

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO AMBIENTAL**

**ESTIMACIÓN DEL CARBONO AÉREO ALMACENADO EN  
*Ceroxylon* sp. MEDIANTE ANÁLISIS GEOESPACIAL EN EL  
ACP BOSQUE DE PALMERAS DE LA COMUNIDAD  
CAMPELINA TAULÍA MOLINOPAMPA, AMAZONAS, 2021**

**Autor : Bach. Saúl Vilchez Pérez  
Asesores : Mg. Nilton Beltrán Rojas Briceño  
Ing. Rolando Salas López**

Registro:

**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2022**

## **DATOS DE LOS ASESORES DE LA TESIS**

**Mg. Nilton Beltrán Rojas Briceño**

DNI N° 72648444

Registro ORCID N° 0000-0002-5352-6140

<https://orcid.org/0000-0002-5352-6140>

**Ing. Rolando Salas López**

DNI N° 42670675

Registro ORCID N° 0000-0003-2184-6761

<https://orcid.org/0000-0003-2184-6761>

### **Campo de la Investigación y el Desarrollo según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)**

1.00.00 -- Ciencias naturales

1.05.00 -- Ciencias de la Tierra, Ciencias ambientales

1.05.08 -- Ciencias del medio ambiente

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis es dedicada a mi familia,  
Saúl Vilchez Vásquez y Blanca Flor  
Pérez Calderón mis padres, que  
gracias a su sacrificio, comprensión y  
consejos han hecho posible mi  
formación y realización profesional.*

*Por ser mi fuerza y mi inspiración.*

***Saúl Vilchez Pérez***

## **AGRADECIMIENTO**

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES), que a través del proyecto SNIP 312235 “Creación del Servicio de un Laboratorio Geomática y Teledetección de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas” - GEOMÁTICA; hizo posible la financiación de la investigación. A todos los miembros del equipo del laboratorio que sostuvieron las arduas salidas a campo con los equipos de medición dasométrica y topográfica.

A los asesores, Mg. Nilton Beltrán Rojas Briceño e Ing. Rolando Salas López, por su apoyo para ejecutar esta tesis y enseñanzas en Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicada a la gestión y manejo de los bosques.

A los docentes miembros del jurado, Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz, M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje y Mg. Eli Morales Rojas, por sus aportes y recomendaciones al proyecto de tesis, informe inicial y versión final, dando la oportunidad de aclarar las ideas y presentarlas en un lenguaje fácil de comprensión para cualquier lector.

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**Dr. Policarpio Chauca Valqui**

Rector

**Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón**

Vicerrector Académico

**Dra. Flor Teresa García Huamán**

Vicerrectora de Investigación

**Ph.D. Ricardo Edmundo Campos Ramos**

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

## VISTO BUENO DEL ASESOR 1 DE LA TESIS

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas que suscribe hace constar que ha asesorado la tesis titulada “ESTIMACIÓN DEL CARBONO AÉREO ALMACENADO EN *Ceroxylon* sp. MEDIANTE ANÁLISIS GEOESPACIAL EN EL ACP BOSQUE DE PALMERAS DE LA COMUNIDAD CAMPESINA TAULÍA MOLINOPAMPA, AMAZONAS, 2021”, del tesista egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental:

**Saúl Vilchez Pérez**

El suscrito da el visto bueno de la mencionada tesis, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el jurado evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de las observaciones que formulen para su posterior sustentación.

Chachapoyas, junio de 2022.



---

Mg. Nilton Beltrán Rojas Briceño  
Asesor

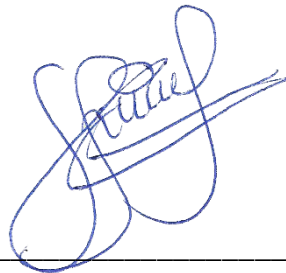
## VISTO BUENO DEL ASESOR 2 DE LA TESIS

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas que suscribe hace constar que ha asesorado la tesis titulada “ESTIMACIÓN DEL CARBONO AÉREO ALMACENADO EN *Ceroxylon* sp. MEDIANTE ANÁLISIS GEOESPACIAL EN EL ACP BOSQUE DE PALMERAS DE LA COMUNIDAD CAMPESINA TAULÍA MOLINOPAMPA, AMAZONAS, 2021”, del tesista egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental:

**Saúl Vilchez Pérez**

El suscrito da el visto bueno de la mencionada tesis, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el jurado evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de las observaciones que formulen para su posterior sustentación.

Chachapoyas, junio de 2022.



---

Ing. Rolando Salas López

Asesor

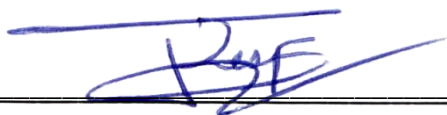
**JURADO CALIFICADOR**



---

**Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz**

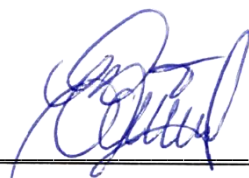
Presidente



---

**M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje**

Secretario



---

**Ing. Cristóbal Torres Guzmán**

Vocal



# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-0

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Estimación del Carbono Absoo Almacenado en Ceroxylon sp. Mediante Analisis

Eterospacial en el ACP. Bosque de Palmeras Taulia Molinopampa, Amazonas, 2021

presentada por el estudiante ( )/regresado (X) Bach. Saul Vilches Perea

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

con correo electrónico institucional 7386145151@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 18 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene \_\_\_\_\_ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL

OBSERVACIONES:

.....  
.....

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-5

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día ~~Marzo~~ de ~~06 de febrero~~ del año ~~2022~~, siendo las ~~7:00 p.m.~~ horas, el aspirante: Vilchez Pérez, Saúl, defiende en sesión pública presencial () / a distancia ( ) la Tesis titulada: Estimación del carbono Aéreo almacenado en Cerroxylon sp. mediante análisis geoespacial en el ACP bosque de palmeras, Tawilla Molinopampa, Amazonas, 2021, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Dr. Segundo Manuel Aliva Cruz

Secretario: Mg. Jefferson Fitzgerald Reyes Forja

Vocal: Jago Cristóbal Torres Guzmán

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad ( ) / Mayoría ( ) Desaprobado ( )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las ~~8:30 p.m.~~ horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

[Firma]  
SECRETARIO

[Firma]  
VOCAL

[Firma]  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

## CONTENIDO

DATOS DE LOS ASESORES DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS .....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR 1 DE LA TESIS.....	vi
VISTO BUENO DEL ASESOR 2 DE LA TESIS.....	vii
JURADO CALIFICADOR.....	viii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS .....	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS .....	x
CONTENIDO.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN .....	17
II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
2.1. Área de estudio.....	20
2.2. Determinación de la cobertura y uso actual del suelo en el ACP.....	21
2.2.1. Cartografía base y preprocesamiento del material satelital.....	21
2.2.2. Clasificación de cobertura y uso actual del suelo.....	23
2.2.3. Evaluación de exactitud de la clasificación .....	23
2.3. Determinación del carbono aéreo almacenado en <i>Ceroxylon</i> sp. con información dasométrica.....	24
2.3.1. Obtención de información dasométrica y georreferenciación de palmeras	24
2.3.2. Cálculo de carbono total aéreo .....	24
2.4. Determinación del carbono aéreo almacenado en <i>Ceroxylon</i> sp. mediante análisis espacial.....	25
2.4.1. Cálculo de la densidad y población de <i>Ceroxylon</i> sp. en el ACP .....	25
2.4.2. Determinación de carbono total del bosque de <i>Ceroxylon</i> sp. ....	26
III. RESULTADOS.....	27
3.1. Cobertura y uso actual del suelo en el ACP .....	27

3.1.1. Exactitud temática de la clasificación.....	27
3.1.2. Mapa de cobertura y uso actual del suelo.....	27
3.2. Carbono aéreo almacenado en <i>Ceroxylon</i> sp. con información dasométrica.....	27
3.2.1. Información dasométrica de <i>Ceroxylon</i> sp.....	27
3.2.2. Carbono almacenado por individuo de <i>Ceroxylon</i> sp. ....	30
3.3. Carbono aéreo almacenado en <i>Ceroxylon</i> sp. mediante análisis espacial.....	31
3.3.1. Densidad y población estimada de <i>Ceroxylon</i> sp.....	31
3.3.2. Carbono almacenado por el bosque de <i>Ceroxylon</i> sp.....	32
IV. DISCUSIÓN.....	33
V. CONCLUSIONES.....	37
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
VII. ANEXOS.....	44
Anexo 1. Puntos de control terrestre para corrección geométrica de imagen.....	44
Anexo 2. Centroides de las áreas de entrenamiento para la clasificación.....	44
Anexo 3. Centroides de las áreas de validación de la clasificación.....	46
Anexo 4. Información dasométrica de <i>Ceroxylon</i> sp., de fecha 22 de junio de 2021.....	47
Anexo 5. Procesamiento de imágenes de UAV.....	51
Anexo 6. Panel fotográfico.....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Índices espectrales y fórmulas.....	21
Tabla 2. Matriz de confusión para la clasificación temática de cobertura y uso actual del suelo en el ACP.....	28
Tabla 3. Extensión (ha y %) de la cobertura y uso actual del suelo en el ACP.....	28
Tabla 4. Captura de carbono promedio por individuo de <i>Ceroxylon</i> sp. en el ACP.....	30
Tabla 5. Captura de carbono por el bosque de <i>Ceroxylon</i> sp. en el ACP.....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del ACP Bosque de Palmeras de la Comunidad Campesina Taulia Molinopampa, Amazonas.....	20
Figura 2. Proceso metodológico para elaborar el mapa de cobertura y uso actual de suelo.	21
Figura 3. Covariables para clasificación (índices espectrales y topografía).....	22
Figura 4. Esquema de mediciones dasométricas y georreferenciación de palmeras. ....	24
Figura 5. Proceso metodológico para calcular densidad y población de <i>Ceroxylon</i> sp..	25
Figura 6. Flujograma de procesamiento fotogramétrico para la obtención de ortomosaicos...26	
Figura 7. Mapa de cobertura y uso actual del suelo en el ACP. ....	29
Figura 8. Número de individuos de <i>Ceroxylon</i> sp. según rango de DAP (cm). ....	29
Figura 9. Número de individuos de <i>Ceroxylon</i> sp. según rango de AF (m). ....	30
Figura 10. Conteo de individuos de <i>Ceroxylon</i> sp. por cada parcela de muestreo. ....	31
Figura 11. Densidad de individuos de <i>Ceroxylon</i> sp. en las parcelas de muestreo.....	32

## RESUMEN

Los bosques almacenan carbono y las estimaciones tradicionales del carbono forestal incluyen métodos de recolección de partes vegetales y modelado matemático. Aunque el enfoque tradicional proporciona las estimaciones más precisas de las existencias de carbono, por lo general es costoso, requiere mucha mano de obra/tiempo y, a veces, es imposible debido a la escasa/nula accesibilidad. Por tanto, esta investigación estimó el carbono aéreo almacenado en *Ceroxylon* sp. mediante el análisis geoespacial en el Área de Conservación Privada (ACP) Bosque de Palmeras Taulía Molinopampa (Amazonas, 2021). Para lo cual, a) se determinó la cobertura y uso actual del suelo en el ACP mediante clasificación supervisada de una imagen satelital Sentinel 2A; b) se determinó el carbono aéreo almacenado en individuos de *Ceroxylon* sp. con base en información dasométrica y, finalmente, c) se estimó el carbono aéreo almacenado en la totalidad del bosque de *Ceroxylon* sp. mediante análisis espacial. Se encontró que el 64.3% (7018.87 ha) del ACP está cubierto por bosque. El análisis dasométrico de 148 individuos de *Ceroxylon* sp. muestra que el diámetro de altura de pecho, y la altura de fuste promedio son 36.30 cm y 18.16 m, respectivamente, y que almacenan 510.98 kg.C/individuo. De las siete parcelas de evaluación (50 x 50 m), se calculó una densidad promedio de 0.0085 palmeras/m<sup>2</sup>, y se estimaron 593596 individuos de *Ceroxylon* sp. en el ACP. Finalmente, se estimó 303315.26 TM de carbono aéreo almacenado en el bosque de *Ceroxylon* sp. en el ACP al 2021, con un almacenamiento de 43214.26 kg.C/ha.

**Palabras clave:** Drone; Ecuación alométrica; Fotogrametría; Teledetección.

## ABSTRACT

Forests store carbon, and traditional estimates of forest carbon include methods of collecting plant parts and mathematical models. While the traditional approach provides the most accurate estimates of carbon stocks, it is generally expensive, time- and labor-intensive, and sometimes impossible due to poor or no accessibility. Therefore, this research estimated the aboveground carbon stored in *Ceroxylon* sp. through geospatial analysis in the Área de Conservación Privada (ACP) Bosque de Palmeras Taulía Molinopampa (Amazonas, 2021). For which, a) the current land cover and use in the ACP was determined by supervised classification of a Sentinel 2A satellite image; b) the carbon stored in individuals of *Ceroxylon* sp. based on dasometric information and, finally, c) the aerial carbon stored in the entire forest of *Ceroxylon* sp. through spatial analysis. It was found that 68.9% (7524.01 ha) of the ACP is covered by forest. The dasometric analysis of 148 individuals of *Ceroxylon* sp. shows that the diameter of the chest height, and the average height of the stem are 36.30 cm and 18.16 m, respectively, and that they store 510.98 kg.C/individual. Of the seven evaluation plots (50 x 50 m), an average density of 0.0085 palm trees/m<sup>2</sup> was calculated, and 636316 individuals of *Ceroxylon* sp. in the ACP. Finally, 325144.51 MT of aerial carbon stored in the forest of *Ceroxylon* sp. in the ACP by 2021, with a storage of 43214.26 kg.C/ha.

**Key words:** Drone; Allometric equation; Photogrammetry; Remote sensing.



## I. INTRODUCCIÓN

Los bosques fijan y almacenan carbono en biomasa, desechos leñosos, hojarasca y suelos; y las estimaciones tradicionales del carbono forestal y sus cambios incluyen métodos de recolección y modelado (Farooqi et al., 2021). La recolección directa de árboles implica la medición de diferentes componentes del árbol (tronco, hojas, ramas y raíces), y también se toman muestras de suelo para proporcionar una contabilidad completa de las reservas de carbono del ecosistema forestal (Sun & Liu, 2020). Aunque el enfoque tradicional proporciona las estimaciones más precisas de las existencias de carbono, por lo general es costoso, requiere mucha mano de obra, requiere mucho tiempo y, a veces, es imposible debido a la falta de acceso.

Un enfoque menos intensivo es calcular las existencias de carbono forestal utilizando ecuaciones alométricas. Las ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa se desarrollan estableciendo una relación entre la biomasa y los diversos parámetros físicos de los árboles, como el diámetro a la altura del pecho, la altura del árbol, el diámetro de la copa y las especies de árboles (Vashum & Jayakumar, 2012). Al incorporar datos de inventarios forestales y ecuaciones de predicción de biomasa de diferentes especies de árboles, se pueden evaluar las reservas de carbono. Sin embargo, un enfoque más rentable para estudios a gran escala de captura de carbono forestal, lo ha permitido el desarrollo y las aplicaciones de productos de teledetección, combinados con mediciones de sitios y datos de inventarios forestales (Farooqi et al., 2021). Para lo cual, establecen relaciones entre las bandas espectrales e índices de vegetación derivados de las imágenes de satélites y las mediciones de diversos parámetros físicos de los árboles, y luego extrapolar la relación espacialmente para obtener estimaciones regionales y nacionales.

A nivel regional y nacional no se han encontrado referencias relacionadas con la determinación del carbono almacenado en la biomasa aérea de *Ceroxylon* sp. mediante análisis geoespacial y Teledetección. Sin embargo, a nivel internacional se encuentran casos y metodologías con otras especies que destacan la importancia de utilizar la percepción remota en la determinación de la biomasa y carbono almacenado en bosques y plantaciones. Entre estos métodos están los paramétricos, como el ajuste de modelos matemáticos a través de la regresión entre las variables de interés y los datos espectrales de las imágenes de satélite (Hall et al., 2006; Mendoza, 2018).

Hall et al. (2006), presentó el método BioSTRUCT (Estimación de biomasa de la estructura del soporte), que se basa en diagramas de campo georreferenciados para generar relaciones empíricas entre las estimaciones continuas de los atributos de la estructura forestal y los datos de imágenes de detección remota representados como variables de respuesta espectral. Utilizó píxeles individuales de las imágenes de satélite.

Aguirre-Salado et al. (2009), utilizaron un factor muy importante que es la regresión lineal múltiple, pero previo a eso ponderaron biomasa. También indican que hay una buena relación entre datos espectrales del sensor de alta resolución espacial SPOT 5 HRG y el carbono arbóreo aéreo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). En los resultados demuestran la gran relación de los coeficientes calculados entre los valores observados y apreciados para los métodos de regresión y (k-nn, de k-nearest neighbor). Obtuvieron una buena significancia ( $p = 0.01$ ), revelando un alto grado de significancia para pronosticar el carbono arbóreo aéreo. Es por ello que se obtienen buenos resultados con el método k-nn para obtener una gran estimación de carbono aéreo.

Rodríguez (2015), estudió el potencial del índice diferenciado de vegetación (NDVI) de las Banda 4 y la Banda 5 del satélite/sensor Landsat 8 OLI para determinar biomasa arbórea. Aplicó las correcciones radiométricas a la imagen digital utilizada para obtener magnitudes físicas de la superficie (reflectancia) y calcular los índices de vegetación. También ha desarrollado métodos estadísticos por lo que sirve para detectar las zonas con más almacenamiento de la biomasa arbórea y para ello se utilizó fáciles técnicas de teledetección y sus respectivas variables, una de ellas el NDVI. Mediante los resultados relevantes nos indica que la utilización de teledetección para estimar biomasa favorece al evaluador de la forma más económicamente (baja los costos), como también en dinero y es una forma en la cual no se practica la deforestación, se realiza solo de manera indirecta y no actúa de una forma negativa sobre el ecosistema.

Martínez et al. (2017), utilizaron datos logrados a través de la Percepción Remota para la evaluación indirecta del valor de la biomasa/carbono en distintos regímenes bosques de 5 a 60 años del estado de Durango (México). Modelaron espacialmente y generaron mapas de la biomasa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) y carbono arbóreo aéreo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), mediante el uso de imágenes de satélite. En esta investigación se muestra la relación entre los datos espectrales logrados con el sensor Landsat TM y las variables de biomasa y carbono ya que estos son muy importantes para la determinación indirecta del valor de la

biomasa/carbono. Los resultados indican que las imágenes Landsat TM entregan información apreciable para determinar biomasa y cuantificar el carbono.

Sastre et al. (2016), utilizaron métodos de teledetección como procesamiento de datos LiDAR, imágenes por satélite y fotogrametría de jerarquía cercano a través de RPAs o drones para conocer la fase preliminar de la vegetación de una zona forestal y generar los datos necesarios para estimar la cantidad de biomasa y carbono capturado en la misma. Este estudio obtuvo información sobre las zonas de estudio en toda su extensión y no de carácter puntual. Además, el uso de plataformas aéreas permite extraer fácilmente datos de zonas de otra manera inaccesibles, así como cubrir extensas áreas rápidamente. Esto supone un ahorro en tiempo, coste económico y en trabajo sobre el terreno, reducido a la toma de datos de apoyo y contraste. Por lo que muestran que estos métodos resultan adecuados para obtener buenos resultados en las estimaciones de la Biomasa forestal.

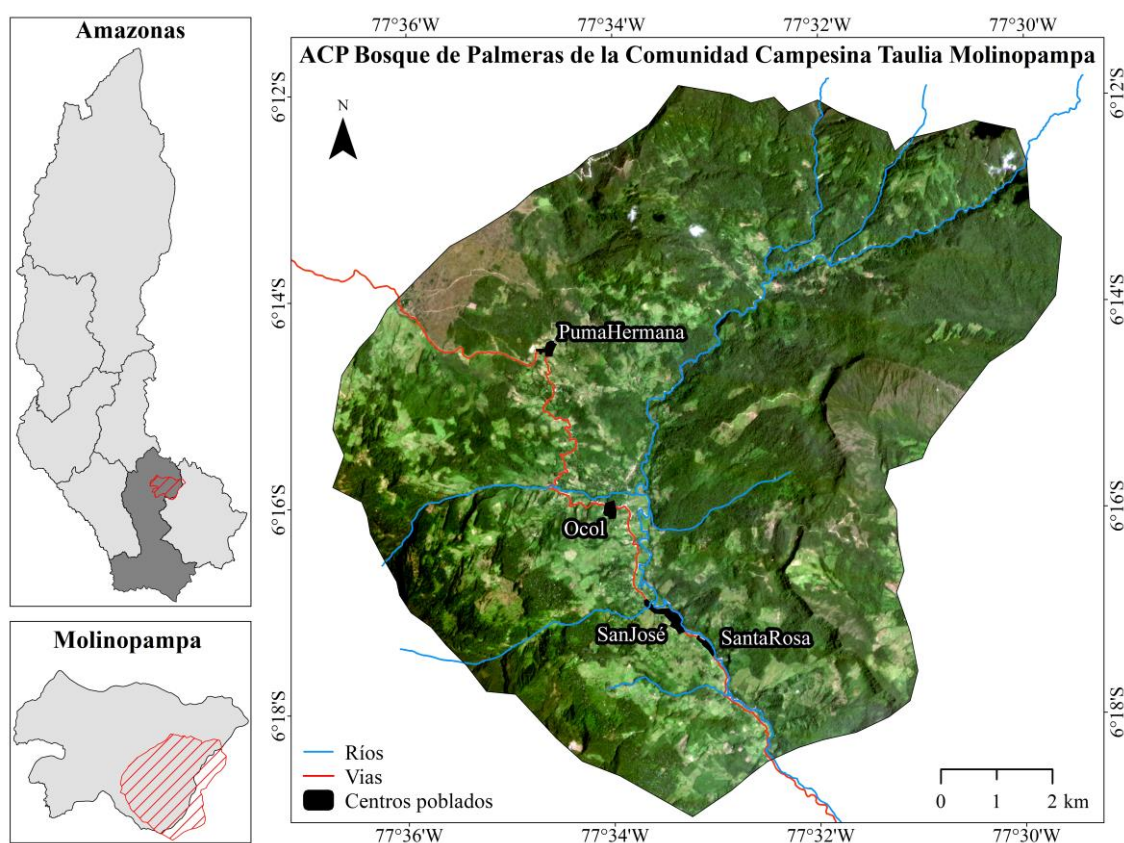
En Amazonas, Mendoza (2018), recopiló información dasométrica (DAP) y se enfocó en 30 individuos de *Pinus patula* y la edad que tomo en cuenta fue de 7, 10, y 20 años en Luya Viejo (Luya). Para calcular el carbono aéreo se basó en una ecuación alométrica, para ello utilizo cada uno de estos datos. Seguidamente para obtención de la información espectral (reflectancia) de cada especie estudiada, se extrajo a través del análisis espectral de la imagen satelital Sentinel-2, para ello se utilizó el software ENVI 5.3., también procesó las bandas espectrales como B2, B3, B4, B8 y el NDVI. Para las investigaciones de este tipo también de hace uso de modelos matemáticos y su modelo con mejor ajuste dio es la ecuación lineal. Por tanto, nos dice que las imágenes de satélite hoy en día son de mucha importancia porque permiten estimar la biomasa y cuantificar el carbono arbóreo aéreo.

Esta investigación tuvo por objetivo estimar el carbono aéreo almacenado en *Ceroxylon* sp. mediante el análisis geoespacial en el ACP Bosque de Palmeras Taulia Molinopampa, Amazonas, 2021. Para lo cual, se siguieron los objetivos específicos fueron a) determinar la cobertura y uso actual del suelo en el ACP Bosque de Palmeras, Taulia, Molinopampa; b) determinar el carbono aéreo almacenado en *Ceroxylon* sp. con base en información dasométrica y c) estimar el carbono aéreo almacenado en *Ceroxylon* sp. mediante análisis espacial.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

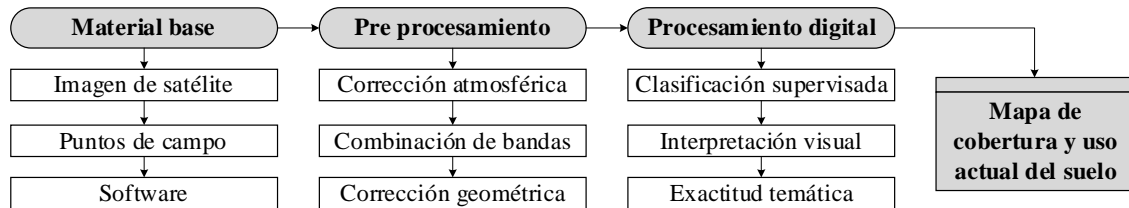
El ACP Bosque de Palmeras de la Comunidad Campesina Taulia Molinopampa abarca 10920.84 ha, en el distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, departamento de Amazonas (Figura 1). El ACP se reconoció mediante Resolución Ministerial N° 252-2012-MINAM (22/09/12), para una vigencia de 40 años, con el objetivo de la conservación del eco sistema del bosque de palmeras (género *Ceroxylon*) y pajonales húmedos (ecorregión Yungas Peruanas). Está situada a una altitud de 2113-3187 m s.n.m., en medio surca la quebrada San Antonio y cuatro centros poblados están asentados dentro del ACP. El ACP está dividida en dos zonas, la de uso limitado y la de uso múltiple, siendo en esta última donde se realizan actividades de agricultura, ganadería, uso de recursos maderables y no maderables para subsistencia, entre otras (NCI & IIAP, 2011). Sin embargo, las fuertes pendientes y la superficialidad del suelo son limitantes para desarrollar mayor actividad agrícola.



**Figura 1.** Localización del ACP Bosque de Palmeras de la Comunidad Campesina Taulia Molinopampa, Amazonas.

## 2.2. Determinación de la cobertura y uso actual del suelo en el ACP

Para elaborar el mapa de cobertura y uso actual de suelo del ACP se siguió el flujograma metodológico de Rojas et al. (2019) (Figura 2).



**Figura 2.** Proceso metodológico para elaborar el mapa de cobertura y uso actual de suelo.

Fuente: Adaptado de Rojas et al. (2019).

### 2.2.1. Cartografía base y preprocesamiento del material satelital

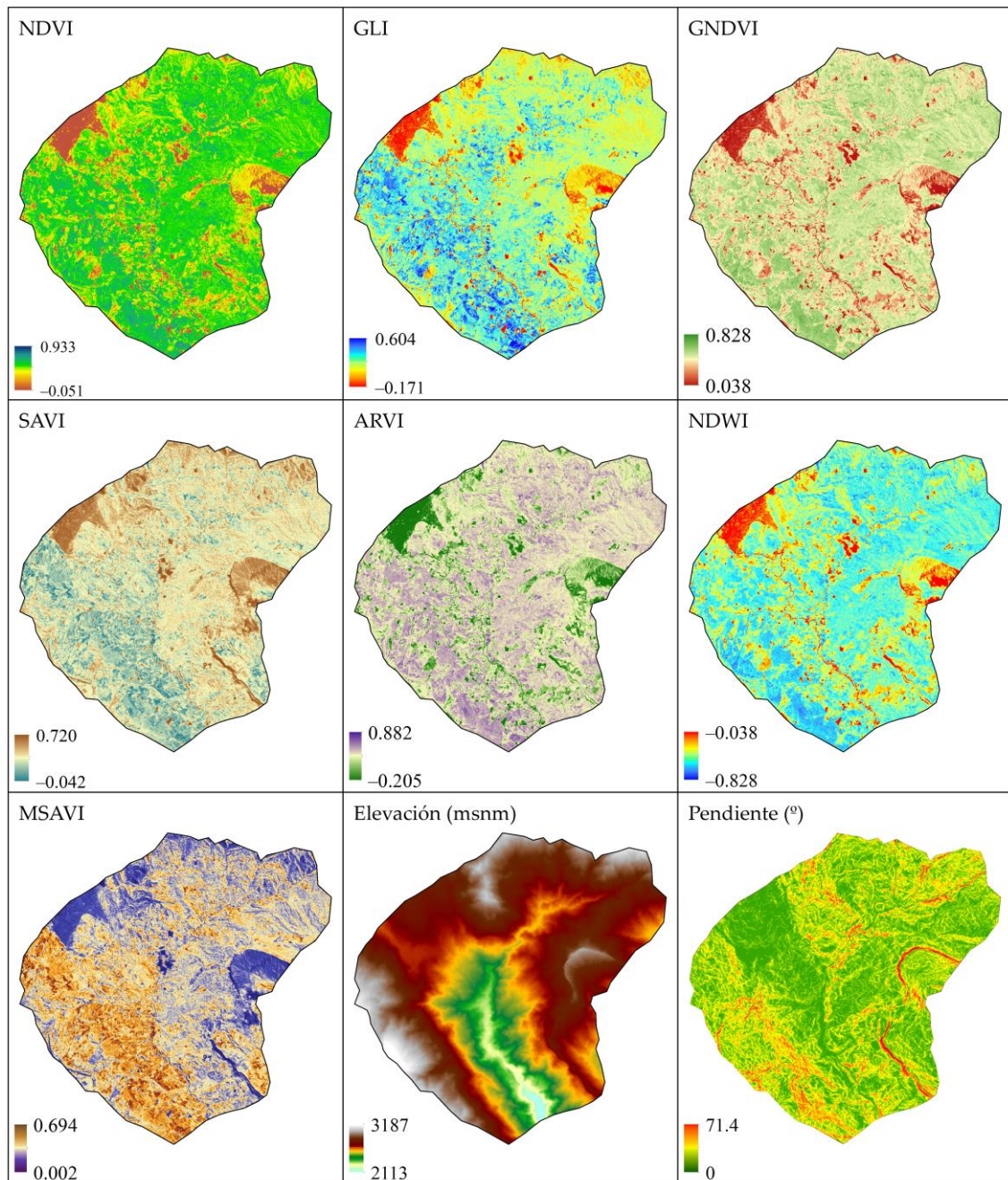
Se utilizó una imagen de satélite Sentinel 2A, del Path/Row 17/MRP, con resolución espacial de 10 metros. Esta fue adquirida de la Agencia Espacial Europea mediante la plataforma Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Las bandas espectrales de la imagen satelital se calibraron atmosféricamente en el Semi-Automatic Classification Plugin (Congedo, 2021) de QGIS v3.24 con la corrección de Substracción de Objetos Oscuros - DOS1 (Chavez, 1988).

Como estrategia para aumentar las bandas espectrales e implementar covariables que mejoren el rendimiento de los algoritmos de clasificación de imágenes, se clasifican imágenes multibanda que contienen índices espectrales, variables topográficas y otras variables (Tsai *et al.*, 2018). Por tanto, se generarán cinco índices espectrales (Tabla 1, Figura 3), utilizando el álgebra de bandas espectrales. Estos índices se basarán en los utilizados por Aguilar *et al.* (2018) para mapear la cobertura y uso del suelo.

**Tabla 1.** Índices espectrales y fórmulas. Las abreviaturas de los nombres de las bandas espectrales son: R = Rojo, G = Verde, B = Azul y NIR = Infrarrojo cercano.

Índice espectral	Fórmula	Fuente
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	$(\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R})$	Rouse <i>et al.</i> (1973)
Índice de Hoja Verde (GLI)	$(2\times\text{G}-\text{R}-\text{B})/(2\times\text{G}+\text{R}+\text{B})$	Louhaichi <i>et al.</i> (2001)

Índice de vegetación de diferencia normalizada verde (GNDVI)	$(\text{NIR}-\text{G})/(\text{NIR}+\text{G})$	Gitelson & Merzlyak 1996)
Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)	$((\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R}+\text{L}))\times(1+\text{L})$ , dónde $\text{L} = 0.428$	Qi <i>et al.</i> (1994)
Índice de Vegetación Atmosféricamente Resistente (ARVI)	$(\text{NIR}-(2\times\text{R})+\text{B})/(\text{NIR}+(2\times\text{R})+\text{B})$	Kaufman & Tanre(1992)
Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI)	$(\text{G}-\text{NIR})/(\text{G}+\text{NIR})$	Xu (2006)
Índice de Vegetación Ajustado al Suelo Modificado (MSAVI)	$0.5\times\left(2\times\text{NIR}+1-\sqrt{(2\times\text{NIR}+1)^2-8\times(\text{NIR}-\text{R})}\right)$	Qi <i>et al.</i> (1994)



**Figura 3.** Covariables para clasificación (índices espectrales y topografía).

Además, con el modelo de elevación digital SRTM de 30 m de resolución espacial (Farr *et al.*, 2007), se generarán mapas de altitud y pendiente del terreno (Figura 3). Luego, las bandas espectrales corregidas (1-8, 8A, 9-12), los índices espectrales y las variables topográficas, se combinarán para construir imágenes multibanda (Tsai *et al.*, 2018). Esta fue recortada con el polígono del ACP y georreferenciada utilizando una transformación polinomial de segundo orden utilizando nueve Puntos de Control Terrestre que se recolectaran con GPS (Anexo 1). La imagen se remuestreó a una nueva ubicación mediante la interpolación del vecino más cercano, con un error cuadrático medio permisible  $< 0.15$  (Chuvieco, 2016).

### **2.2.2. Clasificación de cobertura y uso actual del suelo**

Se recolectaron 96 áreas de entrenamiento en campo identificando seis clases de cobertura y uso actual de suelo: Bosque, Pajonal, Área artificializada, Pasto y cultivo, Cuerpo de agua y Suelo desnudo (Anexo 2). La imagen multiespectral se clasificó en base a la firma espectral de los puntos de entrenamiento utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud. Luego, con la intención de reducir errores de posición y clasificación de las clases (Ramírez *et al.*, 2005), la imagen se interpretó visualmente teniendo en cuenta características pictórico morfológicas como forma, tamaño, tono y color, patrones, textura posición geográfica y asociación de las diferentes clases de cobertura y uso actual de suelo (Vargas, 1992). Se modificaron solo los polígonos donde se vieron errores de clasificación debido a la similitud espectral de las clases de cobertura y uso actual de suelo (Rojas *et al.*, 2019).

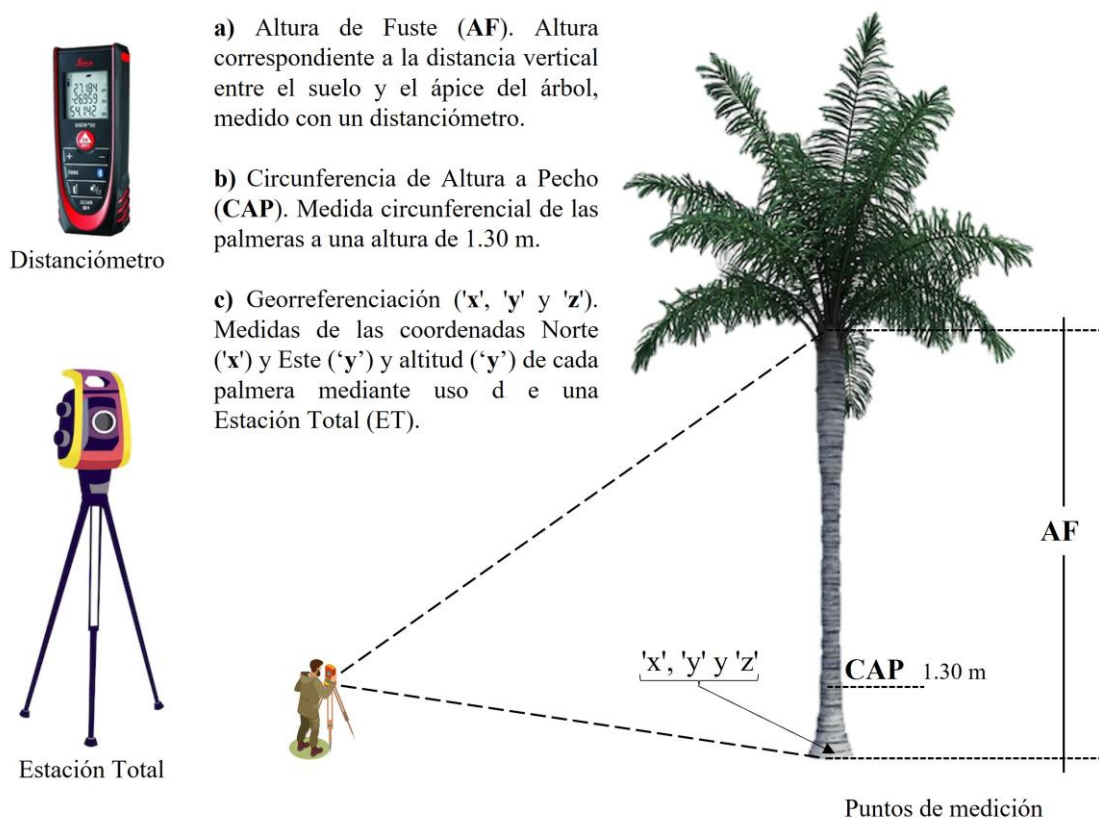
### **2.2.3. Estimación de la exactitud temática de la clasificación**

La exactitud temática del mapa se evaluó mediante una matriz de confusión apoyada en 29 sitios de verificación (Anexo 3). Estos sitios se establecieron a través de un muestreo aleatorio sistemático estratificado sobre el mapa final clasificado (MINAM, 2014) y verificados en campo e imágenes de Google Earth Pro (v7.3.4.8248) y SAS Planet (v200606) (Osorio *et al.*, 2014; Peralta-Rivero *et al.*, 2015). Se calcularon la Precisión General (PG) y el Índice de Kappa ( $k$ ) de la clasificación (Chuvieco, 2016; Story & Congalton, 1986).

## 2.3. Determinación del carbono aéreo almacenado en *Ceroxylon* sp. con información dasométrica

### 2.3.1. Obtención de información dasométrica y georreferenciación de palmeras

Sobre la clase Bosque del mapa de cobertura y uso actual de suelo del ACP se distribuyeron siete parcelas de evaluación dasométrica de 50 x 50 m ( $2500 \text{ m}^2 \approx 25$  píxeles de la imagen satelital Sentinel 2A). En cada parcela, se midieron la Altura de Fuste (AF) con un distanciómetro Leica Disto D810 Touch (<https://shop.leica-geosystems.com/buy/package/d810-touch>) y la Circunferencia de Altura a Pecho (CAP) con una cinta métrica, del total de individuos de palmeras presentes (Anexo 4). Asimismo, a fin de conocer la ubicación más precisa de cada palmera evaluada, se georreferenciaron las palmeras mediante el uso de una Estación Total marca TRIMBLE – precisión de 1'.



**Figura 4.** Esquema de mediciones dasométricas y georreferenciación de palmeras.

### 2.3.2. Cálculo de carbono total aéreo

El Carbono Total (CT) se calculó a partir de la Biomasa Seca (BS) mediante la ecuación alométrica estimada por Maicelo (2013) (**Ecuación 1**). Esta depende de



información dasométrica como AF y el Diámetro a Altura de Pecho (DAP). La CAP se convirtió a DAP mediante la **Ecuación 2** (Villarreal et al., 2004). Luego, el CT por individuo se calculó multiplicando la BS por el factor de conversión para *Ceroxylon* sp. (**Ecuación 3**), conseguido del análisis de resultados de carbono en tejido vegetal por Maicelo (2013).

$$BS = 0.008 \times DAP^{2.8449} \times AF^{0.462} \quad \text{Ecuación 1}$$

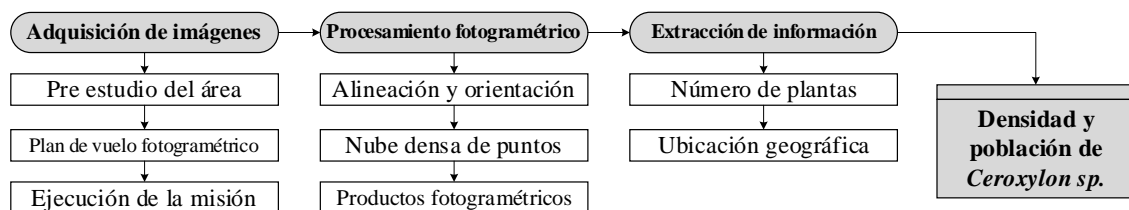
$$DAP = CAP/\pi \quad \text{Ecuación 2}$$

$$CT_{\text{por individuo}} = BS \times 0.5674 \quad \text{Ecuación 3}$$

## 2.4. Determinación del carbono aéreo almacenado en *Ceroxylon* sp. mediante análisis espacial

### 2.4.1. Cálculo de la densidad y población de *Ceroxylon* sp. en el ACP

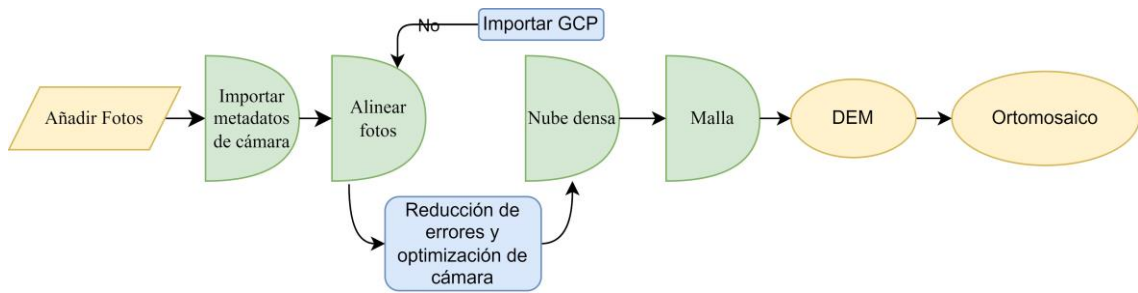
En base al procesamiento de imágenes obtenidas por fotogrametría con Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV), se determinó la densidad y cuantificó la población de *Ceroxylon* sp. en el ACP. La Figura 5 presenta el diagrama de flujo del sistema propuesto por Cordero (2018).



**Figura 5.** Proceso metodológico para calcular densidad y población de *Ceroxylon* sp.

Fuente: Adaptado de Cordero (2018).

En las siete parcelas de evaluación dasométrica, con un drone DJI Phantom 4 RTK ([www.dji.com/phantom-4-rtk](http://www.dji.com/phantom-4-rtk)), se realizó el levantamiento fotogramétrico de cada parcela, a 80 m de altura, 75% de traslape frontal y lateral entre fotos y velocidad de vuelo lento (6 m/s). Las imágenes obtenidas fueron procesadas en el software Agisoft Metashape Professional v 1.7.6 (Anexo 5), del cual se obtuvo un ortomosaico por parcela. Para el procesamiento de datos se empleó el siguiente flujograma de procesamiento fotogramétrico basado en el manual de procesamiento de imágenes tipo RGB de Agisoft (<https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>) y las recomendaciones dadas por Kumar et al. (2019).



**Figura 6.** Flujograma de procesamiento fotogramétrico para la obtención de ortomosaicos.

Fuente: Adaptado de Kumar et al. (2019).

El ortomosaico fue importado a QGIS v3.24 (Anexo 5), donde se contabilizaron manualmente los individuos de *Ceroxylon* sp. y se calculó la densidad por unidad de área. La densidad promedio fue multiplicada por el total del área de la cobertura de bosques de palmeras para obtener la población de *Ceroxylon* sp. en el ACP.

#### 2.4.2. Determinación de carbono total del bosque de *Ceroxylon* sp.

Mediante el software QGIS se estimó la Superficie Total De Palmeras (STP) dentro de la ACP y su ubicación espacialmente de las palmeras distribuidas en las siete parcelas evaluadas.

La determinación de carbono Total (CT) total para la ACP en la parte aérea se realizó multiplicando la CT individual por la densidad ( $\rho$ ) de la especie *Ceroxylon* sp. dentro de una superficie de 2500 m<sup>2</sup>, y, la multiplicación por la STP resultado del mapa de cobertura y uso actual del suelo.

$$CT_{ACP} = CT_{por\ individuo} \times \rho \times Superficie\ de\ Bosques \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde;  $CT_{ACP}$  es carbono total estimado para toda la ACP,  $CT_{por\ individuo}$  es el carbono individual promedio por palmera y STP e la superficie total de palmeras, asumida como la extensión de la clase Bosque del mapa de cobertura y uso actual del suelo.

El almacenamiento de carbono se convirtió en equivalentes de CO<sub>2</sub>, usando como factor de conversión a 3.666, el cual es resultado de la división entre el peso molecular del CO<sub>2</sub> (44) y el peso molecular de carbono (12) (Díaz-Franco et al., 2007).

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Cobertura y uso actual del suelo en el ACP

##### 3.1.1. Exactitud temática de la clasificación

La evaluación de la exactitud temática para el mapa de cobertura y uso actual de suelo del ACP se muestra en la Tabla 2. La precisión global (97%) y el índice Kappa (0.96) resultantes indican un nivel de concordancia casi perfecta entre el mapa de cobertura y uso actual de suelo y las áreas de referencia recorridas en campo. Para cada clase de cobertura y uso actual de suelo, se obtuvieron mejores exactitudes de productor que de usuario (Tabla 2). La mayor exactitud de productor (99%) lo presenta la clase Suelo desnudo, mientras que la mayor exactitud de usuario (98%) lo comparten las clases Pastos/cultivos y Pajonal. La clase Cuerpo de agua presenta las menores exactitudes de usuario y productor.

##### 3.1.2. Mapa de cobertura y uso actual del suelo

El mapa de cobertura y uso actual de suelo del ACP se muestra en la Figura 7. De las seis clases identificadas, la cobertura Bosque (BO) es la más extensa cubriendo 7018.87 hectáreas (64.3%) del ACP, seguido por el uso Pastos/cultivos con 3005.06 hectáreas (27.5%). Esta última clase está presente de manera dispersa por todo el ACP, en forma de parches. Las demás clases cubren  $\leq 5.1\%$  del territorio del ACP.

#### 3.2. Carbono aéreo almacenado en *Ceroxylon* sp. con información dasométrica

##### 3.2.1. Información dasométrica de *Ceroxylon* sp.

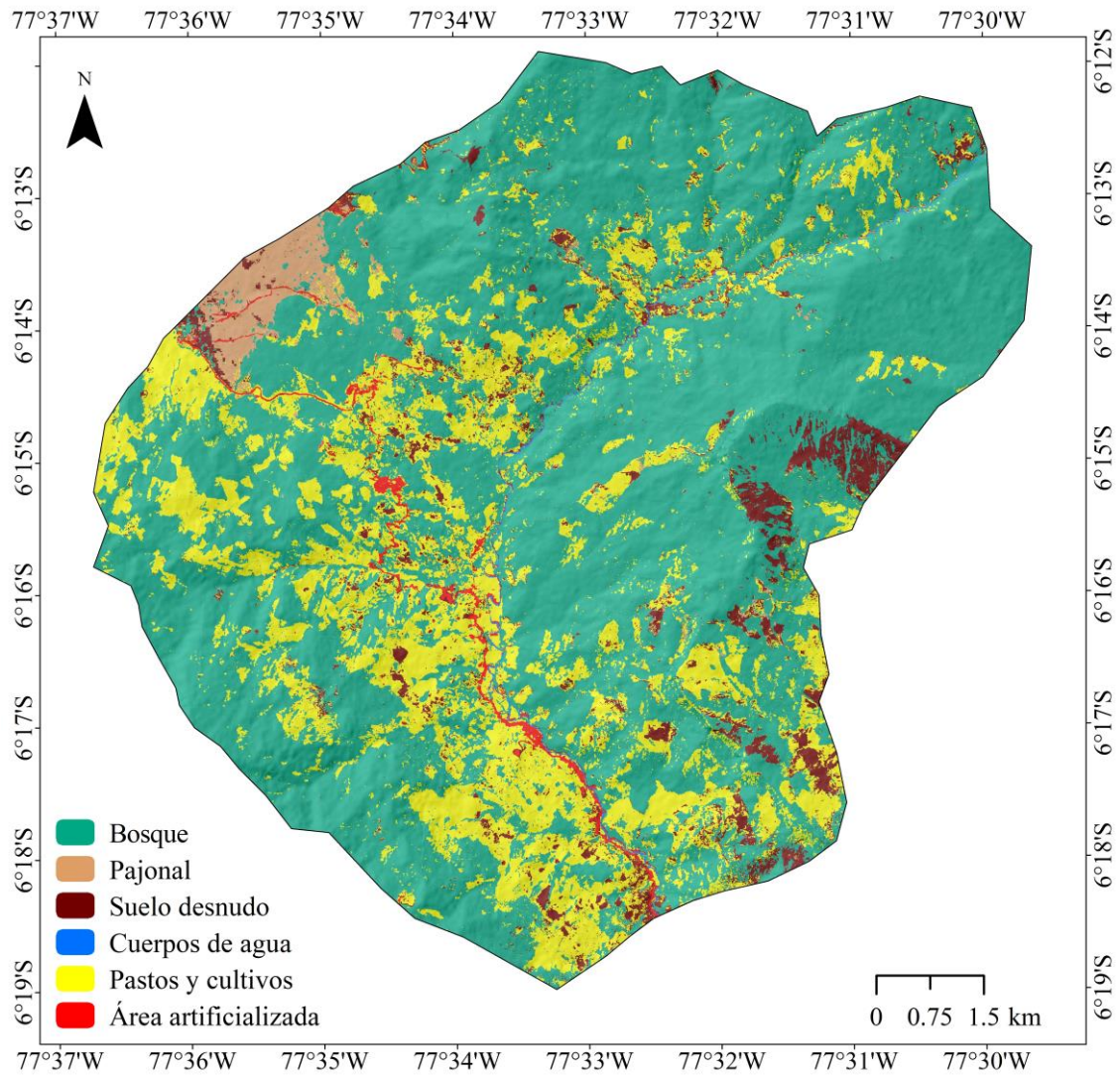
El análisis dasométrico de 148 individuos de *Ceroxylon* sp. (Anexo 4) ubicados en siete parcelas de muestreo en el ACP indica que el Diámetro de Altura de Pecho (DAP en cm) (Figura 8) y la Altura de Fuste (AF en m) (Figura 9), en promedio son 36.30 cm y 18.16 m, respectivamente. Se encontraron individuos de hasta 53.25 cm de DAP y 33.40 m de AF. El 76% (113) de individuos presenta DAP entre (30,45> cm, mientras que el 82% (122) de individuos presenta AF entre (10,25> m.

**Tabla 2.** Matriz de confusión para la clasificación temática de cobertura y uso actual del suelo en el ACP.

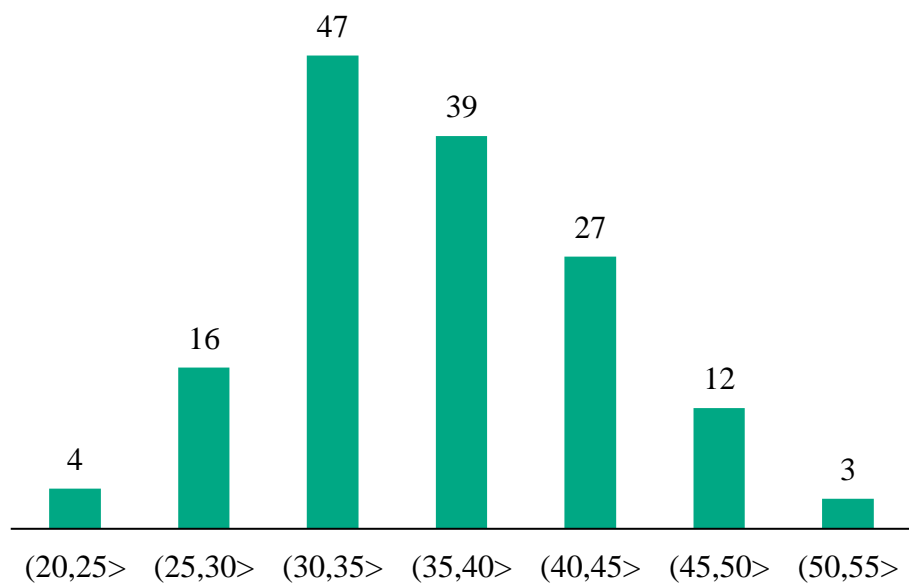
		Resultados de referencia (campo)						Total de píxeles	Exactitud de usuario	Error de comisión
		Cuerpo de agua	Área artificializada	Pasto y cultivo	Pajonal	Bosque	Suelo desnudo			
Resultados de mapa	Cuerpo de agua	28	1	5	1	0	2	<b>37</b>	76%	24%
	Área artificializada	0	2725	0	77	3	1	<b>2806</b>	97%	3%
	Pastos y cultivos	0	0	3560	0	55	0	<b>3615</b>	98%	2%
	Pajonal	0	16	19	2503	19	7	<b>2564</b>	98%	2%
	Bosque	0	0	45	94	3794	0	<b>3933</b>	96%	4%
	Suelo desnudo	3	76	1	7	0	995	<b>1082</b>	92%	8%
	<b>Total de píxeles</b>	<b>31</b>	<b>2818</b>	<b>3630</b>	<b>2682</b>	<b>3871</b>	<b>1005</b>	<b>14037</b>		
<b>Exactitud de productor</b>	90%	97%	98%	93%	98%	99%				
<b>Error de omisión</b>	10%	3%	2%	7%	2%	1%				

**Tabla 3.** Extensión (ha y %) de la cobertura y uso actual del suelo en el ACP.

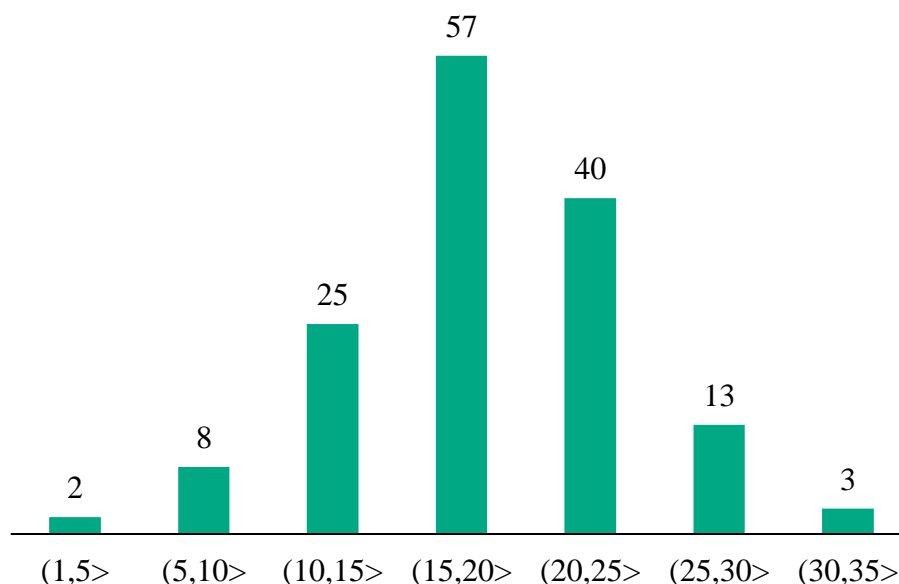
Clase	Hectáreas	%ACP	Barra comparativa de la extensión
Cuerpo de agua	24.03	0.2%	
Área artificializada	89.89	0.8%	
Pastos y cultivos	3005.06	27.5%	
Pajonal	223.64	2.0%	
Bosque	7018.87	64.3%	
Suelo desnudo	559.34	5.1%	
<b>Total</b>	<b>10920.84</b>	<b>100.0%</b>	



**Figura 7.** Mapa de cobertura y uso actual del suelo en el ACP.



**Figura 8.** Número de individuos de *Ceroxylon* sp. según rango de DAP (cm).



**Figura 9.** Número de individuos de *Ceroxylon* sp. según rango de AF (m).

### 3.2.2. Carbono almacenado por individuo de *Ceroxylon* sp.

La Tabla 4 muestra el promedio del DAP, AF, Biomasa Seca (BS) y Carbono Total (CT) para los individuos de *Ceroxylon* sp. de cada parcela evaluada. El carbono aéreo almacenado por los 148 individuos de *Ceroxylon* sp. (Anexo 4) varía entre las siete parcelas de muestreo en el ACP. De las siete parcelas evaluadas, la Parcela 1 presenta el mayor promedio de CT almacenado por individuo con 1436.75 kgCT/individuo, seguido por la Parcela 6 con 1243.58 kgCT/individuo. Del total de 148 individuos, en promedio se almacenan 510.98 kgCT/individuo.

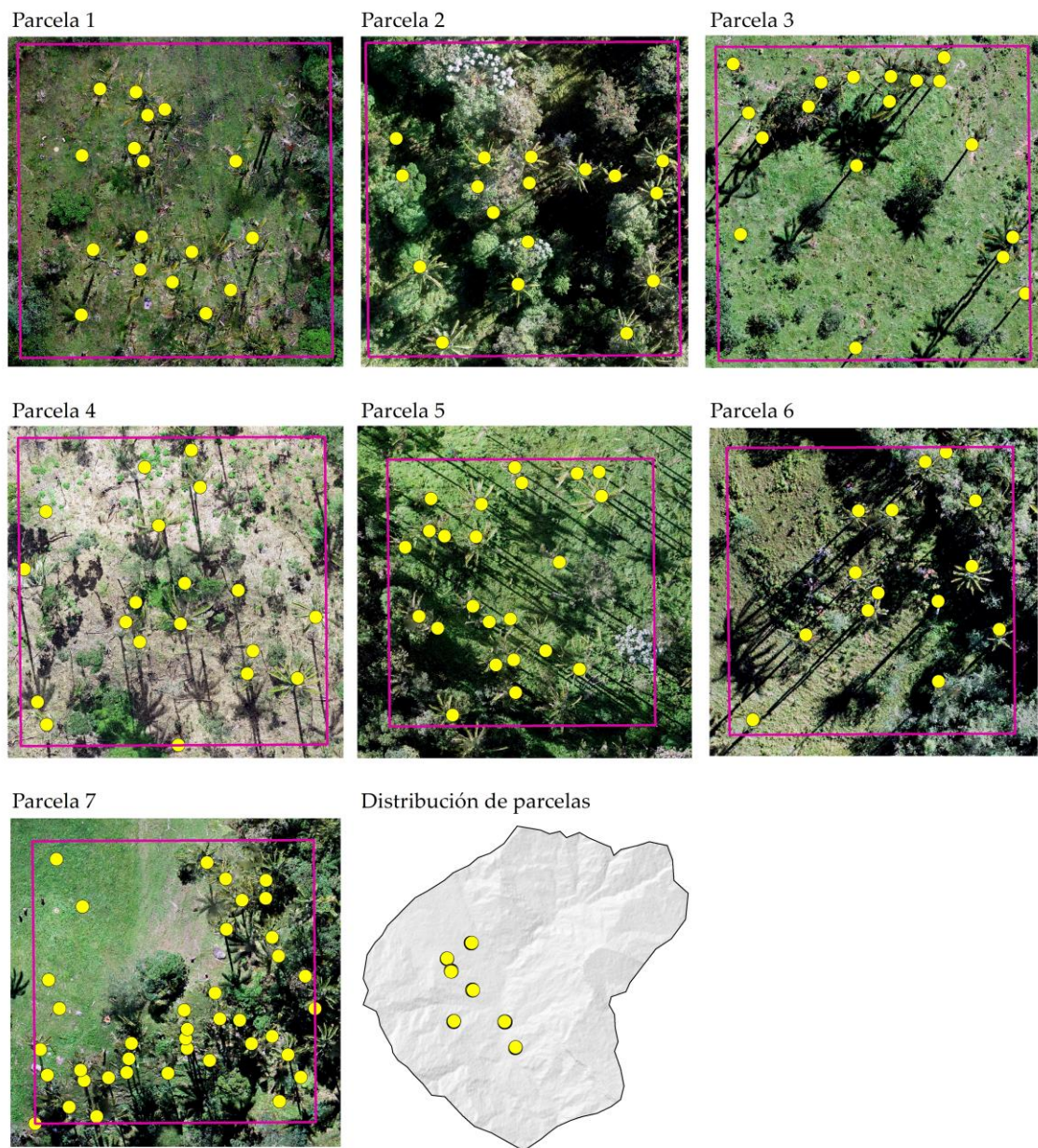
**Tabla 4.** Captura de carbono promedio por individuo de *Ceroxylon* sp. en el ACP.

Número de parcela	Número de individuos	DAP promedio (cm)	AF promedio (m)	Por individuos		
				BS (kg)	CT (kg)	CO <sub>2</sub> eq
Parcela 1	18	42.84	19.61	1436.75	815.21	2988.56
Parcela 2	17	35.56	14.11	735.38	417.25	1529.65
Parcela 3	18	34.60	20.83	815.25	462.57	1695.78
Parcela 4	19	36.23	23.58	985.81	559.35	2050.58
Parcela 5	23	35.60	16.06	805.38	456.97	1675.27
Parcela 6	14	40.87	18.29	1243.58	705.61	2586.76
Parcela 7	39	33.19	16.57	655.94	372.18	1364.41
Del total	148	36.30	18.16	900.56	510.98	1873.25

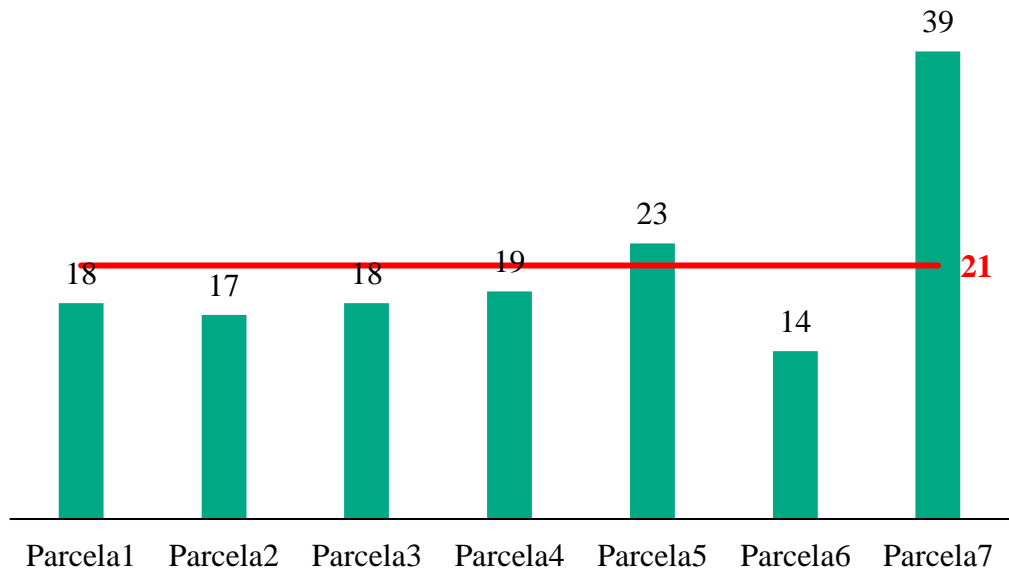
### 3.3. Carbono aéreo almacenado en *Ceroxylon* sp. mediante análisis espacial

#### 3.3.1. Densidad y población estimada de *Ceroxylon* sp.

El conteo manual de *Ceroxylon* sp. en las siete parcelas de muestreo (Figura 10) indicó que en promedio se presentan 21 palmeras por cada 2500 m<sup>2</sup> de territorio del ACP (Figura 11). La Parcela 7 presentó mayor número de individuos, con 39 palmeras, mientras que la Parcela 6 presentó sólo 14 individuos de palmera *Ceroxylon* sp. En suma, se contabilizaron 148 palmeras en 17500 m<sup>2</sup>, lo que generó una densidad promedio de 0.0085 palmeras/m<sup>2</sup> de territorio del ACP. Por tanto, en 7018.87 ha de bosques en el ACP (Tabla 3) se estiman 593596 individuos de *Ceroxylon* sp.



**Figura 10.** Conteo de individuos de *Ceroxylon* sp. por cada parcela de muestreo.



**Figura 11.** Densidad de individuos de *Ceroxylon* sp. en las parcelas de muestreo.

### 3.3.2. Carbono almacenado por el bosque de *Ceroxylon* sp.

La Tabla 5 muestra el promedio del DAP y AF para los 148 individuos de *Ceroxylon* sp. evaluados en las siete parcelas, y la BS y CT que se estiman con dichos datos al contabilizar 593596 individuos de *Ceroxylon* sp. Se estimó 303315.26 TM de carbono aéreo almacenado en todo el bosque de *Ceroxylon* sp. mediante análisis geoespacial en el ACP Bosque de Palmeras Taulía Molinopampa, al 2021. Por tanto, se reporta un almacenamiento de 43214.26 kg.C/ha.

**Tabla 5.** Captura de carbono por el bosque de *Ceroxylon* sp. en el ACP.

DAP promedio (cm)	AF promedio (m)	Por todo el bosque del ACP		
		BS (TM)	CT (TM)	CO <sub>2</sub> eq
36.30 cm	18.16 m	534570.43	303315.26	1111953.75



#### IV. DISCUSIÓN

El mapa de cobertura y uso actual de suelo del ACP en este estudio mostró una alta Precisión Global (PG=97%) e Índice Kappa ( $k=0.96$ ), con un nivel de concordancia casi perfecto (Landis & Koch, 1977) entre el mapa y las áreas de referencia recorridas en campo. Esta precisión es superior a varios estudios previos de clasificación temática de imágenes satelitales en el departamento de Amazonas. Por ejemplo, Rojas *et al.* (2019) obtuvo PG=84% y  $k=0.72$  en la provincia de Rodríguez de Mendoza, Salas *et al.* (2018) obtuvo PG=87% y  $k=0.78$  en el ACP Tilacancha, Mendoza *et al.* (2015) obtuvo PG=85.2% y  $k=0.763$  en el distrito de Leymebamba, y Delgado (2018) obtuvo PG=91% y  $k=0.87$  en el ACP Hierba Buena-Allpayacku y su área circundante. Esto se debe, porque a diferencia de los estudios mencionados, este estudio incorporó covariables (índices espectrales y topografía) en la clasificación temática. A saber, al aumentar las bandas espectrales con covariables, se mejora el rendimiento de los algoritmos de clasificación de imágenes satelitales (Aguilar *et al.*, 2018; Tsai *et al.*, 2018).

En el ACP de este estudio, como en las ACP Hierba Buena-Allpayacku (Delgado, 2018) y ACP Tilacancha (Salas *et al.*, 2018) en la región Amazonas, y, en general, en todas las ACP del Perú (SPDA, 2019), destaca la importancia de las coberturas naturales de Bosques y Pajonal altoandino (páramo, jalca y puna). Sin embargo, también los mismos estudios indican que existen presiones antrópicas como la deforestación y las quemas para ganadería extensiva (Montoya, 2020; Rojas *et al.*, 2019). Por tanto, se sugiere evaluar los cambios de cobertura y uso del suelo en todas las ACP de Amazonas, para analizar parámetros de deforestación antes y después de su creación, y determinar la efectividad de las mismas; como hizo Delgado *et al.* (2021) para cuatro de las 19 ACP existentes en la región Amazonas. Esto, porque las áreas naturales protegidas, incluidas las ACP, juegan un importante papel en la conservación de lo más representativo de la diversidad biológica y aseguran la provisión de bienes y servicios ambientales de decisiva importancia para la sociedad y economía (SPDA, 2019).

La cobertura natural de Bosques identificada por este estudio es de 7018.87 ha. Para la misma área de estudio, Montoya (2020) identificó 7097.01 ha en 2017, quien además estudió dicha cubierta en los años 1987, 1993, 1999, 2005 y 2011, encontrando una tendencia decreciente. Este estudio corrobora que dicha tendencia de disminución ha

continuado. A saber, García-Pérez et al. (2018) en el estudio ecológico de los bosques homogéneos en el distrito de Molinopampa encontró una baja diversidad de especies del género *Ceroxylon* (cuatro especies que se distribuyen en un solo hábitat, *C. quidiuense* quedando como la más representativa) y explican que la baja distribución se debe a las actividades agrícolas y ganaderas que se ejecutan en el hábitat de las palmeras, lo que ocasiona un impacto negativo en su diversidad y distribución.

En promedio, los 148 individuos de *Ceroxylon* sp. de este estudio almacenan 510.98 kgC/individuo. Maicelo (2013) evaluó 106 individuos de *Ceroxylon peruvianum* en San Pablo de Valera, Cocachimba y San Carlos (cuenca media del río Utcubamba) y encontró que almacenan 98.07 kgC/individuo. Esta diferencia se debe principalmente a que en Ocol se encontraron individuos de mayor AF y DAP que en la cuenca media del Utcubamba; y a la diversidad de especies evaluadas. A saber, en el ACP de Ocol se pueden encontrar hasta cuatro especies de *Ceroxylon* (William L. Brown Center, 2014) (*C. vogelianum*, *C. quidiuense*, *C. parvifrons* y *C. peruvianum*) y para este estudio no se diferenciaron por no existir una ecuación alométrica para cada especie. Se trabajó con la ecuación alométrica de Maicelo (2013) para *C. peruvianum*. Entonces, en futuros estudios se sugiere desarrollar una ecuación alométrica específica para las especies de palmeras de Ocol, lo que permitirá validar los resultados y obtener un valor más real del carbono almacenado en el tejido vegetal de las especies de *Ceroxylon* en Ocol.

Este estudio empleó la técnica Structure from Motion (SfM) para generar el ortomosaico (resolución de 0.05 m) de fotogrametría en el cual identificar y contar las palmeras de manera fácil. Las técnicas de procesamiento fotogramétrico de bajo costo como SfM han permitido mejorar la triangulación aérea de imágenes de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) en términos de, (i) extracción de características las imágenes de forma individual, (ii) coincidencia de características para cada par de imágenes y (iii) resolución de parámetros basada en un ajuste de paquete iterativo (Jiang et al., 2020). Sin embargo, Malek et al. (2014) recomiendan analizar más a fondo la textura de las imágenes procesadas basado en patrones binarios locales y con una resolución de 0.035 m. Asimismo, se resalta la necesidad futura de automatizar los procesos de identificación y cuantificación de individuos de la especie de interés, similar a la detección de palmeras individuales mediante aprendizaje profundo de Culman et al. (2020) en España o de Ferreira et al. (2020) en la Amazonía brasileña.

De forma general se determinó que en el sistema forestal de palmeras *Ceroxylon* sp. en el ACP hay 43.21 tC/ha. Este dato de la concentración de carbono por hectárea es inferior al contenido de carbono en la biomasa aérea de los aguajales de la cuenca del Río Aguaytía (Ucayali) que almacenan entre 51.28 – 196.33 tC/ha (García et al., 2012) y de los aguajales en Pacaya Samiria (Loreto) que almacenan entre 88.50 – 115.40 tC/ha (Freitas et al., 2006). Estas variaciones se pueden atribuir a diferencias en la calidad de sitio de tipo topográfico y de precipitación, así como la mayor exposición del ecosistema del ACP a actividades antrópicas. Esto último facilitado por la carretera principal que la atraviesa de Chachapoyas hacia Rodríguez de Mendoza (Rojas et al., 2020). La zona de estudio del ACP es sólo pantanosa, lo cual facilita la presión antrópica, mientras que en los aguajales se tiene menor presión por ser ecosistemas inundables. También el carbono reportado es inferior al reportado en el sistema forestal de *Pinus patula* del distrito de Luya Viejo donde hay 409.86 tC/ha (Mendoza, 2018). Esto se debe a que las plantaciones de pino son densas por sus sistemas de siembra, mientras que los individuos de palmeras están muy dispersos de manera natural en el territorio del ACP.

Vásquez (2021) estimó el carbono almacenado en el sistema silvopastoril (suelo, hojarasca, herbácea y arbórea) con pona (*C. quindiuense*) en la cuenca ganadera de Molinopampa, y encontró que el componente arbóreo es el que contiene una mayor cantidad con 54.82 tC/ha. Este dato es superior al encontrado en este estudio (43.21 tC/ha), aunque Vásquez (2021) haya estudiado sólo 40 individuos y sean sistemas totalmente intervenidos. La diferencia se debe principalmente a que Vásquez (2021) encontró individuos de mayor AF y DAP. Sanín et al. (2013) explican que, a pesar de la fuerte deforestación en Ocol (Molinopampa, Perú) y Roncesvalles (Tolima, Colombia), la densidad de adultos de *C. quindiuense* parece ser similar en los pastizales deforestados que, en los bosques. Esto debido a la resiliencia de los juveniles (que sobrevivieron a través de meristemas subterráneos y luego se convirtieron en adultos) y a la longevidad de los adultos (que se salvaron de la tala por motivos de sombra o para otros propósitos locales). Además, la diferencia se debe que Vásquez (2021) evaluó una única especie (*C. quindiuense*), que como indica García-Pérez et al. (2018), es la más representativa.

La teledetección, a través del procesamiento de imágenes satelitales o de UAV, es una herramienta importante (Farooqi et al., 2021), que al relacionarlas con datos medidos en campo facilita los trabajos para las estimaciones de carbono en el sector forestal (Sun

& Liu, 2020). Mendoza (2018) generó un modelo matemático para calcular carbono aéreo almacenado en plantaciones de *P. patula* en la región Amazonas, basado en una imagen satelital Sentinel 2A ( $C.kg=1805.06-16113 \times B4+1626.1 \times B8-2157.39 \times NDVI$ ,  $r^2=0.6181$ ). Las mismas pruebas de regresión se implementaron en este estudio, sin embargo, se obtuvieron bajos valores de  $r^2$  y significancia, por lo que no se reportaron los resultados. Otros estudios (Aguirre-Salado et al., 2009; Martínez et al., 2017) también reportan modelos con  $r^2$  similares a los de Mendoza (2018), utilizando imágenes satelitales de resolución espacial media (10–30 m). Sin embargo, a diferencia de este estudio, los sistemas (plantaciones) forestales que estudian son homogéneos. Por tanto, para sistemas heterogéneos como el bosque de palmeras, se sugiere analizar imágenes satelitales de mejor resolución o incluso ortomosaicos de UAV para todo el sistema forestal del ACP.

## V. CONCLUSIONES

- Se identificaron seis clases de cobertura y uso actual de suelo en el ACP Bosque de Palmeras de la Comunidad Campesina Taulia Molinopampa: Bosque, Pajonal, Área artificializada, Pasto y cultivo, Cuerpo de agua y Suelo desnudo. La cobertura Bosque fue la más extensa (7524.01 ha, 68.9% del ACP), seguido por el uso Pastos/cultivos (2499.92 ha, 22.9%). Las demás clases cubren  $\leq 5\%$  del territorio del ACP.
- Se encontró que el Diámetro de Altura de Pecho (DAP) y la Altura de Fuste (AF) promedio de 148 individuos de *Ceroxylon* sp. evaluados en siete parcelas (50 x 50 m) fue 36.30 cm y 18.16 m, respectivamente. Además, en promedio se almacenan 510.98 kgC/individuo de *Ceroxylon* sp.
- Se determinó una densidad promedio de 0.0085 palmeras/m<sup>2</sup> de territorio del ACP Bosque de Palmeras de la Comunidad Campesina Taulia Molinopampa. Por tanto, en 7018.87 ha de bosques en el ACP se estimaron 593596 individuos de *Ceroxylon* sp. A partir de los cuales e información dasométrica promedio se estimaron 303315.26 TM de carbono aéreo almacenado en todo el bosque de *Ceroxylon* sp. del ACP, con un almacenamiento de 43214.26 kg.C/ha.
- El estudio servirá de apoyo para la toma de decisiones con respecto a la gestión de los bosques del ACP; además, esta investigación proporciona una herramienta de gestión del territorio para los responsables de promover políticas de desarrollo sostenible en las áreas de conservación.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, R., Zurita-Milla, R., Izquierdo-Verdiguier, E., & de By, R. A. (2018). A cloud-based multi-temporal ensemble classifier to map smallholder farming systems. *Remote Sensing*, *10*(5). <https://doi.org/10.3390/rs10050729>
- Aguirre-Salado, C. A., Valdez-Lazalde, J. R., Ángeles-Pérez, G., de los Santos- Posadas, H. M., Haapanen, R., & Aguirre-Salado, A. I. (2009). Mapeo de carbono arbóreo aéreo en bosques manejados de Pino patula en Hidalgo, México. *Agrociencia*, *43*, 209–220.
- Chavez, P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, *24*(3), 459–479. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3)
- Chuvieco, E. (2016). Fundamentals of satellite remote sensing. An environmental approach. In *Fundamentals of Satellite Remote Sensing* (2da Ed). CRC Press Taylor & Francis Group.
- Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, *6*(64), 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- Cordero, Q. J. A. (2018). *Diseño de un sistema de cuantificación automática de biomasa basado en procesamiento de imágenes y fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Culman, M., Delalieux, S., & Van Tricht, K. (2020). Individual palm tree detection using deep learning on RGB imagery to support tree inventory. *Remote Sensing*, *12*(21), 1–31. <https://doi.org/10.3390/rs12213476>
- Delgado, E. (2018). *Cambios de uso de suelo y cobertura vegetal en el Área de Conservación Privada Hierba Buena-Allpayacku y su área circundante, Amazonas, 2017*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Delgado, E., Meza M., G., Barboza, E., Rojas B., N. B., Torres G., C., Oliva-Cruz, M., Chavez-Quintana, S. G., Salas L., R., López de la L., R., Sevillano-Ríos, C. S., & Sarmiento, F. (2021). Efectividad de áreas de conservación privada comunal en bosques montanos nublados del norte de Perú. *Pirineos*, *176*, e067.

<https://doi.org/10.3989/pirineos.2021.176006>

- Díaz-Franco, R., Acosta, M., Carrillo, F., Buendía, E., Flores, E., & Etchevers, J. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl . et Cham. *Madera y Bosques*, *13*(1), 25–34.
- Farooqi, T. J. A., Li, X., Yu, Z., Liu, S., & Sun, O. J. (2021). Reconciliation of research on forest carbon sequestration and water conservation. *Journal of Forestry Research*, *32*(1), 7–14. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01138-2>
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., & Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, *45*(RG2004), 1–33. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
- Ferreira, M. P., Almeida, D. R. A. de, Papa, D. de A., Minervino, J. B. S., Veras, H. F. P., Formighieri, A., Santos, C. A. N., Ferreira, M. A. D., Figueiredo, E. O., & Ferreira, E. J. L. (2020). Individual tree detection and species classification of Amazonian palms using UAV images and deep learning. *Forest Ecology and Management*, *475*(July), 118397. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118397>
- Freitas, L., Otárola, E., del Castillo, D., Linares, C., Martínez, P., & Malca, G. (2006). Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, Loreto - Perú. In *Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*. <http://repositorio.iiap.gob.pe/handle/IIAP/228>
- García-Pérez, A., Rubio R., K. B., Meléndez M., J. B., Corroto, F., Rascón, J., & Oliva, M. (2018). Estudio ecológico de los bosques homogéneos en el distrito de Molinopampa, Región Amazonas. *Rev. de Investig. Agroproducción Sustentable*, *2*(3), 73–79. <https://doi.org/10.25127/aps.20182.395>
- García, S. D., Honorio, C. E. N., & Del Castillo, D. (2012). Determinación Del Stock De Carbono En Aguajales De La Cuenca Del Río Aguaytía, Ucayali – Perú. *Folia Amazónica*, *21*(1–2), 153. <https://doi.org/10.24841/fa.v21i1-2.43>
- Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1996). Signature analysis of leaf reflectance spectra: Algorithm development for remote sensing of chlorophyll. *Journal of Plant Physiology*, *148*(3–4), 494–500. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(96\)80284-7](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(96)80284-7)
- Hall, R. J., Skakun, R. S., Arsenault, E. J., & Case, B. S. (2006). Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: Application to mapping of

- aboveground biomass and stand volume. *Forest Ecology and Management*, 225(1–3), 378–390. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.014>
- Jiang, S., Jiang, C., & Jiang, W. (2020). Efficient structure from motion for large-scale UAV images: A review and a comparison of SfM tools. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 167(September 2019), 230–251. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.016>
- Kaufman, Y. J., & Tanre, D. (1992). Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 261–270. <https://doi.org/10.1109/36.134076>
- Kumar, N. S., Ismail, M. A. M., & Tung, W. Y. (2019). 2D and 3D rock slope stability assessment using limit equilibrium method incorporating photogrammetry technique. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 68(December), 133–139. <https://doi.org/10.7186/bgsm68201913>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). An Application of Hierarchical Kappa-type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers. *Biometrics*, 33(2), 363–374. <https://doi.org/10.2307/2529786>
- Louhaichi, M., Borman, M. M., & Johnson, D. E. (2001). Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, 16(1), 65–70. <https://doi.org/10.1080/10106040108542184>
- Maicelo, Q. J. L. (2013). Determinación de carbono en la biomasa aérea de *Ceroxylon peruvianum* en la cuenca del río Utcubamba. In C. Vásquez (Ed.), *II Congreso Binacional de Investigación, Ciencia y Tecnología de Universidades del Sur del Ecuador y Norte del Perú* (pp. 781–786). Universidad Politécnica Salesiana.
- Malek, S., Bazi, Y., Alajlan, N., AlHichri, H., & Melgani, F. (2014). Efficient framework for palm tree detection in UAV images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(12), 4692–4703. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2331425>
- Martínez, B. R. A., Aguirre Calderón, O. A., Vargas Larreta, B., Jiménez Pérez, J., Treviño Garza, E. J., & Yerena Yamallel, J. I. (2017). Modelación de biomasa y carbono arbóreo aéreo en bosques del estado de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(35), 091–105. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i35.77>
- Mendoza C., M. E., Salas L., R., & Barboza C., E. (2015). Análisis multitemporal de la deforestación usando la clasificación basada en objetos, distrito de Leymebamba (Perú). *Rev. INDES*, 3(2), 67–76. <https://doi.org/10.25127/indes.201502.008>



- Mendoza, M. (2018). *Estimación de carbono en plantaciones de pinus patula mediante el análisis espectral de una imagen satelital sentinel-2, distrito de Luya Viejo, Amazonas, 2018*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- MINAM. (2014). Protocolo: Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación. In *Ministerio del Ambiente*. Dirección General de Ordenamiento Territorial.
- Montoya, R. R. (2020). *Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo y cobertura vegetal en el área de conservación privada bosques de palmera, Ocol - Amazonas, período 1987- 2017*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- NCI, & IIAP. (2011). *Expediente técnico y Plan Maestro para el Reconocimiento del Área de Conservación Privada Bosque de Palmeras de la Comunidad Campesina de Taulía Molinopampa*. IIAP.
- Osorio, L. P., Mas Causel, J. F., Guerra, F., & Maass, M. (2014). Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía*, 2015(88), 60–74. <https://doi.org/10.14350/rig.43853>
- Peralta-Rivero, C., Torrico-Albino, J. C., Vos, V. A., Galindo-Mendoza, M. G., & Contreras-Servín, C. (2015). Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana. *Ecología En Bolivia*, 50(2), 91–114.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 48(2), 119–126. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90134-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90134-1)
- Ramírez, I., Zubieta, R., Luna, L., & López, C. (2005). *Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Región Mariposa Monarca Informe Técnico Final Convenio KE31*. [http://awsassets.panda.org/downloads/mmonarca\\_analisis\\_cambio\\_forestal.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/mmonarca_analisis_cambio_forestal.pdf)
- Rodríguez, Á. N. (2015). *Estimación de biomasa arborea por medio de índices de vegetación para el Parque Nacional Natural La Paya*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Rojas, B. N. B., Barboza C., E., Maicelo Q., J. L., Oliva C., S. M., & Salas L., R. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del

- suelo basado en SIG. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 81(81), 1–34. <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Rojas, B. N. B., Castillo, E. B., Torres, O. A. G., Oliva, M., Tafur, D. L., Gurbillón, M. Á. B., Corroto, F., López, R. S., & Rascón, J. (2020). Morphometric prioritization, fluvial classification, and hydrogeomorphological quality in high Andean livestock micro-watersheds in northern Peru. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/ijgi9050305>
- Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium NASA, 1*, 309–317. <https://doi.org/citeulike-article-id:12009708>
- Salas L., R., Barboza C., E., & Oliva C., M. (2014). Dinámica multitemporal de índices de deforestación en el distrito de Florida, departamento de Amazonas, Perú. *Revista INDES*, 2(1), 18–27. <https://doi.org/10.25127/indes.201401.00>
- Salas L., R., Barboza C., E., Rojas B., N. B., & Rodríguez C., N. Y. (2018). Deforestación en el área de conservación privada Tilacancha: zona de recarga hídrica y de abastecimiento de agua para Chachapoyas. *Rev. de Investig. Agroproducción Sustentable*, 2(3), 54–64. <https://doi.org/10.25127/aps.20182.393>
- Sanín, M. J., Anthelme, F., Pintaud, J. C., Galeano, G., & Bernal, R. (2013). Juvenile Resilience and Adult Longevity Explain Residual Populations of the Andean Wax Palm *Ceroxylon quindiuense* after Deforestation. *PLoS ONE*, 8(10), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074139>
- Sastre, L. F. S., Marcos-Robles, J. L., Llorente, E. H., Navarro, S. H., & Prieto, P. C. (2016). Aplicación de tecnologías de teledetección al estudio de biomasa forestal. *RISTI*, 19, 61–76. <https://doi.org/10.17013/risti.19.61-76>
- SPDA. (2019). *Áreas de conservación privada en el Perú: Anances y propuestas a 20 años de su creación* (B. Monteferri (ed.)). Sociedad Peruana de Derecho Ambiental.
- Story, M., & Congalton, R. G. (1986). Accuracy Assessment: A User's Perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(3), 397–399.
- Sun, W., & Liu, X. (2020). Review on carbon storage estimation of forest ecosystem and applications in China. *Forest Ecosystems*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0210-2>
- Tsai, Y. H., Stow, D., Chen, H. L., Lewison, R., An, L., & Shi, L. (2018). Mapping vegetation and land use types in Fanjingshan National Nature Reserve using google earth engine. *Remote Sensing*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/rs10060927>

- Vargas, G. E. (1992). *Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de imágenes*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) & Ministerio de Hacienda y Crédito Público.
- Vashum, K., & Jayakumar, S. (2012). Methods to Estimate Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Natural Forests - A Review. *Journal of Ecosystem & Ecography*, 02(04). <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000116>
- Vásquez, P. H. V. (2021). *Eficiencia de los sistemas silvopastoriles para retención de carbono, en la cuenca ganadera de Molinopampa, Amazonas*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., & Umaña, A. M. (2004). Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad. In *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de Biodiversidad* (pp. 185–226). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- William L. Brown Center. (2014). *Conozco y cuido mis palmeras en Ocol* (N. Paniagua Zambrana, R. W. Bussmann, C. Téllez, & C. Vega (eds.)). Missouri Botanical Garden.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

## VII. ANEXOS

**Anexo 1.** Puntos de control terrestre para corrección geométrica de imagen.

N° de punto	WGS1984 UTM 18S	
	Este (m)	Norte (m)
1	218005	9303348
2	216257	9306340
3	215923	9306547
4	214825	9307014
5	214941	9308809
6	214892	9309580
7	213835	9309389
8	217185	9304600
9	211986	9310557

**Anexo 2.** Centroides de las áreas de entrenamiento para la clasificación.

Clase de cobertura y uso actual de suelo	WGS1984 UTM 18S	
	Este (m)	Norte (m)
Cuerpos de agua	9302780.64	218773.03
Cuerpos de agua	9307052.21	216681.68
Cuerpos de agua	9306773.66	216645.07
Cuerpos de agua	9305558.35	216574.27
Cuerpos de agua	9306415.86	215703.00
Cuerpos de agua	9303813.90	217956.08
Cuerpos de agua	9303714.67	218015.32
Cuerpos de agua	9303320.94	218081.84
Artificializado	9304708.95	217068.39
Artificializado	9309427.71	214877.04
Artificializado	9306645.39	216217.81
Artificializado	9306706.42	215389.17
Artificializado	9304194.63	217672.56
Artificializado	9302559.74	218687.70
Artificializado	9306285.79	216289.82
Artificializado	9307567.90	215057.81
Artificializado	9309405.41	213128.96
Artificializado	9312650.85	215440.43
Artificializado	9312703.24	215596.33
Artificializado	9309451.22	214544.68
Pastos y cultivos	9309730.47	212204.03
Pastos y cultivos	9310150.33	216806.89

---

Pastos y cultivos	9305576.62	215619.64
Pastos y cultivos	9309736.64	222780.87
Pastos y cultivos	9308147.14	218278.09
Pastos y cultivos	9307453.85	217497.02
Pastos y cultivos	9305547.76	219539.76
Pastos y cultivos	9305642.09	219934.02
Pastos y cultivos	9306077.33	218092.62
Pastos y cultivos	9307975.24	212913.53
Pastos y cultivos	9303761.05	218954.70
Pastos y cultivos	9303717.45	216102.94
Pastos y cultivos	9308525.66	213060.62
Pastos y cultivos	9308132.91	212247.62
Pajonal	9310844.38	213112.20
Pajonal	9311303.64	213987.68
Pajonal	9311032.37	213441.81
Pajonal	9310368.71	213109.16
Pajonal	9308476.07	220797.08
Pajonal	9308691.30	221247.39
Pajonal	9307913.80	220257.42
Bosque palmera	9310315.28	212299.16
Bosque palmera	9310520.16	213630.07
Bosque palmera	9311180.57	213626.37
Bosque palmera	9310923.62	213921.59
Bosque palmera	9310670.72	213881.36
Bosque palmera	9310835.84	215339.05
Bosque palmera	9309992.73	215213.82
Bosque palmera	9306921.30	218796.06
Bosque palmera	9307040.65	219606.00
Bosque palmera	9307645.31	211362.50
Bosque palmera	9308641.72	211670.06
Bosque palmera	9309430.93	211523.95
Bosque palmera	9306579.97	213636.81
Bosque palmera	9307761.46	213653.34
Bosque palmera	9305001.27	214590.61
Bosque palmera	9303999.00	218573.70
Bosque palmera	9307319.05	218692.88
Bosque palmera	9307920.17	218745.61
Bosque palmera	9302340.16	215744.09
Bosque palmera	9304450.77	213377.21
Bosque palmera	9310211.28	214274.34
Bosque palmera	9303797.50	220176.28
Bosque palmera	9312159.80	218083.08
Bosque palmera	9311678.26	214519.74
Bosque palmera	9312723.91	217809.83

---

Bosque palmera	9313704.15	218869.58
Bosque palmera	9313325.69	219376.81
Bosque palmera	9310486.28	222000.50
Bosque palmera	9312956.89	222817.14
Bosque palmera	9310839.69	220860.97
Bosque palmera	9310941.12	220647.59
Bosque palmera	9311283.55	223321.88
Bosque palmera	9311581.10	222681.05
Bosque palmera	9308953.07	220562.72
Bosque palmera	9310937.22	223071.48
Bosque palmera	9310953.01	222181.07
Bosque palmera	9305221.89	218553.14
Bosque palmera	9306111.67	219858.23
Bosque palmera	9305907.84	220190.06
Bosque palmera	9306024.09	220883.19
Bosque palmera	9307638.36	219831.19
Bosque palmera	9307723.09	220888.84
Bosque palmera	9307988.53	219698.16
Bosque palmera	9308980.89	222270.75
Bosque palmera	9309176.86	221724.16
Bosque palmera	9306211.27	220169.46
Desnudo	9302378.55	217216.82
Desnudo	9302268.37	218098.76
Desnudo	9302275.75	218845.75
Desnudo	9305196.79	215642.84
Desnudo	9305722.21	214381.65
Desnudo	9304742.07	218769.84
Desnudo	9305928.56	220867.78
Desnudo	9307070.42	220459.40
Desnudo	9311202.95	213083.15

**Anexo 3.** Centroides de las áreas de validación de la clasificación.

Clase de cobertura y uso actual de suelo	WGS1984 UTM 18S	
	Este (m)	Norte (m)
Cuerpos de agua	9302781	218773.03
Cuerpos de agua	9306416	215703
Cuerpos de agua	9303814	217956.08
Artificializado	9304709	217068.39
Artificializado	9306706	215389.17
Artificializado	9309405	213128.96
Artificializado	9309451	214544.68
Pastos y cultivos	9309730	212204.03
Pastos y cultivos	9310150	216806.89

Pastos y cultivos	9308147	218278.09
Pastos y cultivos	9306077	218092.62
Pastos y cultivos	9303717	216102.94
Pastos y cultivos	9308133	212247.62
Pajonal	9310844	213112.2
Pajonal	9311032	213441.81
Pajonal	9308691	221247.39
Pajonal	9307914	220257.42
Bosque palmera	9310315	212299.16
Bosque palmera	9310671	213881.36
Bosque palmera	9307041	219606
Bosque palmera	9306580	213636.81
Bosque palmera	9310840	220860.97
Bosque palmera	9306112	219858.23
Bosque palmera	9308981	222270.75
Bosque palmera	9306211	220169.46
Desnudo	9302379	217216.82
Desnudo	9302268	218098.76
Desnudo	9305722	214381.65
Desnudo	9305929	220867.78

**Anexo 4.** Información dasométrica de *Ceroxylon* sp., de fecha 22 de junio de 2021.

Punto	Norte	Este	Altitud	CAP (m)	DAP (cm)	AF (m)	BS (kg)	CT (kg)
Parcela1	9308816.6	214331.6	2552.1	1.27	40.52	20.80	1218.20	691.21
Parcela1	9308846.6	214331.6	2551.5	1.67	53.25	22.20	2731.41	1549.80
Parcela1	9308828.2	214341.0	2552.5	1.20	38.21	24.20	1105.73	627.39
Parcela1	9308826.2	214346.2	2552.3	1.46	46.57	20.20	1785.35	1013.01
Parcela1	9308833.3	214359.0	2549.5	1.45	46.12	19.60	1713.14	972.04
Parcela1	9308831.1	214349.3	2552.0	1.39	44.31	25.20	1716.46	973.92
Parcela1	9308845.7	214356.3	2549.7	1.09	34.79	15.20	683.02	387.54
Parcela1	9308833.5	214341.2	2552.2	1.41	44.88	17.80	1516.20	860.29
Parcela1	9308831.4	214333.4	2552.3	1.26	40.17	20.90	1191.13	675.85
Parcela1	9308845.7	214341.5	2551.8	1.27	40.30	14.20	1005.35	570.44
Parcela1	9308847.8	214340.0	2552.0	1.26	40.11	15.40	1029.74	584.27
Parcela1	9308847.8	214340.0	2552.0	1.10	35.01	11.00	599.00	339.87
Parcela1	9308821.2	214351.5	2551.5	1.44	45.77	17.00	1569.73	890.66
Parcela1	9308824.9	214355.5	2551.0	1.34	42.78	20.40	1408.90	799.41
Parcela1	9308858.8	214333.7	2551.4	1.54	49.02	13.60	1720.76	976.36
Parcela1	9308856.8	214340.3	2551.5	1.58	50.29	22.30	2326.08	1319.82
Parcela1	9308853.1	214342.1	2551.5	1.32	42.02	24.00	1442.87	818.68
Parcela1	9308854.0	214344.9	2550.9	1.16	37.02	29.00	1098.36	623.21

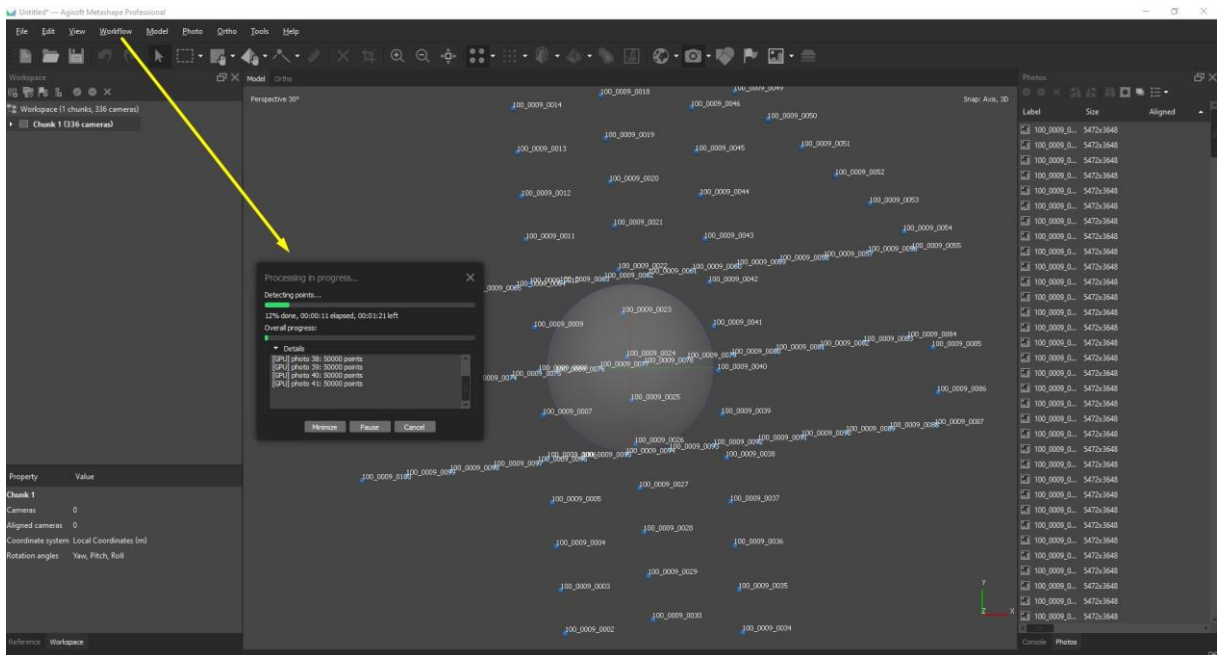
Parcela2	9309487.2	215310.7	2473.1	1.00	31.83	13.40	500.35	283.90
Parcela2	9309485.1	215292.1	2468.9	1.02	32.56	15.80	576.00	326.82
Parcela2	9309479.1	215293.0	2470.1	1.16	36.96	16.00	830.41	471.18
Parcela2	9309469.9	215292.2	2467.1	1.14	36.29	27.60	1014.23	575.47
Parcela2	9309477.4	215305.2	2472.2	0.99	31.51	11.02	444.24	252.06
Parcela2	9309478.0	215313.5	2474.5	1.19	37.91	5.35	538.28	305.42
Parcela2	9309472.3	215317.8	2475.1	1.00	31.83	14.60	520.57	295.37
Parcela2	9309471.7	215313.2	2473.8	0.99	31.61	17.60	556.28	315.64
Parcela2	9309473.2	215307.7	2472.0	0.97	30.88	26.20	625.42	354.86
Parcela2	9309459.7	215318.0	2472.8	1.46	46.54	5.40	968.66	549.62
Parcela2	9309452.8	215315.8	2472.7	1.61	51.25	25.20	2596.54	1473.27
Parcela2	9309475.2	215322.3	2476.1	1.43	45.52	6.78	1010.40	573.30
Parcela2	9309481.9	215324.5	2476.5	1.16	37.02	5.00	487.57	276.65
Parcela2	9309464.1	215327.7	2476.3	0.99	31.51	15.90	526.23	298.58
Parcela2	9309479.5	215328.8	2477.4	0.80	25.46	6.60	191.20	108.48
Parcela2	9309484.7	215324.3	2476.0	1.02	32.47	14.60	550.74	312.49
Parcela2	9309483.2	215329.6	2477.0	1.05	33.45	12.80	564.33	320.20
Parcela3	9308348.0	214511.8	2483.6	1.14	36.29	21.00	893.93	507.21
Parcela3	9308358.3	214517.1	2483.1	0.92	29.22	12.50	379.85	215.53
Parcela3	9308361.7	214521.5	2482.4	1.08	34.38	13.60	627.09	355.81
Parcela3	9308351.4	214530.4	2480.6	0.87	27.82	20.00	410.42	232.87
Parcela3	9308361.6	214525.2	2481.8	1.10	35.01	20.60	800.41	454.15
Parcela3	9308365.4	214525.9	2481.4	1.12	35.65	22.00	868.50	492.78
Parcela3	9308362.3	214517.3	2482.7	1.18	37.66	14.60	839.68	476.43
Parcela3	9308362.2	214511.3	2482.7	1.00	31.83	12.00	475.48	269.79
Parcela3	9308361.4	214506.1	2482.4	1.07	34.15	24.00	800.31	454.10
Parcela3	9308357.5	214504.1	2483.1	1.29	41.06	23.00	1325.21	751.92
Parcela3	9308352.5	214496.6	2484.2	1.19	38.01	23.60	1076.23	610.65
Parcela3	9308356.5	214494.4	2482.9	0.85	27.12	12.60	308.34	174.95
Parcela3	9308373.3	214489.2	2479.3	1.32	42.05	33.40	1684.52	955.80
Parcela3	9308351.5	214474.7	2485.5	1.18	37.62	18.80	941.45	534.18
Parcela3	9308336.5	214537.0	2481.0	1.04	33.10	25.20	748.95	424.95
Parcela3	9308333.3	214535.4	2481.3	1.15	36.70	26.00	1018.98	578.17
Parcela3	9308327.4	214539.0	2481.3	1.10	35.11	26.00	898.23	509.66
Parcela3	9308318.7	214511.7	2486.3	0.94	30.05	26.00	576.85	327.31
Parcela4	9307580.3	215363.8	2384.3	1.02	32.47	24.00	692.90	393.15
Parcela4	9307577.0	215366.0	2383.3	1.07	34.00	23.00	774.37	439.38
Parcela4	9307583.5	215365.4	2385.3	1.00	31.70	22.40	627.21	355.88
Parcela4	9307578.1	215376.8	2383.2	0.94	29.86	15.40	444.74	252.34
Parcela4	9307585.5	215382.2	2386.4	1.00	31.77	24.20	653.73	370.93
Parcela4	9307586.6	215373.4	2387.0	1.27	40.43	22.20	1247.02	707.56
Parcela4	9307598.0	215370.7	2387.0	1.30	41.25	23.40	1353.56	768.01
Parcela4	9307602.4	215376.0	2386.7	1.00	31.70	24.20	650.01	368.81
Parcela4	9307608.4	215374.5	2386.1	1.04	33.23	24.60	748.79	424.86



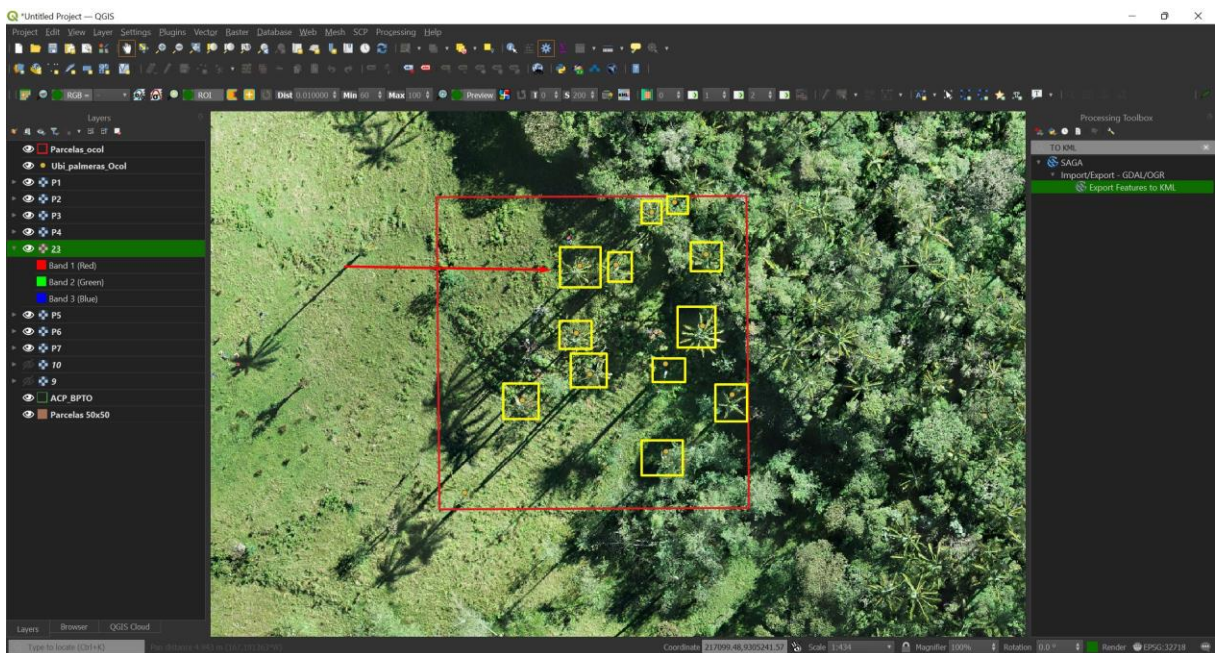
Parcela4	9307605.6	215366.9	2386.9	1.18	37.43	21.80	993.61	563.78
Parcela4	9307598.4	215350.7	2385.1	1.04	32.98	18.02	634.46	359.99
Parcela4	9307588.9	215347.1	2382.7	1.38	43.93	29.80	1809.58	1026.76
Parcela4	9307564.0	215343.2	2380.4	1.02	32.53	24.00	696.78	395.35
Parcela4	9307563.5	215350.8	2380.6	1.43	45.45	24.20	1811.58	1027.89
Parcela4	9307547.0	215370.3	2379.6	1.27	40.55	25.00	1329.21	754.19
Parcela4	9307571.8	215383.7	2382.8	1.22	38.90	24.60	1171.84	664.90
Parcela4	9307575.6	215384.6	2384.0	1.22	38.90	29.00	1264.40	717.42
Parcela4	9307571.0	215391.9	2384.7	1.07	34.19	23.60	796.23	451.78
Parcela4	9307579.7	215394.7	2386.5	1.17	37.18	24.60	1030.45	584.68
Parcela5	9306301.2	214597.8	2447.2	1.42	45.33	22.80	1748.38	992.03
Parcela5	9306303.4	214594.2	2448.2	1.38	43.93	16.80	1388.62	787.90
Parcela5	9306305.3	214604.4	2444.9	1.30	41.25	19.20	1235.33	700.93
Parcela5	9306302.3	214607.5	2444.3	1.07	34.00	19.00	708.95	402.26
Parcela5	9306302.9	214611.5	2442.8	0.89	28.33	18.90	421.01	238.88
Parcela5	9306294.2	214608.8	2445.8	1.06	33.68	18.58	683.14	387.61
Parcela5	9306295.1	214612.2	2444.3	1.22	38.71	16.00	947.28	537.49
Parcela5	9306296.9	214618.2	2442.1	1.16	37.02	16.80	853.51	484.28
Parcela5	9306293.4	214624.6	2440.8	1.19	37.94	16.20	900.21	510.78
Parcela5	9306288.9	214612.5	2446.5	1.06	33.87	12.00	567.25	321.86
Parcela5	9306284.7	214600.6	2450.1	1.08	34.25	17.50	697.16	395.57
Parcela5	9306316.4	214591.6	2448.7	0.85	27.06	15.80	340.04	192.94
Parcela5	9306319.6	214596.2	2446.8	1.12	35.71	11.20	639.02	362.58
Parcela5	9306318.6	214599.1	2446.4	1.02	32.53	11.40	494.00	280.29
Parcela5	9306318.4	214605.0	2443.9	1.33	42.27	16.60	1238.01	702.45
Parcela5	9306325.7	214596.5	2443.9	1.14	36.29	16.40	797.43	452.46
Parcela5	9306324.6	214606.1	2442.6	0.90	28.58	12.00	350.11	198.65
Parcela5	9306331.6	214612.4	2439.0	0.83	26.36	14.00	298.44	169.34
Parcela5	9306328.6	214613.7	2438.9	1.06	33.68	9.50	501.09	284.32
Parcela5	9306313.6	214620.8	2438.5	1.36	43.29	16.40	1317.38	747.48
Parcela5	9306326.1	214628.8	2435.5	1.30	41.35	23.80	1373.20	779.15
Parcela5	9306330.7	214628.3	2434.7	1.05	33.30	13.40	568.64	322.65
Parcela5	9306330.4	214624.1	2435.6	0.95	30.18	15.20	455.60	258.51
Parcela6	9305276.4	217092.8	2296.0	1.28	40.84	18.00	1165.14	661.10
Parcela6	9305276.2	217086.9	2294.1	1.13	35.97	17.00	790.71	448.65
Parcela6	9305265.4	217086.3	2290.0	0.86	27.34	11.00	296.41	168.18
Parcela6	9305261.8	217090.3	2288.3	1.39	44.31	23.00	1645.53	933.67
Parcela6	9305258.7	217088.6	2286.3	1.15	36.67	23.00	960.49	544.98
Parcela6	9305254.4	217077.6	2281.6	1.51	48.13	22.00	2039.64	1157.29
Parcela6	9305239.5	217068.3	2274.3	1.26	40.11	17.00	1077.85	611.57
Parcela6	9305246.2	217101.0	2289.9	1.21	38.55	25.00	1150.62	652.86
Parcela6	9305255.4	217111.7	2288.6	1.46	46.44	21.00	1803.58	1023.35
Parcela6	9305260.3	217100.9	2290.0	1.50	47.75	22.00	1993.93	1131.36
Parcela6	9305266.5	217106.8	2293.8	1.53	48.70	14.00	1711.94	971.35

Parcela6	9305284.9	217098.6	2299.3	1.24	39.57	10.00	811.54	460.47
Parcela6	9305278.0	217107.5	2300.9	1.27	40.52	17.00	1109.79	629.70
Parcela6	9305286.5	217102.3	2299.2	1.17	37.31	16.00	852.99	483.99
Parcela7	9306288.1	216653.5	2236.9	1.37	43.45	21.00	1492.29	846.72
Parcela7	9306275.6	216639.8	2232.1	1.40	44.56	17.00	1454.57	825.32
Parcela7	9306283.1	216636.0	2229.7	0.97	30.94	18.00	528.93	300.11
Parcela7	9306283.2	216632.4	2226.2	1.05	33.45	19.00	677.31	384.31
Parcela7	9306267.8	216643.5	2227.0	1.06	33.80	15.00	625.50	354.91
Parcela7	9306277.8	216658.7	2234.6	1.11	35.33	21.00	828.62	470.16
Parcela7	9306276.1	216663.6	2232.8	0.94	29.92	18.00	480.88	272.85
Parcela7	9306282.5	216661.4	2236.8	1.03	32.85	17.00	610.85	346.60
Parcela7	9306284.4	216660.7	2237.6	1.01	32.15	19.00	604.82	343.18
Parcela7	9306283.0	216665.8	2236.5	1.01	32.28	18.00	596.57	338.49
Parcela7	9306284.0	216669.0	2236.7	1.08	34.38	16.00	675.99	383.56
Parcela7	9306286.4	216669.4	2237.0	1.02	32.34	15.00	551.46	312.90
Parcela7	9306289.2	216669.8	2238.2	0.97	30.91	17.00	513.64	291.44
Parcela7	9306283.8	216676.4	2235.7	0.69	22.00	11.00	159.59	90.55
Parcela7	9306288.3	216679.8	2238.7	0.78	24.89	10.00	217.14	123.20
Parcela7	9306290.1	216679.6	2240.5	1.05	33.52	9.00	482.19	273.59
Parcela7	9306291.7	216679.8	2242.4	0.92	29.28	17.00	440.55	249.97
Parcela7	9306295.1	216679.3	2243.3	1.11	35.33	17.00	751.55	426.43
Parcela7	9306286.1	216683.8	2237.4	1.09	34.66	18.00	730.84	414.68
Parcela7	9306289.1	216691.3	2239.3	1.10	35.01	1.80	259.56	147.28
Parcela7	9306287.1	216697.8	2237.6	1.29	41.09	19.00	1215.92	689.92
Parcela7	9306290.4	216695.0	2239.8	0.75	24.00	7.00	166.00	94.19
Parcela7	9306288.8	216704.8	2238.0	0.87	27.72	17.00	377.03	213.93
Parcela7	9306288.0	216711.8	2237.6	1.19	38.01	21.00	1019.73	578.59
Parcela7	9306292.6	216711.3	2241.6	0.76	24.22	20.00	276.81	157.06
Parcela7	9306301.2	216700.9	2243.1	0.80	25.46	13.00	261.51	148.38
Parcela7	9306293.3	216689.2	2243.1	1.40	44.56	3.50	700.85	397.66
Parcela7	9306293.6	216685.6	2243.8	1.04	33.23	17.00	631.27	358.18
Parcela7	9306298.2	216684.8	2245.4	1.25	39.82	16.00	1026.93	582.68
Parcela7	9306304.8	216696.1	2250.9	0.84	26.80	18.00	351.56	199.48
Parcela7	9306308.1	216695.0	2251.3	0.86	27.41	16.00	354.77	201.29
Parcela7	9306315.1	216693.8	2251.5	0.95	30.27	18.00	497.06	282.03
Parcela7	9306318.3	216693.9	2251.2	1.05	33.52	17.00	646.88	367.04
Parcela7	9306314.8	216689.6	2249.0	1.24	39.57	15.00	978.73	555.33
Parcela7	9306309.6	216686.8	2247.9	1.00	31.83	16.00	543.06	308.14
Parcela7	9306318.6	216686.7	2246.2	1.15	36.67	17.00	835.30	473.95
Parcela7	9306321.5	216683.4	2243.0	1.13	36.06	17.00	796.70	452.05
Parcela7	9306323.6	216639.9	2231.3	1.10	35.11	32.00	988.67	560.97
Parcela7	9306314.1	216644.8	2232.8	1.19	37.91	32.00	1229.95	697.88

## Anexo 5. Procesamiento de imágenes de UAV.



Procesamiento fotogramétrico para la generación del ortomosaico.



Recorte de ortomosaicos generados, empelando la herramienta de “Clip Raster by extent”.

**Anexo 6. Panel fotográfico.**



**Fotografía 1. Medición de la CAP.**



**Fotografía 2. Georreferenciación de palmeras.**



**Fotografía 3.** Medición del CAP y Georreferenciación de palmeras.



**Fotografía 4.** Verificación de parcelas y campos de pastos, mediante inspección visual que contengan palmeras.