

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**



**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE *Mauritia flexuosa* (AGUAJE) A PARTIR DE UNA
FIRMA ESPECTRAL EN EL DISTRITO DE PUCAYACU, HUÁNUCO, PERÚ**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

PRESENTADO POR:

BRYAN MAX QUINTANA NEYRA

Tingo María – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 065-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 06 de mayo de 2025, a horas 6: p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE *Mauritia flexuosa* (AGUAJE) A PARTIR DE UNA FIRMA ESPECTRAL EN EL DISTRITO DE PUCAYACU, HUÁNUCO, PERÚ”

Presentado por el Bachiller: **QUINTANA NEYRA, BRYAN MAX**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “**MUY BUENA**”.

En consecuencia, la sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 16 de mayo de 2025

Ph. D. LUIS ALBERTO VALDIVIA ESPINOZA
PRESIDENTE

Ing. MSc. EDILBERTO DIAZ QUINTANA
MIEMBRO



Ing. MSc. ANDY WILLIAMS VELA ZEVALLOS
MIEMBRO

Dr. RONALD HUGO PUERTA TUESTA
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS

Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 151 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

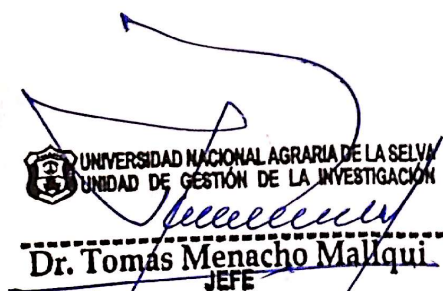
Ingeniería en Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE <i>Mauritia flexuosa</i> (AGUAJE) A PARTIR DE UNA FIRMA ESPECTRAL EN EL DISTRITO DE PUÇAYACU, HUÁNUCO, PERÚ	BRYAN MAX QUINTANA NEYRA	14 % Catorce

Tingo María, 26 de mayo de 2025


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomás Menacho Malqui
JEFE

C.C. Archivo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
VICERRECTOR DE INVESTIGACION
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

“Promoviendo la Calidad de la Investigación”
" Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional "

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO (FIF)

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	: Recursos Naturales Renovables
Escuela profesional	: Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
Título de Tesis	: Distribución espacial de Mauritia Flexuosa (aguaje) a partir de una firma espectral en la provincia Leoncio Prado
Objetivo general	: Conocer la distribución espacial de los agujajes en la provincia Leoncio Prado
Objetivo específico	: Desarrollar la firma espectral de M. flexuosa a partir del uso de las bandas espectrales de las imágenes satelitales Sentinel-2 Validar en campo la firma espectral de M. flexuosa Calcular la superficie de agujajes de la provincia Leoncio Prado
Autor	: Bryan Max Quintana Neyra
DNI	: 70776457
Correo Electrónico	: bryan.quintana@unas.edu.pe
Asesor de Tesis	: Dr. Ronald Hugo Puerta Tuesta
Área de investigación	: Valoración de la Biodiversidad, recursos naturales y biotecnología
Grupo de investigación	: Ordenamiento del paisaje, gobernanza y adaptación al cambio climático
Línea de investigación	: Ordenamiento del paisaje, gobernanza y adaptación al cambio climático
Lugar de ejecución	: Leoncio Prado
Fecha de inicio	: 02-02-2024
Fecha de termino	: 02- 08- 2024
Financiamiento	: Propio(x) FIF() Eterno()
Presupuesto	: S/. 3 788,95 soles



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

VICERRECTORADO DE INVESTIGACION DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

“Promoviendo la Calidad de la Investigación”

REGISTRO DE PROYECTO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	: Facultad de Recursos Naturales Renovables
Escuela Profesional	: Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
Título de Tesis	: <i>DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE <i>Mauritia flexuosa</i> (AGUAJE) A PARTIR DE UNA FIRMA ESPECTRAL EN EL DISTRITO DE PUCAYACU, HUÁNUCO, PERÚ</i>
Objetivo General	: Conocer la distribución espacial de <i>M. flexuosa</i> a partir de una firma espectral en el distrito Pucayacu, Huánuco, Perú.
Autor de la Tesis	: Bryan Max Quintana Neyra
DNI	: 70776457
Correo Electrónico	: bryan.quintana@unas.edu.pe
Asesores de Tesis	: Dr. Ronald Hugo Puerta Tuesta
Área de Investigación	: Valoración de la Biodiversidad, recursos naturales y biotecnología
Grupo de Investigación	: Ordenamiento del paisaje, gobernanza y adaptación al cambio climático
Línea de Investigación	: Ordenamiento del paisaje, gobernanza y adaptación al cambio climático
Lugar de Ejecución	: Pucayacu
Fecha de inicio	: 11 /03 / 2024
Fecha de termino	: 11 /12 /2024
Presupuesto	: S/. 3 788,95
Financiamiento	: Propio (X) FEDU () Externo ()

Bryan Max Quintana Neyra
Tesisista

Dr. Ronald Hugo Puerta Tuesta
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por guiarme en mi vida, en la universidad hasta la actualidad, por darme salud, bienestar y amor.

A mis padres, Karina Luzmila Neyra y Nilton Máximo Quintana, que nunca dudaron de mí, siempre me brindaron su apoyo incondicional en cada momento, porque fueron mi soporte, sin ellos no hubiera podido lograr nada de lo que soy ahora.

A Yulexi Bethany Quintana y Thiago Max Quintana, por ser el motor y motivo en mi vida, en donde solo buscaba ser un buen ejemplo para ellos, su amor puro y sincero fue un pilar para mí en todo este proceso.

Mención especial a todas las personas que me acompañaron en todo este proceso, a Poccorina Cecilia Chocce por sus consejos y por darme ese soporte de hermana mayor cuando más lo necesitaba

A la familia Pajuelo Rafael por abrirme las puertas de su casa, integrarme en su familia y brindarme un espacio en un momento crucial de esta investigación.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	Marco teórico.....	3
2.1.1.	Teledetección	3
2.1.2.	Imagen multiespectral.....	3
2.1.3.	Firma espectral.....	3
2.1.4.	Resolución espacial.....	4
2.1.5.	Imágenes multiespectrales PlanetScope	4
2.1.6.	Imágenes multiespectrales Sentinel - 2.....	6
2.1.7.	<i>M. flexuosa</i>	8
2.1.8.	Cobertura del suelo	10
2.2.	Estado del arte.....	11
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1.	Lugar de ejecución.....	17
3.1.1.	Ubicación geográfica	17
3.1.2.	Ubicación política	17
3.1.3.	Características ecológicas	18
3.1.4.	Clima.....	18
3.1.5.	Relieve	19
3.2.	Materiales y métodos.....	20
3.2.1.	Materiales y equipos	20
3.2.2.	Metodología.....	21
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1.	Desarrollo de la firma espectral de <i>M. flexuosa</i> a partir del uso de las bandas espectrales de las imágenes satelitales PlanetScope en el distrito Pucayacu, Huánuco, Perú.....	26

4.1.1. Coordenadas tomadas en campo.....	26
4.1.2. Combinación de firmas espectrales (firma única)	28
4.1.3. Valores de la firma espectral combinada (firma única).....	29
4.2. Validación en campo de la firma espectral de <i>M. flexuosa</i> en el distrito Pucayacu, Huánuco, Perú.....	29
4.2.1. Exactitud Global (%)	30
4.3. Cálculo de la superficie de <i>M. Flexuosa</i> en el distrito Pucayacu, Huánuco, Perú.	31
V. CONCLUSIONES.....	33
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	34
VII. REFERENCIAS.....	35
ANEXOS	41
Anexo A. Ubicación geográfica de <i>M. flexuosa</i> en la provincia Leoncio Prado.....	44
Anexo B. Puntos georreferenciados de <i>M. Flexuosa</i> en el distrito de Pucayacu.....	45
Anexo E. Longitud de onda por cada banda (puntos tomados en campo).....	42
Anexo F. Valores de reflectancia por cada banda (puntos tomados en campo)	47
Anexo G. Longitud de onda por cada banda (GAMBOA)	48
Anexo H. Valores de reflectancia por cada banda (GAMBOA),.....	49
Anexo I. Validación en campo.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1. Comparativa entre PlanetScope, Sentinel-2 y Landsat 8.....	6
Tabla 2. Resolución espacial, número de banda, rango espectral, longitud de onda central anchura de cada banda en Sentinel-2 en nanómetros.....	7
Tabla 3. Variable de estudio con sus dimensiones e indicadores.....	30
Tabla 4. Valores de la firma espectral combinada	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Resolución espacial Sentinel-2 ^a	4
Figura 2. Diferencias de resolución espacial entre imágenes PlanetScope y Landsat 8.....	5
Figura 3. Comparación entre las diferentes bandas y el espectro electromagnético de Sentinel-2 y Landsat 7 y 8.....	8
Figura 4. Número de publicaciones por región de Sudamérica.....	9
Figura 5. Ubicación política de la zona de estudio.....	17
Figura 6. Puntos iniciales de Aguaje (71).....	26
Figura 7. Filtro final hasta conseguir homogeneidad (32).....	27
Figura 8. Combinación de las firmas espectrales.....	28

RESUMEN

La Amazonia peruana tiene al aguaje (*Mauritia flexuosa*) como una especie nativa, con un alto valor ecológico, social y económico. En este estudio se buscó conocer su distribución espacial en el departamento Huánuco, provincia Leoncio Prado, distrito Pucayacu, a partir del análisis de firmas espectrales generadas con imágenes satelitales PlanetScope. Para lograrlo, se trabajaron tres objetivos específicos: desarrollar la firma espectral del aguaje, validar dicha firma en campo y calcular la superficie ocupada por esta especie. La metodología consistió en generar imágenes multiespectrales a partir de las bandas de reflectancia corregidas, extraer firmas espectrales en zonas con presencia de aguaje mediante ROIs, y depurar los datos mediante análisis visual para conservar únicamente las firmas más homogéneas. A partir de estas, se obtuvo una firma espectral promedio que fue validada en campo usando un muestro no probabilístico por conveniencia de 90 puntos, alcanzando un 73% de exactitud. Finalmente, se aplicó una clasificación supervisada para estimar el área cubierta por aguaje, obteniendo un total de 840 polígonos, de los cuales se descartaron aquellos menores a 0.5 ha para evitar sobre estimaciones. Este trabajo demuestra que el uso de imágenes PlanetScope y el análisis de firmas espectrales es una herramienta útil para conocer la distribución espacial de *M. flexuosa*, lo que puede contribuir a una mejor gestión y conservación de esta especie en la Amazonia.

Palabras clave: Imágenes multiespectrales, SIG, validación en campo, análisis espectral, cobertura vegetal

ABSTRACT

In the Peruvian Amazon is the moriche palm (*Mauritia flexuosa*), which is a native specie with a high ecological, social and economic value. In this study an understanding of the spatial distribution was sought in the Huánuco department of the Leoncio Prado province in the Pucayacu district [of Peru], from an analysis of the in the field and to calculate the surface area occupied by this specie. The methodology consisted in generating multispectral images from the corrected reflectance bands, spectral signatures generated with PlanetScope satellite images. In order to achieve this, three specific objectives were used: to develop the spectral signature of the moriche palm, to validate said signature extracting spectral signatures in zones with the presence of moriche palm through ROIs, and purifying the data using visual analysis in order to conserve only the most homogenous signatures. From these, an average spectral signature was obtained that was validated in the field using a non-probabilistic convenience sample of ninety points, achieving an accuracy of 73%. Finally, a supervised classification was applied in order to estimate the area covered by the moriche palm, where a total of 840 polygons were obtained, of which, those that were smaller than 0.5 ac were thrown out, in order to avoid over estimation. This work showed that the use of PlanetScope images and the analysis of spectral signatures is a useful tool for understanding the spatial distribution of *M. flexuosa*, which could contribute to an improved management and conservation of this specie in the Amazon.

Keywords: multispectral images, SIG, validation in the field, spectral analysis, vegetative covering

I. INTRODUCCIÓN

La presión sobre las áreas con vegetación para el establecimiento de cultivos agrícolas y la expansión urbana viene ocurriendo de manera desmedida en estos últimos años, no siendo esta actividad ajena en la Amazonía peruana, donde muchas áreas boscosas vienen siendo alteradas ocasionando pérdida de biodiversidad.

Mauritia flexuosa (aguaje) es una palmera que cumple diversas funciones en ecosistemas inundables y temporalmente inundables, siendo de suma importancia la captura y almacenamiento de carbono; además las personas se benefician de manera directa de los frutos que contienen carotenoides, ácidos grasos, compuestos fenólicos, propiedades antioxidantes, antibacterianas, antifúngicas, antiinflamatorias, antiplaquetaria y antitrombótica, exposición al metilmercurio, antiproliferativa, antidiabética, acción prebiótica, estrogénica, antiandrogénica y propiedad óptica del aceite (Barboza *et al.*, 2022).

Ha crecido en los últimos años la necesidad y el interés de contar con información de mayor exactitud y lo más actualizada posible respecto al uso y la cobertura de un determinado lugar. Numerosos proyectos a nivel internacional, nacional y local se han centrado en la creación y actualización de bases de datos relacionadas con el uso y ocupación del suelo. Los métodos utilizados para poder realizar estas tareas se basaron en gran medida en la interpretación visual y en la comparación con otras imágenes y/o base de datos, lo que ha requerido una importante intervención humana. No obstante, las mejoras recientes en la calidad de los sensores, tanto los montados en aeronaves como los satelitales, han aumentado de manera considerable que se encuentren disponibles muchas imágenes con resolución alta (Borrás *et al.*, 2017) con la cual se pueden lograr diferenciar especies de interés para conservarlo o manejarlo adecuadamente.

Si bien en los últimos años se ha ejecutado algunas investigaciones sobre la ubicación espacial de los aguajales del Perú, es muy escasa la información a nivel distrital, por lo que urge la necesidad de este estudio para generar información precisa, conocer la disposición espacial de *M. flexuosa* y realizar un mapa de la distribución de poblaciones en el distrito de Pucayacu, mediante el desarrollo de la firma espectral del aguaje a partir del uso de las diferentes bandas espectrales que brinda en forma gratuita el satélite PlanetScope, por cual se plantea como interrogante: ¿Cómo es la distribución espacial de *M. flexuosa* a partir de una firma espectral en el distrito de Pucayacu, Huánuco, Perú?

La gestión de un determinado recurso natural se basa en el conocimiento sobre su estado actual y su distribución espacial en un determinado lugar, siendo estos aspectos fundamentales para lograr una adecuada sostenibilidad de *M. flexuosa*; el uso de tecnologías de teledetección es una herramienta útil para estudios de suelo, vegetación y semejantes. Con esta herramienta se extraerá información de imágenes de satélite y se desarrollará la firma espectral de *M. flexuosa* a través de un análisis digital, la cual será validada en campo para posteriormente determinar la efectividad de este estudio, que integra técnicas de teledetección e interpretación visual de imágenes satelitales para la detección de palmeras de aguaje en el distrito de Pucayacu.

La distribución espacial de *M. flexuosa* utilizando firma espectral en el distrito Pucayacu, Huánuco para el año 2025 servirá como herramienta básica a las instituciones educativas de nivel superior donde se necesita de esa información con la cual se puede seguir realizando estudios que conllevarán en poderle otorgar un adecuado manejo a la especie en estudio, siendo fortalecido mediante programas de manejo en donde se encuentren vinculadas autoridades de la provincia Leoncio Prado y del distrito Pucayacu.

Objetivo general

- Conocer la distribución espacial de *M. flexuosa* a partir de una firma espectral en el distrito Pucayacu, Huánuco, Perú.

Objetivos específicos

- Desarrollar la firma espectral de *M. flexuosa* a partir del uso de las bandas espectrales de las imágenes satelitales PlanetScope en el distrito Pucayacu, Huánuco, Perú.
- Validar en campo la firma espectral de *M. flexuosa* en el distrito Pucayacu, Huánuco, Perú.
- Calcular la superficie de *M. flexuosa* en el distrito Pucayacu, Huánuco, Perú.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Teledetección

La teledetección es una técnica que permite obtener información sobre la superficie terrestre sin necesidad de estar físicamente presente en el área de estudio. Para que este proceso sea posible, debe existir una interacción entre la zona observada y el sensor que capta la información, generalmente a través de energía electromagnética. Esta información se registra en forma de imágenes, que posteriormente pueden analizarse como fuente de datos. Para su funcionamiento, se requieren tres componentes fundamentales: una fuente de energía, la superficie terrestre y un sensor (Chuvienco, 2002).

Por otro lado, la teledetección se caracteriza por permitir la obtención de datos sin contacto físico directo con los objetos. Sin embargo, es necesario que exista algún tipo de interacción entre estos elementos, ya sea en la superficie terrestre, marina o atmosférica, y con un sensor ubicado en una plataforma, como un satélite o un avión. En el caso de los sensores pasivos, la información se recoge a partir de la energía reflejada por los objetos hacia el sensor (Alonso, 2006).

2.1.2. Imagen multiespectral

Una imagen multiespectral se caracteriza por la captura de datos de longitud de onda dentro de rangos específicos a través del espectro electromagnético. Este tipo de imagen divide la luz en varias bandas espectrales, generalmente entre 3 y 15 por imagen. Existe una variante especial conocida como imagen hiperespectral, que captura cientos de bandas espectrales de forma contigua. Estas imágenes son fundamentales en sistemas de observación remota de la Tierra y varios satélites, como Landsat, Sentinel, PlanetScope y Modis, proporcionan este tipo de fotografías en distintas bandas, permitiendo a los usuarios descargar las que necesiten para sus fines de observación (Canalejo, 2018).

2.1.3. Firma espectral

La firma espectral es una huella digital que deja un material, superficie, cobertura entre otras que reflejan características biológicas, físicas y químicas de los elementos a través de su respuesta a la radiación, emitiendo longitudes de onda específicas en el espectro electromagnético. Existen varios tipos de superficie, y todas interactúan con la radiación de forma diferente, absorbiendo longitudes de onda muy específicas y reflejando diferentes longitudes de onda en determinadas proporciones. Esta propiedad permite identificar objetos diferentes en el cielo y en la tierra (Guzmán, 2019).

2.1.4. Resolución espacial

La resolución espacial en las imágenes satelitales tiene la capacidad de distinguir el objeto más pequeño que se encuentra dentro de la imagen, esto es gracias al nivel de detalle que puede proporcionar la imagen. Esta es esencial para el análisis e identificación precisa de los objetos. Elementos que superen el tamaño de un pixel individual pueden ser detectados a través de la resolución espacial, aportando información valiosa sobre la estructura del terreno y su composición. En el caso de los sensores ópticos utilizados en la captura de imágenes satelitales, la resolución espacial está influenciada por varios factores clave. La distancia entre el objeto y el sensor es fundamental para la resolución, cuando más cerca se encuentre el sensor del objeto, la resolución espacial alcanzada será mayor. Además, la apertura del sistema óptico, que se refiere al diámetro del lente o espejo utilizado para capturar la luz, también afecta la resolución espacial. Un mayor diámetro de apertura permite capturar una mayor cantidad de luz y detalles finos, lo que contribuye a una mayor resolución espacial en la imagen resultante (ESA, 2011a)

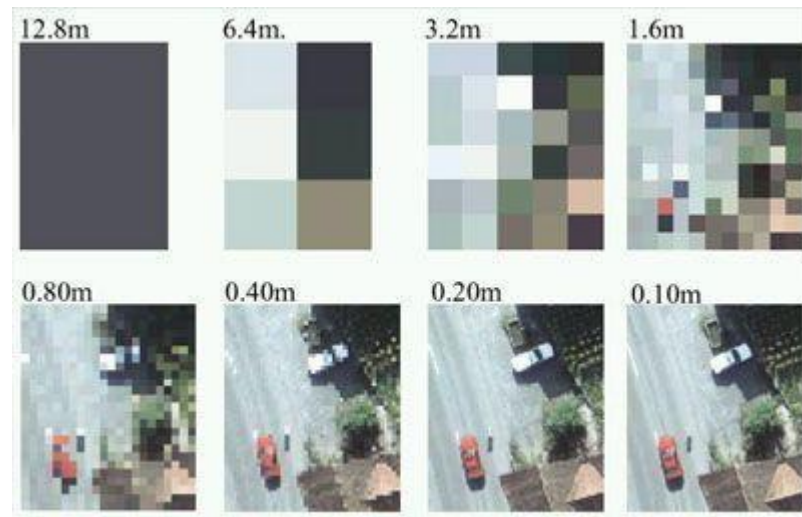


Figura 1. Resolución espacial Sentinel-2A

2.1.5. Imágenes multispectrales PlanetScope

Según PlanetScope (2023), la constelación de satélites que tienen fueron lanzados en momentos distintos como parte de diferentes grupos de satélites. Esto hace que la posibilidad en órbita mejore continuamente en cantidad y/o capacidad, y las mejoras en la tecnología se implementan a un ritmo rápido. PlanetScope en sus satélites cuenta con un formato CubeSat 3U (10 cm x 10 cm x 30 cm). La constelación completa PlanetScope con un aproximado de 130 satélites puede capturar imágenes de toda la superficie terrestre diariamente (lo que es equivalente a una capacidad diaria de recopilación de 200 millones de km²/día). Esta capacidad varía según el número de satélites en órbita y a lo largo de la temporada, ya que en el hemisferio

norte los satélites capturan menos imágenes en invierno debido a una disminución en la cantidad de horas de luz solar.

Las imágenes tienen una resolución que llega hasta los 3 metros y es en cuatro colores: azul, verde, rojo y una banda en infrarrojo cercano (NIR) con (455-515 nm), (500-590 nm), (590-670 nm) y (780-860 nm) respectivamente. Teniendo en cuenta esto, desde 2016 han estado recopilando datos que son importantes y necesarias para una variedad de aplicaciones en el seguimiento de la planificación urbana y del medio ambiente.



Fuente: Planet, (2016)

Figura 2. Diferencias de resolución espacial entre imágenes PlanetScope y Landsat 8

Planet ofrece dos tipos de productos de imágenes satelitales PlanetScope: la Escena básica y la Escena ortogonal. La primera entrega datos en formato de radiancia en la parte superior de la atmosfera y ha sido corregida a nivel del sensor, sin aplicar orto rectificación ni ajustes por distorsión del terreno. Está orientada a usuarios con conocimientos avanzados en procesamientos de imágenes y correcciones geométricas. En cambio, la Escena ortogonal corresponde a capturas individuales a las que se les ha realizado un postprocesamiento adicional, permitiendo su uso con mayor precisión geoespacial (PlanetScope, 2021).

Los satélites PlanetScope lanzados a partir de noviembre de 2018 tienen características de sensor que permiten una resolución espectral mejorada. La segunda generación de satélites PlanetScope (conocidos como Dove-R o PS2.SD) tienen un plano de sensores que consiste en cuatro franjas separadas organizadas verticalmente a lo largo de la trayectoria de vuelo. Las imágenes de los satélites PS2.SD de PlanetScope están disponibles desde marzo de 2019 (de forma dispersa) hasta el 22 de abril de 2022.

Tabla 1. Comparación entre PlanetScope, Sentinel-2 y Landsat 8

Características	PlanetScope	Sentinel-2	Landsat 8
Número de satélites	Aproximadamente 130 CubeSats	2 satélites (Sentinel-2A y 2B)	1 satélite (Landsat 8)
Resolución espacial	4.7 metros	10, 20 y 60 metros	30 metros (banda panchromática: 15 metros)
Bandas espectrales	4 (azul, verde, rojo, NIR)	13 (incluyendo visible, infrarrojo y SWIR)	11 (incluyendo visible, infrarrojo y térmica)
Frecuencia de captura	Diaria	Cada 5 días (con ambos satélites)	Cada 16 días
Uso principal	Seguimiento ambiental y urbano 3.1m	Monitoreo de la tierra, agricultura, bosque y agua número	Monitoreo del uso del suelo y recursos naturales

2.1.6. Imágenes multiespectrales Sentinel - 2

A pesar de la amplia disponibilidad de imágenes multiespectrales hoy en día, como resultado del crecimiento de los programas espaciales en operación, las imágenes de los satélites Sentinel-2 se han convertido en una de las más utilizadas. Esto se debe a que combinan una buena resolución espacial, temporal y espectral, además de ser de libre acceso, lo que las hace especialmente útiles para diversos análisis (Echeverría, 2017).

Estas imágenes forman parte del programa europeo de monitoreo ambiental y de seguridad global (GMES), impulsado por la Agencia Espacial Europea (ESA), que contempla la puesta en órbita de diferentes satélites, incluyendo las series Sentinel-1, Sentinel-2 y Sentinel-3. En particular, los Sentinel-2 fueron diseñados para proporcionar imágenes multiespectrales de alta resolución a nivel global (ESA, 2011a).

El sensor Multi-Spectral Instrument (MSI), que forma parte de los satélites Sentinel-2, fue diseñado para ampliar la capacidad de observación espectral en comparación con sensores anteriores como Landsat y SPOT. Las bandas más relevantes para el análisis de vegetación cuentan con resoluciones espaciales de 10 o 20 metros, mientras que las bandas más orientadas a obtener datos para la corrección de las propias imágenes tienen 60 m de resolución. El sensor

MSI de Sentinel-2 tiene una precisión radiométrica <5% y opera a 12 bit de resolución (ESA, 2010) apropiado para realizar monitoreo de vegetación (Tucker, 1980).

En la actualidad se encuentran en funcionamiento dos satélites de la misión Sentinel-2: el S-2^a y el S-2B. Ambos siguen en órbita heliosíncrona separada por 180° y cuentan con un ancho de barrido de 290 km (ESA, 2010). Aunque el lanzamiento inicial del S-2A estaba programado para 2014 (ESA, 2011b), finalmente fue puesto en órbita el 23 de junio de 2015 (ESA, 2017). Por su parte, el S-2B que originalmente se esperaba para 2015 (ESA, 2011b), fue lanzado el 7 de marzo de 2017 (ESA, 2017).

Entre las misiones más recientes impulsadas por la Agencia Espacial Europea, destaca Sentinel-2 por el impacto que ha tenido en el ámbito científico. Su primer satélite lanzado en 2015, ha generado gran interés gracias a su capacidad para ofrecer imágenes con alta resolución espacial, temporal, espectral y radiométrica. Además, la libre disponibilidad de sus datos a supuesto un avance importante en la observación terrestre, superando en varios aspectos a misiones previas como Landsat y SPOT (ESA, 2015).

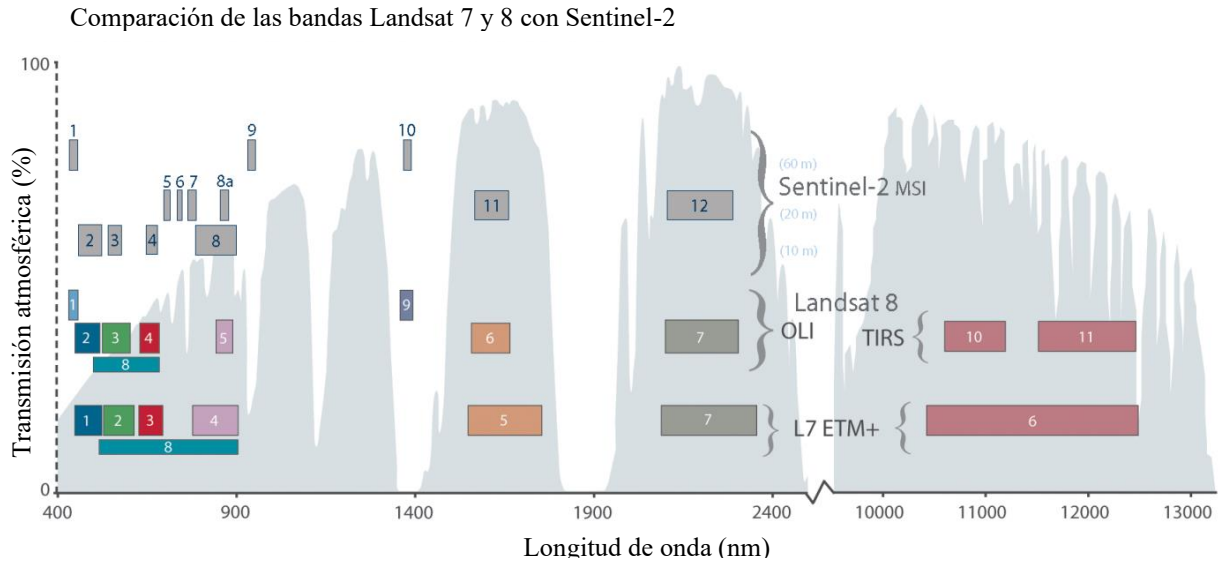
La ventaja que ofrece Sentinel-2 al capturar imágenes en distintas regiones del espectro electromagnético como el (verde, rojo, red-Edge y NIR), con una resolución espacial superior a la de satélites como Landsat (Figura 3), resulta clave para calcular posteriormente diversos índices de vegetación, permitiendo un análisis más detallado y preciso de la cobertura vegetal en distintas escalas (Echevarría, 2017).

Tabla 2. Resolución espacial, número de banda, rango espectral, longitud de onda central anchura de cada banda en Sentinel-2 en nanómetros.

Resolución espacial (m)	Banda	Número de banda	Rango espectral de la banda (nm)	Onda central de la banda (nm)	Anchura de banda
10	Verde	3	542,5-577,5	560	35
	Rojo	4	650-680	665	30
	NIR	8	784,5-899,5	842	115
20	Red-Edge	5	697,5-712,5	705	15
	Red-Edge	6	732,5-747,5	740	15
	Red-Edge	7	773-793	783	20
	Red-Edge	8a	855-875	865	20

Fuente: ESA (2017)

La capacidad de Sentinel-2 para obtener imágenes en los diferentes rangos del espectro (verde, rojo, red-Edge y NIR), la mayor resolución espacial que otros satélites como Landsat-7 y Landsat-8, y la facilidad de obtener información en el red-Edge (Figura 3), lo hacen aptos para el cálculo posterior de los diferentes Índices de Vegetación (Echeverría, 2017).



Fuente: NASA (2017) citado por (Echeverría, 2017).

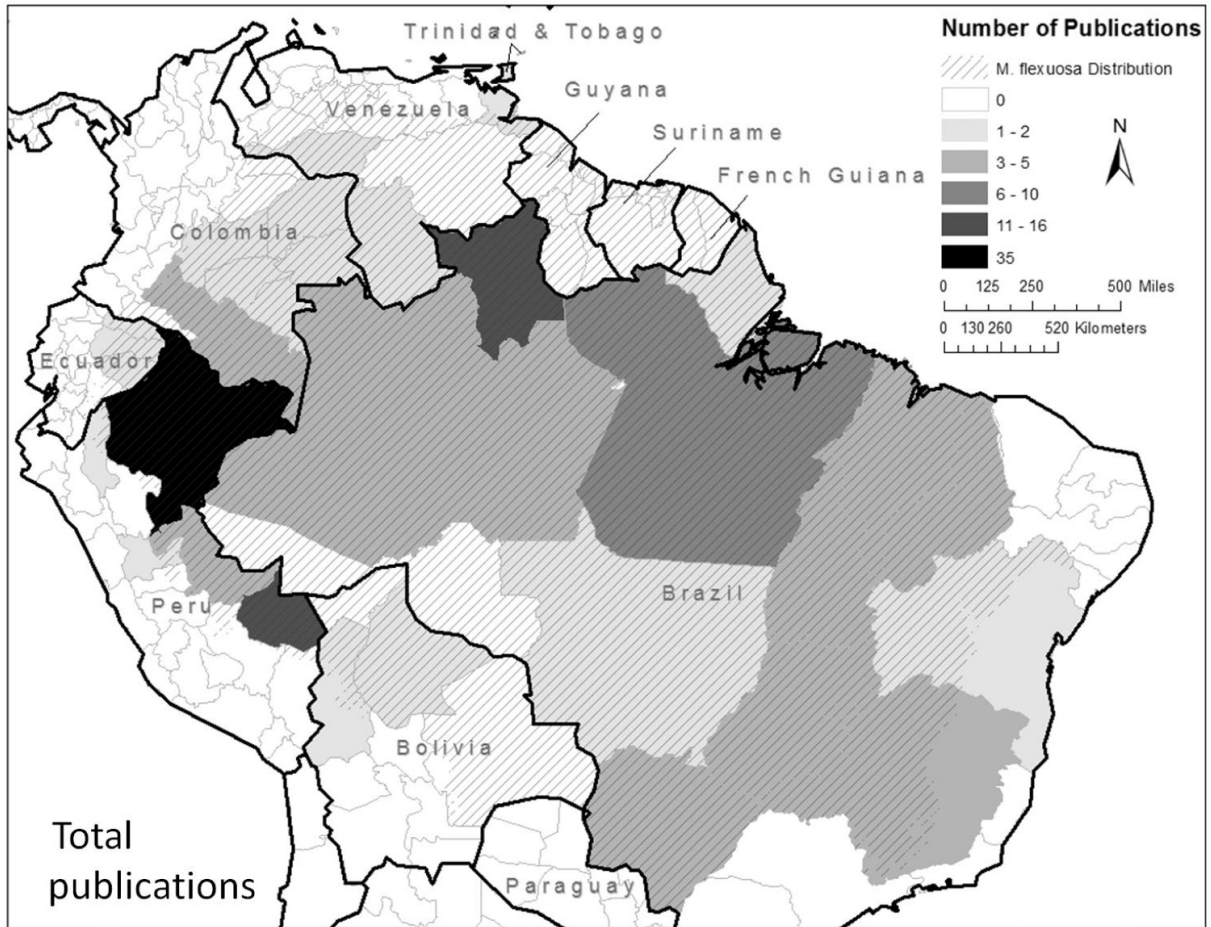
Figura 3. Comparación entre las diferentes bandas y el espectro electromagnético de Landsat 7, 8 y Sentinel-2.

2.1.7. *M. flexuosa*

La especie *M. flexuosa* es de la familia Arecaceae y, según el sistema propuesto de clasificación por Uhl y Dransfield en el año 1987 así como Dransfield y Beentje para el año 1996, pertenece a la subfamilia Calamoideae, tribu Lepidocaryeae. Los más recientes tratamientos taxonómicos de la especie reconocen solamente dos taxones para el género, *M. flexuosa* y *M. carana* (Ponce et al., 2000).

2.1.7.1. Descripción de la especie

La *M. flexuosa* alcanza entre 35 y 40 m de altura, compuesta por un tallo erecto, liso y cilíndrico, que va de 30 a 60 cm de diámetro. La corona esférica tiene hojas largas, que pueden medir hasta 6 m, distribuidas en grupos de 10 a 20 hojas. Los frutos de esta palmera son drupoides y oblongo-elipsoidales de forma, miden entre 4-5 cm de ancho y 5-7 cm de largo, con un peso entre 40 y 85 g. Presenta su exocarpio como escamas rígidas y yuxtapuestas, de color marrón rojizo. El mesocarpio o pulpa comestible, es de color naranja y tiene un sabor dulce y terroso, con textura aceitosa y consistencia pastosa, mientras que el endocarpio interno es blanco y fibroso y cubre el tegumento que recubre el endocarpio (Silva et al., 2014).



Fuente: Virapongse et al. (2017).

Figura 4. Número de publicaciones por región de Sudamérica

La floración alcanza su punto máximo en la interfaz entre las estaciones lluviosa y seca, generalmente al final de las inundaciones, mientras que la fructificación ocurre durante la temporada de lluvias, sin embargo, solo el 20% de las hembras fructifican anualmente (Virapongse et al., 2017). La producción de fruta está influenciada por la humedad del suelo, el tamaño de la hoja de planta, la temperatura y la precipitación. El fruto es climatérico y el punto óptimo de cosecha ocurre 210 días después de la antesis, la etapa final de la floración, con los niveles más altos de carotenoides observados ocho días después de la caída del fruto (Milanez et al., 2018).

2.1.7.2. Importancia

Las diferentes partes de *M. flexuosa* son importantes fuentes de ácidos grasos, carotenoides, compuestos fenólicos y fibras. También se han reportado propiedades antioxidantes, antibacterianas, antifúngicas, antiinflamatorias, antiplaquetaria y antitrombótica, exposición al metilmercurio, antiproliferativa, antidiabética, acción prebiótica, estrogénica, antiandrogénica y propiedad óptica del aceite de *M. flexuosa*. Además, el aceite de *M. flexuosa*

presenta un efecto sinérgico con los antibióticos y también ha sido una alternativa a los colorantes artificiales (Barboza *et al.*, 2022).

2.1.7.3. Cambio de las áreas poblacionales de la palmera

Para la Amazonía peruana, Hergoualc'h *et al.* (2017) determinaron la degradación y deforestación de los pantanos de *M. flexuosa*, evaluaron comparando los cambios en la cubierta terrestre entre los mapas de 1990 y 2007, y los mapas de 2007 y 2018. Asumieron que los pantanos de *M. flexuosa* que disminuyeron en densidad o que pasaron a ser bosques de polos estaban degradados. Durante 1990-2018, un área total de turberas pantanosas de *M. flexuosa* de 1 010 241 hectáreas y 86 070 hectáreas fue degradada y deforestada, respectivamente. Se estima que la degradación y la deforestación de las turberas liberaron 14,5 Tg y 5,2 Tg de C, respectivamente, de las pérdidas de biomasa sobre el suelo durante el tiempo de estudio. Los resultados indican que el área de degradación y las emisiones de C asociadas son considerablemente más altas de lo que se entendía anteriormente.

2.1.8. Cobertura del suelo

La cobertura del suelo puede variar según la perspectiva disciplinar desde la que se aborde. Para los ecólogos, este concepto se relaciona con la presencia y abundancia de especies vegetales, mientras que en el ámbito de la edafología se interpreta como un reflejo de la composición y los tipos de suelo existentes (Comber *et al.*, 2005). En la literatura en español también se utiliza el término “ocupación del suelo”, el cual según López Gonzales *et al.* (2002), hace alusión a los materiales que recubren la superficie terrestre, aunque hay quienes lo entienden como una combinación entre los conceptos de uso y cobertura (Del Bosque *et al.*, 2005).

Es frecuente que los términos “uso” y “cobertura” del suelo se empleen de forma conjunta. Esto ocurre especialmente en el contexto de la elaboración de cartografía temática, donde se diseñan leyendas que integran clases que responden tanto a actividades humanas (usos) como a características físicas del terreno (coberturas) (Borras *et al.*, 2017).

2.1.9. Exactitud Global

La exactitud global (EG) es un indicador fundamental para evaluar la calidad de las clasificaciones realizadas mediante imágenes satelitales. Este valor representa el porcentaje de coincidencias entre las clases asignadas por el modelo y las observadas en campo. Según Olofsson *et al.* (2014), una EG superior al 85 % se considera excelente, mientras que valores entre 70 % y 85 % son aceptables para estudios de cobertura y uso del suelo. Estos rangos

proporcionan un marco de referencia útil para interpretar los resultados de precisión en investigaciones similares.

2.2. Estado del arte

Ávila et al. (2022) llevaron a cabo una propuesta orientada a identificar áreas invadidas por la especie vegetal *Ulex europaeus* (retamo espinoso) en el municipio de Sibaté, Cundinamarca, Colombia. La investigación se desarrolló en colaboración con la comunidad campesina local, con quienes se logró ubicar y georreferenciar varias zonas afectadas. Posteriormente, se analizaron imágenes satelitales para obtener los valores de intensidad espectral correspondientes a dichas áreas. A partir de los análisis estadísticos de percentiles, se cuantificaron los percentiles 25 y 75. Por último se calcularon los píxeles con algún grado de probabilidad de presencia de la planta invasora, utilizando el algoritmo de “Hot Spot”, o zonas calientes. Y para finalizar se validó las zonas probables en el territorio, utilizando vehículos aéreos no tripulados. Gracias a la aplicación de la metodología desarrollada, fue posible señalar diversas zonas y puntos con alta probabilidad de presencia de la especie invasora retamo espinoso en el municipio de Sibaté, Cundinamarca. Entre los principales resultados se identificaron dos áreas en el centro del municipio con un 99% de probabilidad de ocurrencia. Además, se registraron ocho puntos adicionales con un 95% de probabilidad y otros ocho con un 90%. Parte de estas zonas fueron verificadas mediante vuelos con drones, lo que permitió confirmar una alta correspondencia espacial entre los datos obtenidos por ambas técnicas. Esta información representa un insumo valioso para futuras acciones de restauración ecológica.

En Brasil Dagher et al. (2021) presentaron un enfoque basado en el aprendizaje profundo para detectar *M. flexuosa* mediante imágenes aéreas RGB. El método se basó en una red neuronal convolucional (CNN) para identificar y geolocalizar especies arbóreas singulares en un entorno forestal de alta complejidad. Los resultados arrojaron un error absoluto medio (MAE) de 0,75 árboles y una medida F1 del 86,9%. Estos resultados son mejores que los métodos Faster R-CNN y RetinaNet considerando condiciones de experimento iguales. En conclusión, el método presentado es eficiente para hacer frente a un escenario de bosque de alta densidad y puede mapear con precisión la ubicación de especies individuales como la palmera *M. flexuosa* y puede ser útil para futuros marcos.

En su trabajo de tesis, Barreto (2020) propuso desarrollar una firma espectral con el fin de identificar parches de la planta invasora *Ulex europaeus* (retamo espinoso) en los cerros orientales de Bogotá, utilizando imágenes satelitales Sentinel-2. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y diseño no experimental, aplicando un método deductivo. La población objeto de estudio fueron los cerros orientales de la ciudad, empleando

como técnica la observación no experimental y como instrumento una ficha de observación. Los hallazgos mostraron que, mediante la construcción de una firma espectral basada en datos de Sentinel-2, fue posible estimar la distribución espacial de la especie en el área de estudio. Para validar los resultados, se compararon con un archivo Shape oficial proporcionado por la Secretaría Distrital de Medio Ambiente, disponible en el portal de datos abiertos de Bogotá, el cual identifica zonas con presencia de retamo tanto en áreas urbanas como rurales de la ciudad. Del trabajo de tesis se concluyó que, en cuanto a la captura de imágenes desde aviones, helicópteros o vehículos aéreos no tripulados, la de satélites es la que más ventajas ofrece en general, ya que actualmente tienen cobertura global, multiescala, multispectral y multitemporal.

En el informe final de proyecto por Aguilar-Arias *et al.* (2016) tiene como objetivo el desarrollo de una firma espectral para la identificación de cultivos de piña a través de sensores remotos e in situ en Costa Rica mediante técnicas de teledetección, para facilitar la toma de decisiones. La metodología está compuesta en una investigación de método deductivo, diseño no experimental, nivel descriptivo, y del tipo cuantitativo, la población fue paisajes productivos de Costa Rica, se utilizó como técnica de recolección de datos la observación no experimental, se usó una ficha de observación como instrumento de recolección de datos. Los algoritmos de clasificación usados fueron el de Máxima Verosimilitud y Support Vector Machine. El estudio determinó que en el año 2015 la cobertura total del cultivo de piña en Costa Rica, considerando las tres regiones analizadas, alcanzó una extensión de 57,327 hectáreas. Uno de los principales hallazgos fue que la firma espectral del cultivo no puede definirse como un único valor representativo, ya que varía significativamente entre fincas. La investigación abordó estas diferencias teniendo en cuenta factores como la estacionalidad, la región y el tipo de suelo, los cuales influyen directamente en la clasificación de las imágenes satelitales. Así, el uso de índices de reflectancia espectral se plantea como una herramienta eficaz para obtener información detallada del cultivo, y al mismo tiempo, posibilita el desarrollo de prácticas agrícolas más precisas y adaptadas a las condiciones locales.

La tesis presentada en Colombia por López y Gaitán (2019) presenta como objetivo identificar el crecimiento de la especie *Ulex europaeus* (retamo espinoso) mediante el uso de métodos de clasificación aplicados a imágenes satelitales provenientes de Sentinel-2 y Landsat 8, se realizó un análisis multitemporal enfocado en el comportamiento de una especie vegetal invasora en el embalse La Regadera, ubicado en la zona rural de Usme, con el objetivo de proyectar su posible expansión hacia el año 2025. La metodología está compuesta en una investigación con un diseño no experimental con método deductivo, tipo mixta y de nivel

descriptivo, su población fue el embalse La Regadera, zona rural de la localidad de Usme, se utilizó una ficha de observación como instrumento de recolección de datos y la observación no experimental como técnica de recolección de datos. Los resultados indicaron que la proyección para el año 2025 del área de retamo puede llegar a 101,4025 ha, siendo 55,13 ha en el año 2018. A partir de la aplicación de tres algoritmos de clasificación: Redes Neuronales Artificiales (RNA), Máxima Similitud de Vecinos (MSV) y árboles de decisión, se concluyó que las coberturas que presentan mayor confusión con las especies invasoras corresponden a bosques y zonas seminaturales, debido a la similitud en sus respuestas espectrales. Asimismo, se evidenció que los métodos con mejor desempeño en la clasificación fueron el MSV y el RNA, los cuales, en comparación con los árboles de decisión presentan una estructura matemática diseñada para la clasificación de coberturas separables no linealmente.

En el artículo científico de Borrás et al. (2017) se presenta como objetivo determinar el mejor método de clasificación con Sentinel-2, y cuantificar su mejora con respecto al satélite SPOT. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo de nivel descriptivo, con un diseño no experimental y método deductivo. La técnica empleada fue la observación no experimental, utilizando como instrumento una ficha de observación. El estudio se desarrolló en dos zonas agrícolas: una localizada en la huerta de Valencia (España) y otra en la región de Buenos Aires (Argentina). Para el análisis se evaluaron cuatro algoritmos de clasificación: Análisis Discriminante Lineal (LDA), Bosques Aleatorios (RF), Árboles de decisión y K-Vecinos más Cercanos (K-NN). Como producto, se generó un mapa de usos del suelo basado en el clasificador con mejor rendimiento según el índice Kappa, proporcionando datos relevantes como la superficie ocupada por cada categoría. Se concluyó que el clasificador más eficaz para imágenes Sentinel-2 fue el K-NN, así como la combinación K-NN con RF. Además, se determinó que la mejora en la clasificación respecto a imágenes SPOT se sitúa entre un 2 % y un 5 %, atribuyéndose a las ventajas en resolución espacial y radiométrica que ofrece Sentinel-2 frente a otras misiones satelitales.

En la tesis de Echeverría (2017) realizada en España se tiene como objetivo analizar la utilidad de las imágenes satelitales Sentinel-2 y de las capturadas por el sensor Sequoia a bordo de un dron, para estimar la densidad de cultivos de alfalfa en seco y realizar un seguimiento temporal de dicha variable en un entorno de interés particular como lo son las Bardenas Reales. Se trató de una investigación cuantitativa, de nivel descriptivo, con un diseño no experimental y un enfoque deductivo. La población objeto de análisis correspondió a cinco parcelas localizadas en dos sectores distintos dentro de Bardenas Reales. Como método de recolección de datos se empleó la observación no experimental, utilizando una ficha de observación como

instrumento. Los resultados evidenciaron que tanto las imágenes de Sentinel-2 como las del sensor Sequoia son efectivas para monitorear la cobertura vegetal de alfalfa en condiciones de sequo, mostrando altos niveles de correlación en los valores medios de diferentes Índices de Vegetación: 0,935 para Sentinel-2 y 0,989 para Sequoia. A partir de estos hallazgos, se concluyó que las imágenes gratuitas de Sentinel-2, junto con su cobertura espectral y mejoras en resolución respecto a otras opciones de acceso libre como Landsat-8, representan una alternativa valiosa, especialmente para el monitoreo de cubiertas vegetales extensas.

Respecto a los trabajos realizados en el Perú, en el artículo científico de Revilla et al. (2019) tiene como objetivo determinar la extensión de aguajales en la región Ucayali, mediante el método de clasificación supervisada de imágenes de satélite generadas por el satélite Landsat 8 a través del sensor OLI-TIRS. El tipo de investigación fue cuantitativa de nivel descriptiva, con un diseño no experimental longitudinal de método deductivo, la población fue la región Ucayali. Se utilizó como instrumento de recolección de datos una ficha de observación y como técnica de recolección de datos la observación no experimental. Los resultados basados en la interpretación visual de los resultados de la clasificación supervisada del ráster generado por la combinación de bandas de estudio, determinaron que el área de aguajales en la región Ucayali es de 65 120,04 ha. En cuanto al área de mayor concentración de aguajales, se ubica en la provincia de Coronel Portillo con 59 272,00 ha. Y siendo la provincia Purús la de menor extensión con 1 059,01 ha. Se concluye que el uso de imágenes satelitales ha sido muy efectivos y aplicables en estudios multitemporales sobre cambios en la cobertura del uso del suelo, ya que el resultado obtenido en este estudio es similar al reportado por otros autores que utilizaron diferentes sistemas de clasificación forestal y tecnología variable. utilizado en diferentes momentos. También se realizó verificación de campo para obtener la firma espectral en 18 puntos de verificación en las zonas de aguajales.

En el trabajo de tesis Leyva (2022) tiene como objetivo la identificación espacial y temporal de los humedales altoandinos presentes en la cuenca Chancay-Lambayeque, utilizando imágenes satelitales. Para ello, se estimaron los valores de reflectancia de estas zonas mediante datos obtenidos por los sensores TM, ETM+ y OLI, integrados en los satélites Landsat 5, 7 y 8, respectivamente. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, con un nivel correlacional, diseño no experimental de tipo longitudinal y método deductivo. La población analizada fue la localidad de San Juan de Licupis, en Cajamarca. Se utilizó la observación no experimental como técnica de recolección de datos y una ficha de observación como instrumento. Los resultados permitieron detectar y cartografiar 759,87 hectáreas de humedales en un área de estudio total de 3 736,9 hectáreas, lo que representa el 20,34 % de la superficie

analizada, con un nivel de confiabilidad del 96,1 %. Esto es especialmente relevante en una zona donde la similitud en las firmas espectrales de las coberturas del suelo, sumada a la humedad constante propia de la biorregión Jalca, aporta un valor significativo al trabajo. La generación de esta información, junto con su análisis espacial y seguimiento temporal, representa un aporte clave para una adecuada gestión ambiental.

Ramírez y Villena (2017) en su tesis tienen como objetivo aplicar técnicas de teledetección como herramienta preliminar para la identificación de Pasivos Ambientales Mineros (PAMs), mediante el análisis de firmas espectrales asociadas a minerales, cuerpos de agua y diferentes tipos de vegetación. La investigación se desarrolló bajo un enfoque no experimental, de corte transversal y con un alcance correlacional y causal, utilizando un método descriptivo-analítico. El área de estudio comprendió los cuadrángulos 14F y 14G, ubicados en la provincia de Hualgayoc, región Cajamarca, Perú. Como técnica de recolección de datos la observación no experimental y como instrumento imágenes satelitales Landsat. Los resultados mostraron que los minerales más representativos de la zona fueron: Covelina, calcopirita, pirita, pirita-limonita y galena, con mayor proporción de galena y los asociados a los minerales detectados mediante el análisis espectral se encuentran el cobre, el hierro y el plomo, siendo este último el de mayor presencia en la zona. Además, se logró identificar los principales cuerpos de agua y tipos de vegetación en las áreas donde podrían ubicarse los Pasivos Ambientales Mineros (PAMs), reconociéndose cuatro clases de cuerpos de agua y tres tipos de cobertura vegetal. La teledetección se presenta como una herramienta clave que debe incorporarse en las etapas preliminares de investigación, ya que permite tener una visión clara del área de estudio antes de la realización del trabajo de campo.

Guerra (2020) en su investigación tiene como objetivo analizar la dinámica espacio temporal de la cobertura vegetal en la provincia de Lima, Perú, entre los años 2000 y 2019, a través del uso del NDVI y su relación con el crecimiento poblacional. La investigación se enmarcó en un enfoque descriptivo, correlacional y no experimental. La población objeto de estudio correspondió a toda la superficie de la provincia de Lima, que abarca un área de 2,664.67 km². Se empleó la observación no experimental como técnica de recolección de datos. Los resultados mostraron una reducción de 2,769.5 hectáreas de cobertura vegetal en el periodo analizado. No obstante, se registraron aumentos temporales en la cobertura vegetal en sectores como Lima Centro y Lima Sur. Asimismo, se determinó que el crecimiento poblacional explica el 86% de la disminución de la cobertura vegetal en la provincia; en Lima Norte, esta relación fue del 72%, mientras que en otras zonas la influencia osciló entre el 17% y el 44%.

Morales (2017) realizó una propuesta de un software para detectar y medir las áreas cubiertas por agujales en la Amazonía Peruana mediante el uso de imágenes aéreas capturadas por drones o UAVs (Unmanned Aerial Vehicles). El estudio lo realizó con un proyecto “Innovate Perú” y ejecutada por INICTEL-UNI en convenio con el IIAP y la Universidad Castilla de La Mancha. Describió las características socioeconómicas de la palmera *M. flexuosa*, posteriormente se realizó una revisión del estado del arte relacionada con las técnicas de procesamiento digital de imágenes aplicadas a la detección de objetos, destacando ventajas y desventajas de cada enfoque, para seleccionar el más adecuado al propósito del estudio. Luego, se ofreció una descripción detallada de la tecnología empleada para la obtención de imágenes aéreas, como los UAV y cámaras utilizadas, sus configuraciones y los protocolos sugeridos. A continuación, se presentó la metodología diseñada para la detección de agujales y, finalmente, se expusieron los ensayos y resultados, incluyendo las limitaciones del algoritmo, los niveles de detección obtenidos y sugerencias para replicar el procedimiento con resultados equivalentes.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

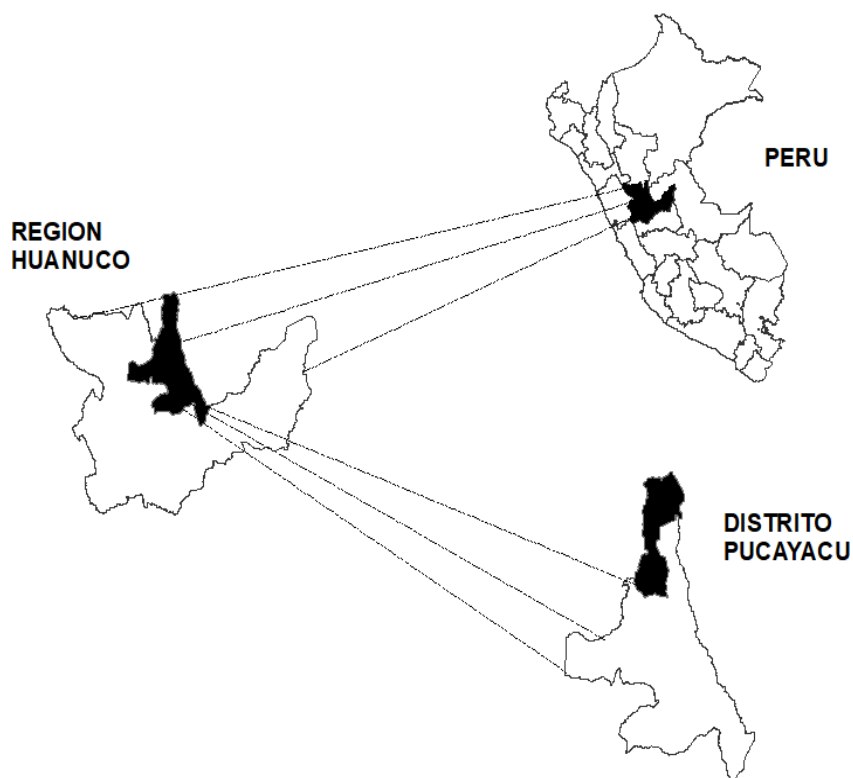
La investigación se realizó en el ámbito del distrito Pucayacu creado el 08 de diciembre del 2015, cuenta con una superficie de 76 018 ha, por su altitud está ubicada en la Selva Alta, teniendo un promedio de 651 m s. n. m. (El Peruano, 2015).

3.1.1. Ubicación geográfica

El distrito Pucayacu se encuentra en el centroide UTM: zona 18L, 376751 este y 9032710 norte.

3.1.2. Ubicación política

Región : Huánuco.
Provincia : Leoncio Prado.
Distrito : Pucayacu.



Fuente: Instituto Geográfico Nacional [IGN] (s.f.)

Figura 5. Ubicación política de la zona de estudio.

El distrito de Pucayacu tiene fronteras territoriales que han sido trazadas sobre la base de las cartas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) (Ley N° 30376).

Los límites son:

- Norte: provincia Tocache, región San Martín.
- Este: limita con la región Loreto y con el distrito José Crespo y Castillo
- Sur: distrito José Crespo y Castillo, región Huánuco.
- Oeste: distrito José Crespo y Castillo

3.1.3. Características ecológicas

Según el mapa ecológico del Perú, la zona de vida predominante del distrito Pucayacu lo caracteriza como bosque muy húmedo Premontano tropical (bmh-PT) (Holdridge, 1987)

El distrito presenta un paisaje aluvial que se extiende suavemente con una pendiente aproximada del 1 al 2 %. Este terreno, conformado por sedimentos que provienen del río, cuenta con un suelo franco arcilloso y un sistema de drenaje natural que favorece el crecimiento de la vegetación. Predominan los cultivos de plátano (*Musa sp.*), junto con árboles de bolaina (*Guazuma crinita*) y caoba (*Swietenia macrophylla*), que han sido reforestados de manera conjunta. También se encuentran árboles frutales dispersos, lo que aporta diversidad al paisaje.

En las zonas de purmas (áreas de regeneración), tanto altas como bajas, se observan especies como *Picus insípida*, *Pourouma cecropiifolia*, *Virola flexuosa*, *Vismia amazonica*, *Tachigalia sp.*, *Astrocaryum huicungo* y *M. flexuosa*. Este ecosistema, rico en biodiversidad, refleja un delicado equilibrio entre la agricultura y la naturaleza, generando un entorno dinámico y lleno de vida (Vargas, 2008).

3.1.4. Clima

El distrito se ubica en una zona con clima tropical húmedo, influenciado por su orografía y por pertenecer a la región ecológica de selva alta o Rupa Rupa, la cual se localiza entre los 400 y 1000 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo con los registros del 2008 de las estaciones meteorológicas del SENAMHI en Tingo María, la temperatura máxima anual promedio alcanza los 29,8 °C, mientras que la temperatura media anual se sitúa en 24,5 °C. En cuanto a la precipitación, esta promedia los 3 300 mm anuales, y la humedad relativa se mantiene cercana al 80%. La estación lluviosa comienza en octubre y concluye en abril. No obstante, en los últimos tres años se han reportado alteraciones significativas en el régimen de lluvias, generando eventos extremos como inundaciones en zonas ribereñas y periodos de sequía que han afectado de forma considerable las actividades agrícolas (Vargas, 2008).

Según el Mapa de Clasificación Climática Nacional del Perú elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, la provincia Leoncio Prado presenta un acumulado anual de precipitaciones que alcanza aproximadamente los 2 848 mm, concentrándose la mayor parte entre los meses de noviembre y marzo, cuando se registra un pico mensual de hasta 3 555 mm. En cuanto a la temperatura del aire, la máxima anual ronda los 30 °C, con un rango térmico de 3 °C, siendo los valores más bajos en enero y los más altos en octubre. Por su parte, la temperatura mínima del aire se mantiene cerca de los 19 °C, con una variación térmica de alrededor de 4 °C. Registrándose en Julio la temperatura más baja, y en diciembre la temperatura más alta (SENAMHI, 2021).

El clima en la región del Alto Huallaga se considera sub-húmedo, con una humedad relativa media que oscila entre el 80% y el 90%. Esta variación está estrechamente relacionada con el ciclo de precipitaciones, registrándose los niveles más bajos de humedad durante la temporada seca (MPLP, s.f.).

3.1.5. Relieve

Debido a que no se encuentra información en el distrito, a nivel provincial el relieve de la provincia de Leoncio Prado presenta un paisaje influenciado por diversos factores como la tectónica, los procesos orogénicos, las características litológicas y el clima. Como resultado, se han formado distintas unidades fisiográficas en el territorio, las cuales son:

- a) Valle fluvial: se distingue por tener una forma transversal en “V” y pendientes moderadas que oscilan entre el 0% y el 10%. Estos valles se desarrollan sobre un fondo plano, colmado de depósitos fluviales y aluviales consolidados, conformados principalmente por limos, arenas y gravas. Son áreas con suelos agrícolas altamente fértiles, adecuados para cultivos en limpio, cultivos permanentes y el desarrollo de pastos.
- b) Lomadas o Colinas bajas: son formaciones compuestas por cerros de baja altura y formas alargadas, con pendientes suaves a moderadas que varían entre el 10% y el 35%. En estas áreas predominan las areniscas y los conglomerados. Los suelos presentes son apropiados para pastos, cultivos permanentes y cultivos en limpio
- c) Cadena colinosa o Colinas altas: se distinguen por tener cimas suavemente redondeadas y laderas extensas con pendientes que oscilan entre el 50% y el 70%. Estas áreas presentan distintos grados de disección debido a la acción de las lluvias y la escorrentía, lo que

ha generado procesos de erosión progresiva en las vertientes, acumulando material rodado en las zonas bajas. Los suelos en estas colinas son adecuados para cultivos en limpio, cultivos permanentes, pastos y también para funciones de protección.

- d) Valle Aluvial: se distingue por su topografía predominantemente plana, conformada por depósitos aluviales antiguos y recientes, transportados y acumulados principalmente por el río Huallaga. Dentro de esta unidad se reconocen tres subunidades fisiográficas, las cuales son:
- Terraza Baja; terrenos con topografía plana, ubicados junto al río y propensos a inundaciones. En estas áreas el desarrollo agrícola es limitado debido a las condiciones del terreno.
 - Terraza Alta; presenta una pendiente moderada que oscila entre el 2% y el 4%, y está ligeramente disectada por la acción del agua. En estas unidades topográfica hay una mayor actividad agrícola.
 - Complejo de Orilleros; son terrenos planos, susceptibles a inundaciones esporádicas anuales, compuestos por limos, gravas y arenas finas
- e) Paisaje Montañoso; se trata de terrenos con relieve accidentado, caracterizados por disecciones y afloramientos rocosos. Se originan por la meteorización de los substratos que forman las cadenas montañosas. Tienen pendientes muy pronunciadas, que varían entre el 50% y el 70% o más, y son altamente erosionables, con suelos destinados a la protección.
- f) Valle sinclinal, zona de protección.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

Libreta de apuntes, ficha para registro de datos en campo (**anexo E, F, G y H**), imágenes de la misión PlanetScope, Empalme digital de la Carta nacional, Mapa político del Perú en versión digital. Como equipos se consideró al Sistema de posicionamiento global (GPS Garmin 62s), cámara fotográfica, Laptop Hp Intel Core i5,

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Desarrollo de la firma espectral de *M. flexuosa* a partir del uso de las bandas espectrales de las imágenes satelitales PlanetScope en el distrito de Pucayacu, Huánuco, Perú

1. Descarga de imágenes. La descarga de las imágenes PlanetScope se realizó accediendo a la plataforma web PlanetScope Open Access Hub (<https://www.planet.com/>). Estas imágenes cuentan con corrección atmosférica, radiométrica y geométrica. La creación del mosaico, la identificación de la firma espectral, la clasificación supervisada se realizó dentro de las 76 018 ha que abarca el distrito Pucayacu. Una vez dentro de la plataforma mencionada, se seleccionó el polígono del distrito Pucayacu y se realizó la búsqueda considerando a los siguientes criterios:

- Fecha (Setiembre, Octubre y Noviembre 2024).
- Misión (Planet)
- Plataforma Satelital: (PS)
- Tipo de producto (PSVSI1C)
- Nubosidad en porcentaje (12%)

En la plataforma se obtuvo varias imágenes de los cuales se seleccionó las que contaron características requeridas en el párrafo anterior.

2. Generación de una imagen multiespectral. Luego de obtener la imagen multiespectral, se procedió a descargar e instalar el complemento Semi-Automatic Classification en el Programa QGIS 3.40.5; una vez instalado dicho complemento se creó una única imagen multiespectral (mosaico) de acuerdo a los límites del distrito con las bandas que tienen resoluciones espaciales desde 4,7m, de acuerdo al siguiente detalle:

- B1 – Azul
- B2 – Verde
- B3 – Rojo
- B4 – NIR (infrarrojo)

3. Toma de puntos de control. Se realizó mediante los datos de poblaciones de *M. flexuosa* (Gamboa, 2019), sean plantaciones o poblaciones naturales (**Tabla 6**), las mismas que están georreferenciadas y puntos que fueron tomados en campo con el GPS Map 64sc (**Tabla 7 y 8**).

Se procedió a crear el punto de control en el centro de la población identificada de la palmera y consecutivamente asociar dicho punto con un píxel de la imagen multiespectral PlanetScope que anteriormente ya se habría creado.

4. Identificación de la firma espectral de poblaciones identificadas de *M. flexuosa*. Utilizando el complemento Semi-Automatic Classification de QGIS se creó ROI's individuales que son polígonos temporales, de esta manera cada polígono tuvo una dimensión pequeña, lo suficiente para que abarque un punto de control para cada píxel asociado a un determinado punto; estos ROI's lograron permitir que se observe la firma espectral de cada píxel seleccionado. Esta herramienta nos permitió también realizar:

- Generar gráficos de las firmas espectrales de los píxeles asociados a los puntos de controles.
- Obtener datos de reflectancia numéricos por cada banda de la firma.
- Generar una comparación de gráficos de las firmas espectrales asociados a los puntos de control.

Como actividad posterior, se hizo un análisis visual a los gráficos y a los valores de reflectancia por banda de cada píxel asociado a un punto de control, en búsqueda de las firmas espectrales que presentaron una mayor homogeneidad en sus valores de reflectancia y también se excluyó las firmas espectrales con mucha variabilidad, con la finalidad que se aminore los valores de dispersión al mínimo (heterogeneidad), y conseguir una única firma espectral. Del total de los puntos controles se tomó en cuenta a los puntos que presentaran menor variabilidad entre los datos de reflectancia, con estos puntos se creó un único ROIs, el cual al unir los valores de reflectancia se creó una única firma espectral para la especie *M. flexuosa*.

3.2.2.2. Validación en campo de la firma espectral de *M. flexuosa* en el distrito de Pucayacu, Huánuco, Perú

Se calculó un total de 840 polígonos, los mismos que fueron codificados de manera correlativa empleando números enteros (1-840). El cual se digitó en una hoja de cálculo y consecuentemente fue procesado para aplicar la fórmula para tamaño de muestra con población conocida, obteniendo como resultado 90 (polígonos), de los cuales a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia fueron seleccionados los que se sometieron a validación en campo utilizando un receptor GPS Garmin 62s para verificar, de ser posible en el centro del polígono teniendo en cuenta la accesibilidad, colocando verdadero si coincide o falso si no lo hiciera.

El tamaño de muestra (n) se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$n = (N * z^2 * p * q) / [E^2 * (N - 1) + z^2 * p * q]$$

Donde:

- n es el tamaño de muestra necesario.
- N es el tamaño de la población.
- z es el valor crítico asociado con el nivel de confianza deseado.
- p es la proporción estimada de la población que tiene la característica de interés.
- q es la proporción estimada de la población que no tiene la característica de interés.
- E es el margen de error deseado.

3.2.2.3. Cálculo de la superficie de *M. flexuosa* en el distrito de Pucayacu, Huánuco, Perú

El cálculo de las áreas se realizó mediante digitalización en un entorno SIG, la proyección del sistema de coordenadas fue WGS, 1984, UTM- Zona 18 S, los datos fueron recolectados en un solo momento que fue en el 2024. Para procesar los datos, el estudio tuvo un alcance descriptivo ya que se utilizó la estadística descriptiva delimitando las áreas con poblaciones de *M. flexuosa* en el distrito Pucayacu.

3.2.2.4. Componentes de investigación

Los componentes metodológicos considerados de investigación son los siguientes:

a. Enfoque de investigación. La presente investigación utilizó un enfoque cuantitativo para determinar la distribución espacial del aguaje en el distrito Pucayacu. Este enfoque, definido por Hernández et al. (2014) como aquel que utiliza la recolección de datos numéricos para probar hipótesis, es el más adecuado para este estudio, ya que permitirá analizar la distribución del aguaje de manera precisa y objetiva.

b. Tipo de investigación. La presente investigación es de tipo aplicada, debido que sus resultados se utilizaron para conocer la distribución espacial de *M. flexuosa* en el distrito Pucayacu. Este tipo de investigación, según Hernández et al. (2014), se caracteriza por generar conocimiento que puede ser utilizado para resolver problemas prácticos en la investigación aplicada.

c. Nivel de investigación. El nivel de investigación es descriptivo, ya que se centró en la descripción de una situación particular. Se investigó cual es la distribución espacial de agujaje en el distrito Pucayacu utilizando firmas espectrales, que según Hernández et al. (2014), la investigación descriptiva se basa en la recolección de datos para describir fenómenos, situaciones y contextos. Este tipo de investigación no tuvo como objetivo establecer relaciones entre variables, sino describir cómo se manifiestan los fenómenos.

d. Diseño de investigación. La investigación presentó un diseño no experimental porque no se está manipulando la variable superficie de los agujajes, y es transversal por que recopila cierta información, en un momento determinado o en el transcurso de un periodo corto, esto es de acuerdo con lo que menciona Hernández et al. (2014) donde se refiere al diseño no experimental transversal debido a que no se manipulará la variable, se basa en la recolección de datos en un momento único para describir variables y las relaciones entre ellas. Este tipo de investigación se puede comparar con tomar una fotografía, que captura un momento en el tiempo.

e. Variable de estudio

Variable

La superficie de los agujajes de Pucayacu

Indicadores

Los indicadores serán Ubicación (UTM) y área de los polígonos.

Tabla 3. Variable de estudio con sus dimensiones e indicadores.

VARIABLES DE ESTUDIO	DIMENSIÓN		INDICADORES
Superficie de los agujajes	Espacial	Aguajales:	Área (ha) Ubicación (UTM)
	Exactitud	Exactitud Global (%)	

f. Población. La población en la presente investigación constituyó toda superficie considerable de aguaje que se encuentre en el distrito de Pucayacu. El muestreo fue de tipo no probabilístico por conveniencia, como indica Hernández González (2021), este tipo de muestreo se aplica cuando no todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados, y la elección depende de factores prácticos. En este estudio, se seleccionaron poblaciones de aguaje representadas por polígonos (shapefile), elegidos por su accesibilidad y condiciones favorables para la validación en campo, debido que el muestreo por conveniencia es útil cuando se busca recolectar datos de manera directa y eficiente, especialmente en contextos donde el tiempo, accesibilidad y los recursos son limitados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Desarrollo de la firma espectral de *M. flexuosa* a partir del uso de las bandas espectrales de las imágenes satelitales PlanetScope en el distrito de Pucayacu, Huánuco, Perú

En las siguientes figuras se muestran las firmas espectrales de *M. flexuosa* en diversas longitudes de onda, las cuales abarcan tanto el espectro visible como el infrarrojo cercano. Cada una de las curvas refleja una variación espectral correspondiente a muestras particulares de esta especie. En el eje horizontal se indican las longitudes de onda (expresadas en micrómetros), mientras que el eje vertical muestra los valores de reflectancia relativa.

4.1.1. Coordenadas tomadas en campo

Las 71 coordenadas (**Figura 6**), tomadas en campo con el GPS Garmin 64s, proporciona una representación clara de las propiedades espectrales de *M. flexuosa*, mostrando en el eje horizontal las longitudes de onda que oscilan entre 0,42 μm y 0,66 μm , mientras que el eje vertical indica los valores de reflectancia. A lo largo de este rango, se observa una notable variabilidad en la reflectancia, lo que sugiere diferencias en las características espectrales de las muestras analizadas.

Particularmente se destacan picos de reflectancia en ciertas longitudes de onda, como en el rango de 0,54 μm , lo que puede indicar propiedades fisiológicas o ecológicas específicas de la especie y/o que es otra especie de planta. Esto es un foco clave para el análisis, dado que podría ofrecer información valiosa sobre la salud y el estado del hábitat de *M. flexuosa*. En conjunto, los patrones observados en el gráfico muestran mucha heterogeneidad, los cuales deberán discriminarse a los que cuenten con mayor variabilidad hasta tener firmas más homogéneas.

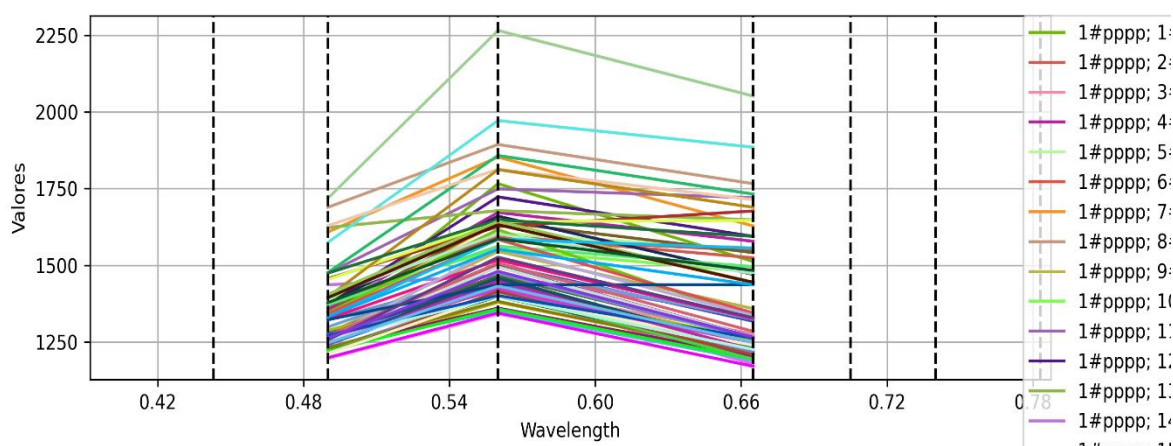


Figura 6. Puntos iniciales de Aguaje (71)

El pico que se observa cerca de los 0,54 μm probablemente está relacionado con la presencia de clorofila y cómo están formadas internamente las hojas, algo común en plantas con mucha actividad fotosintética. Investigaciones como la de Féret et al. (2019) han mostrado cómo estos aspectos influyen en las respuestas espectrales de la vegetación a lo largo de su ciclo de vida.

Sin embargo, es posible que algunas firmas no correspondan a *M. flexuosa*, sino a otras especies que se parecen visualmente. Por eso, es clave confirmar bien la identidad de las muestras en campo. También hay que tener en cuenta que la variabilidad entre las curvas podría deberse a factores como la edad de las hojas, resolución espacial, nubosidad y/o la luz que había al momento de la captura. Zarco-Tejada et al. (2011) ya habían demostrado que estos detalles pueden afectar los resultados espectrales, lo cual concuerda con lo que obtuvimos nosotros.

Se han discriminado las firmas espectrales de *M. flexuosa* (**Figura 7**), que tienen mucha variabilidad, lo que ha permitido identificar aquellas líneas que no comparten homogeneidad con las demás. En el gráfico, las diferentes líneas representan las reflectancias a lo largo de las longitudes de onda, y se observa que algunas de ellas presentan leves variaciones en sus valores, especialmente en el rango de 0,54 μm a 0,66 μm . Las líneas que se desvían considerablemente de la tendencia general han sido excluidas, lo que mejora la precisión del análisis. Este enfoque no solo resalta la importancia de la homogeneidad en las firmas espectrales, sino que también contribuye a una interpretación más robusta para mapear la especie lo que es fundamental para futuras investigaciones u estrategias de conservación.

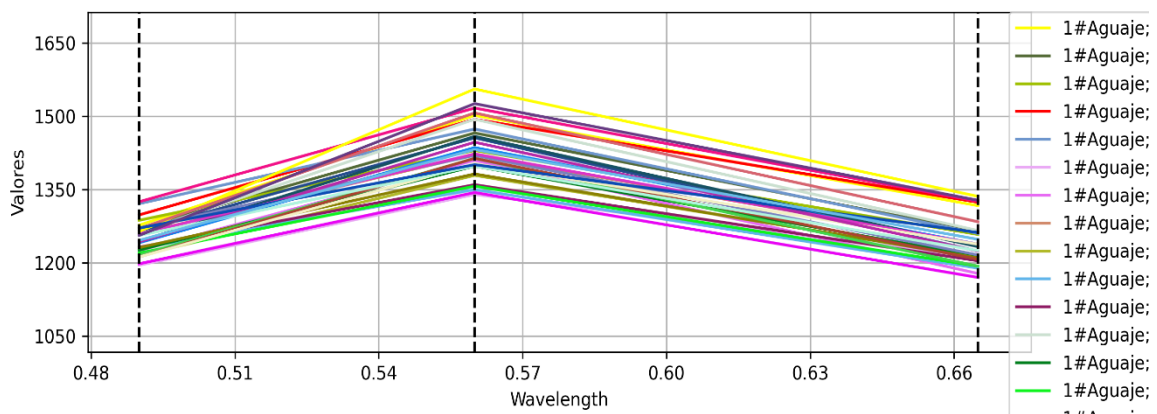


Figura 7. Filtro final hasta conseguir homogeneidad (34)

Al desarrollar la firma espectral de *M. flexuosa* con imágenes de PlanetScope, se filtraron datos basados para obtener una homogeneidad espectral. De los 71 puntos iniciales, hubo quienes presentaban variabilidad excesiva, posiblemente por diferencias en cobertura

vegetal o iluminación. A través de un análisis gráfico, se identificaron 34 puntos homogéneos representativos.

Se procedió a la discriminación de los valores heterogéneos, en el cual se optó por un método visual alineado con estudios previos que destacan su eficacia en la teledetección. Smith et al. (2020) indican que este enfoque es útil para identificar tendencias en datos espectrales sin necesidad de modelos matemáticos complejos. Por su parte, Garcia et al. (2019) señalan su eficacia en ecosistemas con alta heterogeneidad donde los métodos estadísticos tradicionales pueden no ser efectivos. Este enfoque ha sido útil en ecosistemas de humedales donde la variabilidad espectral es común (Fernandez-Manso et al., 2017). Sin embargo, futuros estudios podrían complementar esta metodología con análisis estadísticos para mejorar la precisión y reproducibilidad de los resultados.

4.1.2. Combinación de firmas espectrales (firma única)

Se presenta la firma espectral promedio de *M. flexuosa* (**Figura 8**), elaborada a partir de las firmas individuales analizadas anteriormente. Se destaca un pico notable de 0,56 μm que se asocia con la alta reflectancia de la clorofila, seguido de un descenso hacia 0,66 μm , que indica la absorción en el espectro rojo. Este patrón es característico de la vegetación saludable, lo que respalda las propiedades espectrales de la especie.

Además, la banda sombreada alrededor de la curva promedio refleja la variabilidad entre las muestras originales, aunque esta se mantiene dentro de un rango y forma consistente donde las longitudes de onda entre 0,48 μm y 0,66 μm son especialmente relevantes para este estudio. Este resultado proporciona una representación confiable de *M. flexuosa*, lo que resulta útil para su identificación y monitoreo en estudios de ecosistemas.

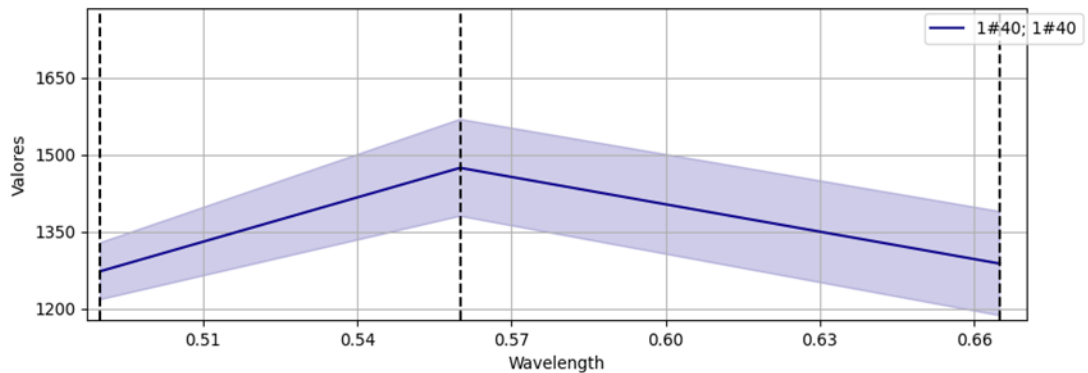


Figura 8. Combinación de las firmas espectrales (firma única)

4.1.3. Valores de la firma espectral combinada (firma única)

El análisis de las firmas espectrales de *M. flexuosa* se realizó utilizando cuatro bandas específicas, cuyas longitudes de onda y valores de reflectancia son los siguientes: Banda 2 (0,49 μm) con un valor de 1273,125, Banda 3 (0,56 μm) alcanzando 1474,78, Banda 4 (0,665 μm) con 1288,03, y Banda 8 (0,842 μm) que muestra un notable valor de 3914,68. La Banda 8 es especialmente destacada por su alta reflectancia, lo que sugiere su importancia en la caracterización espectral de la especie.

Los resultados obtenidos en la tabla indican una variabilidad en la reflectancia a través de las diferentes longitudes de onda, lo que puede reflejar las propiedades fisiológicas y ecológicas de *M. flexuosa*. Estos hallazgos son cruciales para profundizar en la comprensión de la relación entre esta especie y su hábitat, y pueden servir como base para futuras investigaciones enfocadas en su conservación y manejo.

Tabla 4. Valores de la firma espectral combinada

	Bandas Espectrales			
	2	3	4	8
Longitud de Onda	0,49	0,56	0,665	0,842
Valores	1273,125	1474,78	1288,03	3914,68
Desviación Estándar	55,51	94,53	101,58	355,88

4.2. Validación en campo de la firma espectral de *M. flexuosa* en el distrito de Pucayacu, Huánuco, Perú

Según la fórmula presentada en la validación de campo, se calculó a la población el tamaño de muestra a validar de *M. flexuosa*, en el cual el nivel de confianza fue del 95%, el tamaño de la población fue 840 (polígonos), el valor crítico asociado al nivel de confianza deseado (Z) 1,96, la probabilidad de éxito o proporción esperada (p) fue 0,5; la probabilidad de fracaso (q) 0,5; el margen de error deseado (E) 10%, obteniendo como resultado 90 (polígonos). Siendo éstas el tamaño de muestra necesario que se validaron en campo.

Las fichas de validación mostradas en los ANEXOS I, J, K y L que son las fichas de validación en campo con el fin de medir la exactitud de la clasificación, se realizó una validación en campo con 90 polígonos. De estos, 46 coincidían con *M. flexuosa*, mientras que 24 no coincidían, y 20 que fueron clasificados como N.A, todos correspondían a la realidad, reflejando una tasa de error del 27% a través del % Exactitud Global. Esta discrepancia podría atribuirse a variaciones en la cobertura del dosel, diferencias en la resolución de imagen digital o errores en la interpretación inicial.

Lopez et al. (2018) reportaron márgenes de error similares en estudios de clasificación supervisada de vegetación, indicando que valores entre el 20% y el 30% son comunes en ecosistemas complejos. Martínez y Perez (2021) refieren que una precisión del 73% es aceptable dentro de los estándares de teledetección para estudios de cobertura vegetal. Esto concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación los cuales nos brindan confiabilidad al realizar clasificación supervisada. Si bien este resultado se encuentra dentro de lo esperado, futuras investigaciones podrían mejorar la precisión integrando datos adicionales o algoritmos más avanzados.

El cálculo de la superficie cubierta por *M. flexuosa* se realizó a partir de la clasificación supervisada de imágenes de PlanetScope. Se descartaron los polígonos menores a 0,5 ha, siendo este el área mínima cartografiable de acuerdo a la extensión del distrito, consiguiendo un total de 840 polígonos que determinó el área total cubierta por esta especie. La validación en campo indicó una precisión del 73%, esto coincidiendo con los autores mencionados anteriormente en clasificación supervisada, confirmando la confiabilidad del cálculo de la superficie real ocupada por *M. Flexuosa* en la zona de estudio. Según Perez et al. (2020), la combinación de teledetección con validación en campo es un método efectivo para estimaciones de cobertura digital, minimizando errores derivados de la clasificación automatizada. Gomez et al. (2019) destacan que la precisión obtenida en este estudio es comparable a la de investigaciones previas sobre ecosistemas similares, respaldando la fiabilidad del método aplicado.

4.2.1. Exactitud Global (%)

Tabla 5. Exactitud Global

	Aguaje	N.A	Total
Aguaje	46	24	70
N.A	0	20	20
Total	46	44	66

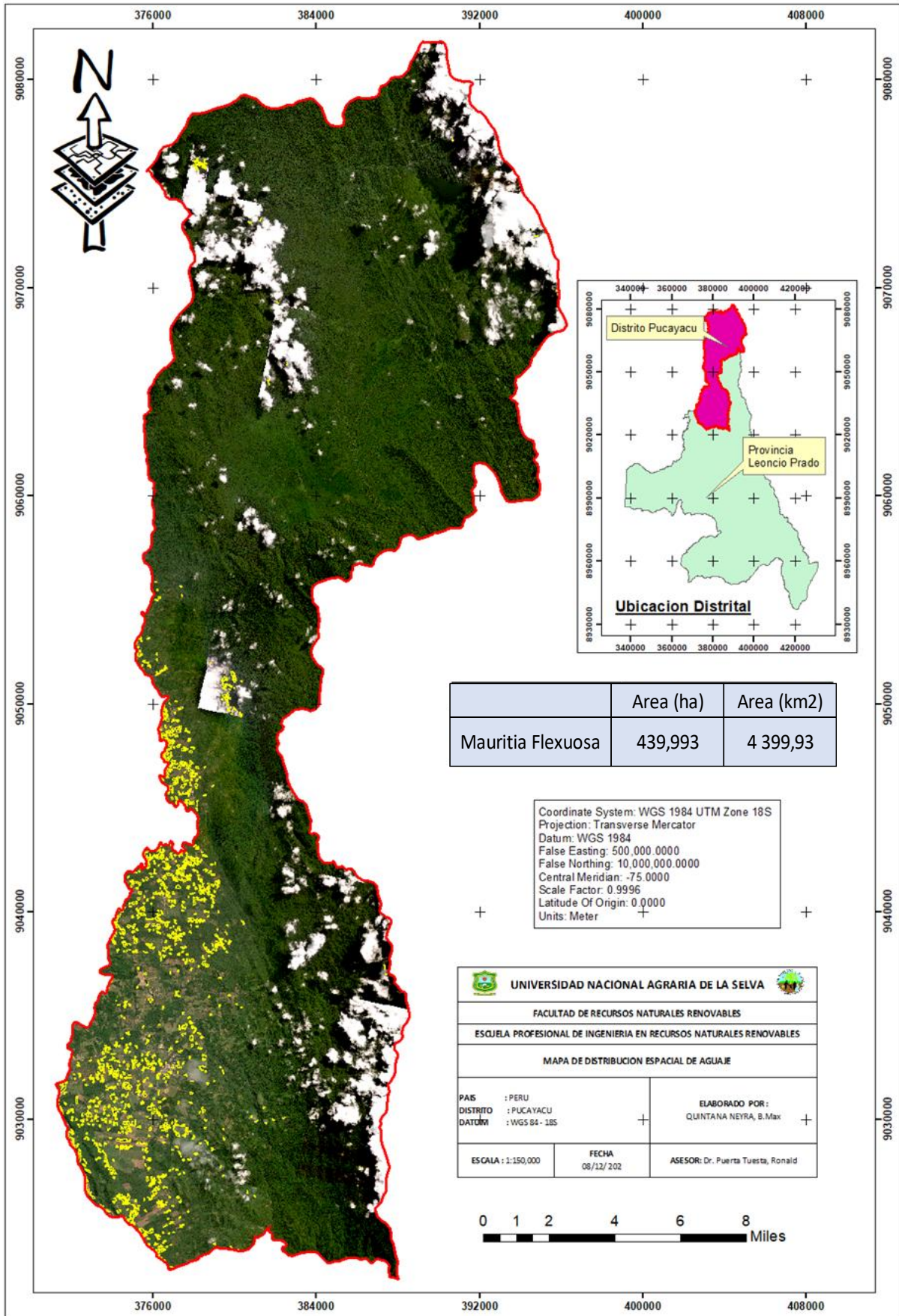
$$E.G = 66/90 = 0,73 = 73\%$$

La tabla muestra la coincidencia de los datos clasificados con lo que se encontró en campo. De los 70 puntos que el modelo dijo que eran "Aguaje", solo 46 coincidían, y 24 fueron

errores (en realidad no eran agujaje). En cambio, todos los puntos que eran "N.A" fueron clasificados correctamente, es decir los 20 coincidieron con la realidad. En total se usaron 90 puntos para esta comparación, y de esos, 66 fueron clasificados correctamente. Por eso, la exactitud global fue del 73%,



4.3. Cálculo de la superficie de *M. Flexuosa* en el distrito de Pucayacu, Huánuco, Perú

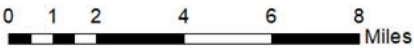
En este estudio, se optó por eliminar del análisis los polígonos con un área menor a 0,5 hectáreas. Esta decisión responde a que, según Jensen (2005), la resolución espacial de la imagen condiciona el tamaño mínimo que puede ser representado con fidelidad en un mapa. Dado que las imágenes PlanetScope utilizadas tienen una resolución de 4,7 metros (aproximadamente 22,09 m² por píxel), un polígono de 0,5 ha equivale a más de 200 píxeles, lo cual resulta suficiente para asegurar una representación espacial adecuada. Además, la FAO (2001) recomienda establecer umbrales mínimos de área para evitar que elementos demasiado pequeños distorsionen la interpretación cartográfica, lo cual concuerda con lo que se hizo en esta investigación, reafirmando así una correcta representación cartográfica. Mediante la herramienta Calculo Geometry se hizo en cálculo de la superficie dando como resultado 439, 993 ha.



	Area (ha)	Area (km2)
Mauritia Flexuosa	439,993	4 399,93

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500 000 0000
 False Northing: 10 000 000 0000
 Central Meridian: -75 0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA 	
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES	
MAPA DE DISTRIBUCION ESPACIAL DE AGUAJE	
PAIS : PERU DISTRITO : PUCAYACU DATUM : WGS 84 - 18S	ELABORADO POR : QUINTANA NEYRA, B.Max
ESCALA : 1:150,000	FECHA : 06/12/ 202 ASESOR: Dr. Puerta Tuesta, Ronald



V. CONCLUSIONES

1. La firma espectral se desarrolló utilizando las bandas de imágenes satelitales PlanetScope, capturando la reflectancia de la especie en longitudes de onda críticas, con un pico a 0,54 μm .
2. La validación en campo con un tamaño de muestra de 90, a través del porcentaje de exactitud global se corroboró la exactitud de la firma espectral en un 73%. La comparación entre datos satelitales y observaciones directas muestra la consistencia del análisis espectral.
3. Se calculó que el área total ocupada por *M. flexuosa* en el distrito de Pucayacu, provincia de Leoncio Prado es de aproximadamente 439, 993 hectáreas, siendo esto el 0,57 % de la extensión total del distrito (76 018 ha).

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Continuar con estudios similares en otras áreas geográficas donde *M. flexuosa* esté presente. Esto permitirá comparar la firma espectral de la especie en diferentes ecosistemas y condiciones ambientales, proporcionando una visión más completa de su distribución y salud a nivel regional.
2. Implementar tecnologías avanzadas de teledetección, como drones equipados con sensores hiperspectrales, con la finalidad de mejorar la exactitud temática debido que cuentan con mejor resolución espacial y espectral, Estas tecnologías permitirían un monitoreo más detallado y frecuente de la vegetación, facilitando una temprana detección de cambios en la población y la salud de *M. flexuosa*.
3. Realizar investigaciones que analicen cómo los factores ambientales, como el cambio climático y la deforestación, afectan la distribución y salud de *M. flexuosa*. Comprender estas interacciones es crucial para desarrollar estrategias de conservación efectivas y mitigar los impactos negativos sobre la especie.

VII. REFERENCIAS

- Aguilar-Arias, H., y Carranza Solano, M. (2016). *Desarrollo de una firma espectral para la identificación de cultivos de piña a través de sensores remotos e in situ en Costa Rica: III Entrega: Informe I Versión II*, PRIAS-CeNAT. https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle/20,500,12337/3130/Aguilar_H_Informe_proyecto_2016_Desarrollo_firma_espectral_cultivos_pina_sensores_remotos_CR_2016.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Barboza, N. L., Dos Anjos Cruz, J. M., Corrêa, R. F., Lamarão, C. V., Lima, A. R., Inada, N. M., & Campelo, P. H. (2022). Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.): An Amazonian fruit with potential health benefits. *Food Research International*, 159, 111654. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111654>
- Barreto, E. M. (2021). Desarrollo de una firma espectral para la identificación de parches de Retamo espinoso (*Ulex europeus*) en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá, usando imágenes satelitales Sentinel-2. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(2), e1025. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i2.1025>
- Borrás, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira-Sandoval, M., Morassi, G. y Camps-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de genes Sentinel-2. *Revista de Teledetección*, 48(1), 55-66. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7133>
- Canalejo, S. (2018). Procesamiento de imágenes multispectrales para el análisis del estado de la vegetación.
- Chuvieco, E. (2002). Fundamentos de teledetección espacial. *Estudios Geográficos*, 52(203), 1-371.
- Clavero, B. (2023). Estudio sobre la Utilización de ACP (Análisis de Componentes Principales) para Mejorar las Prestaciones de las Imágenes Índices Espectrales en Teledetección [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio institucional UPM. https://oa.upm.es/75009/1/TFG_BELEN_CLAVERO_AGUIRRE.pdf
- Comber, A., Fisher, P., & Wadsworth, R. (2005). You know what land cover is but does anyone else?... an investigation into semantic and ontological confusion. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), 223-228. <https://doi.org/10.1080/0143116042000274032>
- Dagher, L. S., Prado, L., Arruda, M. S., Garcia, D. E., Marques, A. P., Aoki, C., Pott, A., Fatholahi, S., Li, J., de Araújo, F. F., Nunes, W., & Marcato, J. (2021). *Mauritia flexuosa* palm trees airborne mapping with deep convolutional neural network. *Scientific Reports*, 11(1), 19619. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98522-7>.

- Del Bosque, I., Arozarena, A., Villa, G., Valcárcel, N., y Porcuna, A. (2005). Creación de un sistema de información geográfico de ocupación del suelo en España. "Proyecto SIOSE". Actas del XI Congreso Nacional de Teledetección, 21-23 Septiembre, Puerto de la Cruz, España, 255-262.
- Echeverría, A. (2017). Utilidad de las imágenes Sentinel-2 para la estimación de la densidad de alfalfa en Bardenas Reales [Tesis de posgrado, Universidad Pública de Navarra]. Repositorio institucional AC. <https://core.ac.uk/download/pdf/132304619.pdf>
- European Space Agency. (2010). GMES Sentinel-2 Mission Requirements Document. ESA. https://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/GMES_Sentinel2_MRD_issue_2.0_update.pdf
- European Space Agency. (2011a). GMES Overview. ESA. http://www.esa.int/esaLP/SEMRR10DU8E_LPgmes_0.htm
- European Space Agency. (2011b). Sentinel-2 Mission and Space Segment Overview. ESA.
- European Space Agency. (2015). Sentinel-2 User Handbook. ESA. https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook.pdf/8869acdf-fd84-43ec-ae8c-3e80a436a16c?t=1438278087000
- European Space Agency. (2017). Sentinel-2 - Missions - Resolution and Swath - Sentinel Handbook. ESA. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrumentpayload/resolution-and-swath>.
- FAO. (2001). Land cover classification system: Classification concepts and user manual (Version 1.0). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/x0596e/x0596e00.htm>
- Féret, J. B., Gitelson, A. A., Noble, S. D., & Jacquemoud, S. (2019). PROSPECT-D: Towards modeling leaf optical properties through a complete lifecycle. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111220. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.05.004>
- Fernandez Manso, A., Quintano, C., & Fernandez Manso, O. (2017). Assessment of vegetation recovery following a wildfire in Mediterranean ecosystems based on Landsat 8 time series analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 63, 277-290. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.014>
- Gamboa, R. J. (2019). *Caracterización socioeconómica del productor de aguaje (Mauritia flexuosa L. f.) en la provincia de Leoncio Prado* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Agraria De La Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe>

- García, M. P., López, J. R., & Torres, F. J. (2019). Uso de técnicas de teledetección para la identificación de coberturas vegetales en humedales tropicales. *Revista de Teledetección*, 53(2), 45-57. <https://doi.org/10.4995/raet.2019.12261>
- Gomez, L., Ramirez, S., & Torres, P. (2019). Analisis espectral de ecosistemas tropicales mediante imágenes satelitales. *Revista de teledetección y Medio Ambiente*, 35(2), 45-62.
- Guerra, M. L. L. (2020). Análisis espacio temporal de la cobertura vegetal mediante el NDVI, y su relación con el crecimiento poblacional de la provincia de Lima, Perú (2000-2019) [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/29557>
- Guzmán, A. P. A. (2019). Análisis y clasificación de firmas espectrales utilizando técnicas de aprendizaje automático [Tesis de posgrado, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica]. Repositorio institucional INAOE. <http://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1009/1677>
- Hergoualc'h, K., Gutiérrez-Vélez, V. H., Menton, M., & Verchot, L. V. (2017). Characterizing degradation of palm swamp peatlands from space and on the ground: An exploratory study in the Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 393, 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.03.016>.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. (6a ed.). Mc Graw Hill Education.
- Hernández González, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37(3). <https://revmgi.sld.cu/index.php/mgi/article/view/1442>
- Jensen, J. R. (2005). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective* (3rd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Leyva, W. M. (2022). Desarrollo de una metodología basada en el empleo de imágenes de satélite para el estudio de los sistemas de humedales de Puna y Jalca, y su influencia sobre el balance hídrico en la cuenca Chancay-Lambayeque [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio institucional UNMSM.
- Ley Nª 30376. Ley que crea el sistema de control Interno en el ámbito del sector público (2015)Ley N° 30376. <https://www.peru.gob.pe>
- López González, F.J., Crecente Maseda, R., y Álvarez López, C.J. (2002). Los usos del suelo analizados mediante S.I.G. XIV Congreso de Ingeniería Gráfica. 5-7 Junio, Santander, España.

- López, M. I., y Gaitán, D. J. (2019). Análisis multitemporal de la especie vegetal invasora Retamo espinoso (*Ulex europaeus*) en el embalse la regadera, zona rural de la localidad de Usme, a partir de Imágenes satelitales Sentinel 2 y Landsat 8 mediante el uso de algoritmos de clasificación [Tesis de posgrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio institucional Udistrital. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13799>
- Lopez, G., Martinez, P., & Perez, R. (2018). Evaluacion de métodos de clasificación supervisada para estimar la extensión de paramos en la Cordillera Oriental de Colombia. *Revista de teledetección*, 50, 25-35.
- Martinez, P., & Perez, R. (2021). Analisis y estimación de la cobertura forestal de un área urbana utilizando teledetección. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(65), 123-140.
- Milanez, J. T., Neves, L. C., Carvalho da Silva, P. M., Bastos, V. J., Shahab, M., Colombo, R. C., y Roberto, S. R. (2016). Pre-harvest studies of buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.), a Brazilian native fruit, for the characterization of ideal harvest point and ripening stages. *Scientia Horticulturae*. 202, 77-82. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.026>
- Morales, G. L. (2017). Desarrollo de un software de teledetección orientado a la identificación y medición automática de áreas de plantaciones de aguajales en la Amazonía Peruana utilizando imágenes aéreas adquiridas vía UAV y algoritmos de procesamiento digital de imágenes [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional UNI. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/8231>
- Municipalidad provincial de Leoncio Prado [MPLP]. (2019). Plan de desarrollo local concertado 2019-2021 con enfoque al 2030. MPLP. <https://www.munitingomaria.gob.pe/mplp/sites/default/files/mplp/documentosdegestion/PDC%202019-2021%20CON%20ENFOQUE%20AL%202030.pdf>
- Municipalidad provincial de Leoncio Prado [MPLP]. (s.f.). Plan vial provincial Leoncio Prado. MPLP. http://www.proviasdes.gob.pe/planes/huanuco/pvpp/PVPP_Leoncio_Prado.pdf
- Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., & Woodcock, C. E. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42–57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
- Perez, J., Lopez, R., & Fernandez, M. (2020). Teledeteccion aplicada a la estimacion de cobertura vegetal: Metodos y aplicaciones. Editorial científica Universitaria.

- Planet, S. (2016). Especificaciones del producto para imagenes de planetas; PlanetScope y Rapideye. <https://www.l3harris.com/sites/default/files/2023-06/PlanetScope-RapidEye-Spec-Sheet.pdf>
- Planet, S. (2023). PlanetScope Especificaciones del producto https://assets.planet.com/docs/Planet_PSScene_Imagery_Product_Spec_letter_screen.pdf
- Ponce, M. E., Stauffer, F. W., De Lourdes Olivo, M., y Ponce, M. A. (2000). *Mauritia flexuosa* L. f. (arecaceae). Una revisión de su utilidad y estado de conservación en la cuenca amazónica, con especial énfasis en Venezuela. *Acta Botánica*, 23(1), 19-46. <http://www.jstor.org/stable/41740937>
- Ramírez, E. E., y Villena, E. (2017). Teledetección de pasivos ambientales de origen químico utilizando imágenes satelitales Landsat 8 en la provincia de Hualgayoc - 2017 [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13249>
- Revilla, J. M., Lluncor, D., Garcia, D. G., Rojas, K., Abanto, C., Wilson Francisco Guerra, W. F., Mejia, K., y Del Castillo, D. (2019). Distribución espacial de aguajales mediante clasificación supervisada de imágenes de satélite de la región Ucayali, Perú. *Folia Amazónica*, 28(2), 161-184. DOI: <https://doi.org/10.24841/fa.v28i2.489>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2021). Climas del Perú: Mapa de Clasificación Climática Nacional del Perú. SENAMHI. <https://www.senamhi.gob.pe/pdfclimas-del-Per%C3%BA-Mapa-de-clasificaci%C3%B3n-clim%C3%A1tica.pdf>
- Silva, R. S., Ribeiro, L. M., Mercadante-Simões, M. O., Ferreira, Y. R., y Nascimento, P. S. (2014). Seed structure and germination in buriti (*Mauritia flexuosa*), the Swamp palm. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 11, 674-685. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2014.08.012>
- Smith, J. A., Brown, K., & Wilson, P. (2020). Spectral analysis methods for remote sensing in wetland ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111690. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111690>
- Supo, J., Zacarías, H. (2020). Metodología de la investigación científica para ciencias de la salud, ciencias sociales y las ingenierías (3ª ed.). Bioestadístico EEDU EIRL.
- Tucker, C. J. (1980). Radiometric resolution for monitoring vegetation: how many bits are needed? *Int. J. Remote Sens.*, 1, 241-254.

- Vargas, D. (2008). Estimación de carbono aéreo en bosque secundario, Pucayacu – Huánuco [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/PUCAYACU>.
- Velez, E. A., Martinez, L. H., y Forero, Á. C. (2023). Identificación de zonas con presencia de Retamo espinoso (*Ulex europaeus*), utilizando teledetección espacial, en el municipio de Sibaté [Cundinamarca]. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 14(1), 201-219.
- Virapongse, A., Endress, B. A., Gilmore, M. P., Horn, C., Romulo, C. (2017). Ecology, livelihoods, and management of the *Mauritia flexuosa* palm in South America. *Global Ecology and Conservation*. 10, 70-92. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.12.005>
- Zarco-Tejada, P. J., Pushnik, J. C., Dobrowski, S., & Ustin, S. L. (2011). Steady-state chlorophyll fluorescence detection from canopy derivative reflectance and double-peak red-edge effects. *Remote Sensing of Environment*, 115(2), 364–373.

ANEXOS

Anexo A. Datos registrados.

Tabla 6. Ubicación geográfica de poblaciones de *M. flexuosa* en la provincia Leoncio Prado

Distrito	Caserío	Este	Norte
Santo Domingo de Anda	Angashyacu	380949,00	9002666,00
	Pacae	384203,00	9002195,00
	Jardines de Anda	382655,00	9000127,00
	Pampa Hermosa	383873,00	9001218,00
José Crespo y Castillo	Las Mercedes	376043,93	9016413,21
	Cotomonillo	375562,01	9021787,99
	San José de Pucate	374604,90	9017273,95
	San Martín de Pucat	371759,00	9019901,00
	Primavera	373609,99	9014254,97
	San Isidro	375179,77	9013919,79
	Magdalena de Pavayacu	375374,75	9014514,63
	La Victoria	378344,96	9018356,18
Rupa Rupa	Venenillo	379114,95	8994863,79
	Los Cedros	377988,84	8994722,13
	Chontayacu	377494,74	8994565,59
Pucayacu	Milano	378880,25	9031752,47
	Pluma de Oro	376266,72	9030860,56
	7 de octubre	375724,41	9025259,4
Pueblo Nuevo	Puerto Prado	382746,56	9017385,52
	Las Rocas	382812,67	8994656,76
	Esperanza	385410,50	8995785,43
Daniel Alomia Robles	Pendencia	391969,86	8987440,02
	Alto Pendencia	395627,03	8986881,62
	Los Peregrinos	394196,88	8986609,98
	El Puerto	394485,66	8984767,85
	Cafesa	395559,81	8984618,58
	Pumahuasi	395662,97	8984919,51

Fuente: Gamboa (2019).

Anexo B. Datos registrados.**Tabla 7.** Puntos georreferenciados de *M. flexuosa* (poblaciones) en el distrito Pucayacu

N°	Nombre	Descripción	Elevación	Este	Norte
1	Aguaje	Centroide	541,94	376392,89	9037526,52
2	Aguaje	Centroide	549,87	376440,17	9037535,06
3	Aguaje	Centroide	557,33	376482,30	9037537,84
4	Aguaje	Centroide	560,22	376494,25	9037551,37
5	Aguaje	Centroide	574,25	376566,93	9037492,54
6	Aguaje	Centroide	578,58	376590,25	9037457,77
7	Aguaje	Centroide	580,14	376557,35	9037457,90
8	Aguaje	Centroide	582,99	376542,82	9037462,17
9	Aguaje	Centroide	585,32	376535,61	9037480,72
10	Aguaje	Centroide	587,28	376517,13	9037478,90
11	Aguaje	Centroide	594,21	376496,43	9037487,13
12	Aguaje	Centroide	595,80	376476,79	9037504,87
13	Aguaje	Centroide	596,68	376443,94	9037489,63
14	Aguaje	Centroide	596,37	376417,02	9037475,06
15	Aguaje	Centroide	594,78	376406,80	9037472,38
16	Aguaje	Centroide	596,34	376411,37	9037454,15
17	Aguaje	Centroide	597,42	376404,98	9037417,75
18	Aguaje	Centroide	597,29	376401,84	9037365,55
19	Aguaje	Centroide	607,30	376393,64	9037567,88
20	Aguaje	Centroide	605,63	376391,48	9037554,16
21	Aguaje	Centroide	607,95	376486,11	9037552,23
22	Aguaje	Centroide	606,10	376493,15	9037552,69
23	Aguaje	Centroide	607,45	376394,20	9037676,35
24	Aguaje	Centroide	606,36	376395,59	9037727,89
25	Aguaje	Centroide	608,40	376408,77	9037772,93
26	Aguaje	Centroide	609,84	376412,46	9037791,3
27	Aguaje	Centroide	611,15	376416,99	9037819,95
28	Aguaje	Centroide	611,90	376381,18	9037874,80
29	Aguaje	Centroide	613,59	376359,28	9037989,51
30	Aguaje	Centroide	615,36	376364,58	9037982,23

Anexo C. Datos registrados

Tabla 8. Puntos georreferenciados de *M. flexuosa* (poblaciones) en el distrito Pucayacu

N°	Nombre	Descripción	Elevación	Este	Norte
31	Aguaje	Centroide	616,12	376415,44	9038010,69
32	Aguaje	Centroide	622,24	376432,11	9038174,17
33	Aguaje	Centroide	625,11	376442,51	9038341,06
34	Aguaje	Centroide	625,60	376457,82	9038372,29
35	Aguaje	Centroide	625,98	376444,51	9038373,36
36	Aguaje	Centroide	626,07	376496,58	9038547,89
37	Aguaje	Centroide	626,11	376504,13	9038526,57
38	Aguaje	Centroide	623,61	376510,74	9038671,78
39	Aguaje	Centroide	610,74	378140,67	9042892,4
40	Aguaje	Centroide	607,22	378121,73	9042857,29
41	Aguaje	Centroide	666,87	376414,52	9037910,95
42	Aguaje	Centroide	664,93	376381,28	9037878,45
43	Aguaje	Centroide	660,50	376404,18	9037836,39
44	Aguaje	Centroide	654,23	376399,00	9037801,98
45	Aguaje	Centroide	652,40	376396,35	9037769,91
46	Aguaje	Centroide	649,26	376395,50	9037756,75
47	Aguaje	Centroide	647,45	376395,57	9037733,64
48	Aguaje	Centroide	644,85	376385,10	9037703,2
49	Aguaje	Centroide	642,24	376394,52	9037679,56
50	Aguaje	Centroide	641,53	376389,22	9037649,69
51	Aguaje	Centroide	639,51	376388,54	9037620,16
52	Aguaje	Centroide	638,43	376382,12	9037559,33
53	Aguaje	Centroide	635,60	376387,61	9037526,5
54	Aguaje	Centroide	631,35	376380,61	9037475,51
55	Aguaje	Centroide	631,88	376371,64	9037419,97
56	Aguaje	Centroide	631,93	376370,50	9037396,08
57	Aguaje	Centroide	627,73	376360,50	9037281,05
58	Aguaje	Centroide	626,66	376347,56	9037193,55
59	Aguaje	Centroide	624,05	376352,08	9037150,88
60	Aguaje	Centroide	608,13	376351,70	9037131,86

Anexo D. Datos registrados**Tabla 9.** Puntos georreferenciados de *M. flexuosa* (poblaciones) en el distrito Pucayacu

N°	Nombre	Descripción	Elevación	Este	Norte
61	Aguaje	Centroide	606,86	376340,15	9037094,45
62	Aguaje	Centroide	608,72	376340,61	9037013,95
63	Aguaje	Centroide	608,00	376334,09	9036910,65
64	Aguaje	Centroide	606,06	376321,88	9036690,68
65	Aguaje	Centroide	606,38	376311,40	9036625,85
66	Aguaje	Centroide	605,75	376300,64	9036543,22
67	Aguaje	Centroide	605,65	376294,47	9036433,95
68	Aguaje	Centroide	605,51	376288,87	9036430,28
69	Aguaje	Centroide	604,70	376300,66	9036353,13
70	Aguaje	Centroide	593,20	376400,80	9036751,84
71	Aguaje	Centroide	591,94	376421,43	9036731,33

Anexo E. Longitud de onda por cada banda (puntos tomados en campo)

Puntos	Renombre	Longitud de onda (μm)			
		B2	B3	B4	B8
1	1	0,49	0,56	0,665	0,842
3	2	0,49	0,56	0,665	0,842
4	3	0,49	0,56	0,665	0,842
5	4	0,49	0,56	0,665	0,842
6	5	0,49	0,56	0,665	0,842
7	6	0,49	0,56	0,665	0,842
11	7	0,49	0,56	0,665	0,842
12	8	0,49	0,56	0,665	0,842
13	9	0,49	0,56	0,665	0,842
14	10	0,49	0,56	0,665	0,842
16	11	0,49	0,56	0,665	0,842
17	12	0,49	0,56	0,665	0,842
19	13	0,49	0,56	0,665	0,842
23	14	0,49	0,56	0,665	0,842
25	15	0,49	0,56	0,665	0,842
26	16	0,49	0,56	0,665	0,842
27	17	0,49	0,56	0,665	0,842
28	18	0,49	0,56	0,665	0,842
29	19	0,49	0,56	0,665	0,842
30	20	0,49	0,56	0,665	0,842
31	21	0,49	0,56	0,665	0,842
34	22	0,49	0,56	0,665	0,842
35	23	0,49	0,56	0,665	0,842
40	24	0,49	0,56	0,665	0,842
44	25	0,49	0,56	0,665	0,842
56	26	0,49	0,56	0,665	0,842
58	27	0,49	0,56	0,665	0,842
61	28	0,49	0,56	0,665	0,842
62	29	0,49	0,56	0,665	0,842
63	30	0,49	0,56	0,665	0,842
66	31	0,49	0,56	0,665	0,842
70	32	0,49	0,56	0,665	0,842
71	33	0,49	0,56	0,665	0,842
53	34	0,49	0,56	0,665	0,842

Anexo F. Valores de reflectancia por cada banda (puntos tomados en campo)

Puntos	Renombre	Valores de reflectancia			
		B2	B3	B4	B8
15	1	1277	1502	1317	4412
16	2	1271	1466	1264	3718
21	3	1287	1430	1258	3644
22	4	1298	1494	1324	3868
28	5	1321	1474	1260	4432
30	6	1195	1340	1212	3308
31	7	1225	1410	1178	4420
34	8	1260	1421	1238	4468
35	9	1215	1379	1212	3800
37	1	1230	1350	1189	3450
38	11	1232	1360	1204	3728
39	12	1263	1494	1266	4652
40	13	1226	1398	1213	4324
41	14	1220	1357	1193	3706
42	15	1231	1382	1210	3720
43	16	1198	1344	1170	3596
44	17	1241	1436	1238	4074
45	18	1265	1456	1224	4700
46	19	1271	1420	1216	4312
47	20	1244	1459	1233	4188
48	21	1216	1414	1193	3820
50	22	1212	1414	1207	3820
51	23	1259	1423	1238	3700
52	24	1212	1403	1238	3670
55	25	1325	1517	1326	3414
56	26	1264	1556	1336	4086
57	27	1243	1447	1224	4332
60	28	1256	1398	1225	3802
61	29	1270	1507	1284	4046
65	30	1271	1401	1262	3596
66	33	1256	1526	1328	3476
67	34	1246	1432	1248	3830

Anexo G. Longitud de onda por cada banda (GAMBOA)

Puntos	Longitud de onda (μm)			
	B2	B3	B4	B8
1	0,49	0,56	0,665	0,842
2	0,49	0,56	0,665	0,842
3	0,49	0,56	0,665	0,842
4	0,49	0,56	0,665	0,842
5	0,49	0,56	0,665	0,842
6	0,49	0,56	0,665	0,842
7	0,49	0,56	0,665	0,842
8	0,49	0,56	0,665	0,842
9	0,49	0,56	0,665	0,842
1	0,49	0,56	0,665	0,842
11	0,49	0,56	0,665	0,842
12	0,49	0,56	0,665	0,842
13	0,49	0,56	0,665	0,842
14	0,49	0,56	0,665	0,842
15	0,49	0,56	0,665	0,842
16	0,49	0,56	0,665	0,842
17	0,49	0,56	0,665	0,842
18	0,49	0,56	0,665	0,842
19	0,49	0,56	0,665	0,842
20	0,49	0,56	0,665	0,842
21	0,49	0,56	0,665	0,842
22	0,49	0,56	0,665	0,842
23	0,49	0,56	0,665	0,842
24	0,49	0,56	0,665	0,842
25	0,49	0,56	0,665	0,842
26	0,49	0,56	0,665	0,842
27	0,49	0,56	0,665	0,842

Anexo H. Valores de reflectancia por cada banda (GAMBOA)

Puntos	Valores de reflectancia			
	B2	B3	B4	B8
1	1291	1452	1338	4328
2	1216	1467	1219	5144
3	1200	1347	1159	4248
4	1620	1780	2000	3254
5	1298	1503	1321	3768
6	1244	1464	1254	5244
7	1307	1576	1342	4508
8	1565	1784	1952	2792
9	1236	1478	1218	4640
10	1265	1554	1240	5380
11	1246	1432	1248	3830
12	1274	1510	1270	4396
13	1313	1519	1528	4272
14	1240	1534	1338	4776
15	1232	1520	1208	4920
16	1310	1804	1269	5592
17	1272	1582	1289	4812
18	1271	1694	1266	6136
19	1248	1472	1241	4288
20	1253	1512	1281	4688
21	1272	1494	1247	4968
22	1320	1512	1340	4544
23	1268	1546	1280	3844
24	1256	1526	1328	3476
25	1225	1410	1178	4420
26	1268	1441	1264	3750
27	1271	1420	1216	4312

Anexo I. Validación en campo

Ficha de observación (Campo)						
N°	Campo	Verificación	Este	Norte	Hora	Fecha
1	Aguaje	V	376623,74	9032713,12	11:03	4/12/24
2	N.A	F	376464,12	9032552,41	11:59	4/12/24
3	Aguaje	V	376970,24	9032630,67	14:52	4/12/24
4	Aguaje	V	377257,8	9032559,48	15:13	4/12/24
5	Aguaje	V	376256,75	9032024,59	16:45	4/12/24
6	N.A	F	376307,99	9031429,04	17:15	4/12/24
7	Aguaje	V	376481,84	9030999,71	17:38	4/12/24
8	Aguaje	V	376331,68	9030587,88	17:53	4/12/24
9	Aguaje	V	375708,67	9033118,78	10:02	5/12/24
10	Aguaje	V	375724,64	9033227,45	10:25	5/12/24
11	Aguaje	V	375432,97	9033087,67	10:45	5/12/24
12	N.A	F	375273,84	9032650,07	10:59	5/12/24
13	N.A	F	375264,07	9031855,67	11:10	5/12/24
14	Aguaje	V	374648,59	9033250,13	11:45	5/12/24
15	Aguaje	V	374048,47	9033175,12	12:11	5/12/24
16	Aguaje	V	373734,97	9033270,42	12:25	5/12/24
17	Aguaje	V	373484,69	9032938,64	12:50	5/12/24
18	N.A	F	373624,48	9033011,06	13:13	5/12/24
19	Aguaje	V	376926,92	9032534,1	14:16	5/12/24
20	Aguaje	V	376808,34	9032308,61	14:40	5/12/24

Anexo J. Validación en campo

Ficha de observación (Campo)						
N°	Campo	Verificación	Este	Norte	Hora	Fecha
21	Aguaje	V	376984,49	9032486,33	14:48	5/12/24
22	N.A	F	376249,46	9032182,46	15:38	5/12/24
23	Aguaje	V	376531,16	9031990,73	15:55	5/12/24
24	Aguaje	V	376261,07	9031278,17	16:08	5/12/24
25	Aguaje	V	376369,90	9030868,11	16:30	5/12/24
26	Aguaje	V	376283,76	9030874,30	17:00	5/12/24
27	Aguaje	V	376426,06	9030152,47	17:30	5/12/24
28	N.A	F	375477,99	9028864,45	18:02	5/12/24
29	Aguaje	V	376886,84	9025071,33	18:27	5/12/24
30	Aguaje	V	375443,96	9033170,31	18:37	5/12/24
31	Aguaje	V	376518,32	9051658,65	6:10	6/12/24
32	Aguaje	V	377240,41	9047991,53	6:25	6/12/24
33	Aguaje	V	376842,01	9048893,75	6:45	6/12/24
34	N.A	F	377061,23	9049568,78	6:58	6/12/24
35	Aguaje	V	376791,7	9050037,25	7:30	6/12/24
36	Aguaje	V	376592,19	9048930,57	7:54	6/12/24
37	N.A	F	377131,17	9047121,01	8:04	6/12/24
38	Aguaje	V	377264,46	9046944,44	8:29	6/12/24
39	Aguaje	V	377677,39	9046321,34	8:39	6/12/24
40	Aguaje	V	377739,9	9045620,64	9:00	6/12/24

Anexo K. Validación en campo

Ficha de observación (Campo)						
N°	Campo	Verificación	Este	Norte	Hora	Fecha
41	Aguaje	V	378123,03	9044957,48	9:30	6/12/24
42	Aguaje	V	378163,2	9043077,76	9:41	6/12/24
43	Aguaje	V	377888,92	9042346,64	10:45	6/12/24
44	Aguaje	V	377229,58	9042224,51	12:03	6/12/24
45	N.A	F	377104,16	9041668,00	14:07	6/12/24
46	Aguaje	V	376308,35	9041501,49	6:24	7/12/24
47	N.A	F	376491,62	9040881,72	7:00	7/12/24
48	Aguaje	V	375984,76	9040704,49	7:15	7/12/24
49	Aguaje	V	376415,63	9039985,52	7:45	7/12/24
50	Aguaje	V	376232,6	9039302,48	8:06	7/12/24
51	Aguaje	V	377078,53	9038793,02	8:25	7/12/24
52	Aguaje	V	376841,61	9037989,76	8:37	7/12/24
53	N.A	F	376830,37	9037079,34	9:06	7/12/24
54	Aguaje	V	375860,06	9035763,51	10:11	7/12/24
55	N.A	F	374571,1	9032805,26	10:20	7/12/24
56	Aguaje	V	376216,03	9051471,26	16:45	7/12/24
57	Aguaje	V	376591,55	9051812,41	17:04	7/12/24
58	Aguaje	V	375806,69	9051836,02	17:38	7/12/24
59	Aguaje	V	375443,63	9051863,61	17:39	7/12/24
60	N.A	F	375261,09	9052734,49	18:03	7/12/24

Anexo L. Validación en campo

Ficha de observación (Campo)						
Nº	Campo	Verificación	Este	Norte	Hora	Fecha
61	N.A	V	375699,38	9031706,66	9:36	8/12/24
62	N.A	V	375593,09	9031511,22	9:40	8/12/24
63	N.A	V	375031,81	9030021,52	10:50	8/12/24
64	N.A	V	375975,12	9029296,44	12:01	8/12/24
65	N.A	V	375815,15	9027904,82	13:07	8/12/24
66	N.A	V	376485,92	9026948,33	14:21	8/12/24
67	N.A	V	376421,11	9026495,22	14:50	8/12/24
68	N.A	V	376265,02	9029065,61	15:03	8/12/24
69	N.A	V	376027,83	9027641,32	15:25	8/12/24
70	N.A	V	376161,42	9027630,88	15:40	8/12/24
71	N.A	V	376739,34	9025719,12	15:57	8/12/24
72	N.A	V	376982,95	9025558,4	15:59	8/12/24
73	N.A	V	375694,24	9029149,45	16:15	8/12/24
74	N.A	V	375609,49	9033951,89	16:40	8/12/24
75	N.A	V	375800,37	9033499,31	16:46	8/12/24
76	N.A	V	376012,08	9033253,74	16:56	8/12/24
77	N.A	V	376451,29	9033132,26	17:07	8/12/24
78	N.A	V	376531,85	9032365,18	17:23	8/12/24
79	N.A	V	377206,47	9032171,35	17:38	8/12/24
80	N.A	V	375856,39	9033357,45	17:58	8/12/24

Anexo M. Validación en campo

Ficha de observación (Campo)						
Nº	Campo	Verificación	Este	Norte	Hora	Fecha
81	N.A	V	376919,28	9026447,54	6:34	9/12/24
82	N.A	V	376836.34	9026047.11	7:04	9/12/24
83	N.A	V	375803.00	9026461.84	7:15	9/12/24
84	N.A	V	376438.19	9026185.43	7:28	9/12/24
85	N.A	V	376988.07	9024282.68	8:07	9/12/24
86	N.A	V	377455.65	9036518.76	8:59	9/12/24
87	N.A	V	379379.89	9034038.07	9:30	9/12/24
88	N.A	V	376307.34	9036879.12	10:01	9/12/24
89	N.A	V	378443.03	9042412.60	10:36	9/12/24
90	N.A	V	379469.86	9039069.57	11:12	9/12/24



Figura 9. Registro de puntos en campo



Figura 10. Registro de puntos en campo



Figura 11. Validación en campo



Figura 12. Validación en campo



Figura 13. Validación en campo



Figura 14. Validación en campo



Figura 15. Validación en campo



Figura 16. Validación en campo



Figura 17. Validación en campo



Figura 18. Validación en campo



Figura 19. Validación en campo



Figura 20. Validación en campo