediante i. segment

Se aplicaron cinco criterios en los parámetros minsize y theshold en el algoritmo de i. segment de Qgis, donde los valores de 4000 y 0.03 tiene la mayor exactitud global con 57.94%, seguido por los valores de 5000 y 0.05 con una exactitud de 45.64%, los valores de 4500 y 0.05 tiene una exactitud de 43.08%, los valores de 200 y 0.05 tiene una exactitud de 36.41% y finalmente los valores de 100 y 0.65 con una exactitud del 35.38%, respectivamente, como lo muestra en la tabla 12.

Tabla 12.

Exactitud global de las combinaciones minsize y theshold.

N°	minsize	theshold	Exactitud global (%)
1	4500	0.05	43.08
2	100	0.65	35.38
3	4000	0.03	57.95
4	200	0.05	36.41
5	5000	0.05	45.64

La aplicación de los diferentes criterios de segmentación no logro detectar ningún individuo latizal o regeneración natural.

4.2.3. Índices espectrales de vegetación

Se aplicaron índices de vegetación para detectar árboles y regeneración natural inventariados en campo. Los resultados muestran una alta interferencia en la reflectividad de arbustos y herbáceas que contribuyen durante la umbralización acumulación de pixeles que no representa las copas de los árboles, como se muestra en las figuras, 15, 16, 17 y 18, respectivamente.

Figura 16.

Detección de árboles mediante fotointerpretación

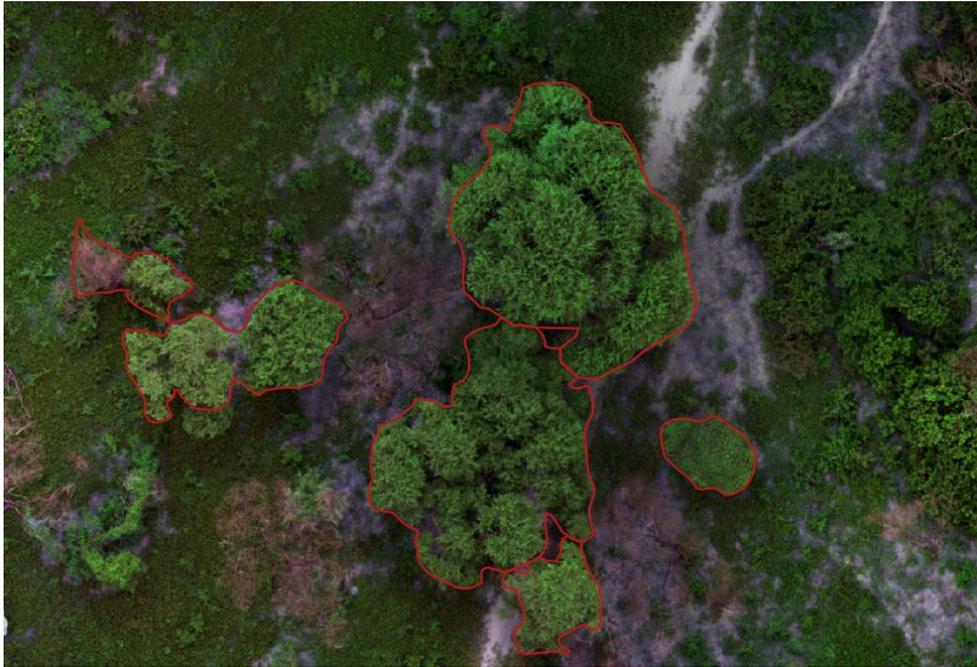


Figura 17.

Umbralización de NDVI (0.1 - 0.6)

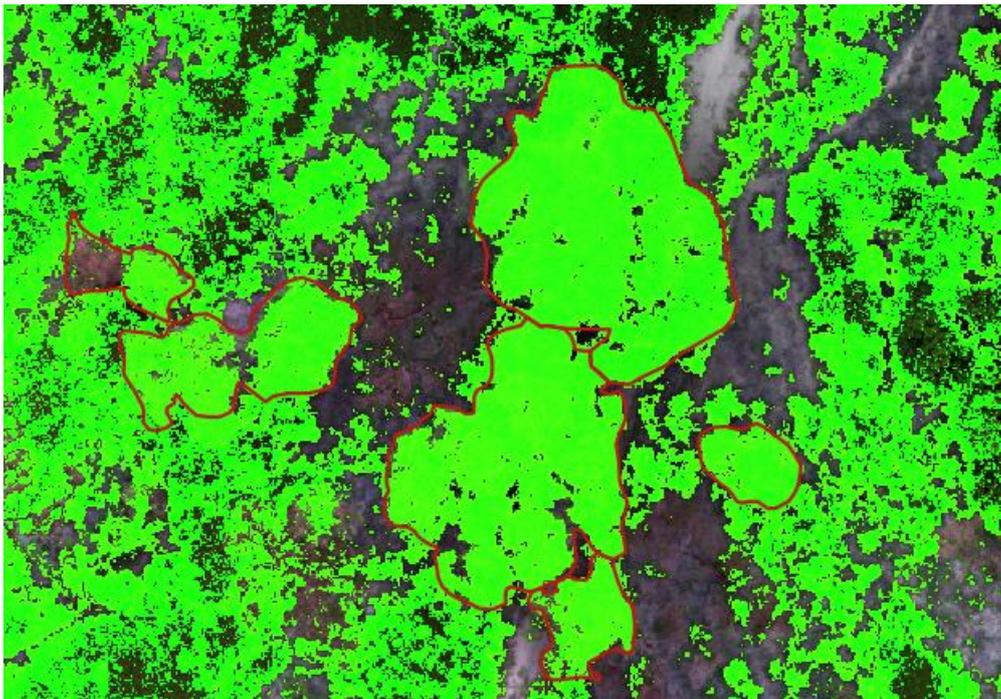


Figura 18.

Umbralización de MSAVI (0.1 - 0.6)

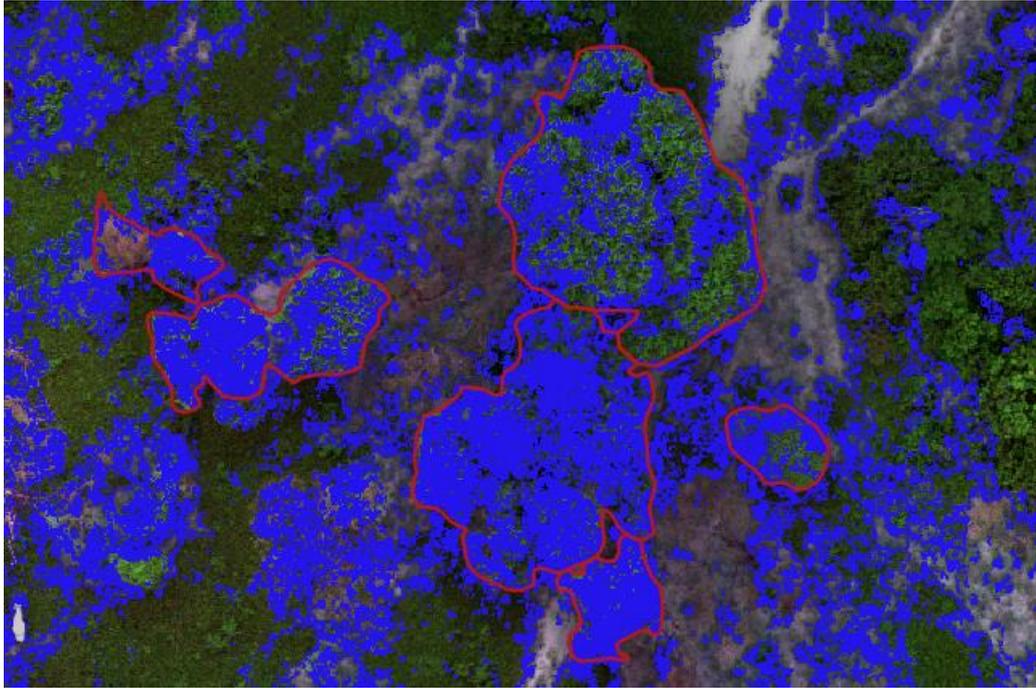
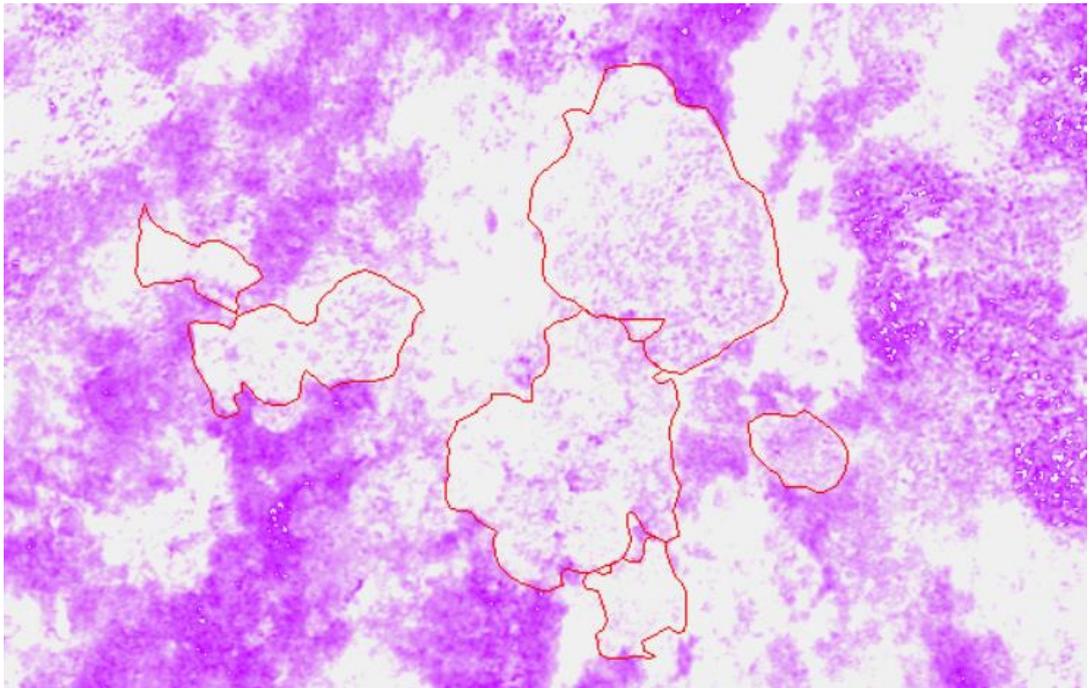


Figura 19.

Umbralización NDRE (0.1 - 0.6)



4.2.4. Segmentación mediante cuencas inversas (IWS)

De los 195 árboles inventariados, se logró detectar 118 individuos mediante el método de segmentación de cuencas inversas, logrando obtener una exactitud global del 60.51%, respectivamente.

En el caso de los latizales, de 94 individuos inventariados fue posible detectar 56, logrando obtener una exactitud global de 59.57%.

La detección de árboles mediante imágenes aéreas depende del tipo de metodología que se apliquen, la fotointerpretación permite detectar individuos forestales según su forma, color, textura y tonalidad con una alta precisión, así lo afirma (De Lima Neto, Biondi, Araki, & Bobrowski, 2012), donde su estudio denominado fotografías aéreas para medir el área de la copa de los árboles de las calles de Curitiba – pr, logrando obtener una precisión de aproximadamente del 92.42%, difiere de los resultados obtenidos en el presente estudio obteniendo una precisión del 68.21%, esto depende de la zona de estudio, debido a que la presente tesis se realizó en un bosque natural, donde existe bastante heterogeneidad en la dispersión de los árboles.

Los índices espectrales de vegetación, permite obtener información sobre la vegetación fotosintéticamente activa, así lo afirma, (Chang, Yeom, Jung, & Landivar, 2020), en su estudio compara la forma del dosel y los índices de vegetación en naranjos infectados y sanos para comprender mejor sus características utilizando vehículos aéreos no tripulados, la propuesta metodológica demuestra que los índices de vegetación y forma del dosel se puede utilizar para monitorear la infección de enverdecimiento de los cítricos , las características espectrales como el volumen del dosel de los cítricos. Generalmente los índices de vegetación son utilizados para determinar el estado sanitario de la vegetación, tal como lo expresa (Gallardo-Salazar & Pompa García, 2020); en su estudio propone una metodología para extraer características a nivel de árbol utilizando vehículos aéreos no tripulados en un área de pinos distribuida espacialmente de forma regular. El análisis incluye diversos índices de vegetación estimados de un orto mosaico de alta resolución. Los índices

fueron importantes para obtener parámetros de vigor de los árboles, siendo el NDVI el más adecuado para monitorear condiciones fitosanitarias. Los índices de vegetación no es el método adecuado para delinear o delimitar las copas de los árboles debido que influye directamente el estado sanitario de las plantas, la presencia de pastos o malezas que contribuyen a la acumulación de píxeles que no corresponde a las copas arbóreas, esto coincide con lo expresado por (Gallardo-Salazar & Pompa García, 2020), los residuos de pastos o malezas pueden disminuir la capacidad predictiva del NDVI, el tamaño de la copa y la superposición puede reducir el uso de la teledetección a nivel de árbol, recomienda prácticas de manejo de suelo como drenaje, labranza , etc.

El algoritmo i.segment de Grass Gis, permite detectar árboles con valores considerablemente altos, obteniendo precisiones hasta del 50%, sin embargo para bosques naturales no es suficiente, estos datos difieren a los resultados obtenidos por (Duarte, Silva, & Teodoro, 2018), donde menciona que la metodología mediante i.segment, presenta resultados más satisfactorios en tiempo de procesamiento y precisión, esto debido a que se realizó en una plantación de viñedos en comparación al presente estudio.

El modelo de segmentación por cuencas inversas (IWS), permite identificar especies forestales con una precisión considerablemente alta obteniendo una exactitud del 60.51%. La capacidad del presente modelo para detectar copas de los árboles es muy utilizada obteniendo precisiones altas así lo afirma, (Panagiotidis, Abdollahnejad, Surov, & Chiteculo, 2016), (Nasiri, y otros, 2021) y (Grznárová, y otros, 2019).

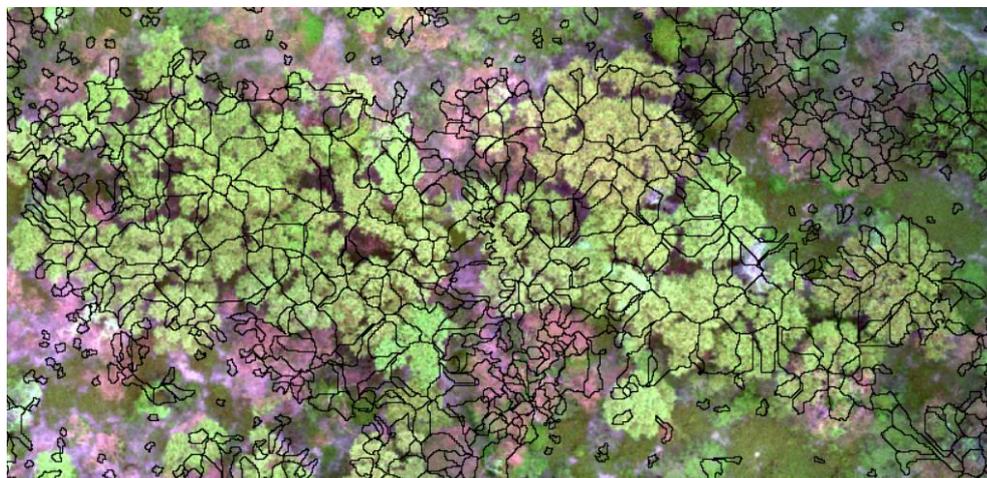
Las precisiones obtenidas son menores del 70%, obteniendo más del 30% de error, donde muchos individuos forestales no son detectados mediante el uso de fotografías aéreas, conllevando a un inventario forestal ineficiente, donde muchos árboles las copas se superpone o muchos individuos se encuentran por debajo de la copa de árboles superiores. Muchos autores aplicaron los modelos en plantaciones forestales o agrícolas, donde cada individuo se encuentran separados por un distanciamiento en común, como

por ejemplo (Duarte, Silva, & Teodoro, 2018), aplicaron el modelo i. segment en plantaciones de olivo, eucalipto y viñedo. Sin embargo existe estudios donde aplicaron el algoritmo de segmentación mediante cuencas inversas (IWS) en bosques naturales obteniendo altas precisiones, como por ejemplo (Grznárová, y otros, 2019), aplico el modelo de segmentación de cuencas inversas en un bosque de coníferas obteniendo precisiones del 95% y 71%, respectivamente, donde demostró que dicho modelo tiene una influencia significativa en el número de árboles detectados y se debe principalmente a la superposición de coronas.

Cabe resaltar que la detección de los árboles se encuentra influenciada a la altura del vuelo del equipo RPA, a mayor altura de vuelo se puede esperar menor cantidad de imágenes grabadas y reduzca el tiempo en procesamiento. Así mismo a mayor sea la altura de vuelo menor es la precisión en la detección de los árboles. (Pourreza, Moradi, Khosravi, Deljouei, & Vanderhoof, 2022), en sus hallazgos indicaron que al usar una altitud de vuelo de 100 metros produce una precisión aceptable con el beneficio de un trabajo de campo limitado.

Figura 20.

Delineación de copas mediante segmentación de cuencas inversas



4.3. Ecuaciones alometricas para relacionar variables dasometricas y datos

RPA

La regresión lineal se aplicó para aquellos métodos de detección de árboles y regeneración natural mayor al 60%. El análisis de las ecuaciones se realizó en función al coeficiente de pearson "r", coeficiente de determinación "R²" y coeficiente de determinación ajustado "R² ajustado". El análisis de error de los modelos se analizó mediante el error absoluto medio (MAE) y el error cuadrático medio (RMSE).

En el caso de los árboles, se realizó la correlación de las variables dasométricas obtenidas en campo entre ellas están: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (AT) y diámetro de copa (DC), con las variables dasométricas obtenidas mediante RPA: diámetro de copa (DC) y altura total (AT).

4.3.1. Fotointerpretación de imágenes aéreas

El modelo $DAP = -0.9283 + 2.8313 * DC \text{ RPA}$, que correlaciona las variables AT campo y DC RPA, el nivel de relación entre las variables es considerablemente alto, lo que indica que dicho modelo predice los valores de diámetro a la altura del pecho obtenidos en campo, los errores MAE y RMSE es de 4.9335 cm y 6.3583 cm, indica que el modelo genera predicciones con errores altos. (Tabla 13 y figura 20).

El modelo $AT = 4.88045 + 0.60181 * DC \text{ RPA}$, que correlaciona las variables AT campo y DC RPA, tiene un nivel de relación moderado, lo que indica que dicho modelo no predice con precisión los valores de altura total obtenidos en campo, esto resalta en MAE y RMSE, al obtener errores de 1.9635 m y 2.4681 m. (Tabla 14 y figura 21).

El modelo $DC = 0.72094 + 1.02004 * DC \text{ RPA}$, que correlaciona las variables DC campo y DC RPA, tiene un nivel de relación entre las variables considerablemente fuerte, lo que indica que dicho modelo predice con precisión los valores de diámetro de copa obtenidos en campo, estos resultados resaltan en los valores de error MAE y RMSE que son de 0.7637 m y 0.9788 m, lo que permite obtener predicciones con bajos valores de error. (Tabla 15 y figura 22).

Tabla 13.

Parámetros estadísticos de la regresión lineal de fotointerpretación DAP y DC (RPA)

Ecuación	Coefficiente de correlación Pearson r	R ²	R ² ajustado	MAE	RMSE
DAP = - 0.9283 + 2.8313 *(DC RPA)	0.8031	0.6449	0.6422	4.9335 cm	6.3583 cm

Figura 21.

Regresión lineal de fotointerpretación entre DAP y DC (RPA)

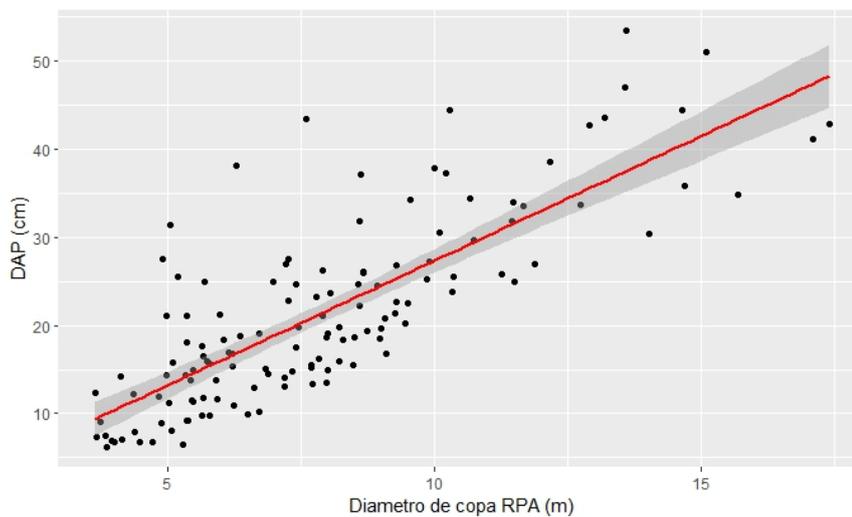


Tabla 14.

Parámetros estadísticos de la regresión lineal de fotointerpretación AT y DC (RPA)

Ecuación	Coefficiente de correlación Pearson r	R ²	R ² ajustado	MAE	RMSE
AT = 4.88045 + 0.60181*DC RPA	0.6042	0.3650	0.3601	1.9635 m	2.4681 m

Figura 22.

Regresión lineal de fotointerpretación entre AT y DC (RPA)

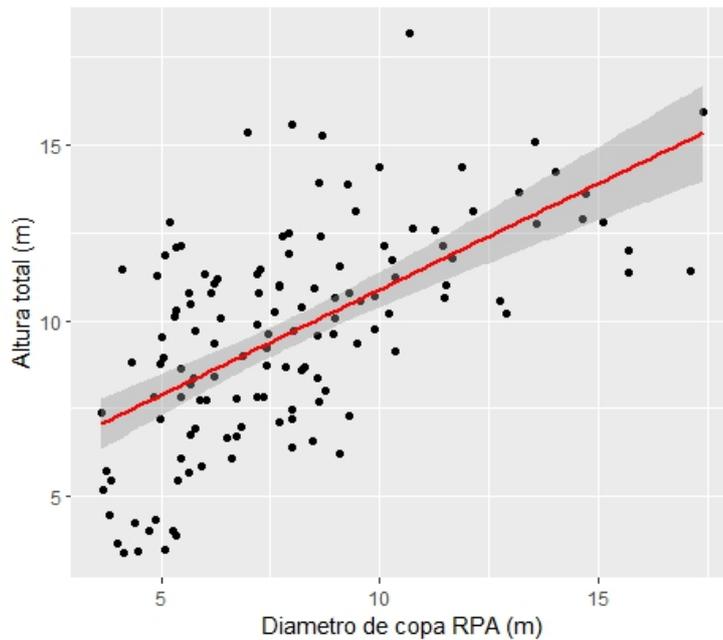


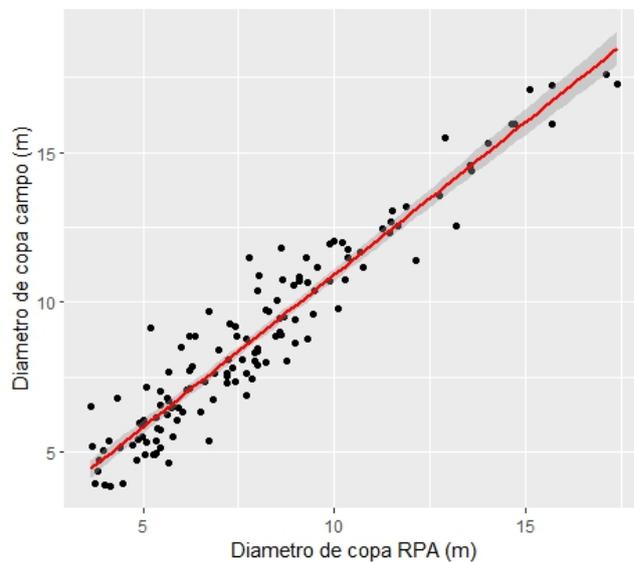
Tabla 15.

Parámetros estadísticos de la regresión lineal de fotointerpretación DC y DC RPA

Ecuación	Coefficiente de correlación Pearson r	R ²	R ² ajustado	MAE	RMSE
DC= 0.72094 + 1.02004 * DC RPA	0.9533	0.9087	0.908	0.7637 m	0.9788 m

Figura 23.

Regresión lineal de fotointerpretación entre DC y DC RPA



El modelo $AT = 1.45967 + 1.01138 \cdot AT\ RPA$, correlaciona las variables altura total de campo y altura total RPA, tiene un nivel de relación entre las variables considerablemente fuerte, lo que indica que dicho modelo predice los valores de altura total con precisión, las medidas de errores MAE y RMSE es de 1.0861 m y 1.4564 m, prediciendo valores con un bajo porcentaje de error. (Tabla 16 y figura 23).

El modelo $DAP = -2.0148 + 2.9135 \cdot AT\ RPA$, correlaciona las variables de diámetro a la altura del pecho y altura total RPA, tiene un nivel de relación entre las variables considerablemente fuerte, lo que indica que dicho modelo predice los valores de DAP con algún grado de precisión. La evaluación del modelo genera error MAE y RMSE de 5.4828 cm y 7.3222 cm, muestra que el modelo genera errores considerablemente altos en la predicción. (Tabla 17 y figura 24).

El modelo $DC = 2.47638 + 0.78340 \cdot AT\ RPA$, correlaciona las variables de diámetro de copa y altura total RPA, tiene un nivel de relación moderada entre las variables, lo que indica que dicho modelo predice los valores de DC con algún grado de precisión. El error MAE y RMSE tiene valores de 1.9237 m y 2.4871, permite analizar que el modelo tiene un alto nivel de error en sus predicciones. (Tabla 18 y figura 25).

Tabla 16.

Parámetros estadísticos de la regresión lineal de fotointerpretación AT y AT(RPA)

Ecuación	Coefficiente de correlación Pearson r	R ²	R ² ajustado	MAE	RMSE
AT = 1.45967 + 1.01138*AT RPA	0.8915	0.7948	0.7932	1.0861 m	1.4564 m

Figura 24.

Regresión lineal de fotointerpretación entre AT y AT (RPA)

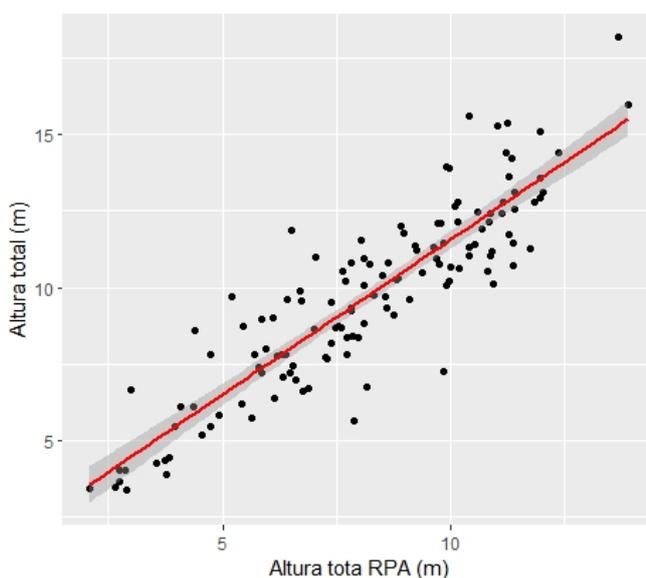


Tabla 17.

Parámetros estadísticos de la regresión lineal de fotointerpretación DAP y AT (RPA)

Ecuación	Coefficiente de correlación Pearson r	R ²	R ² ajustado	MAE	RMSE
DAP = -2.0148 + 2.9135*AT RPA	0.7268	0.5283	0.5247	5.4828 cm	7.3222 cm

Figura 25.

Regresión lineal de fotointerpretación entre DAP y AT (RPA)

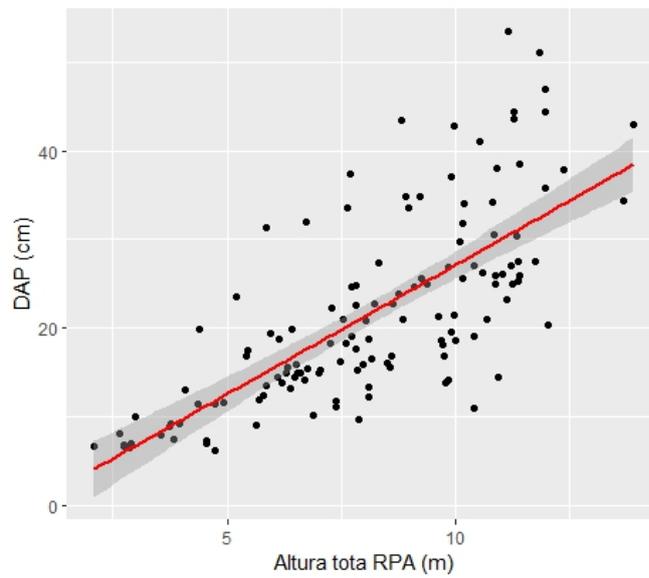


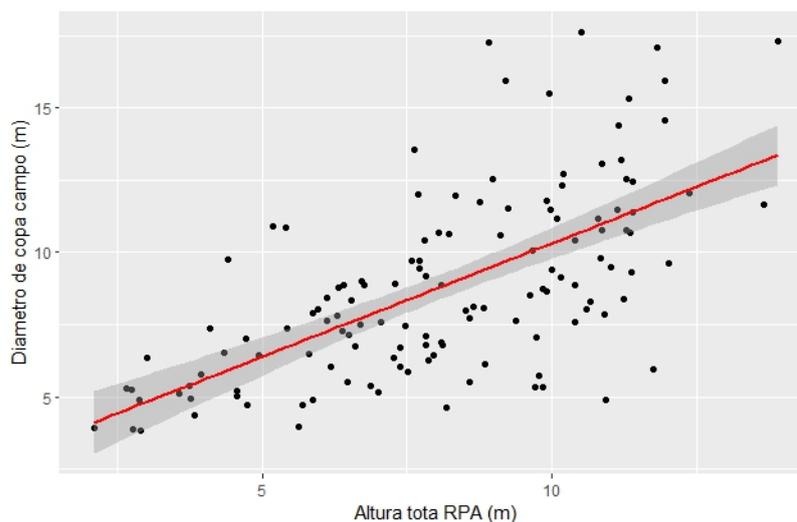
Tabla 18.

Parámetros estadísticos de la regresión lineal de fotointerpretación DC y AT (RPA)

Ecuación	Coefficiente de correlación Pearson r	R ²	R ² ajustado	MAE	RMSE
DC = 2.47638 + 0.78340 *AT RPA	0.6422	0.4124	0.4079	1.9237 m	2.4871 m

Figura 26.

Regresión lineal de fotointerpretación DC y AT (RPA)



4.3.2. Segmentación mediante cuencas inversas (IWS)

El modelo $DC = 1.22906 + 0.94649 \cdot DC \text{ RPA}$, que correlaciona las variables DC campo y DC RPA, el nivel de relación entre las variables es considerablemente alto, lo que indica que dicho modelo predice los valores de diámetro de copa obtenidos en campo, los errores MAE y RMSE es de 1.4729 m y 1.9425 m, indica que el modelo genera predicciones con bajos errores. (Tabla 19 y figura 26).

El modelo $DAP = -2.5462 + 2.9342 \cdot DC \text{ RPA}$, que correlaciona las variables DAP campo y DC RPA, el nivel de relación entre las variables es considerablemente alto, lo que indica que dicho modelo predice los valores de diámetro de copa obtenidos en campo, los errores MAE y RMSE es de 5.5914 cm y 7.1765 cm, indica que el modelo genera predicciones con valores altos de error. (Tabla 20 y figura 27)

El modelo $AT = 3.98488 + 0.68106 \cdot DC \text{ RPA}$ que correlaciona las variables AT campo y DC RPA, el nivel de relación entre las variables es bajo, lo que indica que dicho modelo predice los valores de diámetro de copa obtenidos en campo con alto porcentaje de error, los errores MAE y RMSE es de 2.0797 m y 2.6252 m, indica que el modelo genera predicciones con valores altos de error. (Tabla 21 y figura 28).

Tabla 19.

Parámetros estadísticos de la regresión lineal IWS DC y DC (RPA)

Ecuación	Coefficiente de correlación Pearson r	R ²	R ² ajustado	MAE	RMSE
DC = 1.22906 + 0.94649*DC RPA	0.8209	0.6739	0.6711	1.4729 m	1.9425 m

Figura 27.

Regresión lineal de IWS entre DC y DC (RPA)

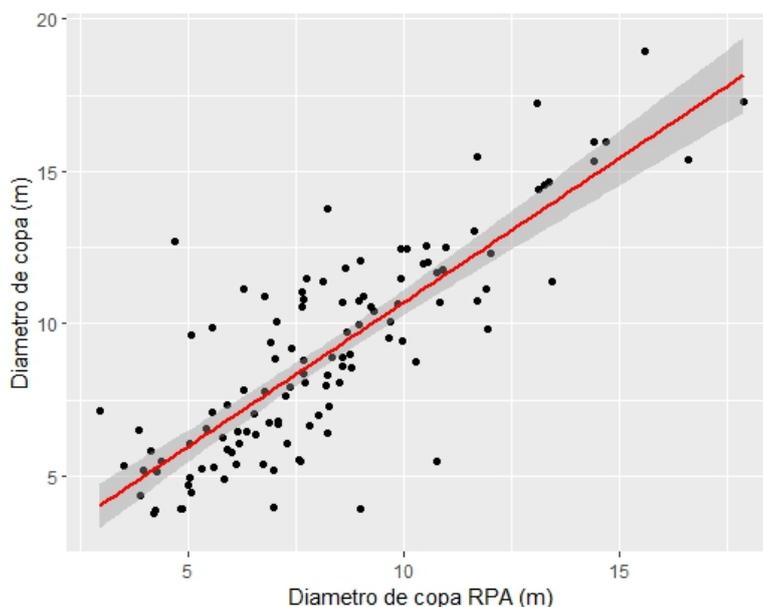


Tabla 20.

Parámetros estadísticos de la regresión lineal IWS DAP y DC (RPA)

Ecuación	Coefficiente de correlación Pearson r	R ²	R ² ajustado	MAE	RMSE
DAP = -2.5462 + 2.9342*DC RPA	0.7699	0.5927	0.5891	5.5914 cm	7.1765 cm

Figura 28.

Regresión lineal de IWS entre DAP y DC (RPA)

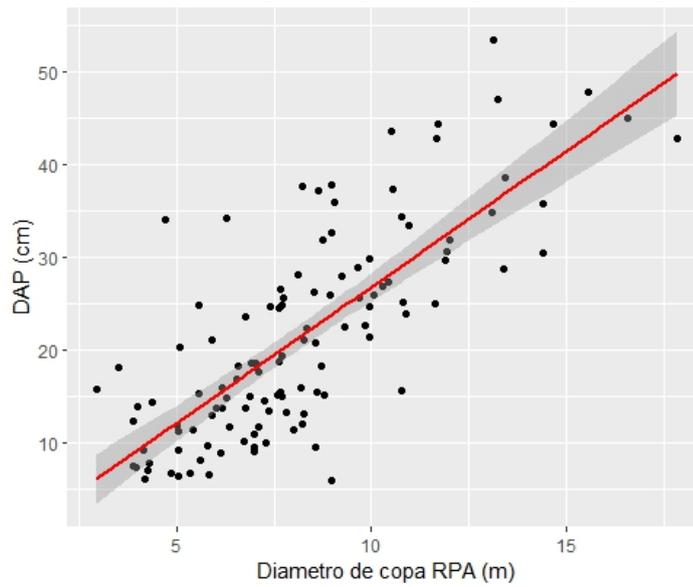


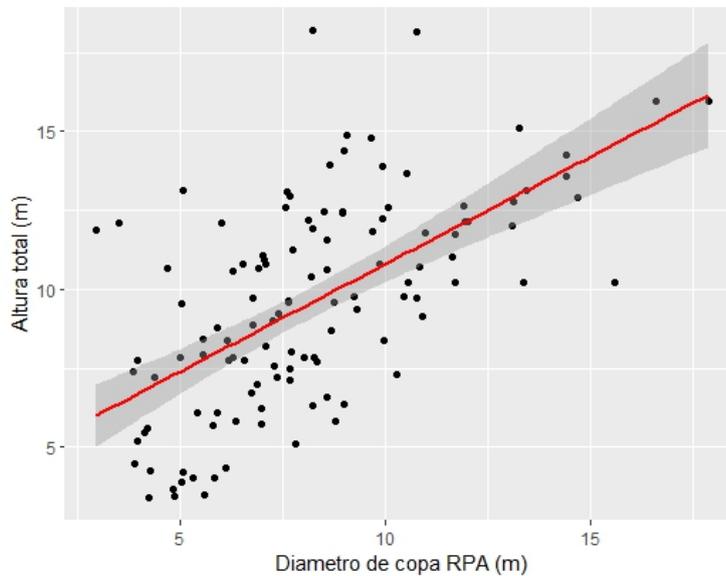
Tabla 21.

Parámetros estadísticos de la regresión lineal IWS AT y DC (RPA)

Ecuación	Coefficiente de correlación Pearson r	R ²	R ² ajustado	MAE	RMSE
AT = 3.98488 + 0.68106*DC RPA	0.6078	0.3694	0.3639	2.0797 m	2.6252 m

Figura 29.

Regresión lineal de IWS entre AT y DC (RPA)



El modelo $AT = 1.70114 + 0.96124 \cdot DC \text{ RPA}$, que correlaciona las variables AT campo y AT RPA, el nivel de relación entre las variables es considerablemente alto, lo que indica que dicho modelo predice los valores de altura obtenidos en campo, los errores MAE y RMSE es de 1.0946 m y 1.4945 m, indica que el modelo genera predicciones con bajos errores. (Tabla 21 y figura 29).

El modelo $DAP = -1.1423 + 2.7671 \cdot AT \text{ RPA}$, que correlaciona las variables DAP campo y AT RPA, el nivel de relación entre las variables es considerablemente alto, lo que indica que dicho modelo predice los valores de diámetro a la altura del pecho obtenidos en campo, los errores MAE y RMSE es de 5.2266 cm y 7.3740 cm, indica que el modelo genera predicciones con valores altos de error. (Tabla 22 y figura 30).

El modelo $DC = 2.60239 + 0.78008 \cdot AT \text{ RPA}$ que correlaciona las variables DC campo y AT RPA, el nivel de relación entre las variables es bajo, lo que indica que dicho modelo predice los valores de diámetro de copa obtenidos en campo con alto porcentaje de error. Los errores MAE y RMSE es de 1.7436 m y 2.4173 m, indica que el modelo genera predicciones con valores altos de error. (Tabla 23 y figura 31).

Tabla 22.

Parámetros estadísticos de la regresión lineal IWS AT y AT (RPA)

Ecuación	Coefficiente de correlación Pearson r	R ²	R ² ajustado	MAE	RMSE
AT = 1.70114 + 0.96124*AT(RPA)	0.8919	0.7956	0.7939	1.0946 m	1.4945 m

Figura 30.

Regresión lineal de IWS entre AT y AT (RPA)

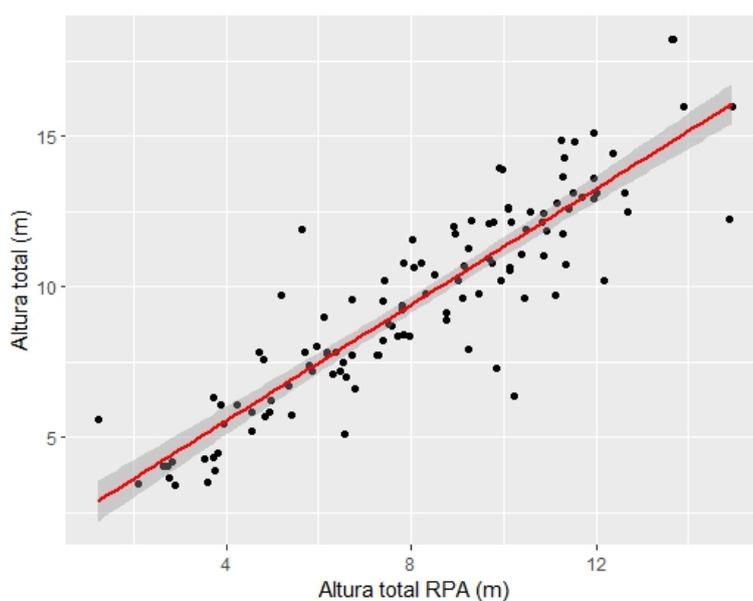


Tabla 23.

Parámetros estadísticos de la regresión lineal IWS DAP y AT (RPA)

Ecuación	Coefficiente de correlación Pearson r	R ²	R ² ajustado	MAE	RMSE
DAP = -1.1423 + 2.7671*AT(RPA)	0.7549	0.5699	0.5662	5.2266 cm	7.3740 cm

Figura 31.

Regresión lineal de IWS entre DAP y AT (RPA)

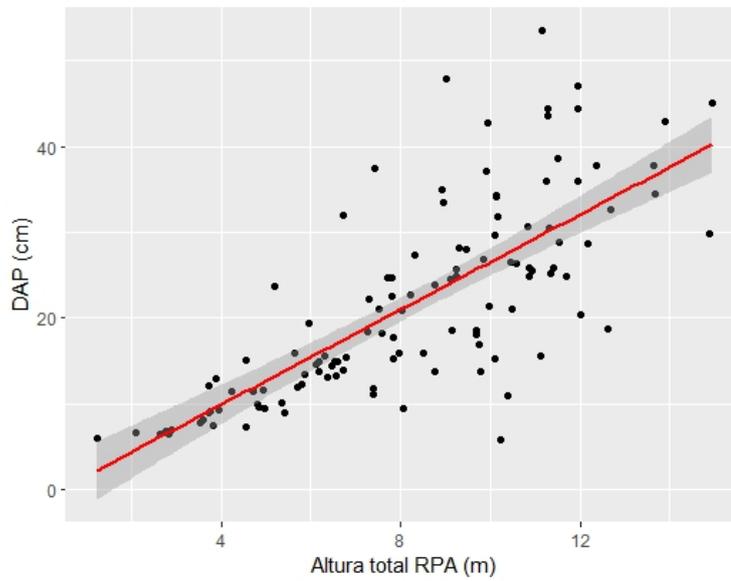


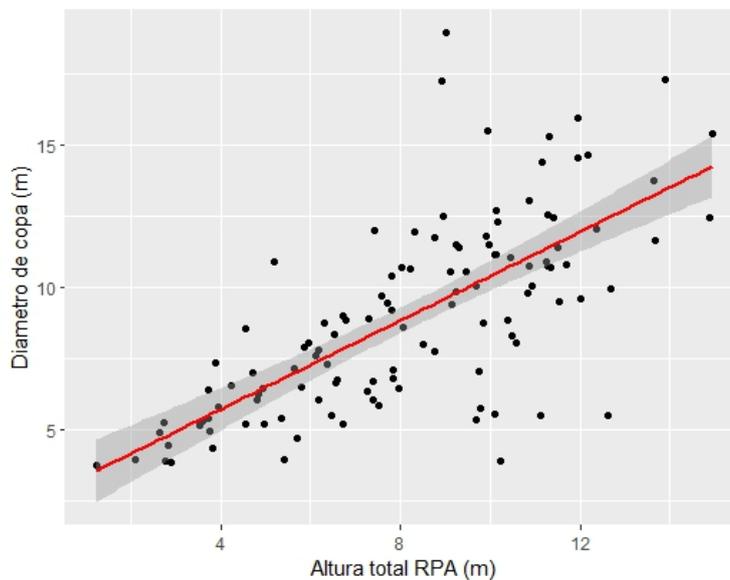
Tabla 24.

Parámetros estadísticos de la regresión lineal IWS DC y AT (RPA)

Ecuación	Coefficiente de correlación Pearson r	R ²	R ² ajustado	MAE	RMSE
DC = 2.60239 + 0.78008*AT	0.7035	0.4949	0.4906	1.7436 m	2.4173 m

Figura 32.

Regresión lineal de IWS entre DC y AT (RPA)



Los avances de la tecnología y de los vehículos aéreos no tripulados, permite su uso extensivo en inventarios forestales y mediciones indirectas de las características de los árboles, esto es posible debido a la obtención de variables dasométricas extraídas en fotografías aéreas como altura del árbol y diámetro de copa, logrando relacionarlo con datos dasométricos obtenidos en campo. El presente estudio las variables dasométricas que mayor correlación obtuvieron fue la relación diámetro de copa campo, diámetro de copa RPA y altura total campo, altura total RPA, específicamente usando la fotointerpretación como modelo de detección y delimitación de las copas, tal como se muestra en la ecuación $DC = 0.72094 + 1.02004 * DC \text{ RPA}$ y el modelo $AT = 1.45967 + 1.01138 * AT \text{ RPA}$, obteniendo una alta fuerza de concordancia con valores de (R^2) de 0.9087 y 0.7948, respectivamente, estos resultados es afirmado por (Nasiri, y otros, 2021), en su modelo de regresión lineal obtuvo valor de R^2 de 0.808 en el caso de altura de árboles y valor de R^2 de 0.923 para diámetros de copa, cabe resaltar que dichas imágenes se obtuvo a una altura de 100 metros. Otro autor que consolida nuestros resultados es (Chandrasekaran, Shao, Fei, Miller, & Hupy, 2022), que lograron tener una alta correlación en las estimaciones de la altura de los árboles y diámetros de copa basadas en vehículos aéreos no tripulados

con las mediciones terrestres obteniendo valores de 0.93 y 0.78, respectivamente.

La relación entre diámetro a la altura del pecho (DAP), con las variables obtenidos mediante fotografías aéreas, la correlación es considerablemente significativa. Para la relación de DAP y diámetro de copa RPA, se obtuvo valores de R^2 de 0.6449 y 0.5927. La relación de DAP y altura total RPA, los valores de R^2 es de 0.5283 y 0.5699, respectivamente. Estos resultados se asemejan a lo obtenido por (Vargas, 2022), correlaciona el DAP y diámetro de copa obtenido con RPAS (Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia) para la especie forestal *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg, en Jaén, obteniendo un valor de R^2 de 0.878, respectivamente.

Los modelos de regresión lineal, que correlaciona las variables dasométricas obtenidas en campo y mediante RPA, muestran alta concordancia, logrando predecir los valores en campo. Sin embargo, estos modelos muestran errores, que podrían influir considerablemente a los datos predichos. La regresión de diámetros de copas muestra errores muy bajos en su predicción, por ejemplo, el modelo de diámetros de copas detectados por fotointerpretación $DC = 0.72094 + 1.02004 * DC \text{ RPA}$, tiene un error absoluto medio $MAE = 0.7637 \text{ m}$ y error cuadrático medio $RMSE = 0.9788 \text{ m}$. En el caso de la regresión obtenida por el modelo segmentación de cuencas inversas (IWS) $DC = 1.22906 + 0.94649 * DC \text{ RPA}$, tiene un $MAE = 1.4729 \text{ m}$ y $RMSE = 1.9425 \text{ m}$. En el caso de las alturas, la regresión lineal obtenida por el modelo de fotointerpretación $AT = 1.45967 + 1.01138 * AT \text{ RPA}$, muestra un $MAE = 1.0861 \text{ m}$ y $RMSE = 1.4564 \text{ m}$. La regresión lineal obtenida por el modelo de segmentación de cuencas inversas (IWS) $AT = 1.70114 + 0.96124 * AT$, muestra un $MAE = 1.0946 \text{ m}$ y $RMSE = 1.4945 \text{ m}$, respectivamente. Los errores obtenidos son relativamente bajos en comparación a los estudios realizados por (Nasiri, y otros, 2021), utilizo imágenes de vehículos aéreos no tripulados para estimar la altura de los árboles y diámetros de copa, obteniendo un modelo de altura del dosel (CHM), el cual utilizo para calcular alturas y mediante el algoritmo de cuencas inversas (IWS), delimito la copa de los árboles, las estimaciones de la altura y diámetro de copa de los árboles basadas en vehículos aéreos no

tripulados se validaron con mediciones en campo obteniendo un RMSE = 3.22 m y 0.81 m, respectivamente. Otras investigaciones afirman lo obtenido tal como (Panagiotidis, Abdollahnejad, Surovy, & Chiteculo, 2016), obtuvo valores en la parcela 1 de MAE para la altura de 2.62 m y diámetro de corona de 0.73 m, la parcela 2 el MAE para la altura es de 2.88 m y diámetro de corona de 0.80 m. (Grznárová, y otros, 2019); determinaros los errores RMSE entre los diámetros de copa de referencia y diámetros de copa estimadas por IWS, en la parcela 1 y 2 se calcularon RMSE de 0.80 m y 1.89 m, respectivamente.

Existe diversos estudios que afirman la relación entre DAP y diámetro de copa, (Llanos, 2010); menciona que existe una fuerte relación directa entre DAP y diámetro de copa, donde la tendencia del diámetro de copa es aumentar conforme aumenta el DAP. (Malleux O, 1970), menciona que matemáticamente existe una estrecha correlación entre DAP y diámetro de copa de los árboles. En comparación al presente estudio existe una correlación moderada entre DAP, diámetro de copa RPA y altura total RPA, pero dichos modelos de región generan errores altamente significativos en los datos predichos. Las regresiones obtenidas mediante la fotointerpretación $DAP = -0.9283 + 2.8313 \cdot (DC \text{ RPA})$ y $DAP = -2.0148 + 2.9135 \cdot AT \text{ RPA}$, genera errores en los datos predichos de MAE=4.9335 cm y 5.2848 cm, RMSE = 6.3583 cm y 7.3222 cm. Las regresiones obtenidas mediante segmentación de cuencas inversas $DAP = -2.5462 + 2.9342 \cdot DC \text{ RPA}$ y $DAP = -1.1423 + 2.7671 \cdot AT$, genera errores en los datos predichos de MAE = 5.5914 cm y 5.2266 cm, RMSE = 7.1765 cm y 7.3740 cm, respectivamente.

El presente estudio indica que es posible obtener datos relativamente precisos de altura de los árboles y diámetro de copa utilizando la fotointerpretación como modelo de detección. Una de las principales causas de los errores obtenidos en los modelos de región es la altura de vuelo del equipo RPA, sin embargo (Johansen, Raharjo, & McCabe, 2018) , refuta lo antes mencionada debido que durante su estudio realizo diferentes vuelos (es decir 30 m, 50 m y 70 m), produjeron mediciones similares del ancho de la copa de los árboles, en cambio la altura de la copa de los árboles

disminuyó al aumentar la altura del vuelo. Esto indica que la altura del vuelo no influye significativamente en la obtención de diámetro de copa y altura, sin embargo, los errores más representativos están relacionados (1) la sobrestimación de la medición directa en campo y (ii) subestimación debido al efecto del suavizado del CHM derivado de la fotogrametría, así lo afirma (Pourreza, Moradi, Khosravi, Deljouei, & Vanderhoof, 2022) .

CAPITULO V

CONCLUSIONES

1. El contenido de carbono de la regeneración natural bajo manejo corresponde a cada comunidad campesina. La comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera, contiene un promedio muestral de 4.375 tn/ha para el estrato 1 y 0.3228 tn/ha para el estrato 2. La comunidad campesina Juan Velasco Alvarado contiene un promedio muestral de 0.579 tn/ha para el estrato 1 y 0.01089 tn/ha del estrato 2. La comunidad campesina Cury Lagarto contiene un promedio muestral de 0.445 tn/ha para el estrato 1 y 0.01859 tn/ha del estrato 2. Esto muestra el potencial de almacenamiento de carbono de la regeneración natural, siendo útil para la formulación de proyectos de carbono.

2. La fotointerpretación es el modelo más óptimo para detectar individuos forestales mediante fotografías aéreas, obteniendo una precisión global del 68.21%. En el caso de latizales y regeneración natural no es posible la detección con una exactitud general significativa. Sin embargo, el sesgo de la detección es muy amplio para ser utilizado en un inventario forestal. Dicho modelo se aplica en bosques ralos y plantaciones donde las copas arbóreas tengan poca o nula superposición.

3. Es posible obtener variables dasométricas mediante fotografías aéreas, principalmente el diámetro de copa y altura total, debido que muestran una alta concordancia según las medidas de precisión de los modelos de regresión lineal y presenta valores bajos en error. Las ecuaciones más recomendables para obtener variables dasométricas más exactas son aquellas obtenidas mediante la fotointerpretación: $AT = 1.45967 + 1.01138 * AT \text{ RPA}$ y $DC = 0.72094 + 1.02004 * DC \text{ RPA}$.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios de detección de árboles mediante RPAS (Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia), aplicando diferentes modelos de detección y altura de vuelo.
2. Generar ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de brinzales y latizales de especies forestales del bosque seco especialmente el algarrobo, sapote, charán negro, guayacán, polo polo, ceibo, etc.
3. Incentivar al estudiante el uso adecuado de RPAS y fotogrametría aplicados en investigaciones de detección de especies forestales, degradación, restauración, cambios fenológicos del bosque, etc.

CAPITULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agroideas. (2011). *Plan general de manejo forestal en la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado Franco sector 2 , Morropon Bosque seco de Zapotal - El Cerezo.*
- AIDER. (2015). *Proyectos de carbono forestal en el Perú. La experiencia de AIDER para mitigar el cambio climatico.* (P.Recavarren, Ed.) Lima, Perú. Obtenido de <https://aider.com.pe/publicaciones/carbono-forestal-2016.pdf>
- Barnes, E., Clarke, T., Richards, S., Colaizzi, P., Haberland, J., Kostrzewaki, M., & Moran, M. (2000). Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. *n Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, MN, USA, 1619*, 6. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Peter-Waller/publication/43256762_Coincident_detection_of_crop_water_stress_nitrogen_status_and_canopy_density_using_ground_based_multispectral_data/links/55ac358c08ae481aa7ff4da7/Coincident-detection-of-crop-water-str
- Bullón, E. (2014). *Estructura horizontal de las especies forestales del bosque seco de la comunidad campesina Cury Lagartos, Lancones- Sullana.* Piura: Universidad Nacional de Piura. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8548e847-f5dd-431b-b480-28f9d79a5ffb/content>
- Campos, M. (2017). *Evaluación del nivel de captura de carbono en bosques secundarios a través de las características morfológicas de la especie forestal xerofítico (Prosopis pallida).* Tesis de pregrado.
- CENEPRED. (2017). *Protocolo para operación de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS).* Lima.
- Cerrón, J., Fremout, t., Atkinson, R., Thomas, E., & Jonathan, C. (2019). *Experiencias de restauración y fuentes semilleras en el Bosque Seco Tropical del norte del Perú : Estado actual y lecciones aprendidas.* Bioversity International, World Agroforestry, Lima. Obtenido de <https://apps.worldagroforestry.org/sites/default/files/outputs/Report%20Dry%20Forest.pdf>
- Chandrasekaran, A., Shao, G., Fei, S., Miller, Z., & Hupy, J. (2022). Automated Inventory of Broadleaf Tree Plantations with UAS Imagery. *Remote Sensing*, 14(8), 1981. doi:<https://doi.org/10.3390/rs14081931>

- Chang, A., Yeom, J., Jung, J., & Landivar, J. (2020). Comparison of Canopy Shape and Vegetation Indices of Citrus Trees Derived from UAV Multispectral Images for Characterization of Citrus Greening Disease. *Remote Sensing*, 12(24), 4122. doi:doi.org/10.3390/rs12244122
- Consejo Nacional del Ambiente. (2006). *El Cambio Climático: impactos y oportunidades para Piura (documento de política)*. Piura. Obtenido de [https://sinia.minam.gob.pe/documentos/cambio-climatico-impactos-oportunidades-piura-documento-politica#:~:text=Plan%20%2F%20Estrategia%3A%20El%20Cambio%20Clim%C3%A1tico,Piura%20\(documento%20de%20pol%C3%ADtica\).&text=Este%20documento%20tiene%20como%20objet](https://sinia.minam.gob.pe/documentos/cambio-climatico-impactos-oportunidades-piura-documento-politica#:~:text=Plan%20%2F%20Estrategia%3A%20El%20Cambio%20Clim%C3%A1tico,Piura%20(documento%20de%20pol%C3%ADtica).&text=Este%20documento%20tiene%20como%20objet)
- De Lima Neto, E. M., Biondi, D., Araki, H., & Bobrowski, R. (2012). Fotografias aéreas para mensuração da área de copa das árvores de ruas de Curitiba - pr. *Floresta*, 42(3), 577-586. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/87834196/fa620a75f021e36ec4105f61355944ee2483-libre.pdf?1655816664=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DFotografias_Aereas_Para_Mensuracao_Da_Ar.pdf&Expires=1702185243&Signature=hSNWKGK93RVDv~0ljLp~AxLB55
- Di Liberto, S. (2022). *Selección de árboles semilleros de Cedrelinga cateniformis, Simarouba amara y Guatteria elata en plantaciones forestales mediante el uso de RPAS*. Tesis para optar título, Lima. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5551>
- DJI. (16 de Abril de 2022). *DJI P4 multispectral*. Obtenido de <https://www.dji.com/p4-multispectral/specs>
- Duarte, L., Silva, P., & Teodoro, A. C. (2018). Development of a QGIS Plugin to Obtain Parameters and Elements of Plantation Trees and Vineyards with Aerial Photographs. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(3), 109. doi:<https://doi.org/10.3390/ijgi7030109>
- FAO. (2016). *Los bosques y el cambio climático en el Perú*. Roma. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i5184s/i5184s.pdf>
- Gallardo-Salazar, J. L., & Pompa García, M. (2020). Detecting Individual Tree Attributes and Multispectral Indices Using Unmanned Aerial Vehicles: Applications in a Pine Clonal Orchard. *remote sensing*, 12(24), 4144. doi:doi.org/10.3390/rs12244144
- Gilbert, M., González-Piqueras, J., & García-Garo, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de teledetección*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Ma-Gilbert/publication/39195330_Acerca_de_los_indices_de_vegetacion/links

/00b7d5187635eb5a1a000000/Acerca-de-los-indices-de-vegetacion.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail

- Gobierno Regional de Piura. (2013). *Estrategia Regional de Cambio Climatico - Piura*. Piura. Obtenido de <https://d-nb.info/1097455327/34>
- Grznárová, A., Mokroš, M., Surový, P., Slavík, M., Pondelík, M., & Merganič, J. (2019). The crown diameter estimation from fixed wing type of UAV imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 337-341. doi:<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-337-2019>
- Honorio, E., & Baker, T. (2010). *Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazonicos*. Lima: Instituto de investigaciones de la amazonia Periana.
- IPCC. (2003). *Orientación del IPCC sobre las buenas practicas para UTCUTS - capitulo 4: Metodos complementarios y orientación sobre las buenas practicas que emana del protocolo de Kyoto*.
- IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. En IPCC, S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe (Edits.), *Capitulo 4: Tierras forestales* (Vol. 4, pág. 93). Japón. Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_00_Cover.pdf
- Johansen, K., Raharjo, T., & McCabe, M. F. (2018). Using Multi-Spectral UAV Imagery to Extract Tree Crop Structural Properties and Assess Pruning Effects. *Remote Sensing*, 10(6), 854. doi:<https://doi.org/10.3390/rs10060854>
- Llanos, M. (2010). *Determinación de biomasa aérea total del algarrobo Prosopis pallida (h&b. ex. willd.) h.b.k. var. pallida ferreira en los bosques secos de la comunidad campesina José Ignacio Tavera Pasapera del departamento de Piura*. Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1654>
- Malleux O, J. (1970). Estudio de la Relación D.A.P. con el Diámetro de Copa en un Bosque Húmedo Sub Tropical. *evista Forestal Del Perú*, 4, 1-2. doi:<https://doi.org/10.21704/rfp.v4i1-2.1089>
- Matese, A. (2020). Editorial for the Special Issue "Forestry Applications of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Forests*, 11(4), 406. doi:doi.org/10.3390/f11040406

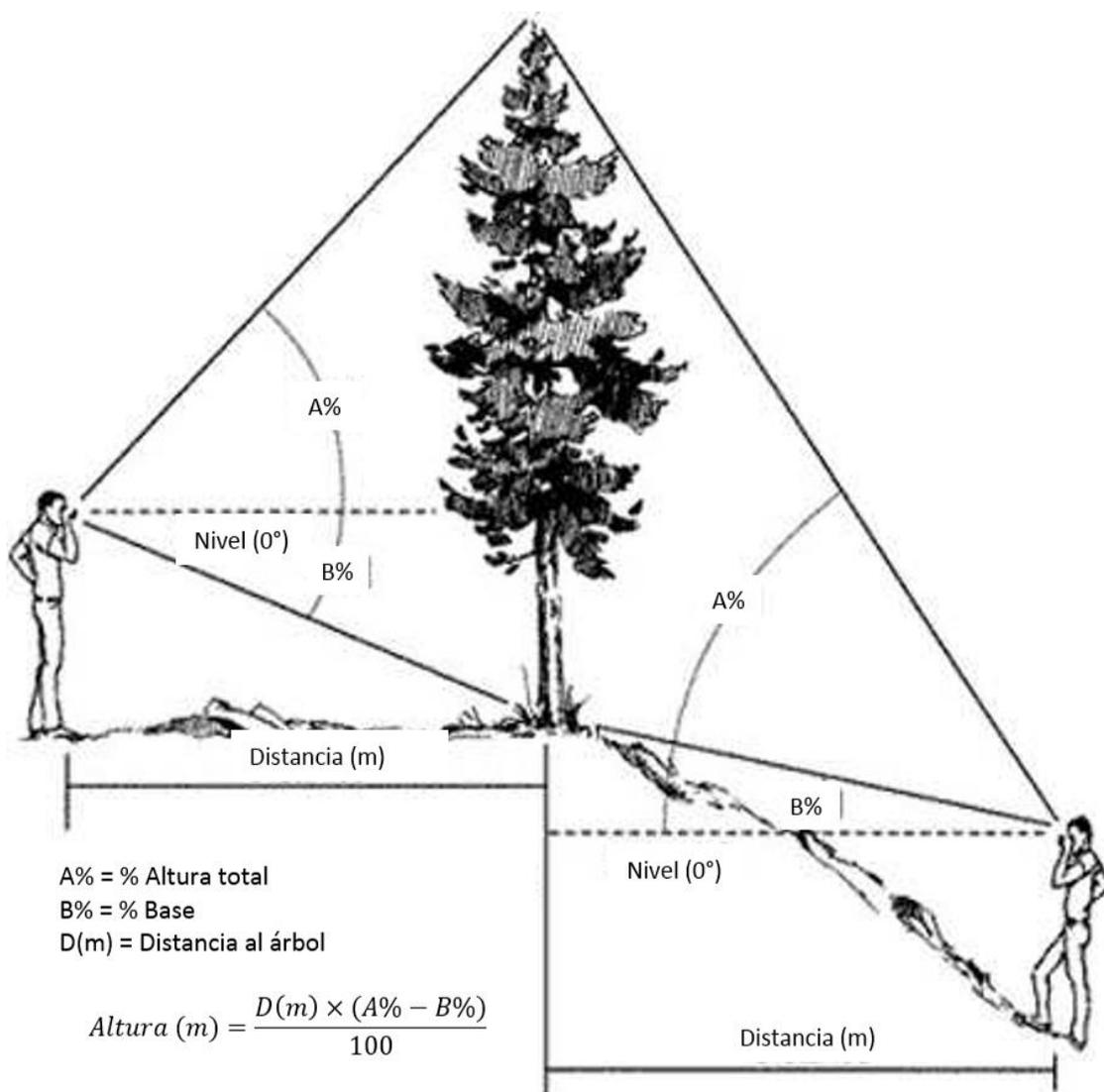
- MINAM. (2015). *Estrategia Nacional ante el Cambio Climático*. Ministerio del Ambiente. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/09/ENCC-FINAL-250915-web.pdf>
- MINAM. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación*. MINAM, Lima. Lima: © Ministerio del Ambiente. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- MINAM. (2016). *Tercera comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Lima: Ministerio del ambiente. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Tercera-Comunicaci%C3%B3n.pdf>
- Momsen, E. (27 de Febrero de 2023). *i.segment - Identifies segments (objects) from imagery data*. Obtenido de <https://grass.osgeo.org/grass83/manuals/i.segment.html>
- Nasiri, V., Darvishsefat, A., Arefi, H., Pierrot-Deseilligny, M., Namiranian, M., & Le Bris, A. (2021). Unmanned aerial vehicles (UAV)-based canopy height modeling under leaf-on and leaf-off conditions for determining tree height and crown diameter (case study: Hyrcanian mixed forest). *Canadian Journal of Forest Research*, 51(7), 962–971. doi:doi.org/10.1139/cjfr-2020-0125
- Panagiotidis, D., Abdollahnejad, A., Surov, P., & Chiteculo, V. (2016). Determining tree height and crown diameter from high-resolution UAV imagery. *International journal of remote sensing*, 2392-2410. doi: 10.1080/01431161.2016.1264028
- Pereira da Silva, P. F. (2017). *Desenvolvimento de um plugin em ambiente SIG open source (Qgis) para obter parâmetros e métricas de copas de árvores, através de imagens adquiridas por VANT*.
- Pourreza, M., Moradi, F., Khosravi, M., Deljouei, A., & Vanderhoof, M. K. (2022). GCPs-Free Photogrammetry for Estimating Tree Height and Crown Diameter in Arizona Cypress Plantation Using UAV-Mounted GNSS RTK. *Forests*, 13(11), 1905. doi:<https://doi.org/10.3390/f13111905>
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A., Kerr, Y., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote sensing of environment*, 48(2), 119 - 126. doi:10.1016/0034-4257(94)90134-1
- Quiroz, E. (2014). *Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicada a la ingeniería civil*. (U. d. extremadura, Ed.) Cáceres, España. Obtenido de https://mascvuex.unex.es/ebooks/sites/mascvuex.unex.es/mascvuex.ebooks/files/files/file/Fotogrametría_9788469713174_0.pdf

- Rimolo, R., Arriola, S., Umaña, J., López-Sampson, A., Sepúlveda, N., Villalobos, L., . . . Somarriba, E. (2021). *Fotogrametría digital con sistemas aéreos no tripulados para el análisis de sistemas agroforestales*. informe técnico, CATIE, Turrialba.
- Rouse, J.W, Hass, R., Schell, J., & Deering, D. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ*, 351(1), 309. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=e00CAAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA309&ots=JTTYj-AnYe&sig=7viAoCPT0BqAZ0hB_S3L7yrPCnw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- SENAMHI. (2014). *El fenómeno El Niño en el Perú*. Lima. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf
- Szretter, M. (2017). *Apunte de Regresión Lineal*. Buenos Aires: Universidades de Buenos Aires.
- Tagle, X., Di Laberto, S., Falen, L., Dávila, A., & Roque, E. (2021). *Manual para evaluación de plantaciones forestales mediante el uso de RPAs en el ámbito del Bosque Modelo Río Huayabamba – Abiseo*. Iquitos: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP).
- Universidad de Murcia. (2004). *El empleo de los SIG y la teledetección en planificación territorial*. (C. Conesa García, Y. Álvarez Rogel, & C. Granell Pérez, Edits.) Universidad de Murcia.
- Vargas, M. (2022). *Correlación entre los diámetros de fuste y copa de *Aspidosperma Polyneuron* Müll. Arg. en Jaén 2019*. Tesis pregrado, Jaén. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4663>

ANEXOS

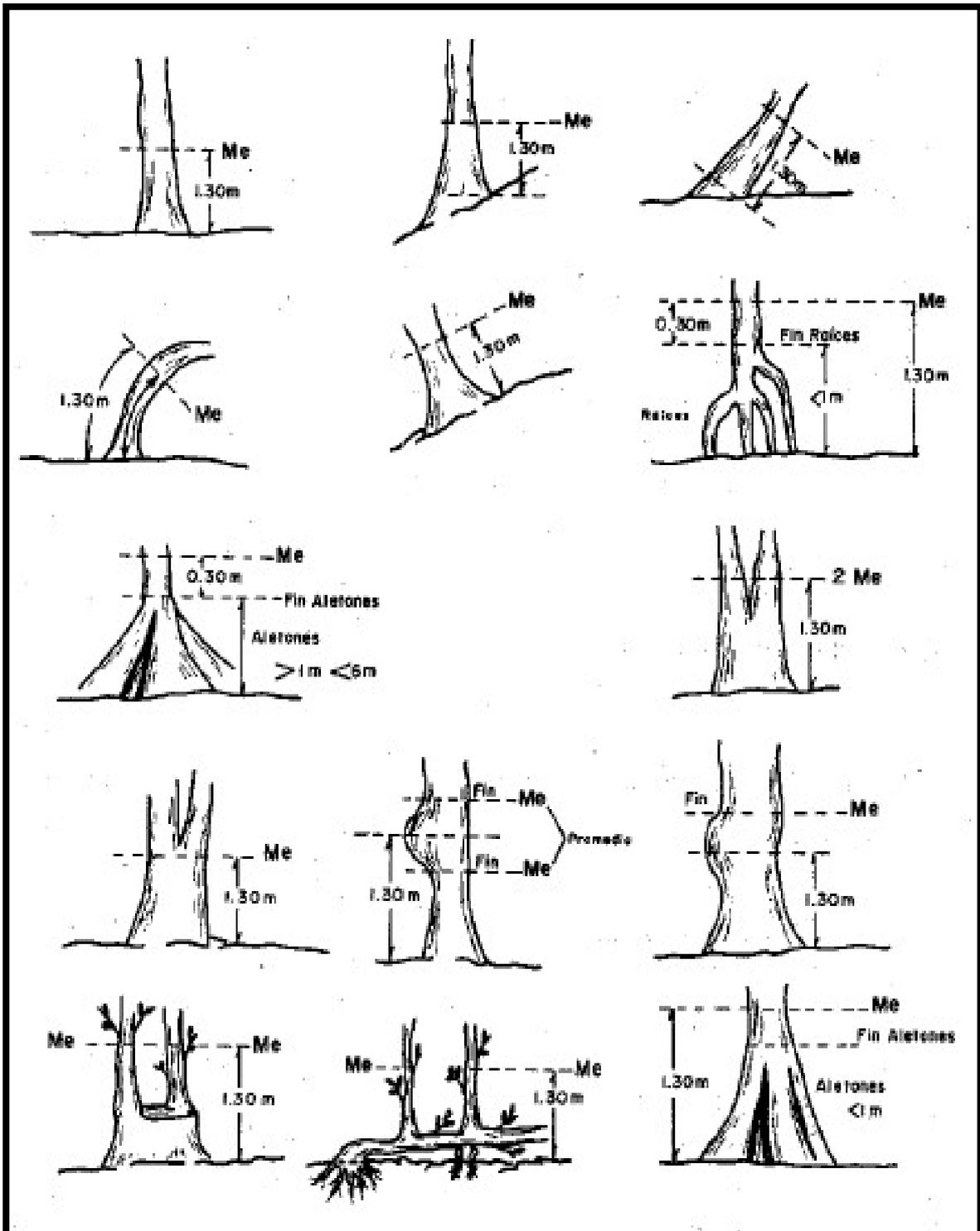
Anexo 1.

Medición de altura utilizando el clinómetro



Anexo 2.

Forma de medición de diámetro a la altura del pecho (DAP)



Anexo 3.

Carta de solicitud de permiso para volar el equipo RPA en la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado



Oficina Principal
Calle Las Damas 174, Piso 6
San Isidro - Lima
(51) 5958644 / 2785035
lima@aider.com.pe

Sede Madre de Dios
Av. La Joya 167 Los Castaños
Puerto Maldonado
(82) 571733
mdios@aider.com.pe

Sede Ucayali
Dr. Eduardo del Aguila 393
Putuliba
(061) 634463
putuliba@aider.com.pe

Sede Norte
Calle Los Finos Mz. 8 Lote 03
Dist. 1 Urb.
Los Geráminos - Piura
(73) 341944
piura@aider.com.pe

www.aider.com.pe



Carta N° 178 -2023/AIDER
Piura 17 de julio de 2023

Sr.
Fidel Correa
Presidente de la CC Juan Velasco Alvarado

Asunto: Solicita permiso para vuelo de dron

Presente. -

Reciba usted el saludo cordial de la Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral- AIDER y de la coordinación de la Sede Norte, así mismo hago de su conocimiento que nuestro compañero Antoni Jiménez Dios, está haciendo su Tesis de posgrado denominada **"Contenido de carbono de la regeneración natural y detección de variables dasométricas mediante Rpas en tres comunidades campesinas de Piura, 2023"**.

Como es de su conocimiento se realizó RNA en la Comunidad y justamente debemos consolidar estos datos obtenidos a través del **vuelo de dron** para cuantificar el contenido de carbono forestal de la regeneración natural, del bosque intervenido, para facilitar los trabajos de inventarios forestales, se propone obtener datos dasométricos mediante imágenes aéreas, para ello es necesario obtener ecuaciones alométricas que será resultado de la presente tesis.

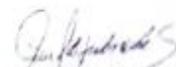
Para realizar este trabajo estarán en la Comunidad los días del 26 al 31 de Julio un equipo de tres personas:

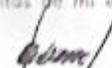
- Antoni David Jiménez Dios
- Arbildo García Nuñez
- Verina Valeria Cabrera Dioses

Por este motivo es que molesto su atención, para solicitar el permiso respectivo tanto para la permanencia de los compañeros como para el vuelo de dron, agradeciéndole de antemano su apoyo.

Aprovecho la oportunidad para reiterarle los sentimientos de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,


Ing. Ingrid Fernández de Andrade
Coordinadora AIDER Sede Norte


SANTOS FIDEL CORREA CESPEDES
PRESIDENTE



Que el bosque, siga siendo bosque

Anexo 4.

Medición de diámetro de copa en árboles



Autor: Antoni Jimenez

Lugar: Comunidad Campesina Juan Velasco Alvarado

Anexo 5.

Medición de diámetro de copa en arboles



Autor: Antoni Jimenez

Lugar: Comunidad Campesina Juan Velasco Alvarado

Anexo 6.

Identificación de brinzales



Autor: Manuel Llanos

Lugar: Comunidad Campesina José Ignacio Tavera Pasapera

Anexo 7.

Medición de altura de latizales



Autor: Manuel Llanos

Lugar: Comunidad Campesina José Ignacio Tavera Pasapera

Anexo 8.

Medición de altura en latizales



Autor: Manuel Llanos

Lugar: Comunidad Campesina Cury Lagarto

Anexo 9.

Medición de altura de latizales



Autor: Manuel Llanos

Lugar: Comunidad Campesina Cury Lagarto

Anexo 13.

Contenido de carbono en la comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera

No.	Área cerco (ha)	Anexo	Biomasa aérea (Kg)	Biomasa bajo el suelo (Kg)	Biomasa Total (kg)	Biomasa Total (kg/ha)	Carbono (Kg/ha)	Carbono (tn/ha)ET1	Carbono (tnha)ET 2
1	0.0031	Santiagouro	3.01	0.813	3.823	1235.121	617.561	0.617561	
2	0.0006	Santiagouro	0.08	0.022	0.102	160	80		0.08
3	0.0111	Santiagouro	3.7	0.999	4.699	421.662	210.831		0.210831
4	0.0262	Santiagouro	0.28	0.076	0.356	13.576	6.788		0.006788
5	0.0055	Santiagouro	0.37	0.1	0.47	85.811	42.905		0.042905
6	0.0275	Santiagouro	0.25	0.068	0.318	11.55	5.775		0.005775
7	0.0007	Santiagouro	0.29	0.078	0.368	491.722	245.861	0.245861	
8	0.0132	Santiagouro	0.3	0.081	0.381	28.859	14.43		0.01443
9	0.0017	Santiagouro	3.59	0.969	4.559	2717.104	1358.55	1.35855	
10	0.0213	Santiagouro	7.33	1.979	9.309	436.985	218.49		0.21849
11	0.1086	Santiagouro	13.85	3.739	17.589	161.93	80.97		0.08097
12	0.1307	Santiagouro	45.63	12.32	57.95	443.386	221.69	0.22169	
13	0.0265	Nva Esperanza	5.01	1.353	6.363	240.329	120.16		0.12016
14	0.0331	Nva Esperanza	81.28	21.946	103.226	3123.316	1561.66	1.56166	
15	0.053	Nva Esperanza	8.35	2.254	10.604	200.221	100.11		0.10011
16	0.0673	Nva Esperanza	151.46	40.894	192.354	2857.099	1428.55	1.42855	
17	0.025	Nva Esperanza	34.87	9.415	44.285	1770.688	885.34	0.88534	
18	0.0022	El Cerezo	11.05	2.984	14.034	6407.991	3204	3.204	
19	0.0095	El Cerezo	9.27	2.503	11.773	1242.391	621.2	0.6212	
20	0.008	El Cerezo	22.44	6.059	28.499	3576.657	1788.33	1.78833	

Anexo 14.

Contenido de carbono en la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado

SECTOR	N° Parcela	Área (ha)	Biomasa Aérea (kg)	Biomasa bajo el suelo (Kg)	Biomasa Total (kg)	Biomasa Total (kg/ha)	Carbono (kg/ha)	Carbono (tn/ha) ET 1	Carbono (tn/ha) ET 2
ZAPOTAL	1	0.031416	3.5	0.945	4.445	141.49	70.7	0.0707	
ZAPOTAL	6	0.031416	0.3	0.081	0.381	12.13	6.1		0.0061
ZAPOTAL	15	0.031416	3.2	0.864	4.064	129.36	64.7	0.0647	
ZAPOTAL	24	0.031416	0.03	0.0081	0.0381	1.21	0.6		0.0006
ZAPOTAL	26	0.031416	3.8	1.026	4.826	153.62	76.8	0.0768	
ZAPOTAL	39	0.031416	0.5	0.135	0.635	20.21	10.1		0.0101
ZAPOTAL	40	0.031416	0.01	0.0027	0.0127	0.4	0.2		0.0002
ZAPOTAL	45	0.031416	0.03	0.0081	0.0381	1.21	0.6		0.0006
ZAPOTAL	49	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
ZAPOTAL	50	0.031416	2.9	0.783	3.683	117.23	58.6	0.0586	
ZAPOTAL	51	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
ZAPOTAL	54	0.031416	6.5	1.755	8.255	262.76	131.4	0.1314	
ZAPOTAL	55	0.031416	4.3	1.161	5.461	173.83	86.9	0.0869	
ZAPOTAL	56	0.031416	3	0.81	3.81	121.28	60.6	0.0606	
ZAPOTAL	59	0.031416	3.7	0.999	4.699	149.57	74.8	0.0748	
ZAPOTAL	60	0.031416	0.04	0.0108	0.0508	1.62	0.8		0.0008
ZAPOTAL	61	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
ZAPOTAL	62	0.031416	0.03	0.0081	0.0381	1.21	0.6		0.0006
ZAPOTAL	63	0.031416	21	5.67	26.67	848.93	424.5	0.4245	
ZAPOTAL	70	0.031416	7	1.89	8.89	282.98	141.5	0.1415	
ZAPOTAL	71	0.031416	20	5.4	25.4	808.51	404.3	0.4043	
ZAPOTAL	72	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
ZAPOTAL	73	0.031416	4.1	1.107	5.207	165.74	82.9	0.0829	
ZAPOTAL	75	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
ZAPOTAL	77	0.031416	5	1.35	6.35	202.13	101.1	0.1011	
ZAPOTAL	80	0.031416	4.1	1.107	5.207	165.74	82.9	0.0829	
ZAPOTAL	81	0.031416	0.04	0.0108	0.0508	1.62	0.8		0.0008
ZAPOTAL	82	0.031416	3.1	0.837	3.937	125.32	62.7	0.0627	
ZAPOTAL	83	0.031416	12.2	3.294	15.494	493.19	246.6	0.2466	
ZAPOTAL	84	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
ZAPOTAL	85	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
ZAPOTAL	87	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
ZAPOTAL	89	0.031416	4.3	1.161	5.461	173.83	86.9	0.0869	
ZAPOTAL	91	0.031416	4.3	1.161	5.461	173.83	86.9	0.0869	
ZAPOTAL	92	0.031416	7.6	2.052	9.652	307.23	153.6	0.1536	
ZAPOTAL	93	0.031416	6.4	1.728	8.128	258.72	129.4	0.1294	
ZAPOTAL	94	0.031416	4.3	1.161	5.461	173.83	86.9	0.0869	
ZAPOTAL	95	0.031416	4.2	1.134	5.334	169.79	84.9	0.0849	
ZAPOTAL	96	0.031416	11.5	3.105	14.605	464.89	232.4	0.2324	

ZAPOTAL	97	0.031416	11.6	3.132	14.732	468.93	234.5	0.2345	
ZAPOTAL	98	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
FA	1	0.031416	18.5	4.995	23.495	747.87	373.9	0.3739	
FA	2	0.031416	0.4	0.108	0.508	16.17	8.1		0.0081
FA	6	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
FA	8	0.031416	11.4	3.078	14.478	460.85	230.4	0.2304	
FA	10	0.031416	9.1	2.457	11.557	367.87	183.9	0.1839	
FA	11	0.031416	27.4	7.398	34.798	1107.65	553.8	0.5538	
FA	12	0.031416	6.4	1.728	8.128	258.72	129.4	0.1294	
FA	13	0.031416	0.3	0.081	0.381	12.13	6.1		0.0061
FA	16	0.031416	9.6	2.592	12.192	388.08	194	0.194	
FA	17	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
FA	20	0.031416	3.4	0.918	4.318	137.45	68.7	0.0687	
FA	22	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
FA	24	0.031416	7.2	1.944	9.144	291.06	145.5	0.1455	
FA	25	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
FA	28	0.031416	3.1	0.837	3.937	125.32	62.7	0.0627	

Anexo 15.

Contenido de carbono en la comunidad campesina Cury Lagarto

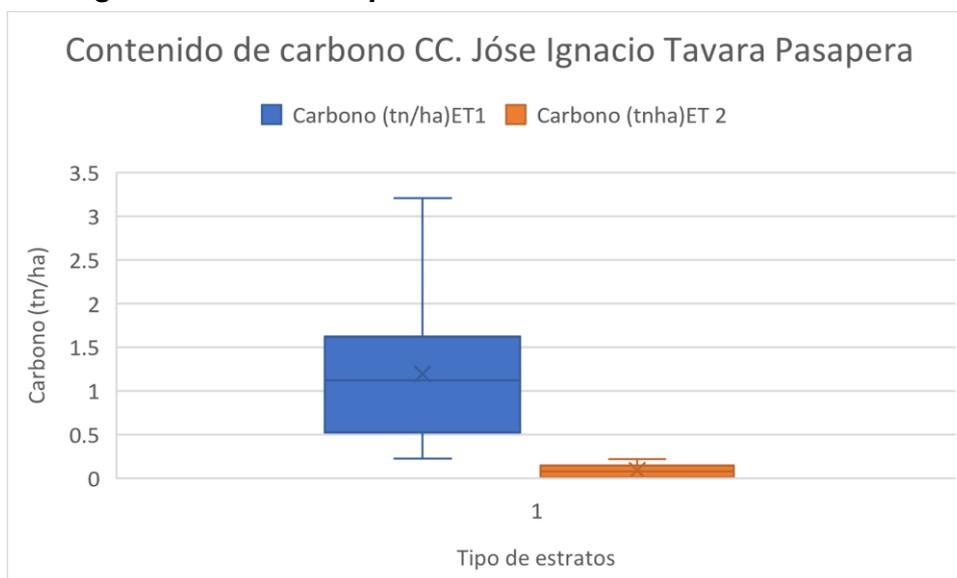
N° Parcela	Área (ha)	Biomasa Aérea (kg)	Biomasa bajo el suelo (Kg)	Biomasa Total (kg/ha)	Biomasa Total (kg/ha)	CARBONO (kg/ha)	Carbono (tn/ha) ET 1	Carbono (tn/ha) ET 2
1	0.031416	3.7	0.999	4.699	149.57	74.8	0.0748	
2	0.031416	0.3	0.081	0.381	12.13	6.1		0.0061
4	0.031416	3.3	0.891	4.191	133.4	66.7	0.0667	
6	0.031416	3.1	0.837	3.937	125.32	62.7	0.0627	
7	0.031416	11	2.97	13.97	444.68	222.3	0.2223	
8	0.031416	0.5	0.135	0.635	20.21	10.1		0.0101
9	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
10	0.031416	10.7	2.889	13.589	432.55	216.3	0.2163	
11	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
12	0.031416	3.3	0.891	4.191	133.4	66.7	0.0667	
13	0.031416	7	1.89	8.89	282.98	141.5	0.1415	
14	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
15	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
16	0.031416	7	1.89	8.89	282.98	141.5	0.1415	
17	0.031416	11.5	3.105	14.605	464.89	232.4	0.2324	
18	0.031416	3.5	0.945	4.445	141.49	70.7	0.0707	
19	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
20	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004

21	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
22	0.031416	0.03	0.0081	0.0381	1.21	0.6		0.0006
23	0.031416	0.4	0.108	0.508	16.17	8.1		0.0081
24	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
25	0.031416	3	0.81	3.81	121.28	60.6	0.0606	
26	0.031416	6.6	1.782	8.382	266.81	133.4	0.1334	
27	0.031416	3.5	0.945	4.445	141.49	70.7	0.0707	
28	0.031416	4.5	1.215	5.715	181.91	91	0.091	
29	0.031416	7.8	2.106	9.906	315.32	157.7	0.1577	
30	0.031416	4.3	1.161	5.461	173.83	86.9	0.0869	
31	0.031416	4.1	1.107	5.207	165.74	82.9	0.0829	
32	0.031416	4	1.08	5.08	161.7	80.9	0.0809	
33	0.031416	0.3	0.081	0.381	12.13	6.1		0.0061
34	0.031416	6.8	1.836	8.636	274.89	137.4	0.1374	
35	0.031416	3.2	0.864	4.064	129.36	64.7	0.0647	
36	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
37	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
38	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
39	0.031416	15.1	4.077	19.177	610.42	305.2	0.3052	
40	0.031416	7.8	2.106	9.906	315.32	157.7	0.1577	
41	0.031416	3.6	0.972	4.572	145.53	72.8	0.0728	
42	0.031416	6.3	1.701	8.001	254.68	127.3	0.1273	
43	0.031416	3.8	1.026	4.826	153.62	76.8	0.0768	
44	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
45	0.031416	7	1.89	8.89	282.98	141.5	0.1415	
46	0.031416	4.7	1.269	5.969	190	95	0.095	
47	0.031416	5	1.35	6.35	202.13	101.1	0.1011	
48	0.031416	3.3	0.891	4.191	133.4	66.7	0.0667	
49	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
50	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
51	0.031416	4	1.08	5.08	161.7	80.9	0.0809	
53	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
54	0.031416	0.3	0.081	0.381	12.13	6.1		0.0061
55	0.031416	10.3	2.781	13.081	416.38	208.2	0.2082	
56	0.031416	4.2	1.134	5.334	169.79	84.9	0.0849	
57	0.031416	0.4	0.108	0.508	16.17	8.1		0.0081
58	0.031416	6.6	1.782	8.382	266.81	133.4	0.1334	
59	0.031416	6.9	1.863	8.763	278.93	139.5	0.1395	
60	0.031416	4.5	1.215	5.715	181.91	91	0.091	
61	0.031416	0.1	0.027	0.127	4.04	2		0.002
62	0.031416	3.4	0.918	4.318	137.45	68.7	0.0687	
63	0.031416	3.4	0.918	4.318	137.45	68.7	0.0687	
64	0.031416	0.6	0.162	0.762	24.26	12.1		0.0121
65	0.031416	9.2	2.484	11.684	371.91	186	0.186	
66	0.031416	4.3	1.161	5.461	173.83	86.9	0.0869	
67	0.031416	0.3	0.081	0.381	12.13	6.1		0.0061

68	0.031416	12.3	3.321	15.621	497.23	248.6	0.2486	
70	0.031416	0.4	0.108	0.508	16.17	8.1		0.0081
71	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
72	0.031416	2	0.54	2.54	80.85	40.4	0.0404	
73	0.031416	0.3	0.081	0.381	12.13	6.1		0.0061
74	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
75	0.031416	0.3	0.081	0.381	12.13	6.1		0.0061
76	0.031416	0.4	0.108	0.508	16.17	8.1		0.0081
77	0.031416	0.3	0.081	0.381	12.13	6.1		0.0061
78	0.031416	0.2	0.054	0.254	8.09	4		0.004
79	0.031416	12.7	3.429	16.129	513.4	256.7	0.2567	
81	0.031416	0.6	0.162	0.762	24.26	12.1		0.0121

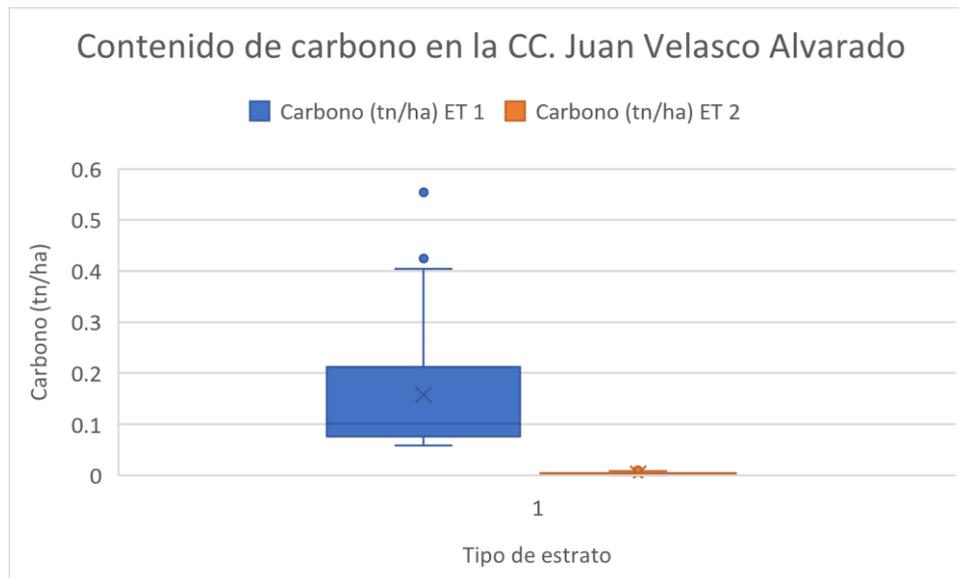
Anexo 16.

**Diagrama de cajas y bigotes del contenido de carbono en la CC.
José Ignacio Távara Pasapera**



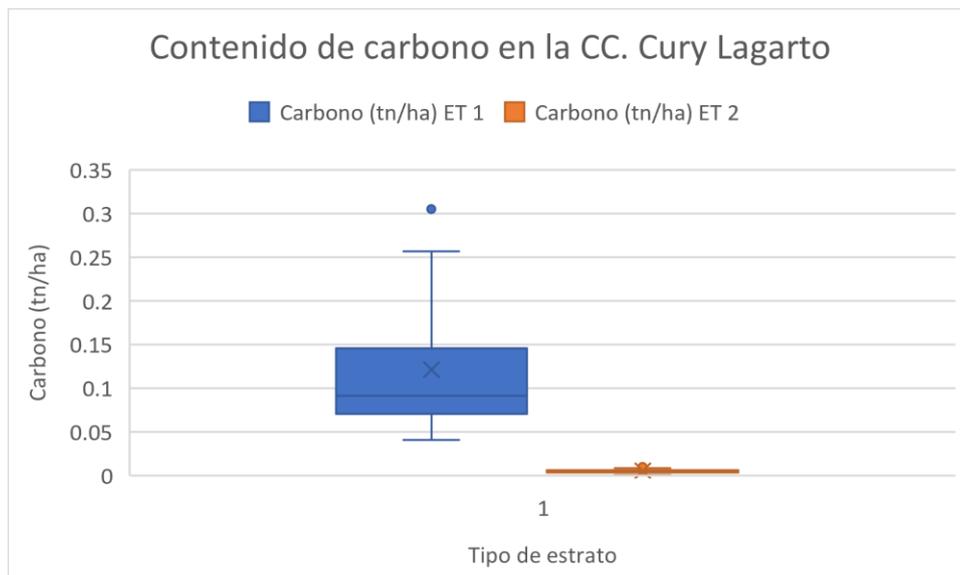
Anexo 17.

**Diagrama de cajas y bigotes del contenido de carbono en la CC.
Juan Velasco Alvarado**



Anexo 18.

**Diagrama de cajas y bigotes del contenido de carbono de la CC.
Cury Lagarto**



Anexo 19.

Informe de procesamiento de fotografías aéreas

Datos del levantamiento

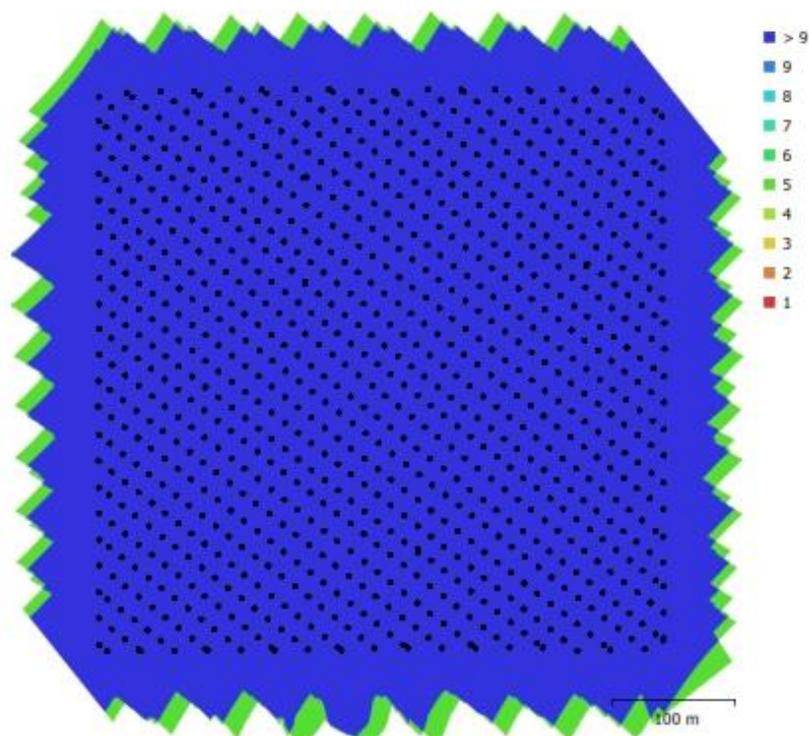


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 4,900

Altitud media de vuelo: 105 m

Resolución en terreno: 5.21 cm/pix

Superficie cubierta: 0.316 km²

Posiciones de cámara: 4,900

Puntos de enlace: 2,380,554

Proyecciones: 13,845,834

Error de reproyección: 0.663 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6360, Blue (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Green (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Red (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, RedEdge (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, NIR (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6360, Blue (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Green (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Red (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, RedEdge (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, NIR (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Blue (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Green (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Red (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, RedEdge (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, NIR (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Blue (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Green (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Red (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, RedEdge (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, NIR (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Blue (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Green (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Red (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, RedEdge (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, NIR (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Blue (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Green (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Red (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, RedEdge (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, NIR (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Blue (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Green (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6360, Red (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, RedEdge (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, NIR (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Blue (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Green (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Red (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, RedEdge (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, NIR (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Blue (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Green (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Red (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, RedEdge (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, NIR (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Blue (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Green (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Red (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, RedEdge (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, NIR (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Blue (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Green (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Red (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, RedEdge (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, NIR (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Blue (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Green (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Red (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, RedEdge (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, NIR (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Blue (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Green (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, Red (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí
FC6360, RedEdge (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6360, NIR (5.74mm)	1600 x 1300	5.74 mm	3.01 x 3.01 micras	Sí

Tabla 1. Cámaras.

Posiciones de cámaras

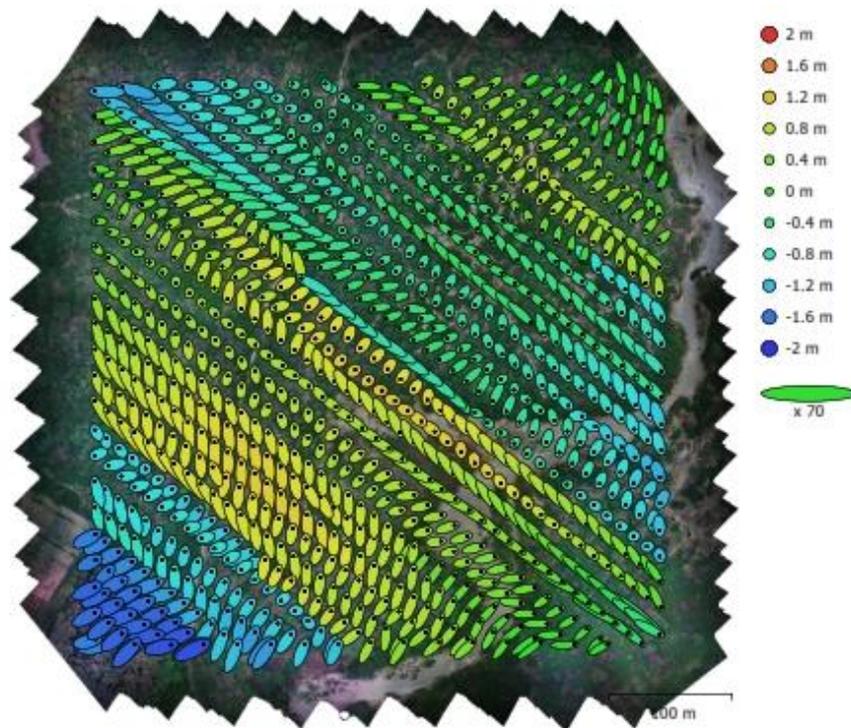


Fig. 72. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Error compuesto (cm)
12.848	13.4062	76.8394	18.5687	79.0512

Tabla 72. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Longitud, Y - Latitud, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

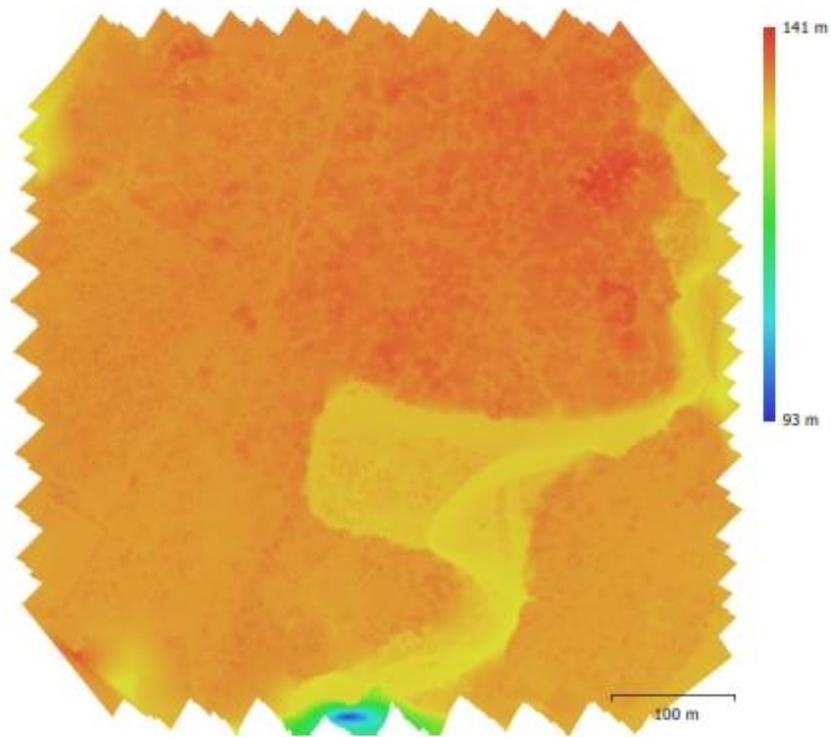


Fig. 73. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 5.21 cm/pix
Densidad de puntos: 369 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales	
Cámaras	4900
Cámaras orientadas	4900
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo
Nube de puntos	
Puntos	2,380,554 de 2,634,155
RMS error de reproyección	0.175452 (0.662781 pix)
Error de reproyección máximo	0.530181 (27.1684 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.35284 pix
Colores de puntos	1 banda, uint16
Puntos claves	No
Multiplicidad media de puntos de paso	7.73327
Parámetros de orientación	
Precisión	Alta
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	4,000
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	7 minutos 54 segundos
Tiempo de orientación	30 minutos 34 segundos
Mapas de profundidad	
Número	980
Parámetros de reconstrucción	
Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Moderado
Duración del procesamiento	22 minutos 17 segundos
Nube de puntos densa	
Puntos	46,980,287
Colores de puntos	5 bandas, uint16
Parámetros de reconstrucción	
Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Moderado
Tiempo de generación de mapas de profundidad	22 minutos 17 segundos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	22 minutos 35 segundos
Modelo	
Caras	9,301,274
Vértices	4,656,143
Colores de vértices	5 bandas, uint16
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
Datos fuente	Densa
Interpolación	Habilitada
Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Moderado
Número de caras	9,396,029
Duración del procesamiento	2 minutos 31 segundos
Modelo de teselas	
Textura	5 bandas, uint16

Generales**Parámetros de reconstrucción**

Datos fuente	Malla
Tamaño de tesela	256
Número de caras	Alta
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Duración del procesamiento	40 minutos 53 segundos

Modelo digital de elevaciones

Tamaño	19,036 x 19,212
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)

Parámetros de reconstrucción

Datos fuente	3
Interpolación	Habilitada
Duración del procesamiento	4 minutos 0 segundos

Ortomosaico

Tamaño	11,446 x 11,471
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Colores	5 bandas, uint16

Parámetros de reconstrucción

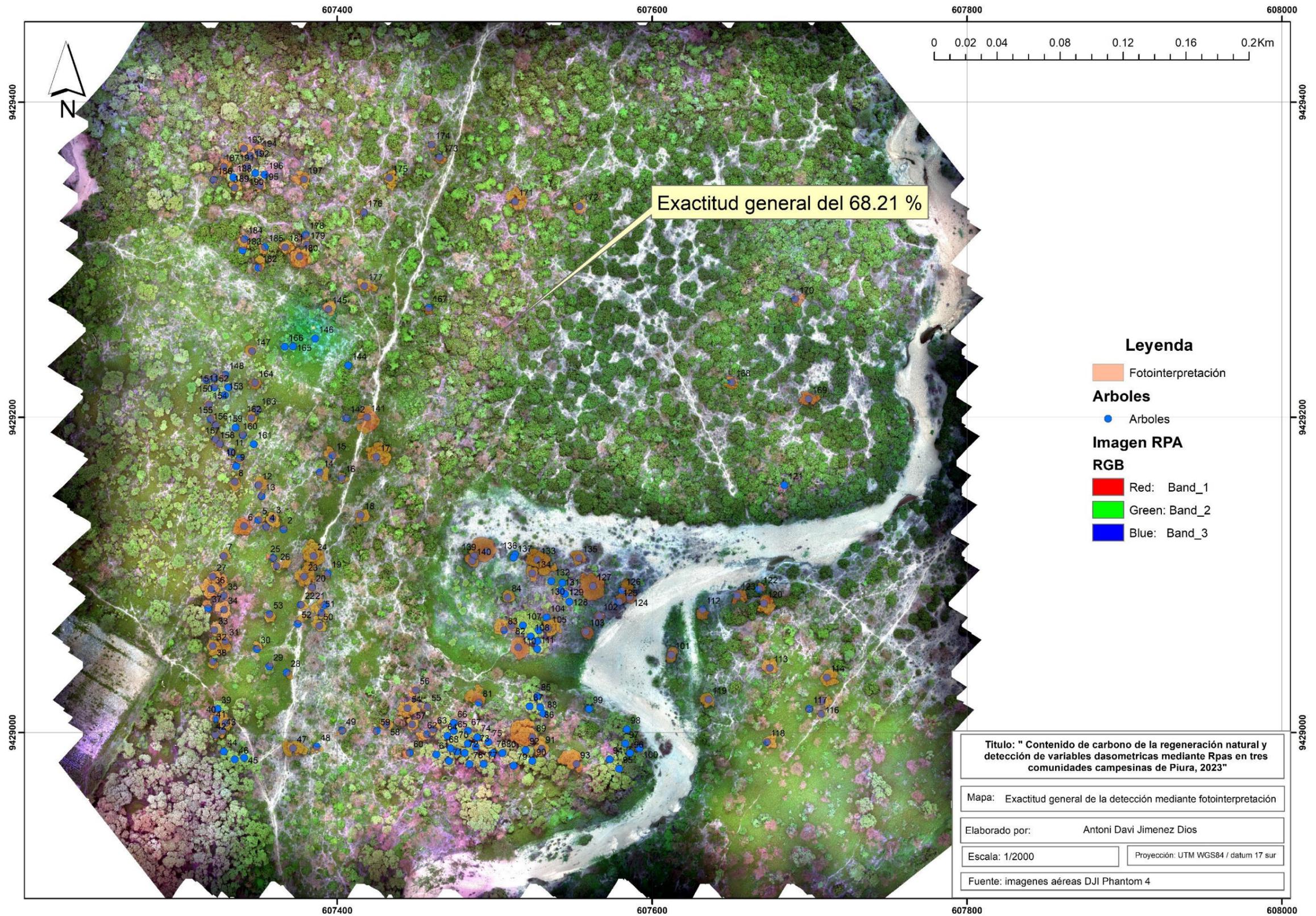
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo digital de elevaciones
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Duración del procesamiento	8 minutos 3 segundos

Software

Versión	1.5.1 build 7618
Plataforma	Windows 64

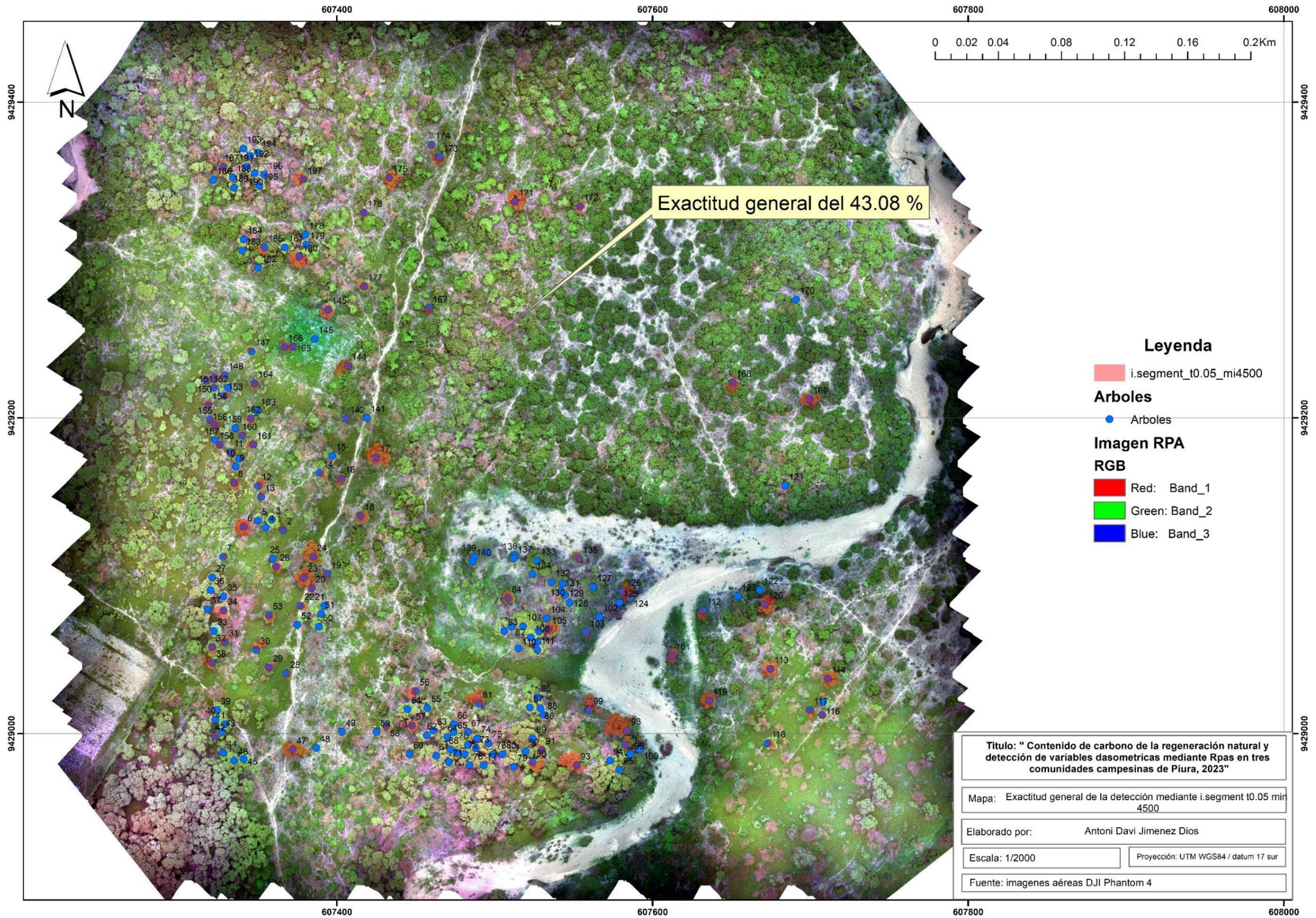
Anexo 20.

Exactitud general de la detección mediante fotointerpretación



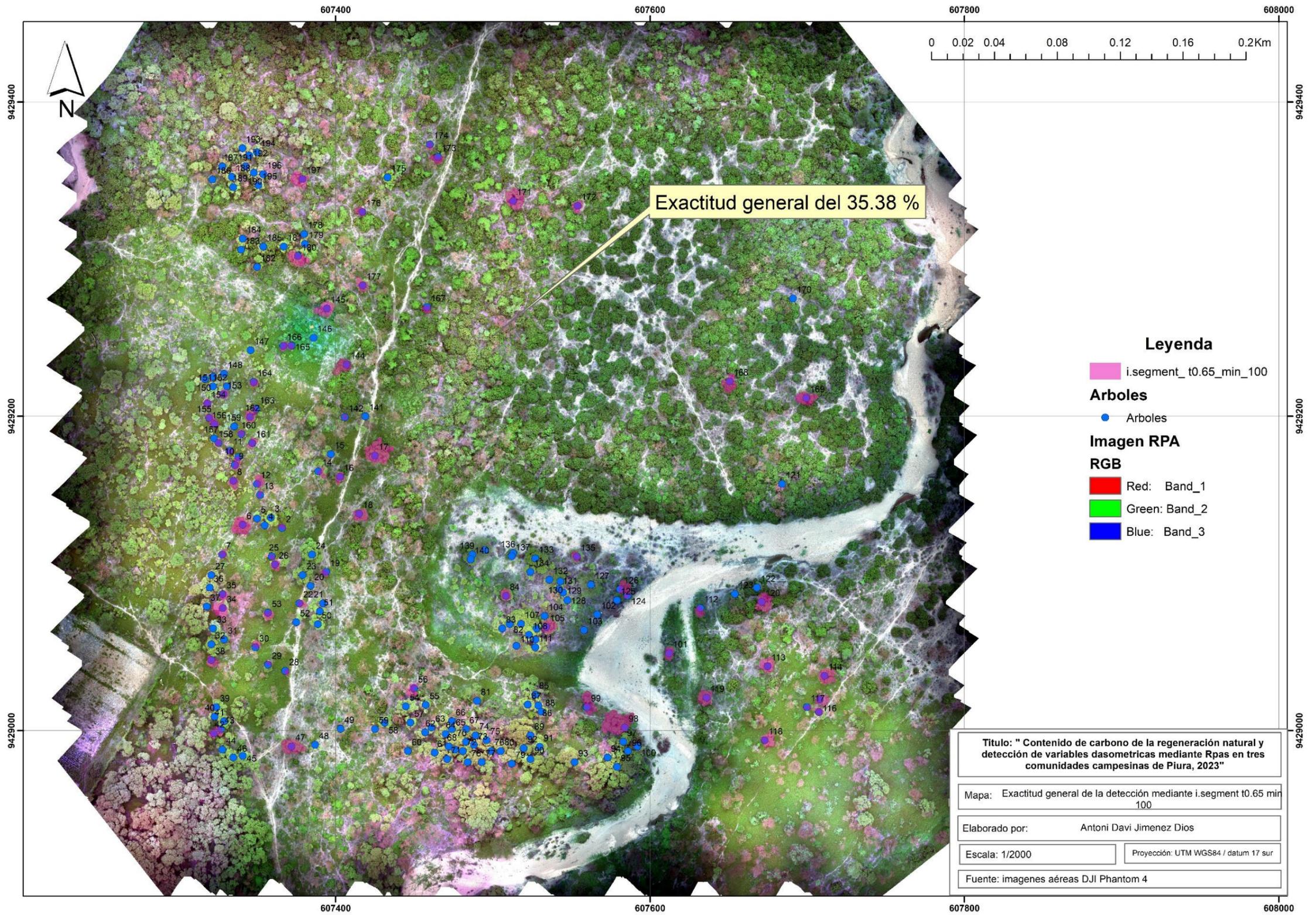
Anexo 21.

Exactitud general de la detección i.segment t 0.05 y min 4500



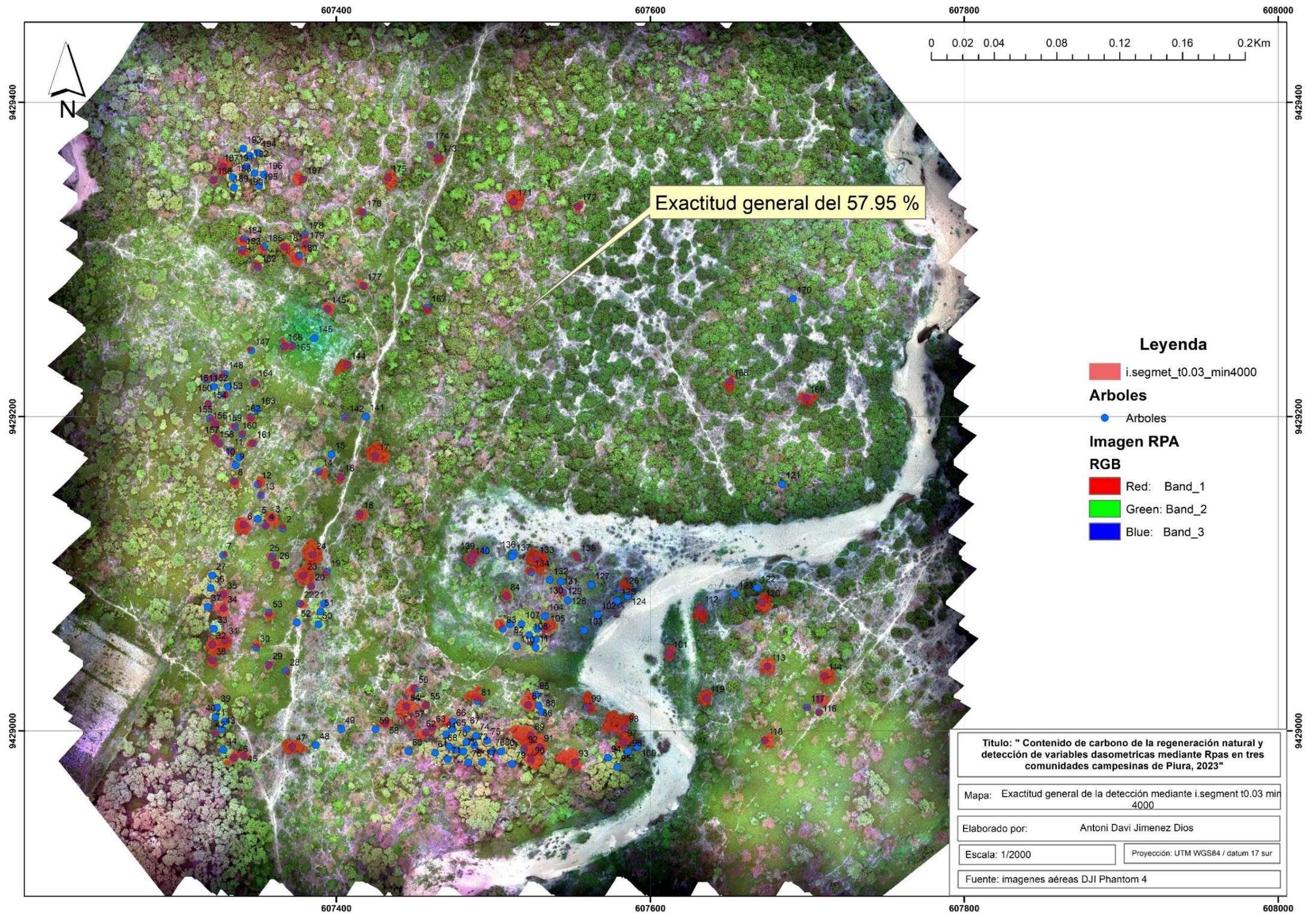
Anexo 22.

Exactitud general de la detección i.segment t0.65 y min 100



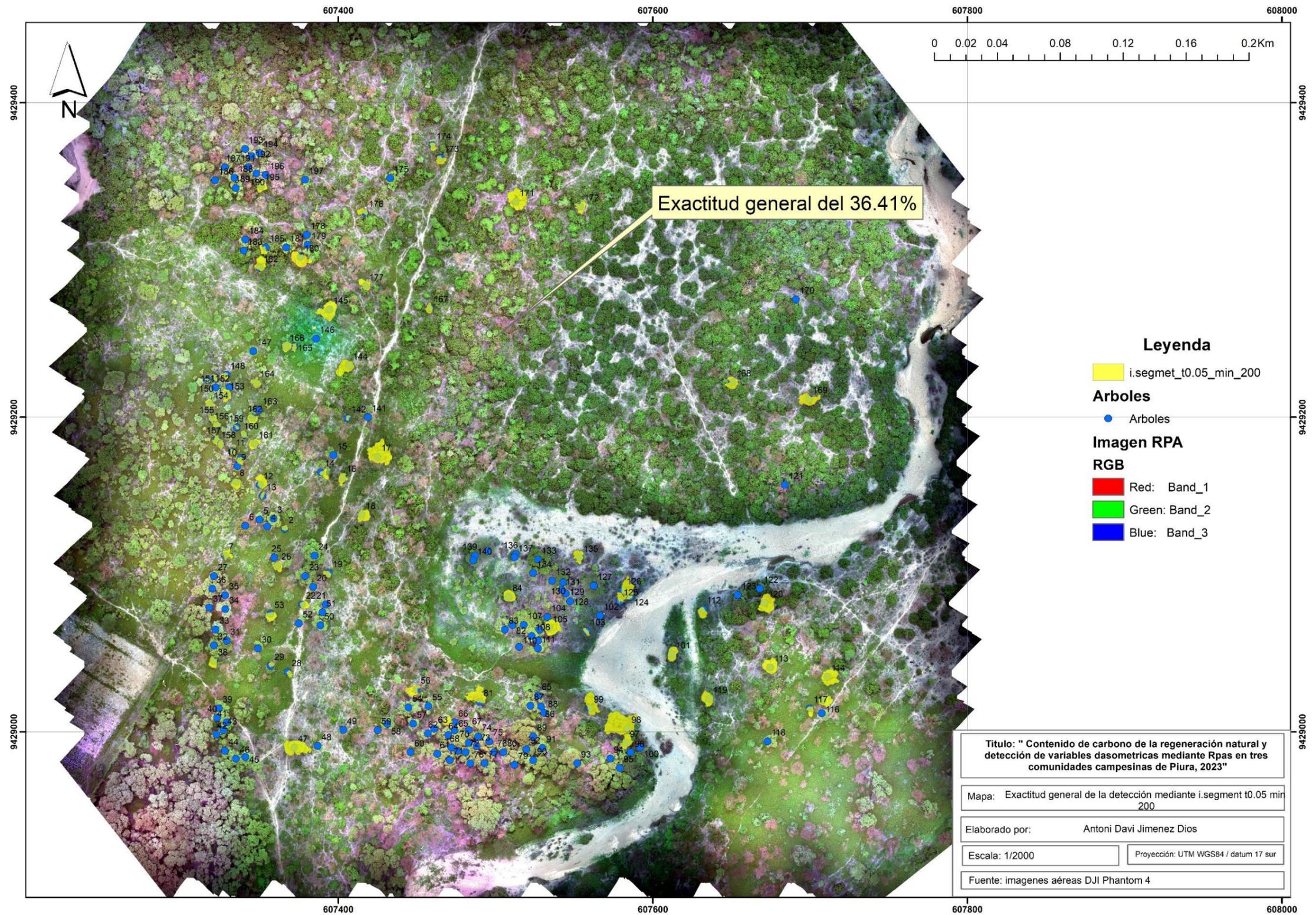
Anexo 23.

Exactitud general de la detección i.segment t 0.03 y min 4000



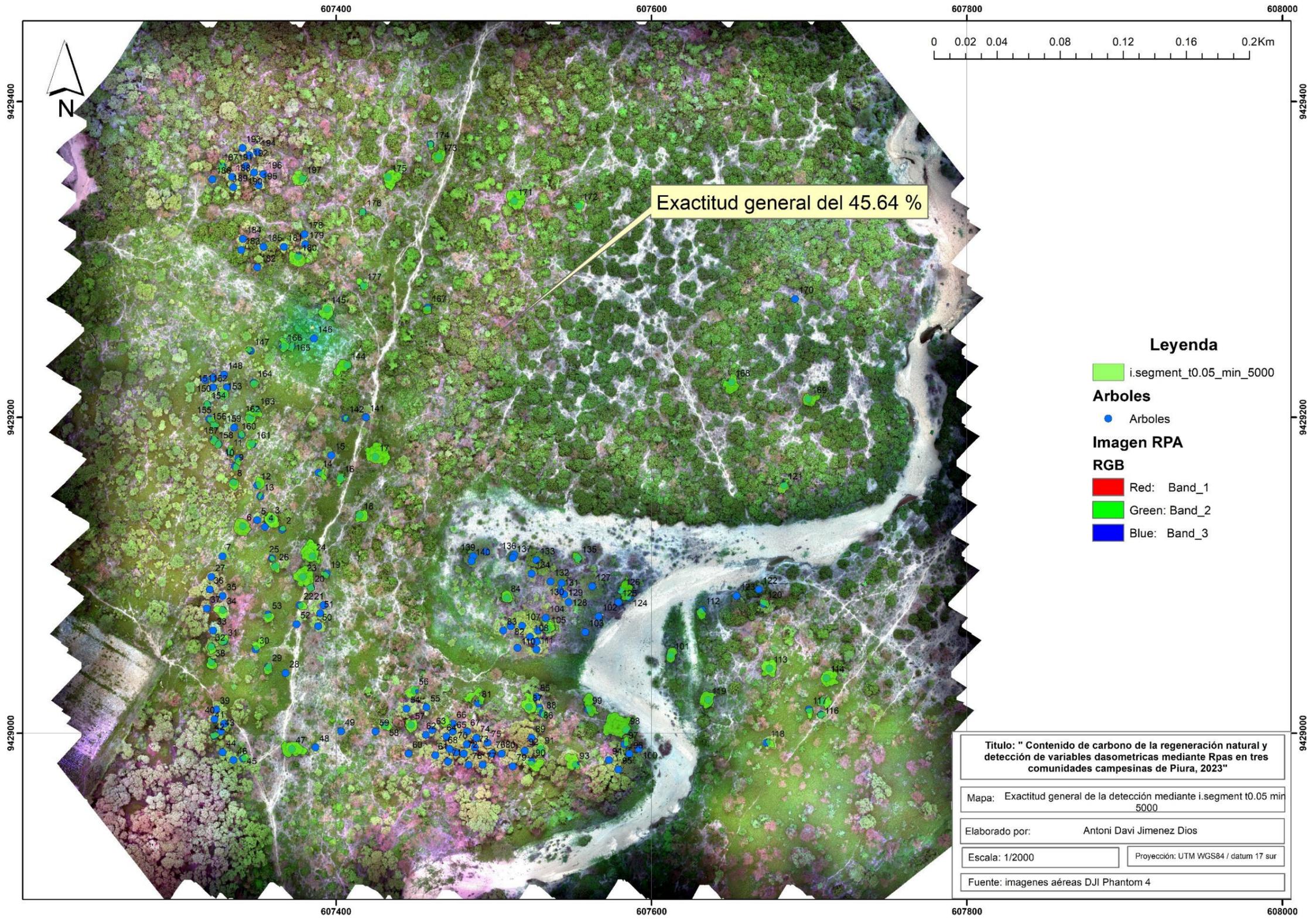
Anexo 24.

Exactitud general de la detección *i.segment t 0.05 y min 200*



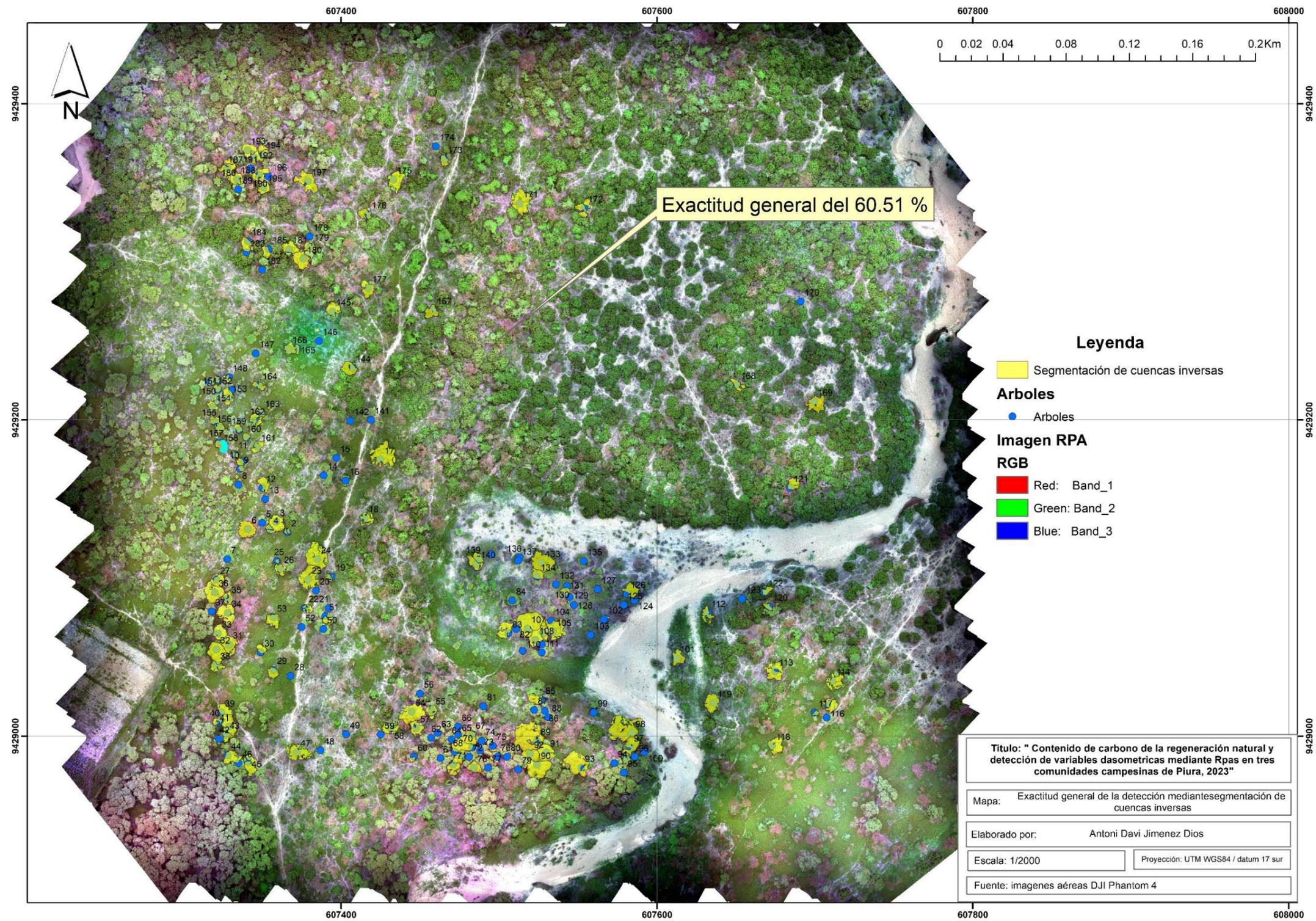
Anexo 25.

Exactitud general de la detección i.segment t0.05 y min 5000



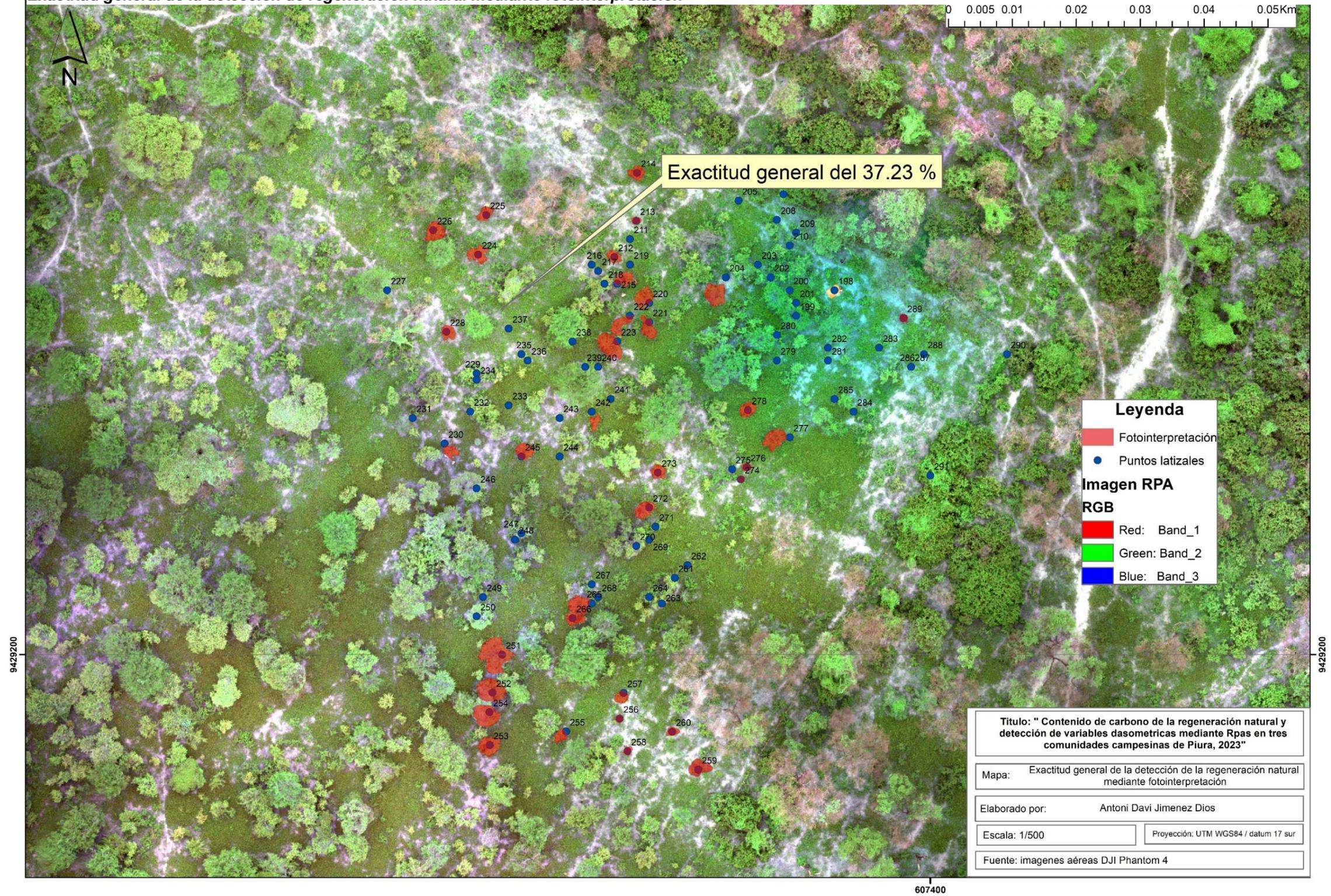
Anexo 26.

Exactitud general de la detección mediante segmentación de cuencas inversas (IWS)



Anexo 27.

Exactitud general de la detección de regeneración natural mediante fotointerpretación



Anexo 28.

Exactitud general de la detección de regeneración natural mediante segmentación de cuencas inversas (IWS)

