

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
FILIAL JAÉN



DISTRIBUCIÓN ESPACIAL CON IMÁGENES SATELITALES DE
***Podocarpus oleifolius* D. Don EN EL ÁREA DE CONSERVACIÓN**
MUNICIPAL BOSQUE HUAMANTANGA, JAÉN-CAJAMARCA

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

SALOMÓN VICENTE GUERRERO

ASESOR:

ING. M. Sc. GERMÁN PÉREZ HURTADO

JAÉN - PERÚ

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Fundada por Ley N° 14015 del 13 de febrero de 1,962
"Norte de la Universidad Peruana"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
FILIAL JAÉN
Bolívar N° 1342 - Plaza de Armas
JAÉN - PERÚ



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los **veintitrés** días del mes de **junio** del año dos mil veintitrés, se reunieron en el **Ambiente de la Sala de Docentes de Ingeniería Forestal-Filial Jaén**, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N°168-2023-FCA-UNC, de fecha 14 de marzo del 2023, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: **"DISTRIBUCIÓN ESPACIAL CON IMÁGENES SATELITALES DE *Podocarpus oleifolius* D. Don EN EL ÁREA DE CONSERVACIÓN MUNICIPAL BOSQUE HUAMANTANGA, JAÉN - CAJAMARCA"**, ejecutado por el Bachiller en Ciencias Forestales, **Don SALOMÓN VICENTE GUERRERO**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

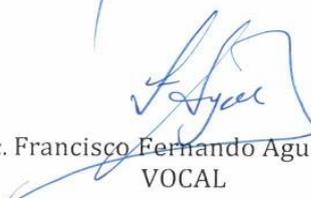
A las **catorce** horas y **treinta** minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **quince (15)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para el inicio de los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las **quince** horas y **treinta** minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Jaén, 23 de junio de 2023.


Ing. M. Cs. Leiwerr Flores Flores
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
SECRETARIO


Ing. M. Sc. Francisco Fernando Aguirre de los Ríos
VOCAL


Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado
ASESOR

DEDICATORIA

Este trabajo primeramente se lo dedico a Dios por brindarme la salud y las fuerzas cada día para poder continuar.

También se lo dedicado a mis padres, a mis hermanos y demás familiares que día a día contribuyeron con su apoyo emocional para poder realizar mi proyecto de investigación.

Salomón

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco infinitamente a Dios por darme fortaleza y sabiduría para poder lograr con buen desempeño mi proyecto de investigación.

A mis padres por contribuir con su apoyo incondicional con sus enseñanzas y valores brindados durante todo el desarrollo de mi investigación.

A mis hermanos por ser mi motivación del día a día para seguir adelante y lograr cumplir mis metas.

A mis demás familiares y amigos quienes estuvieron presentes con sus consejos para motivarme y seguir adelante durante todo el proceso de inicio a fin de este proyecto de investigación.

Al Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado por compartir sus conocimientos y apoyo como asesor durante todo el desarrollo de esta investigación.

Mil gracias a todos Uds.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Antecedentes de la investigación	13
2.2. Bases teóricas	16
2.2.1. Bosques de neblina	16
2.2.2. <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	16
2.2.3. Nicho ecológico	19
2.2.4. Teledetección	19
2.2.5. Imágenes satelitales	19
2.2.6. Tipos de imágenes satelitales	20
2.2.7. Firmas espectrales	21
2.2.8. Comportamientos espectrales de la vegetación	21
2.3. Conceptos básicos	22
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	23
3.1. Ubicación de la investigación	23
3.1.1. Ubicación	23
3.1.2. Características del área de estudio	24

3.2. Tipo y diseño de la investigación	25
3.3. Materiales y equipos	25
3.4. Matriz de operacionalización de variables	25
3.5. Unidad de análisis	26
3.6. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos	26
3.7. Validación (por expertos) y prueba de confiabilidad de los instrumentos	27
3.8. Procedimiento	27
3.9. Presentación de la información	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. Resultados	29
4.1.1. Zonificación del ACM Bosque de Huamantanga	31
4.1.2. Zonificación de la especie <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	33
4.1.3. Validación de la zonificación de <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don con firmas espectrales	35
4.1.4. Validación en campo	37
4.2. Discusión	39
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y DISCUSIONES	41
5.1. Conclusiones	41
5.2. Recomendaciones	42
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
CAPÍTULO VII. ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos	26
Tabla 2.	Detalles de la imagen satelital empleada	28
Tabla 3.	Zonificación de <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	33
Tabla 4.	Valor de las firmas espectrales de <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	36
Tabla 5.	Estadística descriptiva de las firmas espectrales de especie <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	37
Tabla 6.	Puntos de validación en campo	38
Tabla 7.	Matriz de confusión de la Zonificación del ACM Bosque de Huamantanga	47
Tabla 8.	Matriz de confusión de la Zonificación de la especie <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de ubicación del área de estudio	23
Figura 2.	Área de las clases de cobertura y uso de suelo del ACM Bosque de Huamantanga	30
Figura 3.	Zonificación del ACM Bosque de Huamantanga	31
Figura 4.	Zonificación de la especie <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don en el ACM Bosque de Huamantanga	34
Figura 5.	Firmas espectrales de <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	36

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la distribución espacial con imágenes satelitales de *Podocarpus oleifolius* D. Don en el Área de Conservación Municipal bosque Huamantanga, Jaén-Cajamarca. La investigación desarrollada fue de tipo descriptiva no experimental, en la cual se realizó la clasificación supervisada de la cobertura y uso del suelo del ACM Bosque de Huamantanga y de la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don. La validación de cobertura y uso del suelo se realizó mediante el Índice Kappa y la validación de la zonificación de *Podocarpus oleifolius* D. Don se hizo mediante firmas espectrales, validadas mediante estadística descriptiva y el análisis del coeficiente de variación. Los resultados indican que el ACM Bosque de Huamantanga presenta 4 tipos de cobertura y uso de suelo de las cuales la cobertura Bosque es la que tiene la mayor extensión territorial ocupando el 93.72 % del territorio total; así mismo, mediante la zonificación de la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don obtuvo 41.24 ha representado el 1.08 % del territorio total, la validación obtuvo una confiabilidad del 94 y 95 % del Índice Kappa para las dos clasificaciones realizadas y la validación de la zonificación de la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don el cual fue evaluado mediante el coeficiente de variación cuyo valor fue menor a 1, indicando una alta confiabilidad de los resultados obtenidos.

Palabras clave: Teledetección, firmas espectrales, saucecillo, zonificación.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the spatial distribution with satellite images of *Podocarpus oleifolius* D. Don in the Huamantanga Forest Municipal Conservation Area, Jaén-Cajamarca. The research carried out was of a non-experimental descriptive type, in which the supervised classification of the cover and land use of the ACM Bosque de Huamantanga and the species *Podocarpus oleifolius* D. Don was carried out. The validation of coverage and land use was carried out by means of the Kappa index and the validation of the zoning of *Podocarpus oleifolius* D. Don was done by means of spectral signatures, validated by means of descriptive statistics and the analysis of the coefficient of variation. The results indicate that the ACM Bosque de Huamantanga presents 4 types of coverage and land use of which the Forest coverage is the one with the largest territorial extension, occupying 93.72% of the total territory; likewise, through the zoning of the species *Podocarpus oleifolius* D. Don obtained 41.24 ha of the total territory, the validation obtained a reliability of 94 and 95 % of the Kappa index for the two classifications made and the validation of the zoning of the species *Podocarpus oleifolius* D. Don was evaluated using the coefficient of variation whose value was less than 1, indicating a high reliability of the results obtained.

Keywords: Remote sensing, spectral signatures, saucesillo, zoning.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La biodiversidad es un recurso con importantes valores ecológicos, económicos y estéticos y está siendo amenazada por la continua presión sobre los ecosistemas terrestres y marinos, su distribución espacial depende de factores de diversa índole que abarcan escalas espaciales y temporales muy distintas, desde los globales hasta locales; el interés por crear herramientas para la gestión y conservación de los recursos biológicos, plantea la necesidad de desarrollar una teoría general sobre la biodiversidad y su distribución espacial (Nogués, 2003, p.67). Comprender la distribución de las especies arbóreas es esencial para la gestión sostenible de los paisajes forestales y la conservación de la biodiversidad (Austin, 2002, p. 101).

Las aplicaciones prácticas de la ecología en la planificación de la conservación, la evaluación de ecosistemas y la biodiversidad dependen en gran medida de predicciones espaciales muy precisas de los procesos ecológicos y los patrones espaciales (Miller, et al., 2007, p. 2150).

La dispersión espacial de los individuos es un principio central en teoría ecológica, por ejemplo, como determinante de patrones de especies diversidad, interacciones competitivas y relaciones especies-área (Perry et al., 2008, p. 54). El conocimiento de la distribución espacial de los individuos en el bosque ayuda a obtener mayores informaciones para mejorar las técnicas de manejo, además de ayudar en procesos de muestreo y monitoreo de especies en áreas de conservación (Anjos, 1998, p. 165). La predicción espacial de la distribución de especies a partir de datos de encuestas es un componente importante de la planificación de la conservación (Austin, 2002; Scott et al., 2002, p. 115).

En el Área de Conservación Municipal Bosque Huamantanga existen un sin número de especies nativas y cumplen un rol fundamental en la cadena trófica de los ecosistemas en los que se desarrollan, ya que constituyen el alimento de ciertos animales y son necesarias para mantener el equilibrio ecológico, regulan el clima y aportan a la generación de recursos hídricos; por lo que aquí radica la necesidad de conservar y evitar que las zonas vulnerables

desaparezcan; sin embargo es muy difícil conocer la dispersión espacial de las especies que conforman la parte arbórea de éste ecosistema, dentro de las cuales se encuentra el *Podocarpus oleifolius* D. Don, la cual es una especie que se desconoce su dispersión espacial dentro de éste bosque. En este contexto es que surge la problemática de querer conocer ¿Cómo es la distribución espacial de *Podocarpus oleifolius* D. Don en el Área de Conservación Municipal bosque de Huamantanga, Jaén-Cajamarca?; por lo tanto, en la presente investigación se plantea como objetivo principal: Determinar la distribución espacial con imágenes satelitales de *Podocarpus oleifolius* D. Don en el Área de Conservación Municipal bosque Huamantanga, Jaén-Cajamarca. Y como específicos de esta investigación son los siguientes:

- Generar un mapa de cobertura general del Área de Conservación Municipal Bosque de Huamantanga, Jaén – Cajamarca.
- Generar un mapa de distribución espacial de *Podocarpus oleifolius* D. Don en el Área de Conservación Municipal Bosque de Huamantanga, Jaén – Cajamarca.
- validar la distribución espacial de *Podocarpus oleifolius* D. Don empleando firmas espectrales en el Área de Conservación Municipal Bosque de Huamantanga, Jaén – Cajamarca.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

Ruiz et al. (2013, p. 2) realizaron un estudio que tuvo como finalidad analizar la dispersión espacial de seis especies forestales (*Pinus sylvestris*, *Pinus pinaster*, *Pinus nigra*, *Quercus ilex*, *Quercus pyrenaica* y *Castanea sativa*) y comprobar el efecto de la escala en función de tres atributos espaciales (Principal, Acompañante y Presencia). El análisis espacial de la distribución, se realizó empleando un Sistema de Información Geográfica (SIG), que permitió modificar y adaptar la base de datos del Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN2) mediante el Programa ArcGis 9.3 y crear una nueva base de datos específica a las necesidades del estudio. El análisis de dispersión espacial se realizó para los tres atributos, y a diferentes escalas (nivel nacional, nivel autonómico, nivel provincial y a nivel comarcal), para comprobar el efecto de la escala sobre los tres atributos. La distribución espacial varía en función a la superficie del área de estudio: nacional, regional, provincial y comarcal. A nivel nacional es más habitual que la distribución de las especies estudiadas sea agrupada, en cambio, a nivel comarcal lo más frecuente es que la distribución sea aleatoria o sistemática. Cabe destacar que existen especies forestales con diferentes parámetros ecológicos y pueden tener una distribución muy similar.

Carrillo (2015, p. 12) en su estudio determinó la firma espectral de *Gynoxys* sp. para la clasificación de imágenes satelitales en el bosque de ceja andina en la parroquia Achupallas, cantón Alausi, provincia de Chimborazo; para lo cual se utilizó un espectro-radiómetro de firmas espectrales Fiel Spec 4 Widerange, el software ViewSpec Pro de ASD y una imagen satelital rapideye. Con el fin de obtener la curva de reflectancia “Firma Espectral” se tomó muestras durante tres días, georreferenciando el sitio con un GPS de alta precisión, además se elaboró los metadatos de la especie en estado latizal a diferentes horas 10:00; 12:00 y 14:00, tomando en cuenta que en este momento la especie recibe la mayor cantidad de radiación solar, los niveles de reflectancia se analizaron a partir de un diseño completamente al azar, para la imagen se tomó puntos de control ubicando parches de la vegetación en estudio de 5 x 5 m; finalizada la toma de los espectros en campo, visualizamos las firmas espectrales del radiómetro y las capturadas en los puntos de control; con el software SAMS para su análisis, determinando un valor medio de 0,0174 de porcentaje de reflectancia en los 350 nm del

espectro electromagnético, que representa la clorofila, además no existió niveles de significancia entre los intervalos de las muestras y las horas de monitoreo cuando se tiene un día con condiciones óptima para el espectro-radiómetro y una firma representativa a partir de la imagen. Esta información se utilizará para obtener una librería de firmas espectrales y zonificar la especie en áreas similares utilizando teledetección.

Jiménez (2016, p. 3) en su estudio obtuvo datos de reflectividad espectral de cinco especies vegetales ubicadas en la Microcuenca del Río Pomacocha, localizado en Chimborazo – Ecuador. Usaron un equipo radiométrico para obtener medidas de reflectividad y mediante la interacción electromagnética entre la luz solar y la materia, se obtuvieron las firmas espectrales de cada una de las especies. A partir de los resultados menciona que las bibliotecas espectrales aportan datos útiles más allá de cartografía de la vegetación, proporciona una referencia para comparar la fisiología, la condición de la planta, estado de nutrientes, estrés hídrico, plagas, fenología de la planta, etc., a fin de proporcionar información que permita aplicar metodologías para mitigar impactos negativos en un ecosistema con el monitoreo de los mismos y de esta manera formar parte de una contribución significativa a la conservación y protección de los páramos del Ecuador y otros ecosistemas terrestres.

Barreto (2021, p. 3) realizó en su estudio, la aproximación de identificación de parches de Retamo espinoso (*Ulex europeus*) presentes en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá, haciendo uso de las imágenes multiespectrales de adquisición gratuita como los son las proporcionadas por la misión Copernicus Sentinel2 de la European Space Agency – ESA. Como resultados, el autor indicó que la firma espectral arroja que el comportamiento de la reflectancia para esta especie presenta los mayores valores en las longitudes de onda correspondientes al infrarrojo cercano, que para imágenes Sentinel-2 se encuentran entre las bandas 4 y 8A, pero que a su vez muestra los picos más representativos en las bandas 7 (IFC-783 nm) y en la banda 8A (IFC-865 nm). Concluye que por medio del desarrollo de una firma espectral teniendo como insumo imágenes satelitales Sentinel-2, se logró realizar una aproximación de la distribución espacial de retamo espinoso (*Ulex europeus*) presente en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá, debido a que esta especie vegetativa presenta un comportamiento de agrupación en parches densos que permite su identificación.

Córdova (2018, p. 88) en su estudio determinó la firma espectral del estrato herbazal – arbustal del páramo en la subcuenca del río Chambo, provincia de Chimborazo; utilizando el espectro radiómetro de firmas espectrales Field Spect 4 Widerenge 350 – 2500 nm, utilizando

una metodología nueva para la obtención del espectro electromagnético de un estrato completo en donde se separó dicho estrato en 4 localidades y se dividió a cada una en dos alturas que corresponde a los rangos altitudinales de 3600 a 4100 y 4100 a 4600 m s.n.m., en cada una de estas localidades y rangos se establecieron 3 transectos por cada altura y cada localidad donde se obtuvieron las firmas espectrales en 5 puntos dentro del transecto a manera de Zig zag y se realizó el inventario florístico del estrato herbazal y el estrato arbustal, con la ayuda de imágenes satelitales landsat 7 se obtuvo el NDVI del estrato que se usó para la clasificación de la presencia de vegetación en el estrato y comparar el NDVI de las firmas espectrales con el NDVI de la imagen satelital. Una vez obtenidas las firmas espectrales se las corrigió y se obtuvo una media general que representa la firma espectral correspondiente para el estrato herbazal – arbustal del páramo, la misma tiene un nivel de reflectancia del 60,05 % a los 1100 nm del espectro electromagnético que es donde la firma alcanza su pico más alto, así mismo se obtuvo una media general de la firma espectral para el rango altitudinal de 3600 m s. n. m. – 4100 m s. n. m. y una media general de la firma espectral para el rango 4100 a 4600 m. s. n. m. las cuales fueron comparadas para determinar que existe una variación en los niveles de reflectancia del 0.4 % por cada 500 m de altura al momento de realizar la captura de las firmas espectrales.

Gambona (2021, P. 14) realizó un análisis de la firma espectral en la especie *Polylepis reticulata* con imágenes Sentinel 2 en el bosque Sachafilo, Parroquia Pasa, cantón Ambato, Provincia de Tungurahua para lo cual se georreferenció el bosque y se llevaron los datos al software ArcGis 10.8; se tomó dos escenas satelitales correspondientes a la época húmeda y época seca; se realizó un muestreo aleatorio estratificado y posteriormente la validación de los datos a través de la matriz de confusión para valorar este modelo de clasificación; con el muestro se adquirió los valores de reflectancia y con ello obtener la firma representativa de la especie, así también de la otra cobertura que habitan en el bosque en las dos épocas del año; además se determinó de forma visual la cobertura de la especie mediante el índice SAVI. Las firmas obtenidas de la especie en las dos épocas del año no presentaron una alta variación en la tendencia de la longitud de onda, pero la firma de la estación seca presentó una pequeña disminución en la reflectancia; en cuanto a la firma de la cobertura herbácea en comparación con la firma de la especie se dio una tendencia similar, pero con una alta variación en la reflectividad; en cuanto a la cobertura de la especie se obtuvo una vegetación de densidad media. La variación de reflectancia en la especie puede deberse a factores como ángulos del sol, sombras y condiciones atmosféricas mientras que la variación de la reflectancia que

presenta la cobertura herbácea puede ser debido a la presencia de plagas, temperatura ambiente, estado fenológico e inclusive actividades como floración y germinación. Se recomienda que se sigan implementados estudios similares en otras especies forestales para así poder determinar sus afectaciones y buscar alternativas para poder disminuir su impacto.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Bosques de neblina

Los bosques de neblina es un hábitat atípico de las montañas tropicales que no han recibido suficiente atención por sus excepcionales concentraciones de biodiversidad y fuentes de agua dulce. La Agenda del Bosque Nublado indica que, estos bosques no constituyen más del 2,5 % de los bosques tropicales del mundo, sin embargo; albergan un número desproporcionadamente grande de especies del mundo. Esta riqueza de biodiversidad incluye especies silvestres y las fuentes de diversidad genética de muchos de nuestros cultivos básicos, tales como frijoles, papas, entre otros (Bubb et al., 2004, p. 3).

El bosque de neblina se identifica por la presencia de lluvia horizontal, normalmente la humedad permanece en la atmósfera y resulta que la evapotranspiración casi nunca excede la precipitación pluvial (Webster, 1995); citado por (Criollo, 2019, p. 22).

Las provincias de Jaén y San Ignacio, a través de la Cordillera del Cóndor, los valles y depresiones del río Marañón y los ríos Chinchipe y Tabaconas, presentan la distribución de muchas especies propias de la Amazonía formando ecosistemas de tipo bosques montanos complejos llamados bosques de neblina, en los cuales se desarrolla una cuantiosa vegetación de árboles, arbustos, lianas, parásitas, epifitas y orquídeas y donde se encuentra una fauna muy diversa, con gran cantidad de especies endémicas (Gobierno Regional de Cajamarca, 2010, p. 26).

2.2.2. *Podocarpus oleifolius* D. Don

Taxonomía

Reino: Plantae

División: Gimnospermae

Clase: Equisetopsida

Subclase: Pinidae

Orden: Podocarpaceales

Familia: Podocarpaceae

Género: *Podocarpus*

Especie: *Podocarpus oleifolius* D. Don

Descripción botánica

Árboles dioicos que alcanzan los 40 m de altura y 1 m de diámetro. Tronco asimétrico, a menudo con brotes provenientes de yemas preventivas o durmientes. Corteza pardo amarillenta, agrietada longitudinalmente. Copa grande irregular. Hojas densas. Yemas vegetativas globosas o ampliamente ovoides, 3 a 9 mm, escamas exteriores envuelven las más internas, en general con ápice agudo o ligeramente agudo, con menor frecuencia obtusas. Hojas simples de distribución espiralada, coriáceas o subcoriáceas, elípticas, oblongolanceoladas, hasta lanceoladas agudas, gradualmente estrechas hacia el ápice, atenuadas y subsésiles hacia la base, de 2,2 a 14 cm de longitud por 6 a 16 mm de ancho, con un canal bien marcado y angosto por encima de la vena media, ancho, pero no muy prominente: en la cara inferior, margen ligeramente revuelto. Conos masculinos solitarios, axilares, de 8,2 a 13 mm de longitud por 5 a 9 mm de diámetro, subsésiles con pedúnculos de 4 a 5 mm de longitud en la base con escamas imbricadas, redondeadas, carnosas y espesas, esporófilos de distribución espiralada, puntiagudos, cuneiformes, cada saco de polen contiene entre 29 y 30 granos de polen. Cono femenino solitario, axilar, con pedúnculo de 4 a 12 mm de longitud por 1 a 2 mm de diámetro, receptáculo de 6 a 9 mm de longitud, con 2 o 3 escamas desiguales, carnosas, soldadas pero libres en la región distal, monospermas; el receptáculo maduro se torna de un color purpúreo o rojizo. El fruto es una drupa; su semilla es globosa o ligeramente ovoide, de 6 a 10 mm de longitud por 4 a 6 mm de ancho, con diminuta cresta lisa. En esta especie es frecuente que el estróbilo masculino no tenga pedúnculo o que el estróbilo femenino sea sésil, característica que es utilizada para la diferenciación con la variedad en (Criollo, 2019, p. 19).

Aspectos climáticos

Podocarpus oleifolius D. Don ocupa las siguientes zonas de vida: bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB), bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB), bosque húmedo Montano (bh-M) Los cuáles tienen precipitaciones promedias anuales entre 1000 a 2000 mm y 2000 a 4000 mm y con temperaturas medias anuales de 12 a 18 °). Las áreas donde se asocian los Podocarpus se caracterizan por la humedad relativa alta y la notable presencia de epifitas, la mayoría de los árboles están cubiertos por musgos, algas, líquenes, bromelias, orquídeas y helechos (Criollo, 2019, p. 14).

Fisiografía y suelos

Los Podocarpus se asocian con topografías accidentadas. Las podocarpáceas se distinguen por la tolerancia a la pobreza del suelo, el *Podocarpus oleifolius* D. Don crece en suelos casi siempre pobres, ácidos superficiales y a menudo pedregosos, la distribución no exclusiva de las podocarpáceas en una sola geoforma o condición topográfica, hace presumir que estas especies dependen poco de la calidad química y de las características físicas del suelo. (Criollo, 2019, p. 15).

Distribución

Las podocarpáceas son especies con distribución natural preferentemente en el hemisferio austral. En cuanto a la especie *Podocarpus oleifolius*, esta se extiende desde el sur de México (Chiapas y Oaxaca), hasta el norte de Perú y Bolivia, a alturas que van desde los 1500 a los 2800 m s. n. m. (Criollo, 2019, p. 14).

En Colombia se encuentra entre 1900 y 3700 m s. n. m.; en los herbarios nacionales se han depositado muestras botánicas procedentes de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cauca, Cesar, Cundinamarca, Chocó, Magdalena, Nariño, Norte de Santander, Tolima y Valle (Torres et al., 2016). Para el *Podocarpus oleifolius* var. *macrostachyus* éste se presenta en solo en Colombia y Venezuela generalmente entre 1850 y 3050 m s. n. m. (Torres et al., 2016, p. 32).

2.2.3. Nicho ecológico

Posición de una especie (individuo, población) en el espacio, en el tiempo y sus relaciones funcionales con la comunidad que ocupa ese hábitat (Jaksic, 2007, p. 281); la mínima unidad de distribución espacial a la cual la especie está ligada por su estructura y limitaciones instintivas.

Soberón et al. (2014, p. 64) señala que, el nicho ecológico puede ser categorizado en dos niveles: nicho fundamental y nicho realizado. El nicho fundamental se refiere al conjunto de condiciones scenopoéticas o condiciones ambientales que permiten que una especie sobreviva, mientras que el nicho realizado es el subconjunto restante del nicho fundamental, después de su interacción interespecífica.

2.2.4. Teledetección

La teledetección es la ciencia que permite obtener datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La relación electromagnética entre el terreno y el sensor, genera datos que posteriormente son procesados para adquirir información interpretable de la Tierra (IGN, 2015, p. 2). Es la recopilación de información de la superficie terrestre sin entrar en contacto con ella, actualmente se realiza mediante sensores a bordo de satélites aerotransportados, dichos sensores miden la cantidad de radiación electromagnética que refleja la superficie de la tierra y los objetos que hay en ella (Sánchez, 2012, p. 22). Así mismo, la teledetección es la técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material. Para que ello sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos observados; situados sobre la superficie terrestre, marina o en la atmósfera; y un sensor situado en una plataforma (satélite, avión, etc.). por otro lado, los sensores activos generan su propia fuente de energía, como los sensores de radar. Las imágenes satelitales utilizadas en este trabajo forman parte de este segundo grupo (Bognanni, 2010, p. 80).

2.2.5. Imágenes satelitales

Ávila (2021, p. 45) define como la representación visual de la información satelital obtenida de los sensores remotos, estos datos son reflejados por la superficie de la tierra que captura un sensor montado en un satélite artificial. Por lo que dichos datos son enviados a una estación terrenal en donde se procesan y convierten en imágenes, que nos permite ampliar nuestros conocimientos de las características de la tierra en diferentes escalas espaciales.

2.2.6. Tipos de imágenes satelitales

Sánchez (2012, p. 46) menciona que, las imágenes satelitales se dividen en tres tipos, las cuales son:

Imágenes pancromáticas

Las imágenes pancromáticas se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia de energía en una amplia parte del espectro electromagnético. Para los sensores pancromáticos más modernos, esta única banda suele abarcar la parte visible y de infrarrojo cercano del espectro. Los datos pancromáticos se representan por medio de imágenes en blanco y negro. Con las imágenes pancromáticas se puede localizar, identificar y medir accidentes superficiales y objetos principalmente por su apariencia física, es decir por su forma, tamaño y orientación; además identifica elementos generados por la acción del hombre como edificios, carreteras, veredas, infraestructura urbana, vehículos, etc. Mediante las imágenes pancromáticas se pueden actualizar la información física de mapas existentes, delimitar zonas entre tierra y agua, cuantificar el crecimiento de desarrollo urbano, generar modelos digitales de elevación de gran exactitud (Sánchez, 2012, p. 46).

Imágenes multiespectrales

Las imágenes multiespectrales se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia en muchas bandas. Por ejemplo, un conjunto de detectores puede medir energía roja reflejada dentro de la parte visible del espectro mientras que otro conjunto mide la energía del infrarrojo cercano. Es posible incluso que dos series de detectores midan la energía en dos partes diferentes de la misma longitud de onda. Estos distintos valores de reflectancia se combinan para crear imágenes de color. Los satélites de teledetección multiespectrales de hoy en día miden la Reflectancia simultáneamente en un número de bandas distintas que pueden ir de tres a catorce. Gracias a las imágenes multiespectrales se puede distinguir las rocas superficiales y el suelo por su composición y consolidación, delimitar terrenos pantanosos, estimar la profundidad del agua en zonas litorales, es decir se alcanza un mayor detalle con las imágenes multiespectrales (Sánchez, 2012, p. 46).

Imágenes Hiperespectrales

Las imágenes Hiperespectrales se refieren a un sensor espectral que mide la reflectancia en muchas bandas, con frecuencia cientos o miles. La teoría en lo que se apoya la teledetección hiperespectral es que la medida de la reflectancia en numerosas franjas estrechas del espectro permite detectar características y diferencias muy sutiles entre los rasgos de la superficie, especialmente en lo que se refiere a vegetación, suelo y rocas. Cabe señalar que las imágenes Hiperespectrales se parecen a fotografías (Sánchez, 2012, p. 46).

2.2.7. Firmas espectrales

Se refiere a firma espectral de la siguiente manera: “Si en un gráfico representamos la longitud de onda en el eje de las X y la reflectividad en el eje de las Y podremos observar que cada cubierta se ve representada por una curva característica, que con su singularidad nos da una idea de rúbricas, que personalizan su comportamiento espectral frente a otras cubiertas, a dichas curvas se las denomina espectros, firmas o firmas espectrales” (Hernández y Montaner, 2015, p. 12).

Una vez que la energía electromagnética llega a la superficie terrestre, interactúa con cada tipo de material ya sea por reflexión, absorción o transmisión, de acuerdo a un patrón de respuesta espectral particular. Este comportamiento distintivo de cada tipo de material es aprovechado en procesos de clasificación de imágenes, siendo común referirse a él como “firma espectral”. La firma espectral se define como el comportamiento diferencial que presenta la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) desde algún tipo de superficie u objeto terrestre en los distintos rangos del espectro electromagnético (Hernández y Montaner, 2015, p. 12).

2.2.8. Comportamientos espectrales de la vegetación

Alonso et al. (1999, p. 28) mencionan que, en la vegetación el nivel de reflectancia se ve modificado principalmente por diversos factores como: tipos de pigmentos, estructura de las hojas y el contenido de humedad. Los tipos de pigmentos afectan a las longitudes de ondas del espectro visible (0,4- 0,7 m) donde el 65 % es absorbido por la Clorofila, el 29 % por la Xantófila y el 6 % por Carotenos. La estructura de las hojas a su vez aumenta la reflectividad en la zona del infrarrojo cercano (0,8-1,1 m). Finalmente, entre los rangos 1,4 m-1,8 m (infrarrojo medio) la reflectividad depende del contenido de agua entre y dentro de las células,

en condiciones de hidratación normales ambos valles son profundos y marcados, en condiciones de estrés hídrico estos son menos marcados aumentando su reflectividad.

La caracterización espectral de cubiertas vegetales es una de las áreas más interesantes en teledetección, aunque aún ofrece grandes dificultades, ya que podemos observar factores que influyen en la radiancia final medida por el sensor (Chuvienco, 2008, p. 148).

El comportamiento de la reflectividad de una hoja será diferente con respecto a cubiertas vegetales, que vendría a ser el conjunto de hojas, en diferente geometría, unas complejas o y no tan complejas, suelo, sombras, etc., por lo que se vuelve arriesgado hablar de respuestas espectrales típicas si no se considera todos estos factores (Sobrino, 2001, p. 46).

2.3. Conceptos básicos

Datos ráster: define unidades artificiales, mediante la superposición de una malla regular sobre el área de estudio. El espacio que comprende cada una de estas celdas constituye una unidad de observación (pixel) para la que se recoge la información temática (Rodríguez-Pérez et al., 2013, p. 151).

Dato vectorial: contemplan la existencia de unidades individualizadas en el espacio geográfico que tienen determinadas propiedades comunes y representan unidades que realmente existen en el área de estudio. Estas pueden ser naturales (topográficas, geomorfológicas, cursos de agua, etc.) o artificiales (edificaciones, infraestructuras, delimitaciones administrativas, etc.). La representación de estas unidades se realiza con elementos geométricos clásicos (puntos, líneas y polígonos), empleados en la cartografía tradicional y cuya diferenciación es puramente topológica (Rodríguez-Pérez et al., 2013, p. 151).

Fotointerpretación: a actividad de examinar las imágenes fotográficas de los objetos en el terreno a fin de identificarlos y entender su significado para extraer información pertinente a varias disciplinas (Domingo, 2008, p. 19).

Longitud de onda: es la distancia entre dos máximos consecutivos de la onda. Se mide en unidades de distancia: por ejemplo metros (m) o cualquiera de sus submúltiplos como un ángstrom ($1\text{\AA} = 10^{-10}$ m) (Aparici, 2009, p. 182).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

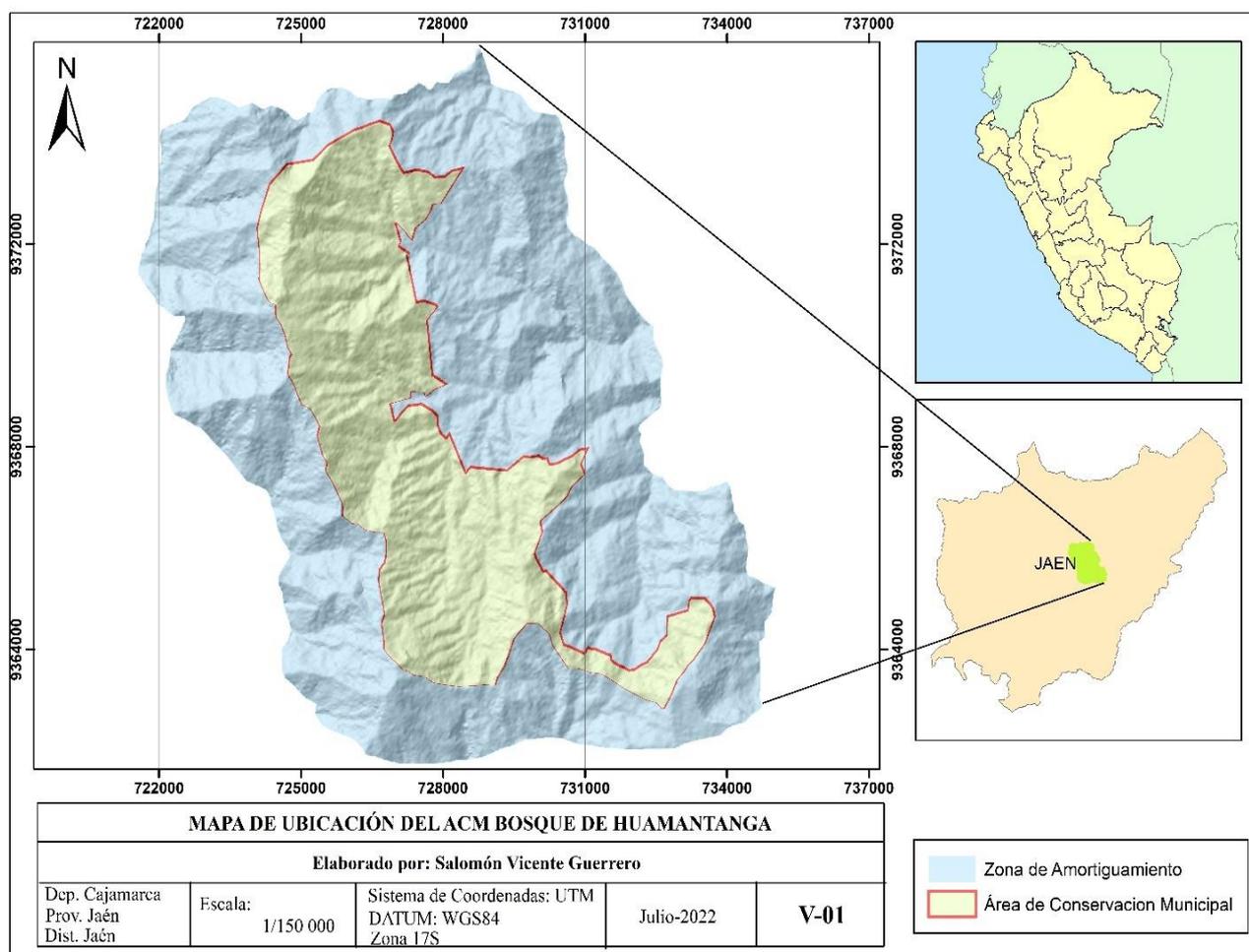
3.1. Ubicación de la investigación

3.1.1. Ubicación

La investigación se desarrolló en el Área de Conservación Municipal Bosque Huamantanga en la Provincia de Jaén, este bosque presenta una extensión de 3860 hectáreas (Figura 1). según la clasificación de Holdridge presenta dos zonas de vida: el Bosque muy húmedo Montano Bajo el cual tiene temperaturas que varían de 12 °C a 17 °C, y el Bosque Húmedo Premontano Tropical con temperaturas que varían de 18°C a 25 °C (Municipalidad Provincial de Jaén, 2010, p. 29).

Figura 1

Mapa de ubicación del ACM Bosque de Huamantanga



3.1.2. Características del área de estudio

- Características generales

El ACM – «Bosque de Huamantanga», se ubica en el distrito y provincia de Jaén; en la naciente de la cuenca del río Amojú, el cual garantiza el abastecimiento de agua para 120 mil habitantes de las localidades de Jaén y Bellavista; principalmente para consumo humano y agrícola (Municipalidad Provincial de Jaén, 2010 p. 19).

- Características físicas

En el “Bosque de Huamantanga” se encuentran la naciente de las quebradas: La Rinconada y San José de la Alianza, que junto a la quebrada La Cascarilla y El Coto forman la Quebrada Amojú a la altura del Caserío Miraflores. El caudal promedio de 2.00 m³/seg (Municipalidad Provincial de Jaén, 2010 p. 25).

- Características bioclimáticas

Las áreas boscosas corresponden a las siguientes condiciones bioclimáticas: Bosque muy húmedo Montano Bajo Tropical (Bmh – MBT) con temperaturas de 12 a 17 °C, precipitación de 3000 mm y un escurrimiento de 1200 mm medio anual. Bosque Húmedo Premontano Tropical con temperatura de 18 a 25 °C, 750 mm de precipitación y 158 mm de escurrimiento medio anual, que corresponde a la mayor zona de intervención (Municipalidad Provincial de Jaén, 2010 p. 20).

- Flora

En evaluaciones realizadas en la zona se han identificado diferentes especies siendo las más importantes las siguientes especies: *Prumnopitys harsmsiana*, *Nageia rospigliosii*, *Podocarpus oleifolius*, *Nectrandia arnotiana*, *Ficus casipiensis*, *Cedrela odorata*, *Ocotea* sp, entre otros más.

- Fauna

En base a la información reportada por los lugareños, se ha podido construir la presencia de las especies de fauna siguientes: *Cryptotis* sp, *Tayassu tajacu*, *Dasyprocta* sp., *Sylvilagus brasiliensis*, *Tremarctos ornatus*, *Sciurus ignitus*, *Odocoileus virginianus*, entre otros más.

3.2. Tipo y diseño de investigación

Tipo: Descriptivo

Diseño: No experimental

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales

Material biológico: árboles de *Podocarpus oleifolius* D. Don.

Materiales de campo: wincha de 20 m, cinta métrica, tijera de podar, paja rafia, jalones de madera, prensa de muestras botánicas

Materiales de gabinete: Base de datos ZEE Cajamarca, Carta nacional Escala 1:100 000, Papel bond A4 de 80 gramos, lapiceros.

3.3.2. Equipos

Equipos de campo: GPS Garmin 64s, brújula, cámara fotográfica.

Equipos de gabinete: Computadora, impresora, scanner, calculadora.

Software: Microsoft Office 16, QGIS 3.18.

3.4. Matriz de operacionalización de variables

Variables	Operacionalización	Indicador	Escala de medición
Dispersión espacial de <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	Imagen satelital	Coefficiente de variación	Firmas espectrales homogéneas
Clases de cobertura	Clasificación supervisada (Algoritmo Máxima verosimilitud)	Índice Kappa	0.81 – 1.00 Excelente 0.61 – 0.80 Buena 0.41 – 0.60 Moderado 0.21 – 0.40 Ligero < 0.20 Mala
Especie <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	Clasificación supervisada (Algoritmo Máxima verosimilitud)	Firmas espectrales	Coefficiente de variación ≤ 1

3.5. Unidad de análisis

Población: Árboles de *Podocarpus oleifolius* D. Don

Muestra: la muestra fue determinada según la metodología propuesta por (Borja, 2016, p. 18) la cual refiere que las muestras son denominadas “puntos de control” que son cuadrantes de 5 x 5 m de poblaciones de *Podocarpus oleifolius* D. Don; el número muestral estará conformado por 30 puntos de control seleccionados y colectados de forma aleatoria en las áreas boscosas de los caseríos San Luis del Nuevo Retiro, San José del Alianza, La Rinconada Lajeña siendo 10 puntos de control por cada lugar.

3.6. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Fuentes: Documentales, imagen satelital.

Técnicas: Recolección de puntos de control, geoprocésamiento de imágenes satelitales,

Instrumentos: Guía de recolección de muestras botánicas del SERFOR, QGIS 3.18, ENVI

Tabla 1

Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de información

FUENTES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Documental	Análisis de documentación	Lista de cortejo
Puntos de control	Muestreo de puntos	Metodología de Borja (2016)
Imagen satelital	Geoprocésamiento	ENVI 5.3

3.7. Validación (por expertos) y prueba de confiabilidad de los instrumentos.

El instrumento de recolección de datos empleado en esta investigación fue revisado y avalado por un especialista en el tema a fin de que brinde su criterio y juicio sobre la aplicabilidad e importancia del instrumento en este estudio.

3.8. Procedimiento

3.8.1. Verificación de la existencia de *Podocarpus oleifolius* D. Don en el ámbito de estudio

Mediante una revisión literaria se revisó información documental científica de autores que registran los lugares donde existe la presencia de la especie en el área del ACM Bosque Huamantanga.

3.8.2. Identificación y georreferenciación de *Podocarpus oleifolius* D. Don en el ámbito de estudio

Con la información obtenida en el ítem anterior (3.8.1) nos desplazamos hacia los lugares seleccionados (San Luis del Nuevo Retiro, San José del Alianza y la Rinconada Lajeña) en cada lugar se identificaron los individuos de la especie en estudio y se obtuvo su posición espacial mediante la georreferenciación de cada uno de ellos con ayuda de un GPS.

3.8.3. Colecta de muestras botánicas

Se colectaron muestras botánicas para su identificación taxonómica. La colecta de las muestras botánicas se realizó siguiendo la metodología del SERFOR (2020, p. 52), según esto las muestras fueron codificadas, prensadas y guardadas en bolsas de polietileno, para posteriormente ser enviadas a un laboratorio demonológico para su identificación.

3.8.4. Obtención de imagen satelital

Para el desarrollo de la investigación se obtuvo una imagen del satélite Sentinel 2 del año 2019, los detalles se muestran a continuación:

Tabla 2

Detalles de la imagen satelital empleada

Satélite	Sensor	Fecha	Row	Código
Sentinel	2B	2019	068	S2B_MSIL2A_20190731T153629_N0213

3.8.5. Zonificación del área de estudio

Se hizo una zonificación del ACM Bosque Huamantanga con el fin de clasificar los tipos de cobertura que existen e identificar las clases generales de cobertura para (Bosque, pastizal, cultivo agrícolas, etc.), de cada clase (incluyendo la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don), se tomaron puntos de control de cada clase identificada con ayuda de un GPS, los puntos de control comprendieron áreas de 5 x 5 m, para la zonificación se empleó clasificación supervisada, la que fue desenvuelta en el software ENVI 5.3 empleando el algoritmo Máxima verosimilitud. La exactitud de la clasificación supervisada de cada cobertura se validará por medio de la matriz de confusión, conjuntamente con el índice Kappa.

3.8.6. Validación de *Podocarpus oleifolius* D. Don usando firmas espectrales

Se validó la especie a través de firmas espectrales de las áreas que se generaron en la zonificación y el análisis estadístico de los niveles digitales que representan cada una de las bandas en la firma espectral, para esto se empleó la validación realizada por (Borja, 2016, P. 26), consistente en:

Determinación de las firmas espectrales de cada una de las clases obtenidas

De cada una de las clases, se obtuvieron las firmas espectrales y se realizó una comparación gráfica en el software QGIS 3.18, conjuntamente con la obtención de la firma espectral media para la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don.

3.8.7. Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en desarrollar una estadística descriptiva a partir del software QGIS 3.18, para cada banda de la imagen satelital se realizó el análisis de los parámetros estadísticos siguientes: coeficiente de variación, error de muestreo y el error de muestreo relativo, para la validación del análisis de los datos se tomó en cuenta lo propuesto por (Galindo, 2015) citado por Borja (2016, p. 26) quien indica que cuando el coeficiente de

variación es menor o igual a 1 los datos obtenidos en el estudio de las firmas espectrales serán homogéneas o iguales, validándose la clasificación de las áreas que contiene la especie en análisis.

3.9. Presentación de la información

La información obtenida en esta investigación fue presentada empleando estadística descriptiva a partir de lo cual se tabularon los datos en tablas y se graficaron los datos en histogramas, figuras y plotearon resultados cartográficos en mapas a fin de brindar mejor comprensión para el público lector.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

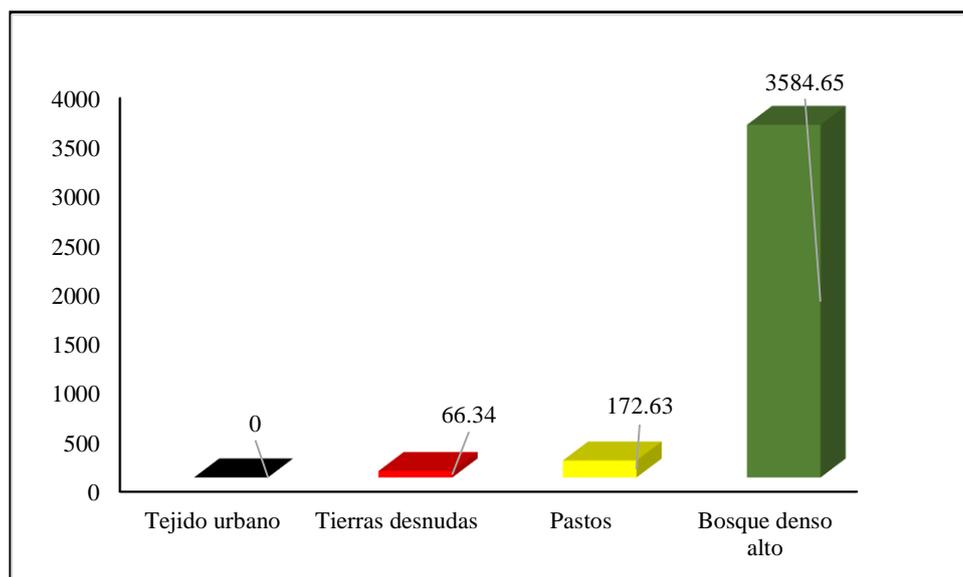
4.1.1. Zonificación del ACM Bosque de Huamantanga.

a. Clases de cobertura y uso de suelo actual del ACM Bosque de Huamantanga

Empleando una imagen satelital proveniente del sensor Sentinel 2 del año 2019, se realizó la zonificación del ACM Bosque de Huamantanga, según la cobertura y uso de suelo actual, para determinar las clases de cada cobertura se procedió a realizar la clasificación supervisada siguiendo lo indicado en la leyenda Corine Land Cover adaptada para Perú, con lo cual se identificaron las clases Bosque denso alto, Pastos, Tierras desnudas y Tejido urbano (Figura 2).

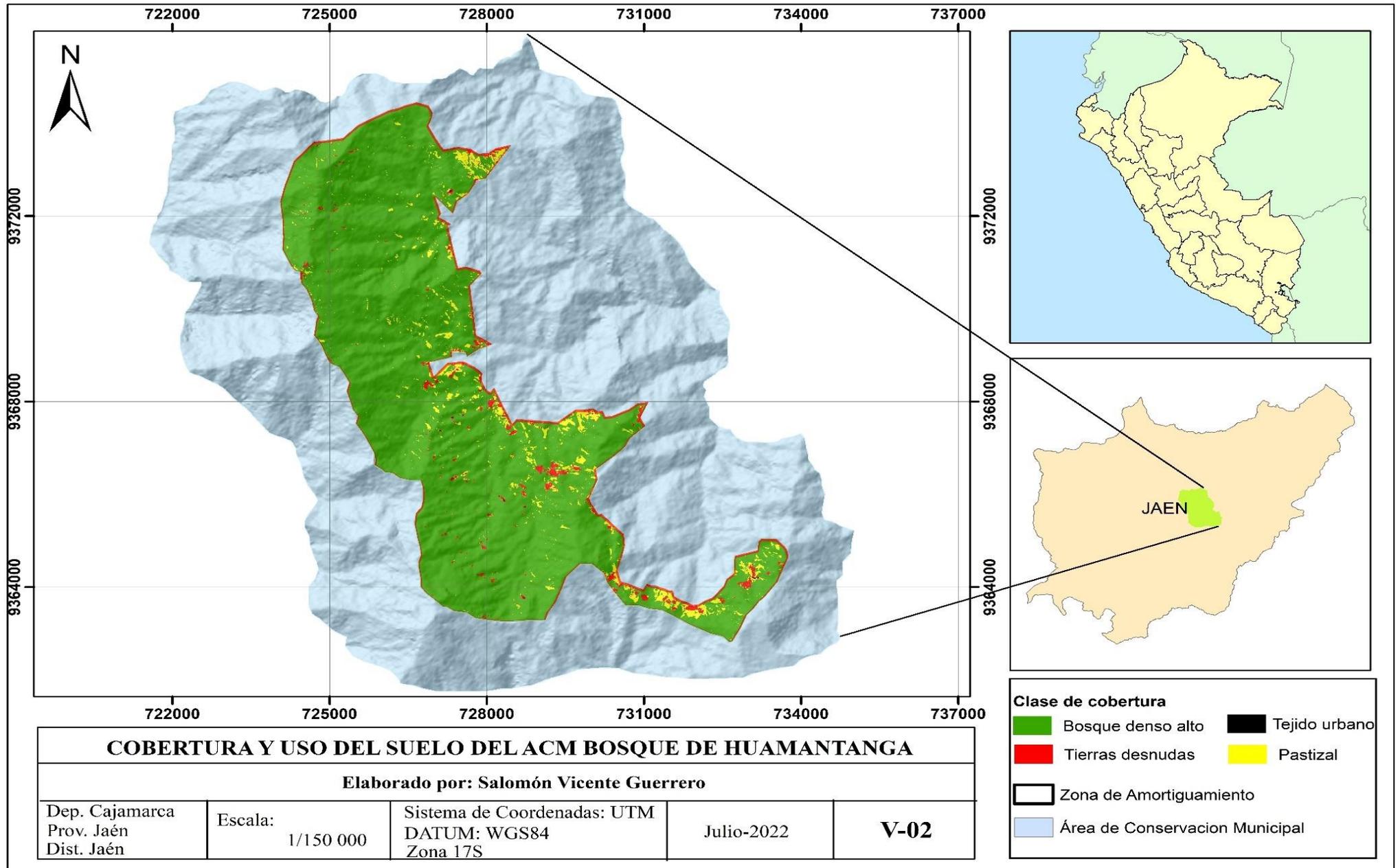
Figura 2

Área de las clases de cobertura y uso de suelo del ACM Bosque de Huamantanga



Se identificaron cuatro clases de cobertura y uso de suelo, la que obtuvo la mayor cantidad de área fue la clase Bosque denso alto con 3584.65 ha y en menor extensión territorial estuvieron las clases Pastos con 172.63 ha, seguido de Tierras desnudas con 66.34 ha y finalmente la clase Tejido urbano fue la que obtuvo la menor extensión territorial con 0 ha.

Figura 3
Zonificación del ACM Bosque de Huamantanga



b. Exactitud de la zonificación del ACM Bosque de Huamantanga

La exactitud de la zonificación del ACM Bosque de Huamantanga (Figura 3) se evaluó mediante la matriz de confusión y la índice Kappa. La matriz de confusión de la zonificación del Bosque de Huamantanga (Anexo 2), arrojó resultados donde la clase que obtuvo la mayor exactitud fue la clase bosque denso alto (Bda) ya que se confundió solo 5 pixel con la clase pastos (Pa) lo cual hace que tenga una exactitud de 99.92 % y 99.88 % de área clasificada; por otra parte, también se puede apreciar que la clase que obtuvo la menor precisión fue la clase pastos (Pa) con 98.55 y 74.45 %.

- **Índice kappa**
- **Cálculo del índice Kappa del año 2020**

$$P_o = \frac{582 + 681 + 204 + 2429}{4005} = 0.9728$$

$$P_e = \frac{(598 * 582) + (701 * 682) + (274 * 207) + (2432 * 2431)}{(4005 * 4005)} = 0.4236$$

$$K = \frac{0.9728 - 0.4236}{1 - 0.4236} = \mathbf{0.9528}$$

Mediante la índice kappa se pudo validar la exactitud de la zonificación en general, el resultado obtenido es un índice Kappa de 0.9528 lo cual es equivalente al 95 % de exactitud lo cual hace indicar que la clasificación realizada fue correcta y se obtuvo tan solo el 5 % de error.

4.1.2. Zonificación de la especie *Podocarpus Oleifolius* D. Don

Tabla 3

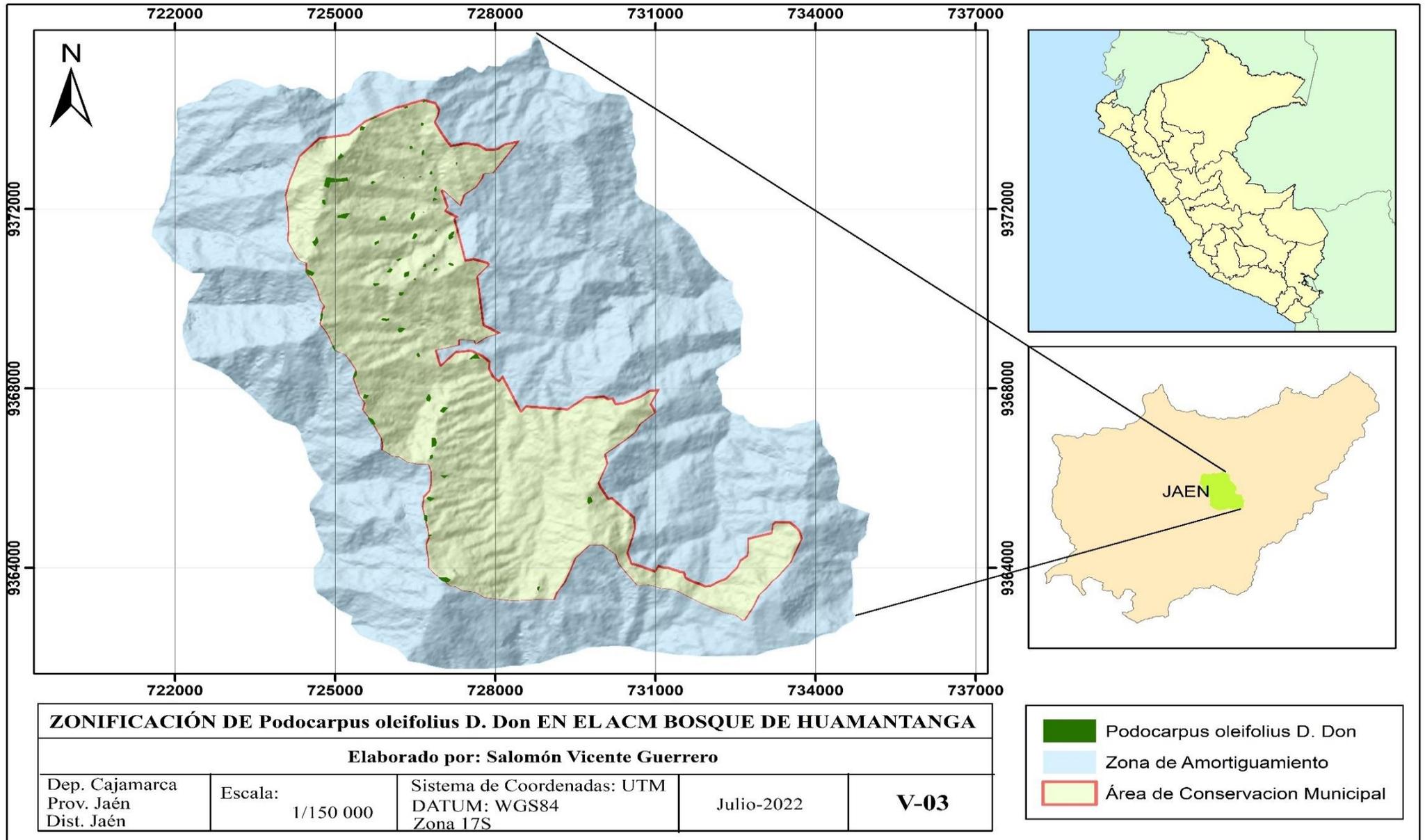
Zonificación de Podocarpus oleifolius D. Don

Zonificación de <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don		
Clase	Área (ha)	Porcentaje (%)
Tejido urbano	0	0
Tierras desnudas	66.34	1.73
Pastos	172.63	4.51
Bosque denso alto	3584.65	93.72
<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	41.24	1.08

En la tabla 3, se presenta los resultados de la zonificación de la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don (Figura 4) para lo cual se empleó el algoritmo Máximo verosimilitud, donde se pudo constatar que existen alrededor de 41.24 ha de la especie lo cual representa al 1.08 % de la extensión territorial.

Figura 4

Zonificación de la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don en el ACM Bosque de Huamantanga



c. Exactitud de la zonificación de la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don

La matriz de confusión de la zonificación de *Podocarpus oleifolius* D. Don (Anexo 3), indica que la clase de la especie zonificada obtuvo una precisión de 98.70 % y 85.88 % lo cual indica que la exactitud de clasificación fue alta y tan solo se confundieron 5 píxeles con la clase Bosque denso alto (BDA).

- Índice kappa

$$P_o = \frac{152 + 582 + 681 + 204 + 2429}{4184} = 0.9675$$

$$P_e = \frac{(177 * 154) + (598 * 582) + (701 * 682) + (274 * 207) + (2434 * 2433)}{(4184 * 4184)} = 0.3903$$

$$K = \frac{0.9675 - 0.3903}{1 - 0.3903} = 0.9467$$

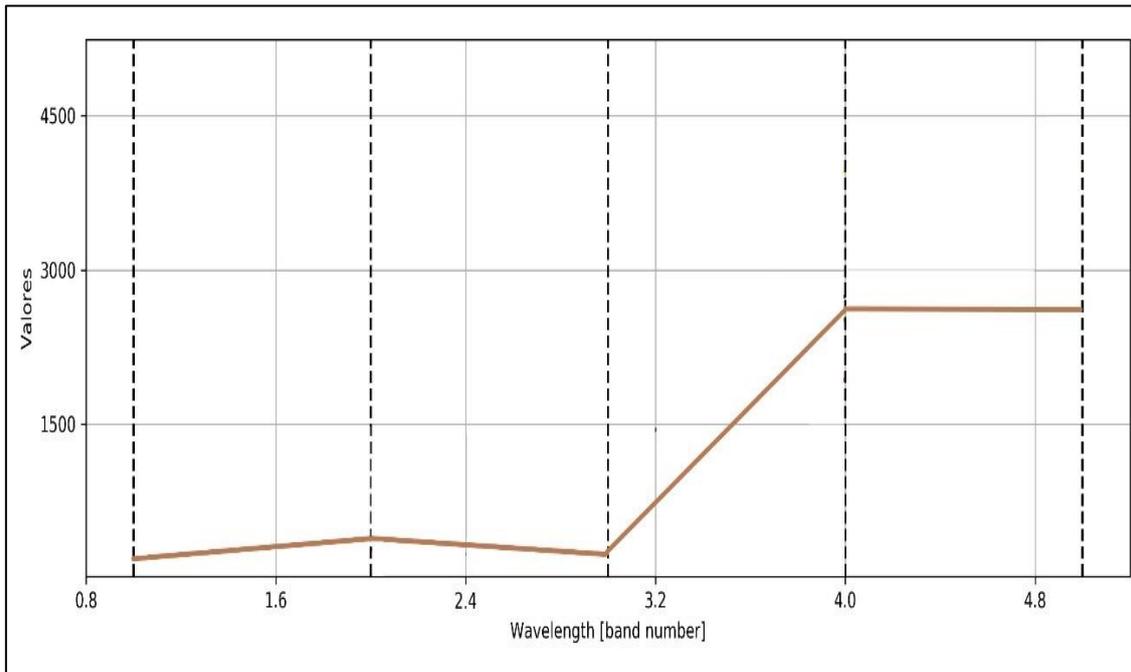
Mediante la índice kappa se pudo validar la exactitud de la zonificación de *Podocarpus oleifolius* D. Don, el resultado obtenido es un índice Kappa de 0.9467 lo cual es equivalente al 94 % de exactitud lo cual hace indicar que la clasificación realizada fue correcta y se obtuvo tan solo el 6 % de error.

4.1.3. Validación de la zonificación de *Podocarpus oleifolius* D. Don con firmas espectrales

Haciendo uso de las firmas espectrales generadas por los puntos de control de *Podocarpus oleifolius* D. Don tomados en campo se pudo validar la zonificación de la especie (Fig. 5), los resultados se muestran a continuación:

Figura 5

Firmas espectrales de Podocarpus oleifolius D. Don



Se tomaron un total de 30 firmas espectrales donde todas obtuvieron el mismo comportamiento y la amplitud de onda que va desde 0.85 hasta 5 nm (Figura 5).

En el (Anexo 1) se presentan los valores de las firmas espectrales de la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don en las 5 bandas para la zonificación de la especie, es así que se puede apreciar que en la banda 1 el rango de valores de las firmas va de 3951 a 3976 μm , en la banda 2 el rango varía de 3542 a 3587 μm , en la banda 3 el rango varía de 1830 a 1839 μm , en la banda 4 el rango varía de 5080 a 5192 μm y en la banda 5 varía de 10710 a 10786 μm .

Tabla 4

Estadística descriptiva de las firmas espectrales de la especie Podocarpus oleifolius D. Don

Estadísticas	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Media	3963.27	3575.37	1834.17	5125.40	10751.37
Mediana	3962.50	3580.50	1834.00	5107.00	10754.00
Moda	3964.00	3587.00	1832.00	5100.00	10743.00
Desviación estándar	6.95	11.86	2.28	34.61	20.02
Varianza de la muestra	48.27	140.72	48.94	42.60	400.79
Mínimo	3951.00	3542.00	1830.00	5080.00	10710.00
Máximo	3976.00	3587.00	1839.00	5192.00	10786.00
Suma	118898.00	107261.00	55025.00	153762.00	322541.00
Cuenta	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Coefficiente de Variación	0.18	0.33	0.12	0.68	0.19
Error muestreo	1.75	1.82	2.24	2.05	3.65
Error de muestreo aleatorio	0.07	0.05	0.13	0.05	0.06

Se evaluó la estadística descriptiva de las 30 firmas espectrales seleccionadas para la validación de la especie en evaluación, donde se evaluaron parámetros como la media, mediana, error estándar, moda, desviación estándar, varianza, entre otros. Según los resultados obtenidos se puede apreciar que el coeficiente de variación de las 5 bandas evaluadas varía de 0.12 a 0.68 con lo cual estos valores se encuentran por debajo de la unidad (1) indicando así que las áreas zonificadas pertenecen a la especie en cuestión (Tabla 4).

4.1.4. Validación en campo

Para la validación en campo se seleccionaron 40 muestras al azar de cada una de las coberturas identificadas en el estudio incluyendo las muestras de la especie en cuestión, los resultados de esta etapa se muestran en la tabla 5.

Tabla 5*Puntos de validación en campo*

Centro Poblado	Tipo de cobertura	X	Y	Observación
San Luis del Nuevo Retiro	Bosque denso alto	730100	9365945	Ninguna
San Luis del Nuevo Retiro	Bosque denso alto	730201	9366106	Ninguna
La Rinconada	Bosque denso alto	729865	9364007	Ninguna
San Luis del Nuevo Retiro	Bosque denso alto	726924	9365028	Ninguna
San Luis del Nuevo Retiro	Bosque denso alto	729772	9367574	Ninguna
La Rinconada	Bosque denso alto	726387	9367732	Bosque intervenido
La Rinconada	Bosque denso alto	728613	9363952	Bosque intervenido
La Rinconada	Bosque denso alto	727823	9364886	Ninguna
La Rinconada	Bosque denso alto	733401	9362277	Mayormente pasto
La Rinconada	Bosque denso alto	729293	9362133	Ninguna
La Rinconada	Pasto	729487	9366451	Ninguna
San José de la Alianza	Pasto	730103	9366837	Ninguna
San Luis del Nuevo Retiro	Pasto	731634	9365642	Ninguna
San Luis del Nuevo Retiro	Pasto	732005	9364000	Herbáceas
San Luis del Nuevo Retiro	Pasto	732197	9363005	Ninguna
San José de la Alianza	Pasto	732014	9362328	Herbáceas
La Rinconada	Pasto	731081	9361143	Ninguna
La Rinconada	Pasto	731925	9366201	Ninguna
La Rinconada	Pasto	731842	9366920	Ninguna
San José de la Alianza	Pasto	731381	9367976	Ninguna
San Luis del Nuevo Retiro	Tierras desnudas	732404	9367683	Ninguna
San Luis del Nuevo Retiro	Tierras desnudas	732588	9368736	Ninguna
La Rinconada	Tierras desnudas	730543	9368346	Ninguna
San José de la Alianza	Tierras desnudas	730607	9367765	Suelo erosionado
La Rinconada	Tierras desnudas	728065	9366853	Ninguna
La Rinconada	Tierras desnudas	726839	9367274	Ninguna
La Rinconada	Tierras desnudas	729004	9365479	Ninguna
La Rinconada	Tierras desnudas	730184	9364900	Ninguna
San Luis del Nuevo Retiro	Tierras desnudas	730571	9364342	Suelo erosionado
San Luis del Nuevo Retiro	<i>Podocarpus oleifolius</i> D.Don	725141	9370734	Ninguna
San Luis del Nuevo Retiro	<i>Podocarpus oleifolius</i> D.Don	725890	9370690	Ninguna
San Luis del Nuevo Retiro	<i>Podocarpus oleifolius</i> D.Don	727277	9372421	Ninguna
San Luis del Nuevo Retiro	<i>Podocarpus oleifolius</i> D.Don	729119	9373185	Ninguna
San Luis del Nuevo Retiro	<i>Podocarpus oleifolius</i> D.Don	729122	9373172	Ninguna
San Luis del Nuevo Retiro	<i>Podocarpus oleifolius</i> D.Don	729122	9373172	Ninguna
La Rinconada	<i>Podocarpus oleifolius</i> D.Don	728062	9367274	Otra especie
La Rinconada	<i>Podocarpus oleifolius</i> D.Don	728463	9371616	Bosque
San José de la Alianza	<i>Podocarpus oleifolius</i> D.Don	728166	9370330	Cedro
San José de la Alianza	<i>Podocarpus oleifolius</i> D.Don	727947	9370412	Palmera

Los resultados obtenidos en la tabla 5 muestra que, de los 40 puntos de muestreo empleados para la validación en campo, solo 11 puntos difirieron de las clases

identificadas mediante la clasificación supervisada, lo cual indica que existe una alta concordancia entre lo identificado con la imagen satelital y lo que se tiene en la realidad en el área de estudio.

4.2. Discusión

En la presente investigación se realizó la zonificación correspondiente al área de estudio de la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don, dicha área de estudio fue el Área de Conservación Municipal Bosque de Huamantanga en la provincia de Jaén, en esta área de conservación se encuentran diversas especies forestales que son usadas por los pobladores para diversos fines. En cuanto a los resultados de la zonificación del ACM Bosque de Huamantanga indican que en el área de estudio se tienen 3 tipos de cobertura y uso de suelo como Bosque denso alto, Pasto y Tierra desnudas, de las cuales la clase Bosque denso alto es la que abarca la mayor extensión territorial con 3584.65 ha lo que representa el 93.72 % del área total de ACM Bosque de Huamantanga, lo cual explica que estas áreas tengan gran cantidad de especies arbóreas forestales, sin embargo dichas áreas no son de interés para su protección pues existen diversas especies que se pierden con el pasar de los años tal es el caso de *Podocarpus oleifolius* D. Don, lo cual ha ocasionado la escasez de esta y otras especies (Vaca, 2016, p. 84).

En cuanto a la zonificación de la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don en el área de estudio se pudo identificar que pueden existir aproximadamente 41.24 hectáreas de esta especie dispersas en toda el área de estudio, la zonificación fue validada mediante 30 firmas espectrales lo cual manifestó alto valor de relación y bajo coeficiente de variación (entre 0.12 y 0.68) entre las firmas seleccionadas, este medio de validación es efectivo debido a que identifica las especies arbóreas mediante la longitud de onda en el espectro electromagnético que es reflejada por las hojas de los árboles en cuestión (González, 2015, p. 48), así lo manifiesta Carrillo (2016, p. 68) quien en su estudio, realizó la zonificación del género *Gynoxis* sp y la validación la realizó mediante 30 firmas espectrales con lo cual ratificó la zonificación, de la misma forma Borja (2016, p. 37) realizó la zonificación de tres especies forestales mediante la clasificación supervisada, la validación la realizó mediante la selección aleatoria de 30 puntos zonificados obteniendo bajo coeficiente de variación que va entre 0.10 y 0.40 con lo cual se constató la confiabilidad de la zonificación realizada; todas las investigaciones mencionadas tienen en común que la validación realizada obtuvo valores de coeficiente de variación

por debajo de la unidad lo cual es indicado por Galindo (2015 p. 65) quien menciona que, cuando se realiza la validación con firmas espectrales el coeficiente de variación debería ser menor a 1 para sustentar que todas las áreas zonificadas son uniformes y pertenecen a la especie zonificada.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Mediante la clasificación supervisada realizada para la clasificación de la cobertura del ACM Bosque de Huamantanga se pudo constatar que presenta 3 tipos de cobertura y uso de suelo de las cuales el área boscosa abarca 3584.65 ha lo cual es el 93.72 % de la extensión total del territorio, seguido por el área de pastos con 172.63 ha siendo el 4.51 % y finalmente el área de tejido urbano ocupando solamente 66.34 ha, lo que significa el 1.73 % de la extensión total del área en estudio.

Mediante la clasificación de la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don en el ACM Bosque de Huamantanga se logró zonificar 41.24 ha de la especie.

La clasificación de la cobertura y uso de suelo del ACM Bosque de Huamantanga y de la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don obtuvo índice Kappa de 0.94 y 0.95 % lo cual indica que la clasificación ha sido muy buena indicando alta confiabilidad.

La validación de la zonificación de la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don mediante las firmas espectrales obtuvo el coeficiente de variación menor a 1, con lo cual se determina que la zonificación es correcta y confiable.

5.2. Recomendaciones

A la Universidad Nacional de Cajamarca – Filial Jaén, se recomienda que realicen estudios similares empleando un espectrofotómetro UV-VISIBLE a fin de obtener mayor precisión en la obtención de firmas espectrales de especies forestales de alto valor de importancia para los bosques de nuestra provincia.

Se recomienda realizar la zonificación de especies forestales de alto valor de importancia empleando imágenes de alta resolución obtenidas con un Dron equipado con cámara multiespectral (DJI MAVIC 3 Multiespectral) y así obtener también una base de firmas espectrales.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, C., Moreno, V., & Rodríguez, E. (1999). Determinación experimental de la firma espectral de la vegetación. una sencilla práctica de introducción a la teledetección. In *TELEDETECCIÓN. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España* (pp. 429-43).
- Anjos, A. (1998). *Análise do padrão de distribuição espacial do palmitreiro (Euterpe edulis) utilizando a função K de Ripley*. 1998. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba,
- Aparici, R. (2009). *La imagen: análisis y representación de la realidad*. Editorial Gedisa.
- Austin, M. P. (2002). Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological modelling*, 157(2-3), 101-118.
- Ávila, B. G. (2021). *Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y usos del suelo mediante herramientas SIG y Teledetección en la Reserva Ecológica Mache Chindul (REMACH), 1996-2019* (Doctoral Dissertation, Ecuador – PUCESE - Escuela de Gestión Ambiental).
- Bognanni, F. (2010). *La teledetección aplicada al estudio del pasado a una escala interregional*. *Revista Espanola de Antropologia americana*, 40(2), 77–93.
- 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*.
- Borja, A. (2016). *Distribución espacial de tres especies forestales en el bosque de ceja andina utilizando imágenes satelitales Rapideye en la Parroquia Achupallas, Cantón Alausí, Provincia De Chimborazo*.
- Bubb, P., May, I. A., Miles, L. y Sayer, J. (2004). *Cloud forest agenda*. UNEP World Conservation Monitoring Centre, 20(1), 36 p.

- Carrillo, F. L. J. (2016). *Determinación de la firma espectral de gynoxys sp, para la clasificación de imágenes satelitales en el bosque de ceja andina en la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Córdova, R. M. D. (2018). *Determinación de la firma espectral del estrato herbazal-arbustal del páramo en la subcuenca del Río Chambo, provincia de Chimborazo* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Criollo, E. N. A. (2019). *Evaluación de parámetros poblacionales y regeneración natural de Podocarpus oleifolius D. Don, en dos relictos boscosos del Sur del Ecuador* (Bachelor's thesis, Loja).
- Chuvieco, S. E. (2008). *Sensores Remotos Ambiental*. Barcelona: Ariel.
- Escribano, P., Palacios-Orueta, A., & Oyonarte, C. (2008). Cuantificación y distribución espacial de los tipos de cubierta en los ecosistemas semiáridos con imágenes hiperespectrales, caso práctico en el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (Almería). *Ecosistemas*, 17(3).
- Galindo de la Torre, E. (2015). *Estadística: Métodos y aplicaciones*. En E. Galindo de la Torre, *Estadística: Métodos y aplicaciones* (p. 355). Quito.
- Gamboa Barona, D. L. (2021). *Análisis de la firma espectral en la especie Polylepsis reticulata con imágenes sentinel 2 en el bosque Sachafilo, parroquia Pasa, cantón Ambato, provincia de Tungurahua*.
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2010). *Estrategia Regional de Biodiversidad de Cajamarca al 2021*. Lima: Giacomotti Comunicacion Gráfica S.A.C.
- González, E. (2015). *Guía básica de conceptos de Radiometría y Fotometría*. Universidad de Sevilla.
- González, J. M., Méndez, A. S., Garcia, M. G., Ontiveros, V. G. y Luna, J. N. (2007). Aplicación de sensores remotos para la evaluación de áreas de *Prosopis* spp. (1990-2006), EN LA REGIÓN DE MEXICALI, BC, MÉXICO. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 6(1), 37-45.

- Goosen, D. (1968). *Interpretación de fotos aéreas y su importancia en el levantamiento de Suelos* (Nº. 526.892 G6.).
- Hernández, J., & Montaner, D. (2015). *Patrones de respuesta espectral. Tecnologías Geoespaciales: Experiencias Aplicadas al Estudio y Gestión del Territorio*. Carlos Mena (Ed.) ISBN, 978-956.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2015). *Teledetección*. Centro Nacional de Información Geográfica. España (p.6).
- Jaksic, F. (2007). *Ecología de comunidades*. Ediciones UC.
- Jiménez, G.M. (2016) *Construcción de una biblioteca espectral de las especies vegetales de la microcuenca del Río Pomacocha* (Ecuador).
- López, G. M. A. (2007). Descripción y caracterización de nichos ecológicos: una visión más cuantitativa del espacio ambiental. *Centro de Investigación en Matemáticas, AC Guanajuato, México*.
- Marín, A. (1998). *Ecología y silvicultura de las podocarpaceas andinas en Colombia, 1998*. Departamento de investigación forestal. smurfit cartón de Colombia.
- Miller, R. M., Rodríguez, J. P., Aniskowicz-Fowler, T., Bambaradeniya, C., Boles, R., Eaton, M. A., ... & Pollock, C. (2007). National threatened species listing based on IUCN criteria and regional guidelines: current status and future perspectives. *Conservation biology*, 21(3), 684-696.
- Municipalidad Provincial de Jaén (MPJ). (2010). Plan de desarrollo concertado.
- Nogués, D. (2003). El estudio de la distribución espacial en la biodiversidad: concepto y métodos. *Cuadernos de investigación geográfica/Geographical Research Letters*, (29), 67-82.
- Perry, G. H., Yang, F., Marques-Bonet, T., Murphy, C., Fitzgerald, T., Lee, A. S., ... & Redon, R. (2008). Copy number variation and evolution in humans and chimpanzees. *Genome research*, 18(11), 1698-1710.
- Rodríguez Pérez, J. R., González Vázquez, X. P., & Arias Sánchez, P. (2013). *Cartografía de usos del suelo por fotointerpretación mediante Sistemas de*

Información Geográfica (SIG): análisis comparativo de los sistemas ráster y vectorial.

Ruiz, P. N., Navarro, H., Güimaraes, A. y Navas, G. L. M. (2013). *Análisis de la dispersión espacial de diversas especies forestales, utilizando las parcelas del Inventario Forestal Nacional (IFN).*

Sánchez, P. (2012). *La teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales.* Universidad de Cuenca.

Scott, E. K., Raabe, T., & Luo, L. (2002). Structure of the vertical and horizontal system neurons of the lobula plate in *Drosophila*. *Journal of Comparative Neurology*, 454(4), 470-481.

Sobrino, J. A. (2001). *Teledetección.* Universitat de Valencia.

Torres, G. R., Lupo, L. C., Kulemeyer, J. J., & Perez, C. F. (2016). Palynological evidence of the geocological belts dynamics from Eastern Cordillera of NW Argentina (23 S) during the Pre-Last Glacial Maximum.

Vaca, M. S. P. (2016). *Influência de la diversidad arbórea en la dinámica ecohidrológica del bosque nublado de Huamantanga, Jaén-Cajamarca.*

Vásquez, F. & López, M. (1988) Fotointerpretación. Madrid: Instituto Geográfico Nacional.

Webster, G. L. (1995). The Panorama of Neotropical Cloud Forests. *Biodiversity and Conservation of Neotropical Motatne Forests* 53-77.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Valor de las firmas espectrales de *Podocarpus Oleifolius* D. Don

Firma espectral	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5
F.E. 1	3964	3580	1832	5100	10775
F.E. 2	3954	3585	1834	5101	10764
F.E. 3	3962	3587	1831	5112	10743
F.E. 4	3961	3554	1832	5109	10765
F.E. 5	3962	3587	1832	5102	10754
F.E. 6	3964	3567	1835	5104	10745
F.E. 7	3958	3564	1834	5104	10741
F.E. 8	3952	3587	1830	51100	10743
F.E. 9	3961	3584	1832	5182	10765
F.E. 10	3956	3582	1834	5192	10785
F.E. 11	3957	3554	1835	5184	10785
F.E. 12	3959	3564	1839	5100	10759
F.E. 13	3971	3542	1832	5102	10763
F.E. 14	3972	3567	1834	5109	10743
F.E. 15	3958	3583	1835	5154	10786
F.E. 16	3976	3564	1832	5108	10756
F.E. 17	3976	3576	1835	5105	10763
F.E. 18	3965	3576	1836	5102	10762
F.E. 19	3962	3572	1836	5146	10734
F.E. 20	3964	3567	1834	5100	10754
F.E. 21	3951	3587	1839	5104	10710
F.E. 22	3961	3582	1832	5105	10721
F.E. 23	3965	3576	1835	5100	10725
F.E. 24	3963	3584	1834	5183	10731
F.E. 25	3972	3568	1832	5185	10772
F.E. 26	3975	3585	1835	5124	10732
F.E. 27	3964	3587	1835	5106	10724
F.E. 28	3954	3582	1834	5176	10731
F.E. 29	3968	3581	1836	5173	10745
F.E. 30	3971	3587	1839	5080	10765

Anexo 2. Matriz de confusión de la Zonificación del ACM Bosque de Huamantanga

Clase	Testing				Total	F. Usuario (%)
	Tu	Td	Pa	Bda		
No clasificado	15	20	68	0	103	14.56
Tu	582	0	0	0	582	100.00
Td	1	681	0	0	682	99.85
Pa	0	0	204	3	207	98.55
Bda	0	0	2	2429	2431	99.92
Total	598	701	274	2432	4005	F. Global
F. Usuario %	97.32	97.15	74.45	99.88		97.27

Anexo 3. Matriz de confusión de la Zonificación de la especie *Podocarpus Oleifolius* D.

Don

Clase	Testing					Total	F. Usuario %
	Po	Tu	Td	Pa	Bda		
No clasificado	23	15	20	68	0	126	11.90
Po	152	0	0	0	2	154	98.70
Tu	0	582	0	0	0	582	100.00
Td	0	1	681	0	0	682	99.85
Pa	0	0	0	204	3	207	98.55
Bda	2	0	0	2	2429	2433	99.84
Total	177	598	701	274	2434	4184	F. Global
F. Usuario %	85.88	97.32	97.15	74.45	99.79		0.9675

Anexo 6. Determinación del rango de búsqueda

Date Range | **Cloud Cover** | **Result Options**

Search from: 01/01/2006 to: 01/01/2021

Search months: (all)

Data Sets » | **Additional Criteria »** | **Results »**

Anexo 7. Selección del sensor para la descarga de la imagen

Check the boxes for the data set(s) you want to search. When done selecting data set(s), click the *Additional Criteria* or *Results* buttons below. Click the plus sign next to the category name to show a list of data sets.

Use Data Set Prefilter (What's This?)

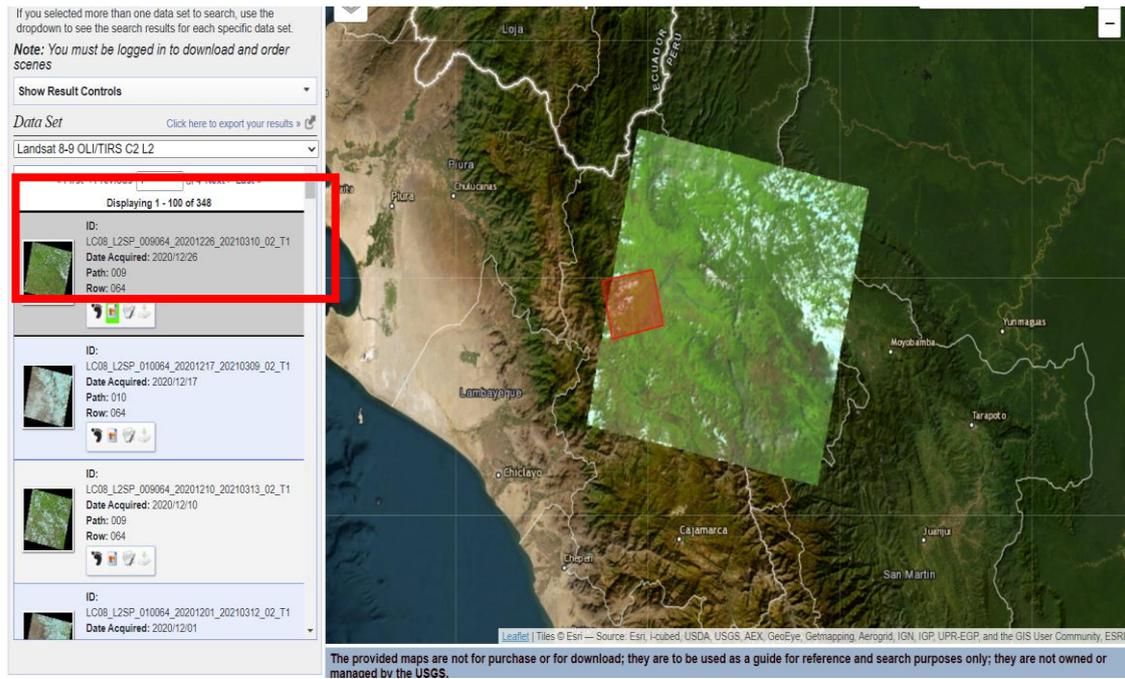
- Declassified Data
- Digital Elevation
- Digital Line Graphs
- Digital Maps
- EO-1
- Global Fiducials
- HCMM
- ISERV
- Land Cover
- Landsat
 - Landsat Collection 2 Level-3 Science Products
 - Landsat C2 U.S. Analysis Ready Data (ARD)
 - Landsat Collection 2 Level-2
 - Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2
 - Landsat 7 ETM+ C2 L2
 - Landsat 4-5 TM C2 L2
 - Landsat Collection 2 Level-1
 - Landsat C2 Atmospheric Auxiliary Data
 - Landsat Collection 1
 - Landsat Legacy
- LCMAP
- NASA LPDAAC Collections

Clear All Selected | **Additional Criteria »** | **Results »**

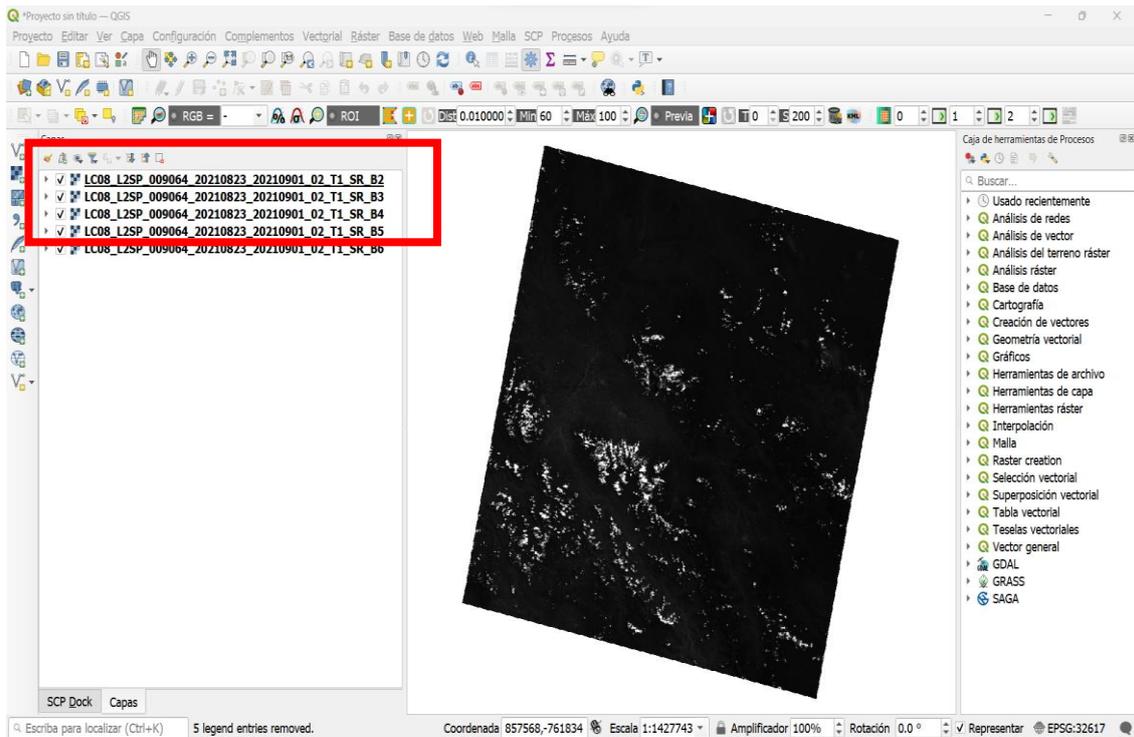
Legal | Tiles © Esri — Source: Esri, i-cubed, USDA, USGS, AEX, GeEye, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, UPR-EGP, and the GIS User Community, ESRI

The provided maps are not for purchase or for download; they are to be used as a guide for reference and search purposes only; they are not owned or managed by the USGS.

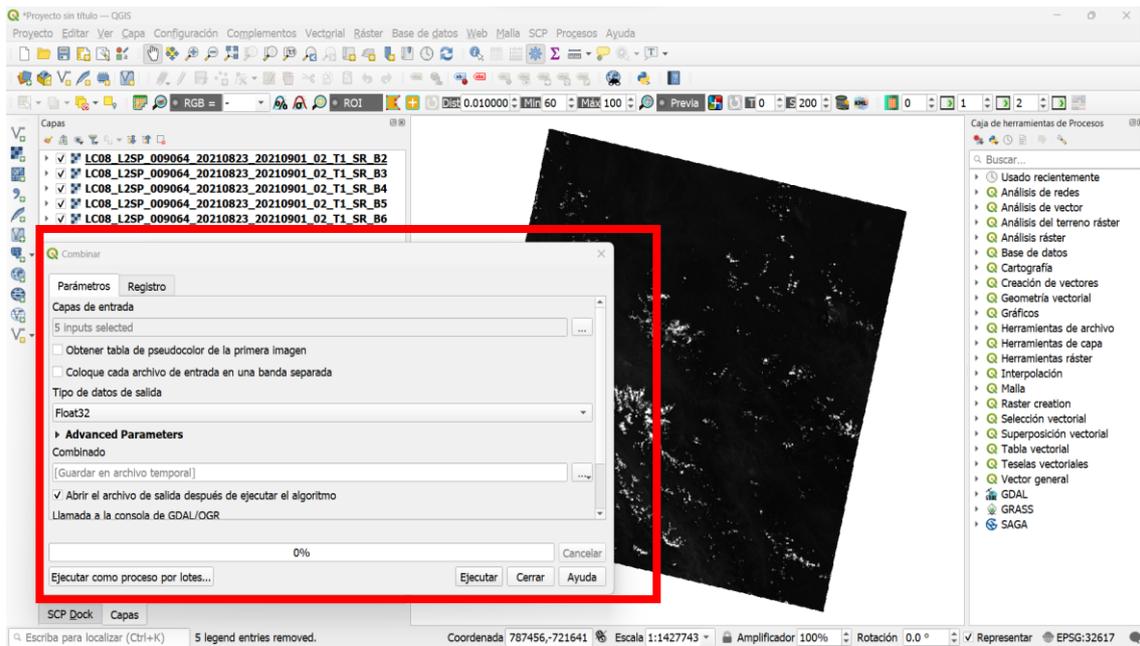
Anexo 8. Selección y descarga de la imagen satelital



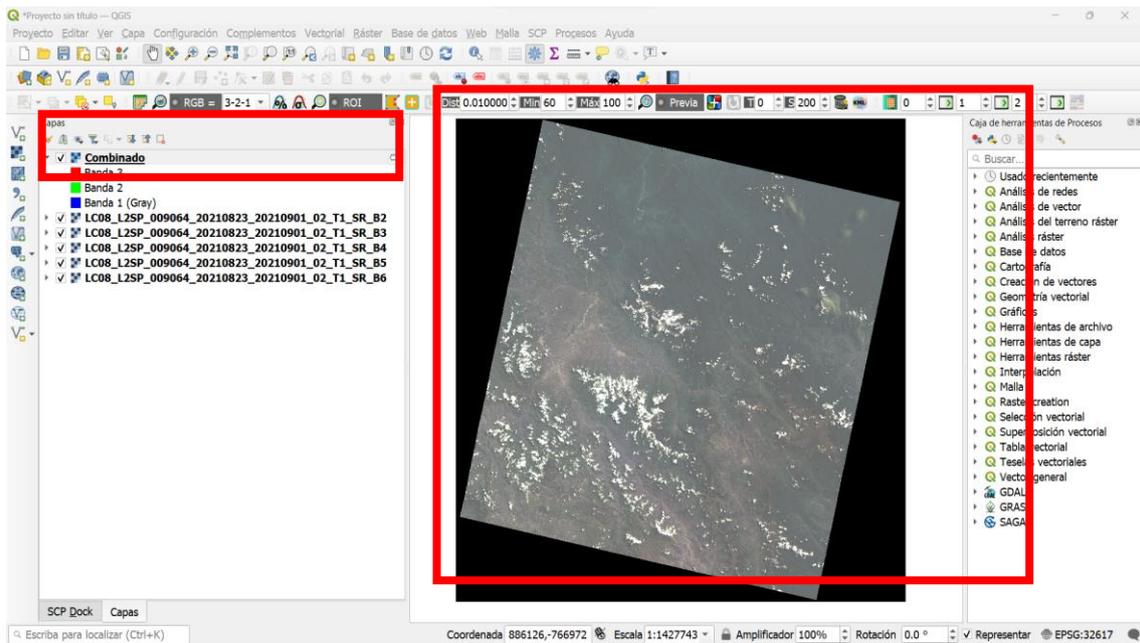
Anexo 9. Selección y carga de bandas a procesar



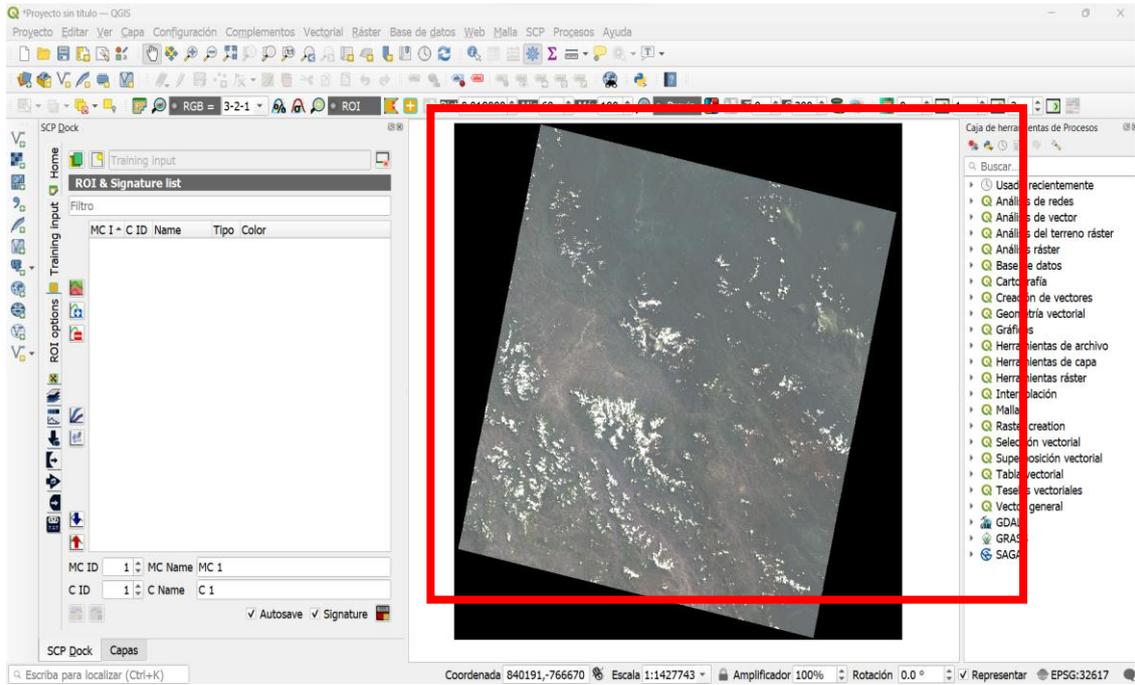
Anexo 10. Combinación de bandas haciendo uso de la herramienta combinar ráster



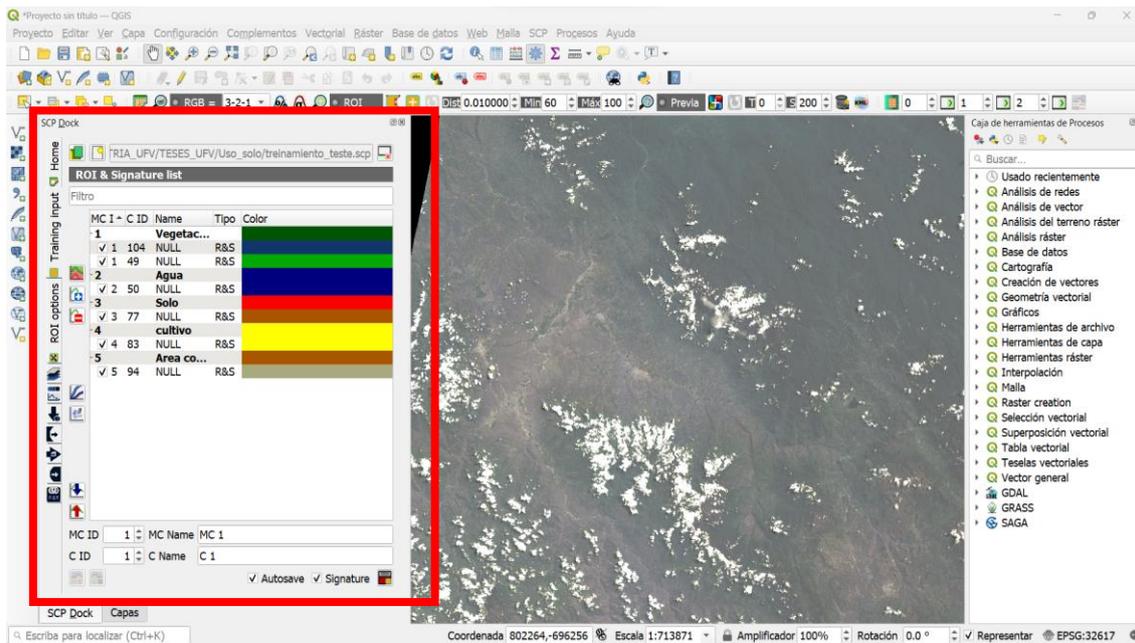
Anexo 11. Visualización del resultado de las bandas combinadas en RGB



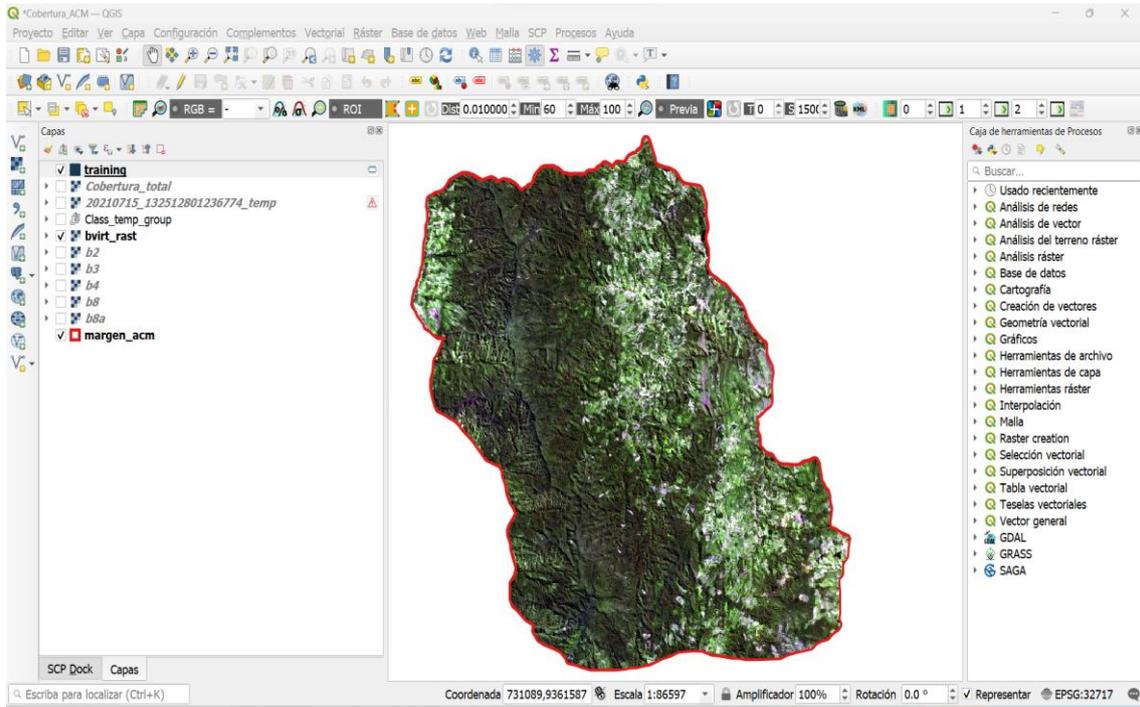
Anexo 12. Activación del complemento SCP Dock



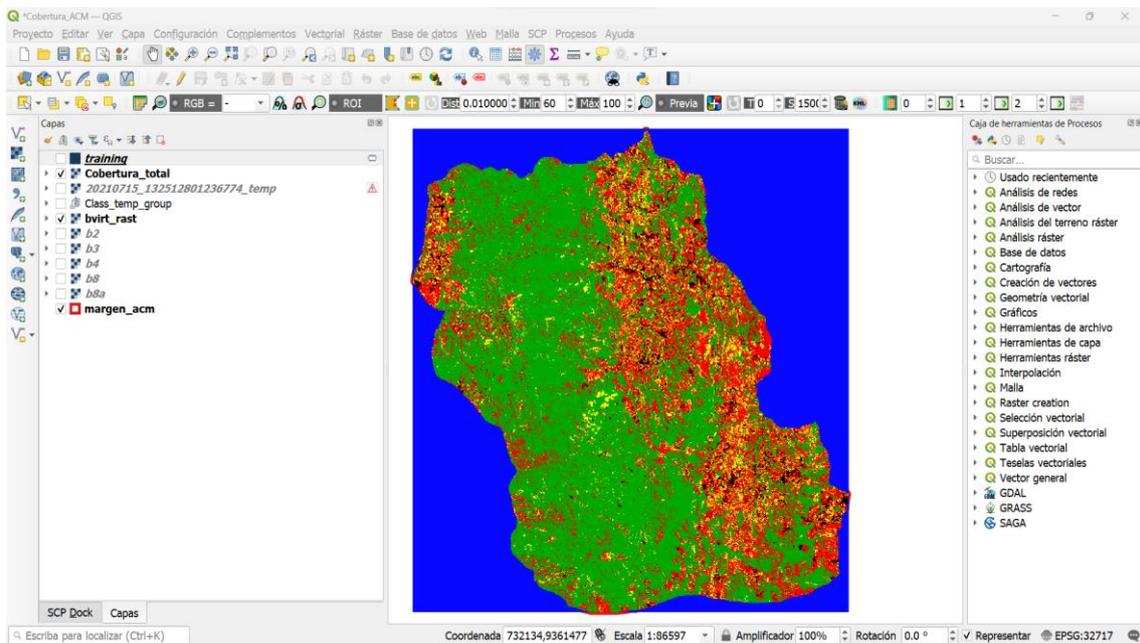
Anexo 13. Recolección de áreas de entrenamiento



Anexo 14. Recorte del área de estudio



Anexo 15. Clasificación de la cobertura del área de estudio





CERTIFICACION DE IDENTIFICACION BOTANICA

JOSÉ RICARDO CAMPOS DE LA CRUZ, BIÓLOGO COLEGIADO, CBP 3796 - INSCRITO EN EL REGISTRO DE PROFESIONALES QUE REALIZAN CERTIFICACIONES DE IDENTIFICACION TAXONÓMICA DE ESPECÍMENES Y PRODUCTOS DE FLORA - RESOLUCIÓN DIRECTORAL N.º 0311-2013- MINAGRI-DIGFFS-DGEFFS.

CERTIFICA:

Que, **SALOMÓN VICENTE GUERRERO**, con grado académico de Bachiller, egresado de la Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, con fines de investigación, para desarrollar el proyecto de tesis titulado: "Distribución espacial de *Podocarpus oleifolius* D. Don en el Área de conservación Municipal Bosque de Huamantanga, Jaén-Cajamarca", ha solicitado la identificación y certificación botánica de la planta conocida con el nombre de "saucesillo", la muestra fértil con flores y frutos ha sido estudiada e identificada con el nombre científico de *Podocarpus oleifolius* D. Don. Según El sistema de clasificación de las Gimnospermas vivientes de Christenhusz *et al.* 2011, que considera los cuatro grupos de Gimnospermas actuales como subclases de la clase Equisetopsida. Teniendo el sistema de Christenhusz y los datos de la base de W³Tropicos, la especie identificada tiene las siguientes categorías taxonómicas y clados:

Reino: Plantae
División: Gimnospermae
Clase: Equisetopsida
Subclase: Pinidae
Orden: Podocarpaceae
Familia: Podocarpaceae
Género: *Podocarpus*
Especie: *Podocarpus oleifolius* D. Don

Nombre vulgar: "saucesillo"

Se expide la presente certificación con fines de investigación científica.

Lima, 01 de octubre del 2021



Jr. Sánchez Silva 156 – Piso 2–Urb. Santa Luzmila –Lima 07 -Lima

Anexo 17. Panel fotográfico



Foto 1. Individuo de *Podocarpus Oleifolius* D. Don en el caserío San Luis del Nuevo Retiro



Foto 2. Georreferenciación de los individuos de *Podocarpus Oleifolius* D. Don.



Foto 3. Muestra botánica de *Podocarpus Oleifolius* D. Don.



Foto 4. Colecta de puntos de control

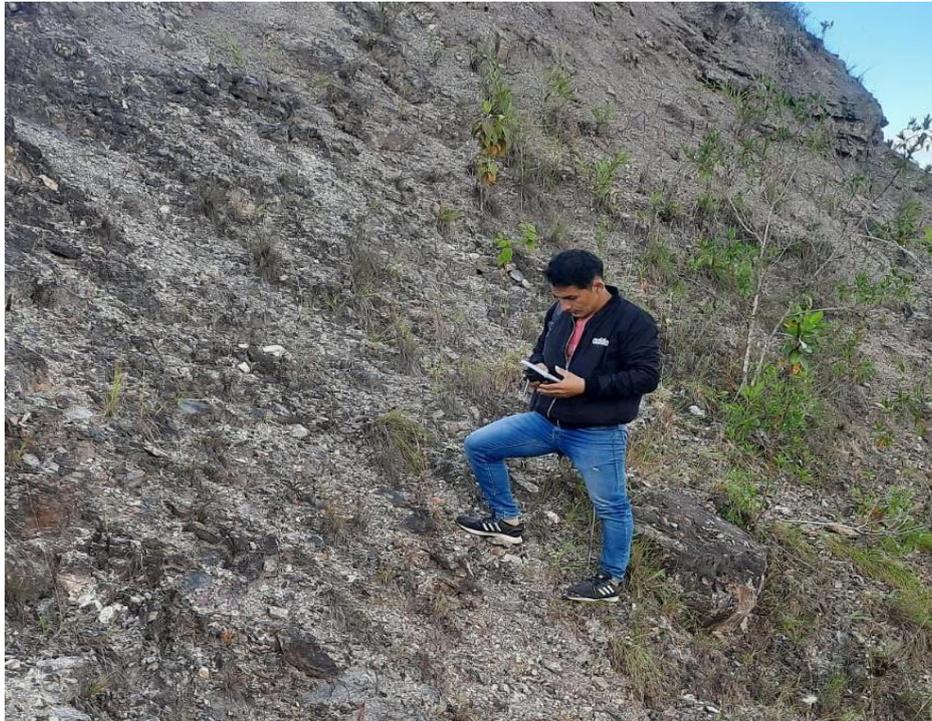


Foto 5. Colecta de puntos de control de áreas erosionadas



Foto 6. Validación en campo de la clasificación del *Podocarpus Oleifolius* D. don

Anexo 18. Puntos de muestreo de *Podocarpus oleifolius* D. Don

TESIS: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL CON IMÁGENES SATELITALES DE <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don EN EL ÁREA DE CONSERVACIÓN MUNICIPAL BOSQUE HUAMANTANGA, JAÉN-CAJAMARCA					
N°	Sitio	Árbol	Coordenadas		Observaciones
			Este	Norte	
1	San Luis del nuevo Retiro	P1	729067	9373245	Ninguna
2	San Luis del nuevo Retiro	P2	729069	9373239	Ninguna
3	San Luis del nuevo Retiro	P3	729119	9373185	Ninguna
4	San Luis del nuevo Retiro	P4	729122	9373172	Ninguna
5	San Luis del nuevo Retiro	P5	729128	9373167	Ninguna
6	San Luis del nuevo Retiro	P6	729133	9373181	Ninguna
7	San Luis del nuevo Retiro	P7	729134	9373193	Ninguna
8	San Luis del nuevo Retiro	P8	729131	9373198	Ninguna
9	San Luis del nuevo Retiro	P9	727324	9373458	Ninguna
10	San Luis del nuevo Retiro	P10	727221	9373448	Ninguna
11	La Rinconada	P11	727315	9373505	Ninguna
12	La Rinconada	P12	727301	9373547	Ninguna
13	La Rinconada	P13	727301	9373533	Ninguna
14	La Rinconada	P14	727301	9373540	Ninguna
15	La Rinconada	P15	728260	9373157	Ninguna
16	La Rinconada	P16	729127	9373166	Ninguna
17	La Rinconada	P17	729119	9373174	Ninguna
18	La Rinconada	P18	729120	9373183	Ninguna
19	La Rinconada	P19	729112	9373189	Ninguna
20	La Rinconada	P20	729124	9373183	Ninguna
21	San José de la Alianza	P21	729128	9373184	Ninguna
22	San José de la Alianza	P22	729136	9373188	Ninguna
23	San José de la Alianza	P23	729137	9373198	Ninguna
24	San José de la Alianza	P24	729144	9373213	Ninguna
25	San José de la Alianza	P25	729132	9373218	Ninguna
26	San José de la Alianza	P26	729132	9373219	Ninguna
27	San José de la Alianza	P27	729109	9373231	Ninguna
28	San José de la Alianza	P28	729145	9373229	Ninguna
29	San José de la Alianza	P29	729136	9373182	Ninguna
30	San José de la Alianza	P30	729126	9373231	Ninguna

Anexo 19. Especies acompañantes al *Podocarpus oleifolius* D. Don en el ACM Bosque de Huamantanga

Nombre común	Nombre científico	Familia
Romerillo rojo	<i>Prumnopitys harsmsiana</i>	PODOCARPACEAE
Romerillo blanco	<i>Nageia rospigliosii</i>	PODOCARPACEAE
Saucecillo	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	PODOCARPACEAE
Pacash	<i>Nectranda arnotiana</i>	LAURACEAE
Higuerón	<i>Ficus caspiensis</i>	MORACEAE
Lechero	<i>Sapium cf. glandulosum</i>	EUPHORBIACEAE
Lanche	<i>Calyptanthes</i> sp.	MYRTACEAE
Naranja de oso	<i>Wigandia crispa</i>	SOLANACEAE
Cetico	<i>Cecropia</i> sp.	CECROPIACEAE
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	MELIACEAE
Roble	<i>Ocotea</i> sp.	LAURACEAE
Bombonaje	<i>Erisma cf. Uncinatum</i>	VOCHYSIACEAE
Cascarilla	<i>Cinchona officinalis</i>	RUBIACEAE