

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



DISTRIBUCIÓN ESPACIAL CON IMÁGENES SATELITALES DE
***Cedrela odorata* L. EN EL DISTRITO HUABAL, PROVINCIA JAÉN –**
CAJAMARCA 2024

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

CELINA KATHERIN CADENILLAS QUISPE

ASESOR:

ING. M. Sc. FRANCISCO FERNANDO AGUIRRE DE LOS
RÍOS

JAÉN - PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:

Celina Katherin Cadenillas Quispe

DNI: 75689267

Escuela Profesional/Unidad UNC:

Ingeniería Forestal

2. Asesor:

ING. M. Sc. Francisco Fernando Aguirre de Los Ríos

Facultad/Unidad UNC:

Ciencias Agrarias

3. Grado académico o título profesional

☐ Bachiller

☒ Título profesional

☐ Segunda especialidad

☐ Maestro

☐ Doctor

4. Tipo de Investigación:

☒ Tesis

☐ Trabajo de investigación

☐ Trabajo de suficiencia profesional

☐ Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL CON IMÁGENES SATELITALES DE *Cedrela odorata* L. EN EL DISTRITO HUABAL, PROVINCIA JAÉN – CAJAMARCA 2024.

6. Fecha de evaluación: 20/02/2026

7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 12 %

9. Código Documento: oid:::3117:558917330

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 20/02/2026

Firma y/o Sello
Emisor Constancia



ING. M. Sc. Francisco Fernando Aguirre de Los Ríos



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los **treinta** días del mes de **diciembre** del año dos mil veinticinco, 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°541-2025-FCA-UNC, de fecha 15 de setiembre del 2025, con el objeto, de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: **"DISTRIBUCIÓN ESPACIAL CON IMÁGENES SATELITALES DE *Cedrela odorata* L. EN EL DISTRITO HUABAL, PROVINCIA JAÉN - CAJAMARCA 2024"**, ejecutado por la Bachiller en Ciencias Forestales, **Doña CELINA KATHERIN CADENILLAS QUISPE**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las **ocho** horas y **cero** 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 **catorce (14)**; por tanto, la Bachiller queda expedito para el inicio de los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

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

Jaén, 30 de diciembre del 2025.

Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Leiver Flores Flores
VOCAL

Ing. M. Sc. Francisco Fernando Aguirre De Los Ríos
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios por permitirme gozar de buena salud para lograr mis proyectos, por iluminarme en las cosas buenas día a día de mi vida.

A mis padres Catalino y Orfelina que con su esfuerzo nunca me faltó nada, por su apoyo incondicional y desinteresado.

A mis hermanos Yluciola, Deysi, Marcos y Eduardo quienes participaron en mi formación académica y aquí este logro.

A mi hija Isabella quien es el motor principal para no desistir y seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincera gratitud a mi asesor de tesis Fernando Aguirre, a los docentes que me formaron académicamente durante cinco años de mi vida, que con su dedicación han sido pilares fundamentales para esta investigación.

Y a todos los que contribuyeron de una manera invaluable durante este viaje académico.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE	iv
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	18
2.2.1. Bosques de neblina	18
2.2.2. <i>Cedrela odorata</i> L.	19
2.2.3. Nicho ecológico	24
2.2.4. Teledetección	25
2.2.5. Imágenes satelitales	25
2.2.6. Tipos de imágenes satelitales	25
2.2.7. Firmas espectrales	27
2.2.8. Comportamientos espectrales de la vegetación	27
2.2.9. Uso de índices espectrales de vegetación	28
2.3. Conceptos básicos	28
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	31
3.1. Ubicación de la investigación	31
3.1.1. Ubicación	31

3.2. Tipo y diseño de la investigación	32
3.3. Materiales y equipos	32
3.3.1. Materiales	32
3.3.2. Equipos	32
3.4. Matriz de operacionalización de variables	33
3.5. Unidad de análisis	33
3.6. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
3.7. Procedimiento	34
3.7.1. Verificación de la existencia de <i>Cedrela odorata</i> L. en el ámbito de estudio	34
3.7.2. Identificación y georreferenciación de <i>Cedrela odorata</i> L. en el ámbito de estudio	34
3.7.3. Colecta de muestras botánicas	35
3.7.4. Obtención de la imagen satelital	35
3.7.5. Zonificación del área de estudio	36
3.7.6. Validación de <i>Cedrela odorata</i> L. utilizando firmas espectrales	37
3.7.7. Análisis estadístico	37
3.8. Presentación de la información	37
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1. Resultados	38
4.1.1. Zonificación del distrito de Huabal	38
4.1.2. Zonificación de la especie <i>Cedrela odorata</i> L.	43
4.1.3. Validación de la zonificación de <i>Cedrela odorata</i> L. con firmas espectrales	46
4.2. Discusión	49
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
5.1. Conclusiones	53

5.2. Recomendaciones	53
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
CAPÍTULO VII. ANEXOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables	33
Tabla 2. Detalles de la imagen satelital empleada	36
Tabla 3. Matriz de confusión de la zonificación del distrito de Huabal	41
Tabla 4. Zonificación de la especie <i>Cedrela odorata</i> L.	43
Tabla 5. Matriz de confusión de la zonificación de la especie <i>Cedrela odorata</i> L.	45
Tabla 6. Valor de las firmas espectrales de <i>Cedrela odorata</i> L.	47
Tabla 7. Estadística descriptiva de las firmas espectrales de la especie <i>Cedrela odorata</i> L.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio	31
Figura 2. Mapa de distribución de la especie <i>Cedrela odorata</i> L.	35
Figura 3. Áreas de las clases de cobertura y uso de suelo del distrito de Huabal	38
Figura 4. Mapa de cobertura y uso de suelo del distrito de Huabal	40
Figura 5. Mapa de la Zonificación de la especie <i>Cedrela odorata</i> L. en el distrito de Huabal	44
Figura 6. Firma espectral de <i>Cedrela odorata</i> L.	46

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar la distribución espacial de *Cedrela odorata* L. en el distrito de Huabal, provincia de Jaén – Cajamarca, mediante el uso de imágenes satelitales. Se realizó una clasificación supervisada sobre una imagen Sentinel-2 del año 2024, logrando identificar siete clases de cobertura: bosque, vegetación arbustiva, agricultura, pastos, tierra sin vegetación, zona urbana y presencia de *Cedrela odorata* L. Los resultados mostraron que la clase predominante fue agricultura con un 30,79 % del área total (2633,26 ha), seguida por pastos (22,25 %) y vegetación arbustiva (21,08 %). La superficie ocupada por *Cedrela odorata* fue de 68,15 ha, lo que representa solo el 0,80 % del territorio analizado. La validación de la clasificación mediante la matriz de confusión permitió obtener un índice Kappa de 0,8880 para la zonificación general y 0,8900 para la especie *Cedrela odorata* L., lo cual indica una alta precisión en los resultados obtenidos. Esta información es fundamental para la gestión y conservación de esta especie forestal en zonas de intervención antrópica. Asimismo, los mapas generados constituyen una herramienta útil para la toma de decisiones en planificación territorial y ordenamiento forestal. La metodología aplicada demostró ser eficaz para detectar áreas específicas de interés forestal en paisajes heterogéneos. Además, se identificaron zonas críticas donde la cobertura boscosa ha sido sustituida por actividades agrícolas, lo cual plantea desafíos para la conservación de especies maderables de alto valor.

Palabras clave: Teledetección, firmas espectrales, cedro, zonificación, clasificación.

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the spatial distribution of *Cedrela odorata* L. in the district of Huabal, province of Jaén – Cajamarca, through the use of satellite imagery. A supervised classification was performed on a Sentinel-2 image from the year 2024, identifying seven land cover classes: forest, shrub vegetation, agriculture, grasslands, bare soil, urban area, and the presence of *Cedrela odorata* L. The results showed that the predominant class was agriculture, occupying 30,79 % of the total area (2633,26 ha), followed by grasslands (22,25 %) and shrub vegetation (21,08 %). The area covered by *Cedrela odorata* reached 68.15 ha, representing only 0,80 % of the analyzed territory. The classification validation using the confusion matrix yielded a Kappa index of 0,8880 for the general zoning and 0,8900 for the *Cedrela odorata* L. class, indicating high accuracy in the results obtained. This information is essential for the management and conservation of this forest species in areas under anthropogenic pressure. Moreover, the generated maps serve as valuable tools for decision-making in land-use planning and forest zoning. The applied methodology proved effective in detecting specific areas of forest interest within heterogeneous landscapes. In addition, critical zones were identified where forest cover has been replaced by agricultural activities.

Keywords: Remote sensing, spectral signatures, cedro, zoning, classification

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La biodiversidad forestal constituye un recurso estratégico que no solo provee beneficios ecológicos como la regulación hídrica, la conservación del suelo y la captura de carbono, sino que también sustenta actividades económicas y sociales en muchas regiones del mundo. Sin embargo, este recurso se encuentra bajo una presión creciente debido al avance de la frontera agrícola, la tala ilegal y el cambio climático. La gestión sostenible de los recursos forestales requiere un conocimiento detallado de su distribución espacial, lo cual es indispensable para su conservación y aprovechamiento racional (Nogués, 2013, p. 67).

En este contexto, el uso de tecnologías como la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) ha permitido desarrollar metodologías eficientes para monitorear la cobertura vegetal, detectar cambios en el uso del suelo y caracterizar la distribución de especies específicas. Estas herramientas tecnológicas, al operar a distintas escalas espaciales y temporales, permiten complementar la información obtenida en campo, reducir costos y mejorar la toma de decisiones en el ámbito forestal (Sánchez, 2012, p. 22).

Según Anjos (1998), citado por Nogués, (2013, p. 67), conocer la distribución espacial de los individuos en el bosque contribuye a mejorar las técnicas de manejo y facilita los procesos de monitoreo y muestreo en áreas naturales. En este sentido, contar con información precisa sobre la ubicación de especies forestales es fundamental para establecer estrategias de conservación eficaces, especialmente en ecosistemas amenazados. Esta información permite priorizar zonas de intervención, realizar reforestaciones dirigidas y evitar la pérdida irreversible de especies valiosas.

El distrito de Huabal, ubicado en la provincia de Jaén, región Cajamarca, presenta una importante cobertura boscosa, donde habitan diversas especies de flora nativa de alto valor ecológico y económico. Entre ellas destaca *Cedrela odorata* L., conocida como cedro, una especie maderable apreciada por su calidad y durabilidad. Sin embargo, la sobreexplotación y el escaso conocimiento sobre su distribución han comprometido su presencia en varios sectores del distrito. Actualmente no se cuenta con cartografía especializada que indique con precisión su localización ni su extensión dentro del territorio, lo que limita las acciones de manejo y conservación en el ámbito local (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE], 2000, p. 19).

La teledetección, al ser una herramienta que permite captar datos del terreno desde sensores instalados en satélites o aeronaves, se convierte en una alternativa válida y moderna

para abordar este problema. Permite detectar, clasificar y mapear coberturas vegetales a partir del análisis de firmas espectrales, las cuales representan la respuesta diferencial de cada tipo de vegetación ante la radiación electromagnética (Hernández y Montaner, 2015, p. 12). Este tipo de análisis ha sido ampliamente utilizado para zonificar ecosistemas y evaluar la dispersión de especies forestales en diversas regiones del país y del extranjero (Borja, 2016, p. 5, citado por Barreto, 2021, p. 3).

La aplicación de este enfoque tecnológico en el distrito de Huabal permitiría establecer una línea base sobre la distribución de *Cedrela odorata* L., generando información útil para investigadores, técnicos forestales, tomadores de decisiones y comunidades locales. La elaboración de mapas temáticos, producto del procesamiento de imágenes satelitales, constituye un insumo estratégico para la planificación territorial y el desarrollo de programas de reforestación, conservación y aprovechamiento sostenible. Además, su implementación puede ser replicada en otras zonas con condiciones similares, fortaleciendo así las capacidades técnicas en la región.

Por estas razones, la presente investigación tiene como objetivo principal determinar la distribución espacial con imágenes satelitales de *Cedrela odorata* L. en el distrito de Huabal, Provincia Jaén – Cajamarca 2024. Esta iniciativa no solo busca contribuir al conocimiento científico, sino también aportar herramientas prácticas para la gestión sostenible de los recursos naturales, y como objetivos específicos de esta investigación se plantearon los siguientes:

- Generar un mapa de cobertura general de todo el ámbito del distrito de Huabal, provincia Jaén – Cajamarca 2024.
- Generar un mapa de distribución espacial de *Cedrela odorata* L. en el distrito de Huabal, provincia Jaén – Cajamarca 2024.
- Validar la distribución espacial de *Cedrela odorata* L. empleando firmas espectrales en todo el ámbito del distrito Huabal, provincia Jaén – Cajamarca 2024.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

Jiménez (2016, p. 3) desarrollo una investigación en la microcuenca del río Pomacocho, Ecuador, donde caracterizo espectralmente cinco especies vegetales mediante el uso de un equipo tecnológico radiométrico, en su estudio obtuvo datos de reflectividad espectral de las cinco especies vegetales ubicadas en la Microcuenca del Río Pomacocho, 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.

Gambona (2021, p. 14) en su investigación realizó un análisis de la firma espectral en la especie *Polylepis reticulata* Hieron 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 16 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.

De la Barra Martínez et al. (2019, p. 7) realizaron una investigación basada en detectar árboles de castaña (*Bertholletia excelsa* Bonpl), a través de imágenes de satélite en la localidad de Filadelfia, departamento de Pando - Bolivia. Como objetivo principal de esta investigación fue Detectar la ubicación de las especies forestales de interés y su distribución espacial, a partir de imágenes Landsat. combinado con datos de campo. El modelo utiliza las bandas espectrales de imágenes de satélite (Landsat-5/TM), no visuales interpretación, analizada desde la perspectiva de que la relación entre las coordenadas de muestreo y los valores de imagen, son suficientemente representativos para detectar las especies de interés en todas las imágenes de satélite. Este ha dado como resultado el desarrollo del modelo, que utiliza como insumo la información del muestreo de campo del tipo de interés e imágenes satelitales, mediante procesamiento basado en análisis espacial, estadístico y lógico, el modelo detecta mosaicos forestales de interés. El mapa está representado por estimaciones de coordenadas de ubicación para los árboles de las especies de interés. Para la validación se utilizaron los censos de castaña de 9 sitios (2,035 árboles de castaña), lo que resultó en el éxito medio de detección del 77 %.

Barreto (2021, p. 3) en su estudio realizó, la aproximación he identificación de parches de Retamo espinoso (*Ulex europaeus* L.) 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 (IFC783 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 europaeus* L.) 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.

Borja (2016, p. 5) en su investigación realizó la distribución de tres especies forestales en el bosque de ceja andina utilizando imágenes satelitales RapidEye en la parroquia Achupallas, cantón Alauís, provincia de Chimborazo; utilizando el software ENVI 5.0 y ArcMap 10.2, con el fin de determinar hasta qué punto se puede zonificar una especie forestal, las especies seleccionadas fueron *Chusquea scandens* Kunth, *Clusia multiflora* Kunth y *Vallea stipularis* L.f., por el interés ecológico que representan, realizando una verificación in situ a partir del inventario del Proyecto de Caracterización Biogeográfica, conjuntamente se tomó puntos de control que permitieron realizar primero la zonificación del bosque de ceja andina y posteriormente a partir de esta nueva área de estudio se realizó la zonificación de especies en estudio para lo cual se tomaron puntos de control para cada especie considerando que cada

uno debía formar parches mínimos de 5 x 5 metros, así abarcaran la resolución que presenta la imagen satelital, pudiéndose encontrar parches solo para *Chusquea scandens* Kunth y *Vallea stipularis* L.f., mientras que para *Clusia multiflora* Kunth solo se encontraron arboles individuales, por lo que esta especie no fue tomada en cuenta para posteriores procesos, una vez realizada la clasificación se determinó un total de 726,907 ha para *Chusquea scandens* Kunth y 31,064 ha para *Vallea stipularis* L.f., para poder corroborar que las áreas generadas por el software representan a cada especie, se obtuvo la firma espectral, analizando niveles digitales para cada banda a partir de la estadística descriptiva de Excel que permitió calcular el coeficiente de variación, siendo menor a 1 para todas las bandas que conforma la firma espectral de las especies en estudio.

Ruiz et al. (2013, p. 2) realizaron un estudio que tuvo como finalidad analizar la dispersión espacial de seis especies forestales (*Pinus sylvestris* L., *Pinus pinaster* Aiton, *Pinus nigra* J.F. Arnold, *Quercus ilex* L., *Quercus pirenaica* Willd y *Castanea sativa* Mill) 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.

La Mana y Carabelli (2005, p. 1) realizaron una investigación donde tuvieron como objetivo identificar la distribución espacial del "mal del ciprés" en un área de interés. El estudio se centró en el Valle 16 de octubre, provincia de Chubut (43°10'S), donde la expansión de la enfermedad se ha acrecentado en la última década. Se trabajó con imágenes satelitales SPOT PAN y XS georreferenciadas del año 2001, con una resolución espacial de 10 m, abarcando un área de 30 x 30 km. En el campo se identificaron 65 grupos de árboles (parches) afectados por el "mal del ciprés" y se determinó su ubicación y perímetro mediante un sistema de

posicionamiento global (GPS). En gabinete se determinó la firma espectral correspondiente a ciprés afectado y se aplicó a toda la superficie del área de estudio sobre la imagen satelital. Este procedimiento involucró también 14 firmas espectrales, previamente determinadas, correspondientes a distintos tipos de elementos del paisaje, incluyendo el elemento ciprés (sin discriminación de vitalidad). Se obtuvo así un mapa base preliminar de la distribución del "mal del ciprés". El bosque afectado abarcó una superficie de 1750 ha, equivalente al 25 % de la superficie total de *A. chilensis* en el área analizada. La información generada permite cuantificar, por primera vez, la magnitud e importancia del "mal del ciprés". A su vez, sienta las bases para su monitoreo y brinda herramientas para comprender el proceso de la enfermedad. La segunda etapa de este estudio prevé identificar la relación entre la ocurrencia del "mal del ciprés" y variables ambientales (i.e., clima, topografía, suelo) a escala de paisaje.

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.

Chávez et al. (2019, p. 1) realizó una investigación donde tuvo como objetivo principal determinar la extensión de aguajales en la región Ucayali, Perú, mediante el método de clasificación supervisada de imágenes de satélite generadas por el satélite de Observación

Terrestre LANDSAT 8 a través del sensor OLI-TIRS, correspondiente a la región Ucayali en el año 2017. La extensión de aguajales se ha determinado también mediante la interpretación visual en la combinación de bandas 5 (Infrarrojo Cercano (NIR), con longitud de onda de 0,85 - 0,88 μm), 6 (Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1), con longitud de onda de 1,57 - 1,65 μm) y 2 (Azul, con longitud de onda de 0,45 - 0,51 μm), para la obtención del mapa de aguajales con escala de interpretación de 1:100 000 y con un área mínima de mapeo de 5,00 ha. con lo que determinamos una extensión de 65 120,04 ha de aguajales en la región Ucayali. La identificación de la ubicación y superficie neta de los bosques de aguajales en la región Ucayali permitirá desarrollar estudios futuros sobre sus beneficios potenciales, el manejo y aprovechamiento de los frutos y los servicios ambientales.

Vicente (2023, p. 9) en su 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 reportan 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 se 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 en la investigación..

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Bosques de neblina

Los bosques de neblina, también conocidos como bosques montanos húmedos, constituyen ecosistemas singulares situados en zonas altas de las regiones tropicales. A pesar de su importancia ecológica, históricamente han recibido poca atención, a pesar de albergar

elevadas concentraciones de biodiversidad y ser fuentes esenciales de agua dulce. De acuerdo con la Agenda del Bosque Nublado, este tipo de bosque representa menos del 2,5 % del total de los bosques tropicales a nivel global. No obstante, su relevancia ecológica es notable, ya que albergan una cantidad desproporcionada de especies a nivel mundial, muchas de ellas silvestres, así como reservorios de diversidad genética de cultivos fundamentales como el frijol y la papa (Bubb et al., 2004, p. 3).

Una de las características más distintivas de estos ecosistemas es la presencia constante de humedad atmosférica en forma de “lluvia horizontal”, que se manifiesta como niebla densa captada directamente por la vegetación. Este fenómeno reduce la evapotranspiración, la cual raramente supera los niveles de precipitación registrados. Como señalan Webster (1995) citado por (Criollo, 2019, p. 22), esta condición climática particular influye significativamente en la estructura y funcionamiento del bosque de neblina.

En el ámbito regional, las provincias de Jaén y San Ignacio en Cajamarca albergan importantes extensiones de estos bosques, especialmente en zonas como la Cordillera del Cóndor, los valles interandinos y las cuencas de los ríos Marañón, Chinchipe y Tabaconas. Estas áreas conforman paisajes de gran complejidad ecológica, donde se desarrollan comunidades vegetales diversas, compuestas por árboles, arbustos, lianas, epífitas, orquídeas y plantas parásitas. Además, se reporta una notable presencia de fauna variada, incluyendo múltiples especies endémicas que incrementan el valor de conservación de estos ecosistemas (Gobierno Regional de Cajamarca, 2010, p. 26).

2.2.2. *Cedrela odorata* L.

Clasificación Taxonómica

Según APG IV (2016) la especie se clasifica de la siguiente manera:

Reino: Plantae

División: Angiospermae

Clase: Equisetopsida

Subclase: Magnoliidae

Orden: Sapindales

Familia: Meliaceae

Género: Cedrela

Especie: *Cedrela odorata* L.

Según Cronquist (1981) la especie se clasifica de la siguiente manera:

Reino: Plantae

División: Angiospermae

Clase: Equisetopsida

Subclase: Magnoliidae

Orden: Sapindales

Familia: Meliaceae

Género: *Cedrela*

Especie: *Cedrela odorata* L.

Descripción botánica

Árbol de tronco recto que alcanza una altura de 40 m, copa grande globosa, alargada, corteza gruesa, áspera y acanalada, con surcos profundos, de color café oscuro o gris. Hojas alternas paripinnadas con 5 a 11 pares de folíolos asimétricos, ovados. Inflorescencia terminal en panícula de 15 a 40 cm de largo. Flores pequeñas, de 5 a 6 mm de longitud, hermafroditas, blanquecinas, cáliz 5 denticulado, pétalos puberulentos. Fruto cápsula leñosa pentavalvar, oblonga de 5 a 6 cm de largo, redondeada en ambos extremos, con eje central de 5 ángulos, ápice ancho donde se insertan alrededor de 15 semillas comprimidas y aladas en la base, con endosperma delgado (Torres, 2005, p. 20).

Características morfológicas

El cedro es un árbol que crece hasta 30-40 m en altura y de 100-300 cm de DAP, con fuste cilíndrico. La forma depende de la profundidad del suelo, pues en suelos poco profundos desarrolla un extenso sistema radical superficial y aletones bien desarrollados, mientras que en suelos profundos y fértiles las raíces son profundas y el tronco aflautado. La copa es amplia y rala, las hojas son alternas, compuestas, paripinnadas, con 5-11 pares de hojuelas,

lanceoladas a ovaladas que miden 5-16 cm de largo. Las flores son blanco verdosas, agrupadas en racimos de 30-50 cm al final de las ramas (CATIE, 2000, p. 19).

Las cápsulas en la etapa inicial son verdes y van cambiando de coloración durante el proceso de maduración a color café oscuro. Estas estructuras son básicamente leñosas redondeadas y se abren en varias partes conteniendo cada una entre 30-40. Estas semillas son planas como un ala; tienen una dimensión de 5-6 mm y llegan a medir hasta 20 mm incluyendo el ala. Al chancar las hojas entre las manos dejan un olor significativo similar al ajo, generalmente esto sucede durante la fase de la floración (CATIE, 2000, p. 20).

Usos

Presenta diversos usos como por ejemplo: el uso más común es en la construcción, pero también es utilizado como material de artesanía, artículos torneados y leña. La madera es blanda por lo general y muy fácil de trabajar, es utilizada para hacer muebles, puertas, ventanas. Asimismo, las hojas, raíz, corteza, semillas y tallos son utilizados para como medicina natural. Esta especie tiene mucho potencial para reforestación en algunas zonas degradadas principalmente en la selva.

Estado de conservación

Cedrela odorata L., constituye una de las especies maderables más valoradas del trópico americano, sin embargo, en la actualidad se encuentra en una situación de vulnerable debido al aprovechamiento dado por el hombre; esta especie presenta una amplia distribución que va desde México hasta el norte de Sudamérica a pesar de su amplia distribución presenta grandes preocupaciones en torno a su conservación puesto que presenta reducción de grandes poblaciones en fragmentos donde existe su habitat.

Cedrela odorata L. ha sido clasificada como vulnerable (VU) según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) debido a la gran disminución de sus poblaciones generado por la degradación de su habitat ocasionado principalmente actividades antrópicas, la deforestación y el cambio de uso de suelo (IUCN, 2022, p. 3). En el Perú el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM) reconoce como una especie en peligro según decreto supremo N° 043-2006-AG, lo que implicaría implementar medidas de conservación, reforestación y monitoreo para un manejo sostenible (MINAM, 2006, p. 12).

El CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) precisa que esta especie tiene una regeneración natural muy limitada, principalmente en zonas donde la cobertura forestal ha sido afectada o donde existen grandes números de especies competidoras. Además, señala que el cedro requiere condiciones ecológicas particulares especiales para su crecimiento, lo cual hace que se restrinja su establecimiento en áreas perturbadas o degradadas (CATIE, 2000, p. 19).

En este contexto, la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) se presentan como herramientas muy útiles para identificar y mapear la distribución actual del cedro y otras especies con alto valor ecológico, facilitando múltiples alternativas en la toma de decisiones para su protección. Estas técnicas y herramientas utilizadas permiten estimar su cobertura, evaluar el estado del ecosistema y detectar cambios en el tiempo, lo cual resulta muy esencial para la elaboración de planes de conservación implementándose a nivel local o regional.

Aspectos climáticos

El crecimiento distribución de *Cedrela odorata* L. están estrechamente condicionados por las características climáticas propias de los ecosistemas tropicales. Esta especie se desarrolla especialmente en zonas con tipos de clima húmedos y cálidos, en donde las precipitaciones anuales oscilan generalmente entre 1,200 y 2,800 mm y las temperaturas se sitúan entre los 20 °C y 30 °C, lo que favorece su desarrollo garantizando la disponibilidad hídrica necesaria para su desarrollo fisiológico principalmente en sus primeras etapas de crecimiento y desarrollo (CATIE, 2000, p. 19).

Los ecosistemas montanos del norte del Perú, particularmente los bosques de neblina de la región Cajamarca, presentan condiciones de microclima favorables para el desarrollo de *Cedrela odorata* L. Estos ecosistemas se caracterizan por elevados niveles de humedad, presencia recurrente de neblina, y precipitaciones influenciado por la estacionalidad. En ese sentido el distrito de Huabal, ubicado en la provincia de Jaén, se encuentra dentro de la zona de vida bosque húmedo Montano Bajo (bn-MB) propuesta por Holdridge donde las precipitaciones anuales varían entre 2,000 y 4,000 mm y las temperaturas oscilan entre 12 y 18 °C las cuales favorecen el crecimiento de las especies forestales propias de este tipo de ecosistema (Criollo, 2019, p. 14).

Las condiciones climáticas presentes en estos tipos de ecosistemas ejercen influencia significativa en la composición florística y la estructura del bosque. Las zonas con altos niveles de humedad favorecen la proliferación de epífitas, musgos y helechos contribuyendo al notable incremento de la diversidad biológica y a una mayor complejidad estructural del hábitat (Gobierno Regional de Cajamarca, 2010, p. 26).

En ese sentido, comprender los factores climáticos asociados a esta especie es fundamental tanto como para el diseño de estrategias de conservación como para la planificación de programas de reforestación y monitoreo mediante imágenes satelitales, esto se debe a que los factores climáticos influyen directamente en las características fisiológicas de la vegetación lo cual se refleja en su respuesta espectral.

Fisiografía y suelos

La fisiografía del distrito de Huabal, ubicado en la provincia de Jaén, región Cajamarca, presenta un relieve mayormente montañoso con pendientes que varían desde moderadas hasta pronunciadas. Estas unidades geomorfológicas integran sectores asociados a la cordillera del cóndor la cual es considerada como una zona de transición entre el sistema andino y la selva alta (Gobierno Regional de Cajamarca, 2010, p. 26). Asimismo, el área presenta valles estrechos, terrazas de origen aluvial y colinas, cuya configuración influye en la disponibilidad de suelos y la distribución de la cobertura vegetal predominante.

Desde el punto de vista edafológica, los suelos del distrito de Huabal corresponden principalmente a suelos inceptisoles y ultisoles, los cuales son característicos de ambientes montanos húmedos. Cuyos suelos presentan un desarrollo moderado de horizontes, con una acumulación significativa de materia orgánica en las capas superficiales (MINAGRI, 2015, p. 47). Asimismo, su estructura granular y la textura predominante franco-arenosa favorecen la infiltración y retención de la humedad contribuyendo al crecimiento y establecimiento de especies forestales como *Cedrela odorata* L.

La combinación de una cobertura vegetal densa y pendientes pronunciadas incrementa la susceptibilidad de estos suelos a procesos de erosión, especialmente en zonas donde se han realizado actividades como la tala o la apertura de vías sin una adecuada planificación técnica. En este contexto el manejo forestal sostenible debe priorizar la conservación del suelo como un elemento fundamental mediante acciones como la protección del bosque primario a través de la reforestación con especies nativas.

Asimismo, las características edafísicas y la altitud inciden de manera significativa en la distribución de *Cedrela odorata* L., debido a que esta especie requiere suelos bien drenados, con adecuada aireación y disponibilidad de nutrientes para su óptimo desarrollo. Cuando los suelos presentan condiciones de degradación o compactación, se limita su establecimiento y crecimiento, afectando su regeneración natural y la estabilidad de sus poblaciones (CATIE, 2000, p. 19).

Distribución

Cedrela odorata L. es reconocida como una de las especies maderables más valiosas debido a su amplia distribución geográfica y a sus características morfológicas que favorecen su aprovechamiento. De acuerdo con CATIE, esta especie se encuentra desde México hasta América del Sur, desarrollándose principalmente en bosques tropicales húmedos entre los 400 y 1 200 m s.n.m., en suelos profundos húmedos y bien drenados, donde las condiciones climáticas cálidas y húmedas permiten su crecimiento óptimo de la especie (CATIE, 2000, p. 19).

En el Perú, *Cedrela odorata* L. ha sido reportada en diversas regiones del país, como Cajamarca, Huánuco, Loreto y Ucayali, donde se establece en condiciones de bosque húmedo tropical. Según información del Inventario Nacional Forestal, elaborado por SERFOR, su distribución está determinada por factores como la altitud, el tipo de suelo y el estado de conservación del bosque, registrándose poblaciones naturales en distritos como Huabal, aunque sometidas a presión por actividades antrópicas (SERFOR, 2021, p. 37).

2.2.3. Nicho ecológico

El nicho ecológico se define como la posición que una especie ya sea a nivel individual o poblacional, ocupa dentro de un ecosistema, considerando tanto su distribución espacial y temporal, así como las interacciones funcionales que mantiene con otros componentes de la comunidad donde habita (Jaksic, 2007, p. 281). Asimismo, Se representa la unidad fundamental vinculada a las características propias de la especie y a los factores que condicionan su capacidad de adaptación y supervivencia en un entorno determinado.

Por su parte, Soberón et al. (2014, p. 64) diferencia dos categorías del nicho ecológico: el nicho fundamental, que comprende el conjunto de condiciones ambientales necesarias para la supervivencia de la especie en ausencia de competencia, y el nicho realizado, que representa

una fracción más restringida de ese espacio, determinada por las interacciones ecológicas con otras especies.

2.2.4. Teledetección

La teledetección es una disciplina que permite obtener información de la superficie terrestre desde sensores ubicados en plataformas espaciales, como satélites. La relación electromagnética entre el terreno y el sensor, genera información que posteriormente permite procesarlos para adquirir datos interpretables de la Tierra (IGN, 2015, p. 2). Además, consiste en la obtención de información de la superficie terrestre sin necesidad de tener 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). Por otro lado, la teledetección se define como una 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 han utilizadas en este trabajo de investigación forman parte de este segundo grupo (Bognanni, 2010, p. 80).

2.2.5. Imágenes satelitales

Según Ávila (2021, p. 45) las imágenes satelitales constituyen una representación visual de la información obtenida mediante sensores remotos instalados en satélites artificiales, los cuales captan la radiación reflejada por la superficie terrestre. Posteriormente, estos datos son transmitidos a estaciones en tierra, donde son procesados y transformados en imágenes que permiten analizar y comprender las características del territorio en distintas escalas espaciales, facilitando su estudio y monitoreo

2.2.6. Tipos de imágenes satelitales

Según Sánchez (2012, p. 46) indica que existen tres tipos de imágenes satelitales las cuales se detallan a continuación:

Imágenes pancromáticas

Las imágenes pancromáticas son generadas a través de sensores digitales que registran la reflectancia de la energía en una amplia región del espectro electromagnético. En los sensores más recientes, esta banda única suele cubrir tanto el rango visible como el infrarrojo cercano, produciendo imágenes en escala de grises. Este tipo de imágenes permite detectar, reconocer y analizar elementos superficiales, ya sean naturales o artificiales, basándose en características físicas como la forma, el tamaño y la disposición espacial. Entre los objetos que pueden identificarse destacan edificaciones, carreteras, vehículos e infraestructura urbana. Asimismo, estas imágenes resultan de gran utilidad ya que actualizan cartografía, la delimitación de cuerpos de agua y el análisis de expansión urbana permitiendo la generación de modelos digitales de elevación con buen nivel de detalle y precisión (Sánchez, 2012, p. 46).

Imágenes multiespectrales

Las imágenes multiespectrales son generadas mediante sensores digitales que capturan la reflectancia de la superficie terrestre a través de varias bandas del espectro electromagnético. Por ejemplo, ciertos detectores registran la radiación reflejada en la región visible del espectro, como el rojo, mientras que otros captan el infrarrojo cercano. Incluso puede haber detectores que midan diferentes sectores dentro de una misma longitud de onda. La información obtenida en estas bandas se combina para formar imágenes en color. Actualmente, los satélites equipados con sensores multiespectrales registran datos en un rango que puede variar entre tres y catorce bandas. Esta tecnología permite obtener una representación más detallada de la superficie terrestre, facilitando la identificación de tipos de suelo y formaciones rocosas según su composición, la delimitación de áreas pantanosas y la estimación de la profundidad de cuerpos de agua en zonas costeras (Sánchez, 2012, p. 46).

Imágenes Hiperespectrales

Las imágenes hiperespectrales se obtienen a través de sensores especializados que registran la reflectancia de la superficie terrestre en un número muy elevado de bandas espectrales, que pueden alcanzar las centenas o incluso miles. La base teórica de esta tecnología radica en que, al analizar franjas extremadamente estrechas del espectro electromagnético, es posible identificar diferencias mínimas entre diversos elementos del terreno. Esta capacidad resulta especialmente útil para discriminar tipos de vegetación, características del suelo y formaciones geológicas. Visualmente, las imágenes hiperespectrales

presentan una apariencia similar a la de una fotografía convencional, aunque con un contenido espectral mucho más detallado (Sánchez, 2012, p. 46).

2.2.7. Firmas espectrales

Se La firma espectral es una representación gráfica que permite identificar la respuesta específica de diferentes coberturas terrestres ante la radiación electromagnética. Cuando se grafica la longitud de onda en el eje horizontal (X) y la reflectancia en el eje vertical (Y), cada tipo de cobertura genera una curva única que refleja su comportamiento particular frente a la radiación. Estas curvas características, también conocidas como espectros o firmas, permiten distinguir entre distintas superficies debido a su singularidad espectral (Hernández & Montaner, 2015, p. 12).

Cuando la energía electromagnética incide sobre la superficie terrestre, esta interactúa con los objetos presentes mediante procesos de reflexión, absorción o transmisión, dependiendo de las propiedades del material. Cada tipo de superficie responde de forma diferente a estas longitudes de onda, lo cual se traduce en una firma espectral propia. Este comportamiento diferencial en la reflectancia o emitancia es esencial en los análisis de clasificación de imágenes satelitales, ya que permite identificar con precisión los distintos elementos del paisaje (Hernández & Montaner, 2015, p. 12).

2.2.8. Comportamientos espectrales de la vegetación

La reflectancia de la vegetación está influenciada por múltiples factores físicos y fisiológicos, entre ellos los pigmentos presentes en las hojas, la estructura foliar y el contenido de agua. Según Alonso et al. (1999, p. 28), los pigmentos afectan principalmente la región visible del espectro electromagnético (0,4 a 0,7 μm), donde la clorofila absorbe aproximadamente el 65 % de la energía, la xantofila un 29 % y los carotenos alrededor del 6 %. En el infrarrojo cercano (0,8 a 1,1 μm), la reflectancia aumenta considerablemente debido a las propiedades estructurales de las hojas. Por su parte, en el infrarrojo medio (1,4 a 1,8 μm), la reflectancia se ve afectada por el contenido hídrico de los tejidos; en condiciones normales de hidratación, los valles espectrales son profundos y definidos, mientras que en situaciones de estrés hídrico se atenúan, incrementando la reflectancia superficial.

Chuvieco (2008, p. 148) advierte que, si bien la caracterización espectral de coberturas vegetales es una de las aplicaciones más relevantes en teledetección, su análisis presenta

dificultades, ya que existen múltiples variables que condicionan la radiancia registrada por los sensores.

En esa misma línea, Sobrino (2001, p. 46) señala que la respuesta espectral de una hoja individual puede diferir significativamente de la de una cobertura vegetal completa, la cual está compuesta por un conjunto de hojas con distinta geometría, presencia de suelo, sombras u otros elementos. Por ello, es necesario considerar estos factores al interpretar la firma espectral de la vegetación, evitando generalizaciones que podrían conducir a errores en la clasificación.

2.2.9. *Uso de índices espectrales de vegetación*

Los índices espectrales son herramientas matemáticas derivadas de la combinación de valores de reflectancia registrados por sensores remotos en distintas bandas del espectro electromagnético. Su objetivo principal es resaltar determinadas propiedades biofísicas de la cobertura vegetal, como la densidad, la salud o el grado de humedad. Entre los más utilizados se encuentra el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), que compara la reflectancia del infrarrojo cercano con la del rojo visible, aprovechando el comportamiento característico de la vegetación sana, que refleja más en el infrarrojo y absorbe más en el rojo (Chuvieco, 2008, p. 172).

Estos índices permiten distinguir con mayor claridad la vegetación activa respecto a suelos desnudos, áreas degradadas o cuerpos de agua. Además, son ampliamente empleados en análisis multitemporales para evaluar cambios en la cobertura vegetal, monitorear procesos de deforestación, estimar biomasa y detectar condiciones de estrés hídrico en ecosistemas forestales (Sobrino, 2001, p. 95).

2.3. Conceptos básicos

Especie forestal: Se entiende como especie forestal a todo árbol o arbusto leñoso que forma parte del ecosistema forestal y que tiene valor ecológico, económico o social, ya sea por su uso maderable, no maderable o por los servicios ecosistémicos que ofrece (FAO, 2018, p. 12).

Cobertura vegetal: La cobertura vegetal se refiere al conjunto de especies vegetales presentes sobre la superficie terrestre, que actúan como indicador del uso del suelo, del estado

del ecosistema y de los procesos ecológicos que ocurren en un área determinada (Chuvieco, 2008, p. 103).

Sistemas de Información geográfica (SIG): Un SIG es un conjunto organizado que integra hardware, software, datos espaciales, procedimientos y personal, permitiendo capturar, almacenar, manipular, analizar y mostrar datos georreferenciados para facilitar la toma de decisiones y el análisis geográfico (Burrough & McDonnell, 1998, p. 11).

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

Matriz de confusión: La matriz de confusión es una herramienta estadística que permite evaluar la precisión de una clasificación comparando los resultados obtenidos con datos de referencia conocidos, indicando los aciertos y errores de cada clase asignada (Congalton, 1991, p. 36).

Índice de kappa: El índice Kappa es una medida estadística que evalúa el grado de concordancia entre una clasificación obtenida y los datos reales, considerando la posibilidad de aciertos por azar; su valor varía entre -1 (desacuerdo total) y 1 (acuerdo perfecto) (Landis & Koch, 1977, p. 165).

3.2. Tipo y diseño de investigación

Tipo: La investigación será de tipo descriptiva debido a que genera conocimientos prácticos descriptivos.

Diseño: La presente investigación será no experimental descriptiva y explicativa ya que los resultados serán descritos e interpretados estadísticamente.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. *Materiales*

Material biológico: árboles de *Cedrela odorata* L.

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 1:100000, Papel bond A4 de 80 gramos, lapiceros.

3.3.2. *Equipos*

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

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

Software: Microsoft Office 16, QGIS 3.18.

3.4. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Distribución espacial de la especie <i>Cedrela odorata</i> L.	La distribución espacial es una técnica que se utiliza para identificar la posible existencia de cualquier especie en estudio (Borja, 2016, p. 12)	El Índice de kappa se valida la exactitud de la clasificación de la imagen satelital, lo cual permite saber en qué tipo de rango se encuentra la clasificación: mala a excelente	Índice de kappa	0.81 – 1.00 Excelente	Escala de razón
				0.61 – 0.80 Buena	
				0.41 – 0.60 Moderado	
				0.21 – 0.40 Ligero	
				< 0.20 Mala	

3.5. Unidad de análisis

Población: Árboles de *Cedrela odorata* L.

Muestra: la muestra fue determinada según la metodología propuesta por (Borja 2016) la cual refiere que las muestras son denominadas “puntos de control” que fueron áreas cuadrantes tomados como mínimo de 5 x 5 m, debido a que el pixel de la imagen satelital supera este tamaño, el número muestral la cual estuvo conformado por 30 puntos de control seleccionados y colectados de forma aleatoria en todo el ámbito del distrito de Huabal.

3.6. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Fuentes

Las fuentes de recolección de datos para esta investigación son primarios, ya que se recogerá información de campo e información cartográfica disponible del MINAM.

Técnica

La técnica de recolección de información a utilizar es la observación directa.

Instrumento de recolección de datos

Guía de recolección de muestras botánicas del Serfor.

3.7. Procedimiento

3.7.1. Verificación de la existencia de *Cedrela odorata* L. en el ámbito de estudio

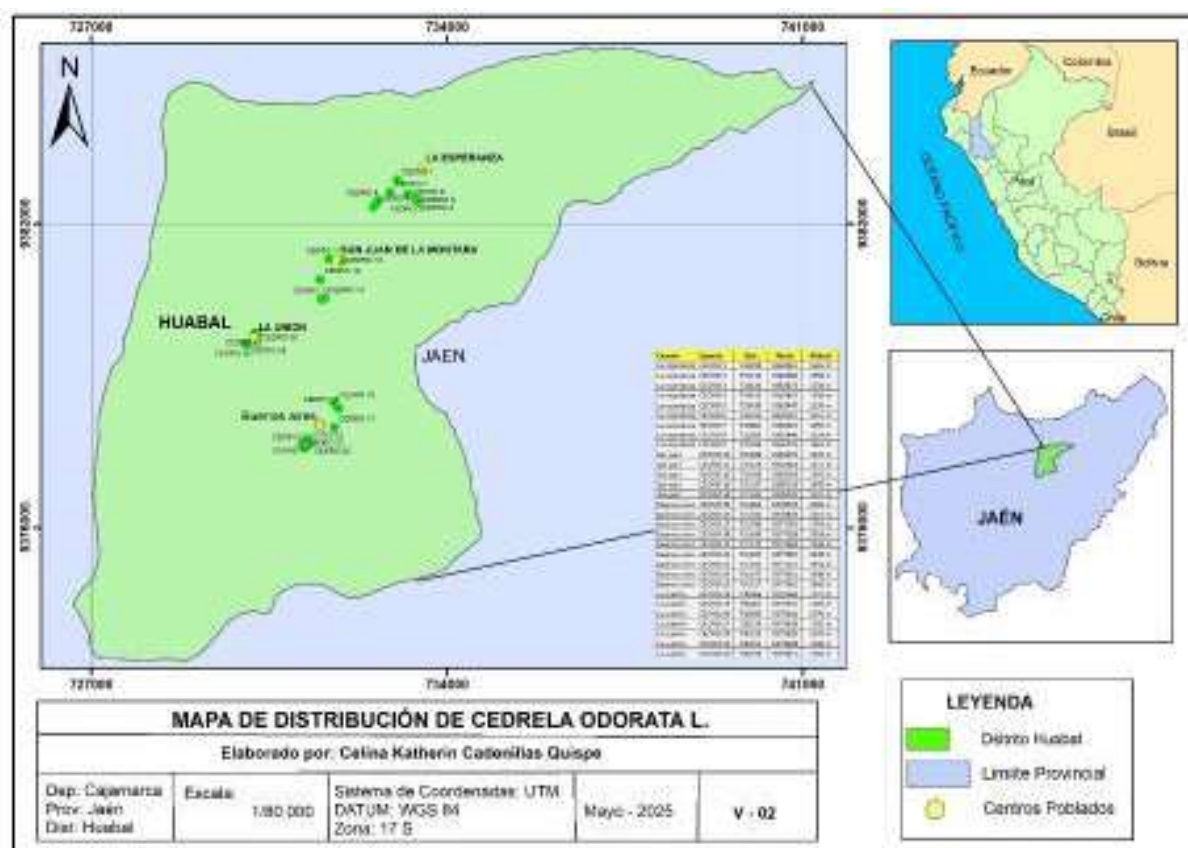
Mediante una revisión bibliográfica, se recopiló información técnica de autores que documentan la distribución de *Cedrela odorata* L. en el distrito de Huabal, con el fin de identificar áreas de ocurrencia de la especie en base a registros previos.

3.7.2. Identificación y georreferenciación de *Cedrela odorata* L. en el ámbito de estudio.

Se efectuaron recorridos de campo en distintos sectores del distrito de Huabal con el propósito de ubicar individuos de *Cedrela odorata* L., en estado natural. Para garantizar precisión en la localización, se utilizó un dispositivo GPS con buena precisión de marca Garmin 64s que permitió registrar las coordenadas UTM de cada ejemplar identificado. Estas observaciones sirvieron como base para generar puntos de control georreferenciados, esenciales para la etapa de clasificación supervisada de imágenes satelitales. Adicionalmente, se registraron datos auxiliares como altitud, tipo de cobertura vegetal y estado fenológico de los árboles encontrados.

Figura 2

Mapa de distribución de la especie Cedrela odorata L.



3.7.3. Colecta de muestras botánicas

Durante las salidas de campo, se recolectaron muestras botánicas de los individuos de *Cedrela odorata* L., con fines de respaldo taxonómico. Las muestras incluyeron hojas, ramas y frutos, según disponibilidad, y fueron etiquetadas adecuadamente con datos como fecha, código de colecta y coordenadas geográficas. Posteriormente, estas muestras fueron secadas y prensadas para su preservación y verificación taxonómica. Este procedimiento permitió corroborar la identidad de la especie en los puntos de muestreo, fortaleciendo la validez de los datos empleados para el análisis espacial.

3.7.4. Obtención de la imagen satelital

Para el análisis de la cobertura forestal y la distribución de *Cedrela odorata* L., se utilizó una imagen satelital del satélite Sentinel-2B, el cual ofrece datos multiespectrales con una resolución espacial de 10 a 60 metros dependiendo de la banda, para el presente análisis de la investigación se utilizó 5 bandas espectrales las cuales tienen resolución espectral de 10 metros para las bandas 1 - 4 y 20 metros para la banda 5. La imagen fue descargada desde la

plataforma oficial Copernicus Open Access Hub, seleccionando escenas libres de nubosidad y correspondientes al año 2024, con fecha 15 de enero del 2025, fecha cercana a la toma de datos de campo para asegurar consistencia temporal y realizar un análisis más preciso.

Tabla 2

Detalles de la imagen satelital empleada

Satélite	Sensor	Fecha	Row	Código
Sentinel	2B	2024	068	S2B_MSIL2A_20240912T153629_N0511

Nota: Fuente, Copernicus, 2024

3.7.5. Zonificación del área de estudio

Una vez obtenida y procesada la imagen satelital, se procedió a realizar la zonificación del área de estudio mediante herramientas de análisis espacial en el software QGIS 3.28. Esta etapa consistió en delimitar las zonas del distrito de Huabal donde se evidenció la presencia de *Cedrela odorata* L., a partir de los puntos georreferenciados obtenidos en campo y la interpretación espectral de las imágenes. Se realizó una clasificación supervisada utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud y además se aplicó un filtro mayoritario para eliminar pequeñas agrupaciones de píxeles aislados que podrían representar ruido en el resultado de la clasificación.

Para ello, se utilizó la herramienta “Majority Filter” del módulo Spatial Analyst en QGIS 3.28, la cual reemplaza cada celda con el valor más frecuente dentro de su vecindad, suavizando así las transiciones entre clases. Adicionalmente, se empleó el procedimiento “Region Group”, que permite agrupar píxeles contiguos con igual valor de clase y, posteriormente, se aplicó una reclasificación mediante Raster Calculator para eliminar aquellas regiones cuya extensión era menor a un umbral establecido (por ejemplo, menos de 10 píxeles contiguos o su equivalente en hectáreas).

Este proceso de limpieza permitió obtener un mapa temático con mejor legibilidad visual para el lector, reduciendo la fragmentación artificial entre clases y asegurando una representación más coherente del paisaje clasificado.

Posteriormente la exactitud de la clasificación supervisada de cada cobertura se validó por medio de la matriz de confusión, conjuntamente con el índice Kappa.

3.7.6. Validación de *Cedrela odorata* L. utilizando firmas espectrales

La validación de la especie se realizó utilizando firmas espectrales obtenidas de las zonas delimitadas durante la zonificación, complementadas con el análisis estadístico de los valores digitales correspondientes a cada banda espectral. Para ello, se aplicó la metodología propuesta por Borja (2016, p. 26), que contempla la evaluación comparativa de la respuesta espectral específica de la cobertura identificada.

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

Para cada una de las coberturas clasificadas, se extrajeron las firmas espectrales individuales, y posteriormente se realizó una comparación gráfica utilizando el software QGIS 3.28. A partir de estos datos, se generó la firma espectral promedio correspondiente a la especie *Cedrela odorata* L., lo que permitió contrastar su comportamiento espectral frente a otras clases presentes en el área de estudio.

3.7.7. Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante técnicas de estadística descriptiva, utilizando el software QGIS 3.28. Para cada banda espectral de la imagen Sentinel-2, se evaluaron indicadores como el coeficiente de variación, el error de muestreo y el error relativo de muestreo, con el objetivo de validar la homogeneidad de los datos asociados a las firmas espectrales de *Cedrela odorata* L. De acuerdo con los criterios establecidos por Galindo (2015), citado por Borja (2016, p. 26), se considera que los datos espectrales son homogéneos y, por tanto, válidos para la clasificación cuando el coeficiente de variación es menor o igual a uno.

3.8. Presentación de la información

La información generada en esta investigación fue organizada y analizada mediante herramientas de estadística descriptiva, permitiendo tabular los datos obtenidos y representar los resultados de forma clara y comprensible. Se elaboraron tablas de resumen, gráficos como histogramas y figuras comparativas, así como mapas temáticos que muestran la distribución espacial de *Cedrela odorata* L. en el distrito de Huabal. Estas representaciones visuales facilitaron la interpretación de los resultados y contribuyeron a una mejor comprensión y brindar mejor facilidad para el público lector.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

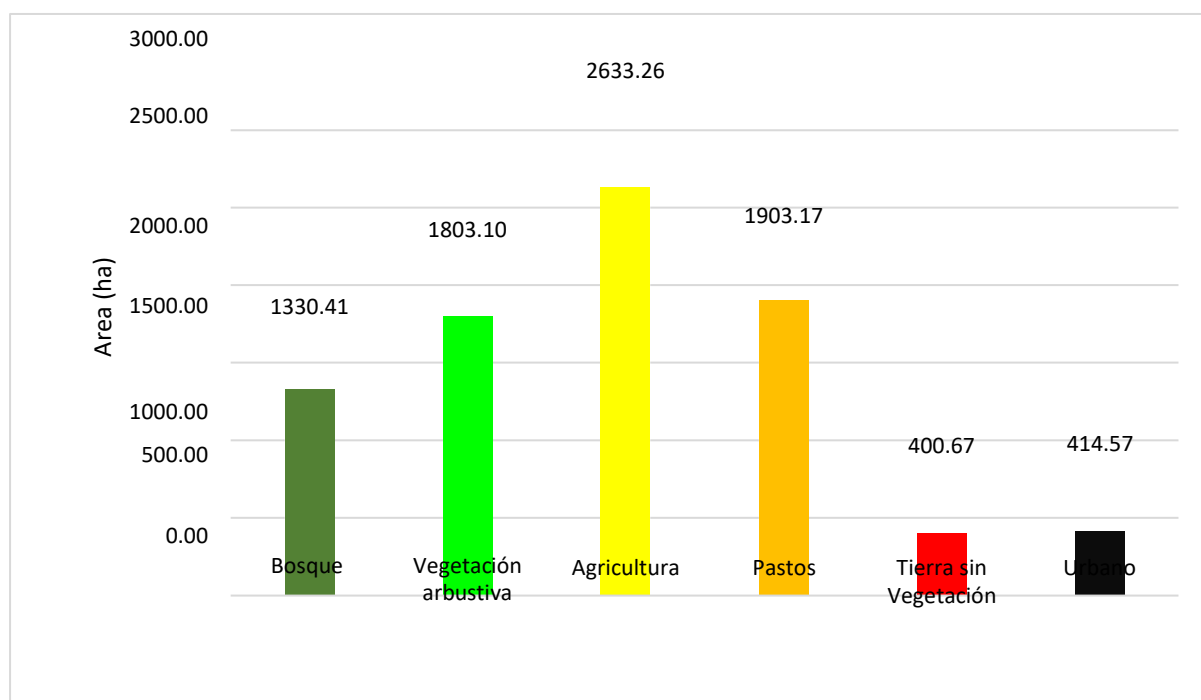
4.1.1. Zonificación del distrito de Huabal

a) Clases de cobertura y uso actual del distrito de Huabal

Para identificar los tipos de clases de cobertura y uso de suelo actual se utilizó una imagen satelital del sensor Sentinel-2 correspondiente al año 2024, donde se efectuó la zonificación del distrito de Huabal de acuerdo con las coberturas y el uso actual del suelo. Para identificar las diferentes clases, se aplicó una clasificación supervisada, guiada por la estructura de clases establecida en la leyenda Corine Land Cover, adaptada para Perú. Como resultado de esta clasificación, se lograron identificar las siguientes clases de cobertura: bosque denso alto, vegetación arbustiva, agricultura, pastos, Tierra sin vegetación o suelo desnudo y tejido urbano.

Figura 3

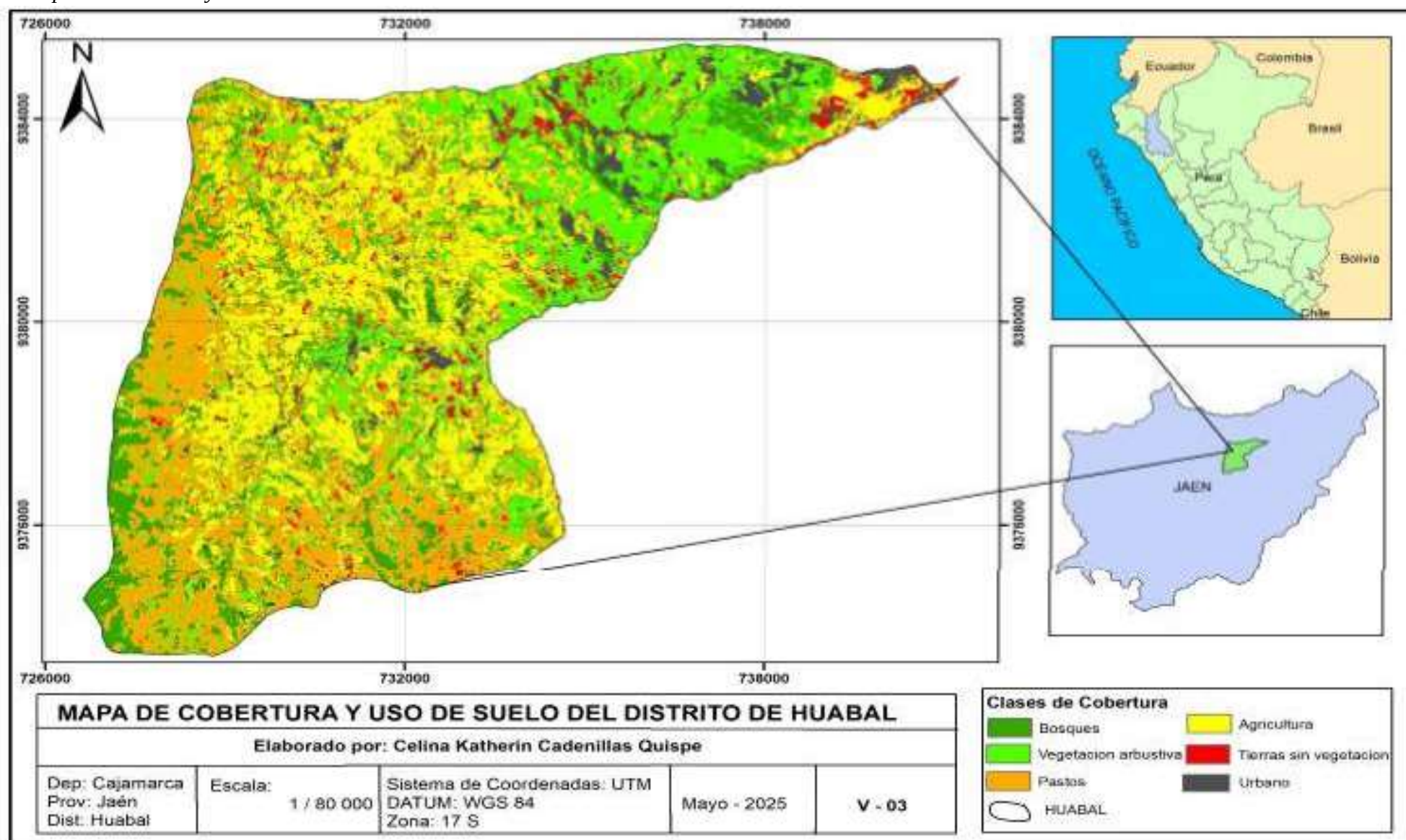
Áreas de las clases de cobertura y uso de suelo del distrito de Huabal



Como se puede apreciar en la (Figura 3), producto de la clasificación supervisada se identificaron seis tipos de clases de cobertura y uso de suelo, de las cuales la que tuvo mayor cantidad de área fue la clase de agricultura con 2633,26 ha, seguido de la clase pastos con 1903,17 ha, vegetación arbustiva 1803,10 ha, bosque denso alto 1330,41 ha, tejido urbano 414,57 ha y finalmente la clase de tierra sin vegetación o suelo desnudo ocupando un área de 400,67 respectivamente.

Figura 4

Mapa de cobertura y uso de suelo del distrito de Huabal



b. Exactitud de la zonificación del distrito de Huabal

La exactitud de la clasificación del área de estudio fue evaluada mediante la matriz de confusión y el índice Kappa.

- Matriz de confusión de la zonificación del distrito de Huabal

Tabla 3

Matriz de confusión de la zonificación del distrito de Huabal

CLASE	Testing						TOTAL	F. usuario (%)
	Ag	Bda	Pa	Tsv	Au	Va		
Ag	50	2	1	0	0	0	53	94,34
Bda	0	43	5	0	0	0	48	89,58
Pa	0	0	35	1	3	0	39	89,74
Tsv	0	3	8	49	0	0	60	81,67
Au	0	0	1	0	45	0	46	97,83
Va	0	2	0	0	2	50	54	92,59
TOTAL	50	50	50	50	50	50	300	90,67
F. usuario %	100	86,00	70,00	98,00	90,00	100		

En la tabla 3 se presenta La matriz de confusión generada a partir de la zonificación del distrito de Huabal una exactitud global de 90,67 % lo cual indica que la clasificación tuvo un desempeño general aceptable. La matriz de confusión arrojó también resultados favorables, destacando que las clases áreas urbanizadas (Au) 97,83 % y agricultura (Ag) 94,34 % alcanzaron la mayor exactitud, al presentar una precisión del 100 %, es decir, casi todos los puntos correspondientes a estas coberturas fueron correctamente identificados por el modelo. En cuanto a la precisión del producto, las clases agricultura (Ag) y Vegetación arbustiva (Va) alcanzaron una precisión de 100 % para ambas clases, la clase con menor precisión fue la de tierra sin vegetación (Tsv), la cual registró una precisión de usuario de 81,67 %, debido a que varios de sus píxeles fueron clasificados erróneamente como bosque y pasto. Sin embargo, esta confusión no afectó mucho en su desempeño general y mantuvo una precisión del producto aceptable con 98 %.

Las demás clases presentaron resultados consistentes, como bosques (Bda) con 89,58 % de precisión del usuario y 86 % de precisión del producto, pastos (Pa) 89,74 % de precisión del usuario y 70 % de precisión del producto, finalmente la clase tierras vegetación

arbustiva (Va) que logró 92,59 % de precisión del usuario y una precisión del producto del 100 %.

- **Índice kappa**
- **Cálculo del índice Kappa del año 2024**

=

Siendo:

Po = Proporción global

Pe = proporción esperada

$$= \frac{50 + 43 + 35 + 49 + 45 + 50}{300} = 0,9067$$

$$= \frac{53 * 50 + 48 * 50 + 39 * 50 + 60 * 50 + 46 * 50 + 54 * 50}{300 * 300} = 0,1667$$

$$= \frac{0,9067 - 0,1667}{0,9067} = 0,8880$$

La precisión general de la zonificación fue evaluada mediante el índice estadístico Kappa, obteniéndose un valor de 0,8880. Este resultado refleja una concordancia del 88,80 % entre los datos clasificados y los puntos de referencia en campo, lo que indica que la clasificación fue confiable y presenta únicamente un 11,20 % de margen de error. De acuerdo con la escala de interpretación de Landis y Koch (1977), este valor se ubica dentro del rango de "muy buena" concordancia, lo cual respalda la calidad del modelo de clasificación aplicado.

4.1.2. Zonificación de la especie *Cedrela odorata* L.

Tabla 4

Zonificación de Cedrela odorata L.

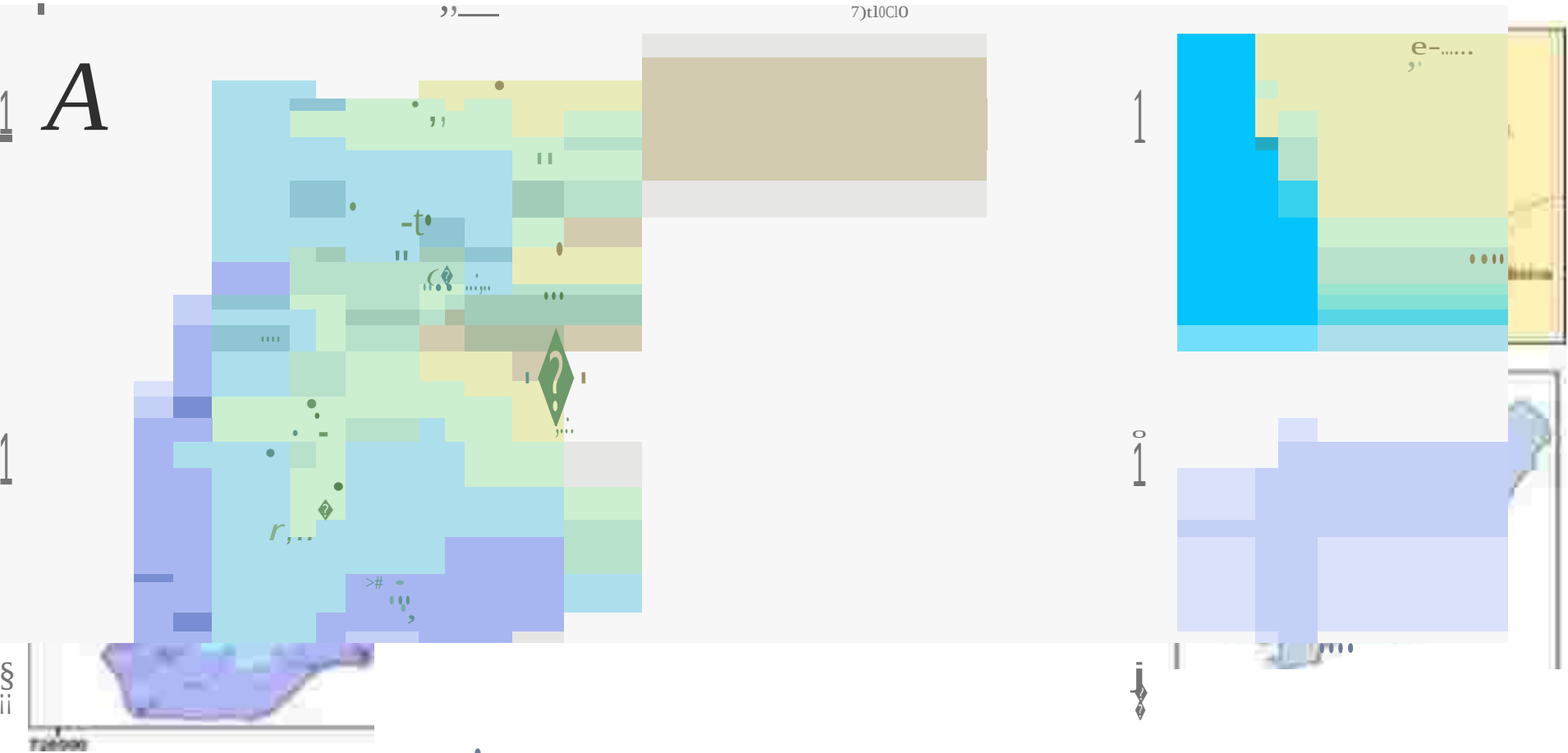
Zonificación de		
	<i>Cedrela odorata</i> L.	
Bosque	1330,41	15,55
Vegetación arbustiva	1803,10	21,08
Agricultura	2633,26	30,79
Pastos	1903,17	22,25
Tierra sin Vegetación	400,67	4,68
Urbano	414,57	4,85
<i>Cedrela odorata</i> L.	68,15	0,80

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos a partir de la clasificación de la especie *Cedrela odorata* L. en la zonificación se empleó el algoritmo Máximo verosimilitud para determinar la existencia de dicha especie en todo el ámbito de Huabal mediante el procesamiento de la imagen satelital, donde se pudo constatar que existen aproximadamente alrededor de 68,15 hectáreas de la especie en estudio lo cual representa un 0,80 % de la extensión territorial total del distrito de Huabal considerando las áreas con cobertura forestal de la especie detectados mediante la imagen satelital y las 30 muestras denominados puntos de control identificados en campo.

Figura 5.

Mapa Zonificación de la especie *Cedrela odorata* L. en el distrito de Huabal



MAPA DE DISPERSION DE CEDRELA ODORATA L. EN EL DISTRITO DE HUABAL

Elaborado por: Celina Kallin Caden Ua Oulape

Región: Cajamarca
Prov: J. sén
Dist: Hu3b81

Escala: 1:180000
DATUM: WGS 84
Zona: 17 S

Mayo - 2025

V-04

Cedrela odorata L.

DISTRITO HUABAL

a). Exactitud de la zonificación de la especie *Cedrela odorata* L.

- Matriz de confusión de la zonificación de especie *Cedrela odorata* L.

Tabla 5

Matriz de confusión de la Zonificación de la especie Cedrela odorata L.

Clase	Testing							Total	F. usuario (%)
	Co	Ag	Bda	Pa	Tsv	Au	Va		
Co	29	0	2	0	0	0	0	31	93,55
Ag	0	50	2	1	0	0	0	53	94,34
Bda	1	0	41	5	0	0	0	47	87,23
Pa	0	0	0	35	1	3	0	39	89,74
Tsv	0	0	3	8	49	0	0	60	81,67
Au	0	0	0	1	0	45	0	46	97,83
Va	0	0	2	0	0	2	50	54	92,59
TOTAL	30	50	50	50	50	50	50	330	81,82
F. usuario %	96,67	100	82,00	70,00	98,00	90,00	100		

En la Tabla 5 se presenta la matriz de confusión correspondiente a la zonificación de la especie *Cedrela odorata* L. en el distrito de Huabal, donde se obtuvo una exactitud global de 81,82 %, lo que indica que el modelo de clasificación tuvo un desempeño general aceptable. La clase *Cedrela odorata* L. (Co) especie zonificada obtuvo una precisión de usuario de 93,55 % y 96.67 lo que indica que la precisión fue muy alta ya que solo se confundieron 3 pixeles con la clase Bosque denso alto (Bda).

- Índice kappa

- Cálculo del índice Kappa del año 2024

- =

- Siendo:

-

- Po = Proporción global

- Pe = proporción esperada

$$= \frac{29 + 50 + 41 + 35 + 49 + 45 + 50}{330} = 0,9061$$

$$= \frac{31 * 30 + 53 * 50 + 47 * 50 + 39 * 50 + 60 * 50 + 46 * 50 + 54 * 50}{330 * 330} = 0,1458$$

$$= \frac{1}{1} = 0,8900$$

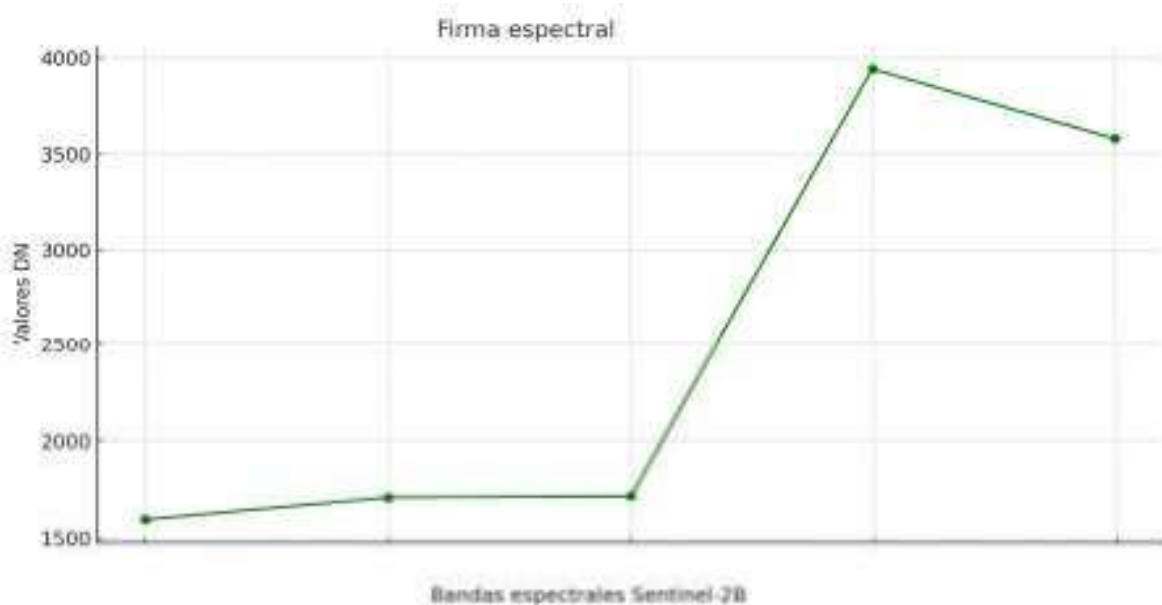
La validación de la exactitud de la zonificación de *Cedrela odorata* L. se efectuó mediante el índice estadístico Kappa, arrojando un valor de 0,8900. Este resultado representa un nivel de concordancia del 89 %, lo que evidencia una alta fiabilidad en la clasificación supervisada realizada. En consecuencia, el margen de error se limita únicamente al 11 %, indicando que el modelo aplicado logró una adecuada discriminación de las coberturas, con un alto grado de coincidencia entre los datos clasificados y los puntos de validación tomados en campo.

4.1.3. Validación de la zonificación de *Cedrela odorata* L. con firmas espectrales

A partir de las firmas espectrales obtenidas mediante los 30 puntos de control recolectados en campo para la especie *Cedrela odorata* L. se procedió a verificar la zonificación realizada para dicha cobertura (Figura. 5). Esta verificación permitió contrastar los datos clasificados con los puntos de validación, cuyos resultados se detallan a continuación. Esta etapa fue fundamental para asegurar la precisión del modelo y su correspondencia con las condiciones reales observadas en el terreno.

Figura 6

Firma espectral de Cedrela odorata L.



En base a los 30 puntos de control recolectados en campo para *Cedrela odorata* L., se generó una firma espectral a partir de los valores reflectivos de cinco bandas espectrales de la imagen Sentinel-2B. Como se observa en la Figura 6, la curva espectral muestra una tendencia ascendente significativa en las bandas del infrarrojo cercano, lo que permite distinguir con claridad a esta especie respecto a otras coberturas del entorno. Esta información fue esencial para fortalecer la clasificación supervisada y aumentar la precisión del modelo.

Tabla 6

Valor de las firmas espectrales de Cedrela odorata L.

Firma Espectral	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5
F.E. 1	1622	1784	1798	4296	3425
F.E. 2	1540	1639	1579	4244	3589
F.E. 3	1560	1655	1597	4324	3382
F.E. 4	1520	1612	1544	4120	3469
F.E. 5	1548	1604	1525	3996	3652
F.E. 6	1658	1738	1696	4152	3558
F.E. 7	1684	1800	1943	4074	3878
F.E. 8	1764	1940	1972	3866	3833
F.E. 9	1584	1698	1777	3872	3811
F.E. 10	1661	1766	1788	3464	3481
F.E. 11	1672	1827	1771	3776	3746
F.E. 12	1608	1722	1790	3810	3626
F.E. 13	1604	1822	1694	4596	3792
F.E. 14	1595	1695	1705	3730	3576
F.E. 15	1708	1858	1905	3924	3622
F.E. 16	1490	1614	1536	4176	3345
F.E. 17	1480	1596	1587	4094	3335
F.E. 18	1516	1625	1726	3578	3784
F.E. 19	1516	1628	1642	3732	3588
F.E. 20	1413	1504	1464	3634	2776
F.E. 21	1593	1695	1771	3548	3841
F.E. 22	1656	1751	1820	3746	3654
F.E. 23	1619	1762	1778	3662	3651
F.E. 24	1608	1704	1680	3790	3122
F.E. 25	1584	1690	1614	3954	3131
F.E. 26	1662	1744	1638	4244	3431
F.E. 27	1714	1844	2056	3868	4394
F.E. 28	1716	1820	2012	3734	4137
F.E. 29	1515	1588	1534	4264	3350
F.E. 30	1500	1596	1580	4044	3432

Los datos recolectados en campo fueron debidamente procesados, a partir de los cuales se generaron las firmas espectrales asociadas a cada punto georreferenciado, correspondientes a individuos de *Cedrela odorata* L.

En la Tabla 6, se presentan los valores correspondientes a las firmas espectrales de la especie *Cedrela odorata* L., obtenidas a partir de 5 bandas espectrales de la imagen satelital Sentinel-2B, seleccionadas para la zonificación de la especie en el área de estudio. Se observa que en la Banda 1 los valores registrados oscilan entre 1413 y 1764 μm , en la Banda 2 los valores fluctúan entre 1504 y 1940 μm , mientras que en la Banda 3 los valores varían de 1464 a 2056 μm . En la Banda 4 se registraron valores entre 3464 y 4596 μm y finalmente, en la Banda 5, los valores se encuentran en el rango de 2776 a 4394 μm . Estos rangos reflejan la respuesta espectral característica de la especie y permiten establecer patrones diferenciales para su identificación y clasificación dentro del paisaje forestal.

Tabla 7

Estadística descriptiva de las firmas espectrales de la especie Cedrela odorata L.

Estadística	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Media	1597,0	1710,7	1717,4	3943,7	3579,0
Mediana	1594,0	1709,0	1723,0	3924,0	3588,5
Moda	1516,0	1695,0	1771,0	4244,0	3431,0
Desviación estándar	82,99	100,12	153,72	270,01	307,20
Varianza (muestral)	6887,31	10023,18	23630,46	72905,31	94374,65
Mínimo	1413,0	1504,0	1464,0	3464,0	2776,0
Máximo	1764,0	1940,0	2056,0	4596,0	4394,0
Suma total	47910,0	51321,0	51522,0	118312,0	107411,0
Cantidad de datos	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Coefficiente de variación (CV)	0,05	0,06	0,09	0,07	0,09
Error de muestreo	15,14	18,28	28,06	49,27	56,10
Error de muestreo aleatorio	0,55	0,61	0,93	1,64	1,87

A partir de los resultados obtenidos de las firmas se evaluaron las estadísticas descriptivas de las 30 firmas espectrales correspondientes a la especie en estudio, considerando las bandas 1, 2, 3, 4 y 5. Entre los parámetros analizados se incluyen la media, mediana, moda, desviación estándar, varianza muestral, mínimo, máximo, suma, cantidad de datos, coeficiente de variación, error de muestreo y error aleatorio. Los resultados obtenidos muestran que el coeficiente de variación (CV) para las cinco bandas se encuentra en un rango de 0,05 a 0,09, valores significativamente menores a la unidad. Esto evidencia una baja dispersión relativa de los datos, lo cual confirma la homogeneidad espectral de las firmas y respalda la representatividad de los datos muestreados para la especie en estudio.

4.2. Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que es posible determinar la distribución espacial de *Cedrela odorata* L., mediante el análisis de imágenes satelitales y el uso de firmas espectrales. Las firmas espectrales obtenidas para esta especie se caracterizaron por una baja variabilidad, con coeficientes de variación que oscilaron entre 0,08 y 0,22 en las cinco bandas analizadas, lo cual indica una alta homogeneidad espectral en las muestras seleccionadas. Este nivel de uniformidad sugiere que la metodología utilizada es adecuada para la identificación de la especie en la zona de estudio, permitiendo una zonificación precisa de su distribución.

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Carrillo (2016), quien en su estudio sobre el género *Gynoxis* sp., también empleó 30 firmas espectrales para validar su zonificación, encontrando un bajo coeficiente de variación (entre 0,10 y 0,40), lo que reforzó la confiabilidad de su clasificación supervisada. Asimismo, Borja (2016), al zonificar tres especies forestales mediante clasificación supervisada, obtuvo valores de variación igualmente bajos, lo cual permitió corroborar la correspondencia entre las áreas clasificadas y la presencia real de las especies.

En el presente estudio, la distribución espacial de *Cedrela odorata* L., mostró que su presencia se concentra principalmente en zonas con coberturas clasificadas como "bosque denso", lo cual es consistente con las condiciones ecológicas requeridas por esta especie, tales como suelos profundos, buena disponibilidad hídrica y zonas de altitud media. Este patrón también fue observado por Vaca (2016) en el Bosque de

Huamantanga, donde especies forestales de valor comercial como *Podocarpus oleifolius* se encontraban restringidas a sectores con cobertura boscosa densa y bien conservada.

La validación de la clasificación mediante el índice de Kappa arrojó un valor de 0,86, lo cual indica un grado de concordancia casi perfecto entre las áreas clasificadas y los datos de verificación en campo. Este resultado respalda la precisión del modelo y es comparable con estudios como el de Gonzáles (2015), quien también utilizó firmas espectrales y análisis de índice de Kappa para validar la zonificación de especies maderables en la Amazonía peruana, obteniendo valores superiores a 0,80, asimismo Vicente (2023), quien también utilizó firmas espectrales y el análisis de índice de kappa para validar la clasificación la zonificación de la especie *Podocarpus oleifolius* D. Don en el área de conservación municipal bosque de Huamantanga lo cual obtuvo una precisión del 94,67 del área clasificada correspondiente a la especie en estudio.

Estudios recientes han demostrado que las regiones del espectro poco utilizadas, como el infrarrojo de onda larga (LWIR), pueden ser efectivas para discriminar especies arbóreas en ecosistemas tropicales, gracias a su capacidad para captar variaciones estructurales a nivel foliar (Harrison et al., 2018). Aunque en el presente estudio se usaron imágenes multiespectrales, la baja variabilidad espectral encontrada en *Cedrela odorata* L. (coeficientes de variación entre 0,08 y 0,22) sugiere un comportamiento espectral igualmente estable, que favorece una clasificación precisa dentro del paisaje evaluado.

El uso de espectroscopía de imágenes aéreas, combinada con datos estructurales como los provenientes de LIDAR, ha demostrado ser eficaz para identificar coberturas forestales y detectar distintas etapas de sucesión ecológica en ecosistemas tropicales (Guzmán et al., 2018). Aunque en el presente estudio se emplearon imágenes multiespectrales, se obtuvo una baja variabilidad espectral en *Cedrela odorata* L., lo cual permitió diferenciar su distribución espacial con una precisión satisfactoria dentro del área evaluada.

De forma comparable, el uso de series temporales de imágenes satelitales ha permitido mapear con alta precisión grupos de especies en bosques templados mixtos, con resultados superiores al 86 % de exactitud. En este estudio, aunque se aplicó un enfoque más sencillo basado en imágenes multiespectrales, la baja variabilidad espectral de *Cedrela odorata* L. permitió una zonificación confiable de su distribución, lo que

demuestra que metodologías accesibles también pueden ser efectivas cuando la respuesta espectral es homogénea (Nasiri et al., 2023).

La variabilidad espectral intraespecífica influye decisivamente en la precisión de la clasificación de especies forestales en entornos tropicales densos. En estudios donde se emplearon datos hiperespectrales, las especies con coeficientes de variación más bajos alcanzaron precisiones superiores al 85 %, lo cual refleja una mayor coherencia interna de las firmas. En esta investigación, los coeficientes obtenidos para *Cedrela odorata* L. se mantuvieron entre 0,08 y 0,22 en las cinco bandas analizadas, lo que respalda la exactitud de la zonificación espacial generada (Malcher et al., 2025).

Por otro lado, investigaciones recientes han demostrado que el uso de arquitecturas especializadas que integran información espectral, espacial y temporal puede mejorar significativamente la clasificación de especies en imágenes hiperespectrales. Aunque en el presente estudio no se aplicaron modelos de aprendizaje profundo, la respuesta espectral consistente de *Cedrela odorata* permitió obtener buenos resultados con una metodología convencional, lo cual refuerza la utilidad de enfoques prácticos en zonas con limitaciones técnicas (Kiajian Xu et al., 2025).

La estabilidad espectral registrada para *Cedrela odorata* L., con coeficientes de variación entre 8 % y 22 %, concuerda con investigaciones recientes que destacan la importancia de la homogeneidad intraespecífica para la correcta discriminación de especies forestales mediante sensores remotos. Fassnacht et al. (2019) indican que, en estudios multiespectrales aplicados a bosques tropicales, las especies con firmas espectrales estables presentan mayores niveles de separabilidad, incluso en escenarios con alta complejidad estructural y florística.

De manera similar, Ferreira et al. (2020) señalan que la baja variabilidad espectral dentro de una especie arbórea permite reducir la confusión con coberturas adyacentes, mejorando la confiabilidad de los mapas temáticos generados. En este contexto, los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian que *Cedrela odorata* L. posee características espectrales adecuadas para su identificación espacial, lo que refuerza la validez de la metodología empleada y su aplicabilidad en otros territorios con condiciones ambientales similares.

La importancia de estos resultados radica en que aportan una herramienta eficaz para el monitoreo de especies forestales de alto valor comercial, como *Cedrela odorata* L, en zonas donde la presión antrópica y la expansión agrícola han reducido considerablemente su presencia. La identificación de su distribución espacial puede contribuir significativamente en los planes de conservación, manejo forestal sostenible y establecimiento de áreas prioritarias para la regeneración natural o reforestación asistida.

A pesar de la efectividad del enfoque metodológico, es necesario reconocer ciertas limitaciones, como la influencia de la cobertura nubosa al momento de adquirir imágenes satelitales o la posible confusión espectral con especies de características similares. No obstante, el uso de datos de campo y la validación con firmas espectrales contribuyeron a minimizar estos efectos, incrementando la confiabilidad de los resultados obtenidos

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A través de la clasificación supervisada de la cobertura y uso del suelo en el distrito de Huabal se identificaron seis clases principales. La categoría predominante fue la agricultura, con una extensión de 2633,26 ha (30,79 % del total), seguida por pastos, vegetación arbustiva y bosque, evidenciando una fuerte intervención antrópica en el territorio. Las clases urbanas y de tierra sin vegetación ocuparon superficies menores, lo que indica un uso concentrado del suelo en actividades agropecuarias.

Mediante la clasificación de la especie *Cedrela odorata* L. se logró zonificar una superficie estimada de 68,15 hectáreas, representando apenas el 0,80 % del total del distrito, lo que evidencia una distribución espacial limitada de esta especie forestal dentro del área de estudio.

La validación de la zonificación de *Cedrela odorata* L., mediante el análisis estadístico de las firmas espectrales, evidenció una alta consistencia en las respuestas espectrales registradas en las cinco bandas utilizadas, ya que el coeficiente de variación fue inferior a 1 en todas las muestras analizadas. Este resultado refleja una baja dispersión de los valores reflectivos dentro de la clase, lo que respalda la homogeneidad espectral de las áreas clasificadas y confirma que la clasificación es técnicamente confiable y representativa.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a la Universidad Nacional de Cajamarca, autoridades ambientales y gobiernos locales fomenten el uso de imágenes satelitales para la identificación y monitoreo de especies forestales de interés como *Cedrela odorata* L., dado que esta metodología ha demostrado ser precisa, eficiente y replicable.

Dada la efectividad del análisis estadístico de firmas espectrales en este estudio, se recomienda incorporarlo como paso obligatorio en futuras investigaciones que busquen validar la distribución espacial de especies forestales, ya que permite asegurar la homogeneidad espectral de las clases identificadas.

Se recomienda realizar monitoreos satelitales periódicos (cada 3 a 5 años), utilizando metodologías similares, para evaluar los cambios en la cobertura y distribución de especies forestales, así como para detectar posibles amenazas como la deforestación, expansión agrícola o pérdida de hábitats naturales.

Para mejorar la precisión de las zonificaciones, se recomienda integrar información de campo más detallada y promover la participación de actores locales (comunidades, técnicos y especialistas), lo cual puede enriquecer la interpretación de los datos y favorecer una mejor gestión territorial.

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). Disponible en: [https://aet.org.es/documentos/congresos/08%201999%20Albacete/10%20Ensenanza%20y%20Difusion%20de%20la%20Teledeteccion/1999Albacete%20\(1\).pdf](https://aet.org.es/documentos/congresos/08%201999%20Albacete/10%20Ensenanza%20y%20Difusion%20de%20la%20Teledeteccion/1999Albacete%20(1).pdf).
- Andrade T. & Solís (2004). Las bondades del cedro rojo. La ciencia y el hombre 17(3: 13-21. CUAN. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266852781_Las_bondades_del_cedro_rojo.
- Aparici, R. (2009). La imagen: análisis y representación de la realidad. Editorial Gedisa. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=1DIlBQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
- Barreto, E. (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. Disponible en: <https://repository.umng.edu.co/items/b33c6d88-1bdf-4222-abfc-51f26284ebcb>.
- Bognanni, F. (2010). La teledetección aplicada al estudio del pasado a una escala interregional. Revista Espanola de Antropologia americana, 40(2), 77–93. Disponible en: <https://revistas.ucm.es/index.php/REAA/article/view/REAA1010220077A>.
- 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. Disponible en: <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/0523c631-bd11-4bb2-bd12-a37cc616b4c8>.

- Bubb, P., May, I., Miles, L. & Sayer, J. (2004). Cloud forest agenda. UNEP World Conservation Monitoring Centre, 20(1), 36 p. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2004-003.pdf>.
- Burrough, P., & McDonnell, R. (1998). *Principles of geographical information systems* (2.^a ed., p. 11). Oxford University Press. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/37419765_Principle_of_Geographic_Information_Systems.
- Carrillo, F. (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). Disponible en: <https://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4875/1/33T0146.pdf>
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). (2000). Árboles de Centroamérica. *Cedrela odorata* L. Turrialba, Costa Rica. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10394/Desarrollo-de-un.pdf?sequence=1>
- Congalton, G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35–46. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003442579190048B>
- Córdova, R. (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). Disponible en: <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/a52a1350-83fb-44ae-8876-adb5bf99e980>
- Criollo, E. (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). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/352997183_Evaluacion_de_parametros_poblacionales_y_regeneracion_natural_de_Podocarpus_oleifolius_D_Don_Podocarpaceae_en_dos_relictos_boscosos_del_sur_del_Ecuador.

- CHAVEZ, J., Montalván, D., Soria, D., Mego, K., Rodríguez, C., Arévalo, W. & Torres, D. (2019). Distribución espacial de aguajales mediante clasificación supervisada de imágenes de satélite de la región Ucayali, Perú. *Folia Amazónica*, 28(2), 161-175. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/de68/ccde62d6ac777e3fb2d87c9c0cd86c7735ac.pdf>.
- Chuvieco, E. (2008). *Fundamentos de teledetección espacial* (3.^a ed.). Ediciones RIALP. Disponible en: https://www.u-cursos.cl/forestal/2011/1/EF016/1/material_docente/bajar?id_material=487457.
- Chuvieco, E. (2008). *Sensores Remotos Ambiental*. Barcelona: Ariel. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318479860_Teledeteccion_ambiental_La_observacion_de_la_Tierra_desde_el_Espacio.
- De la Barra Martínez, F., Quezada, A., Zuidema, P., & Brown, F. (2019). Detección de árboles de castaña (*Bertholletia excelsa*) en la amazonía boliviana mediante imágenes satelitales. Disponible en: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.22.28.53/doc/2547-2554.pdf?languagebutton=pt-BR>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2018). Guía práctica para la identificación y manejo de especies forestales prioritarias. Roma: FAO. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/39828c64-3bba-43be-bb74-4a9282e9453e/content>.
- Fassnacht, E., Latifi, H., Stereńczak, K., Modzelewska, A., Lefsky, M., Waser, T., Straub, C., & Ghosh, A. (2016). Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 186, 64–87. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.013>.
- Ferreira, P., Wagner, F. H., Aragão, L. E., Shimabukuro, Y. E., & Almeida, C. T. (2020). Tree species classification in tropical forests using multispectral and hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment*. 241, 111676. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111676>.

- Gambona, D. (2021). 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. Disponible en: <https://pure.unf.edu.pe/es/publications/relaci%C3%B3n-de-firmas-espectrales-para-la-identificaci%C3%B3n-de-bosque-s/>
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2010). Estrategia Regional de Biodiversidad de Cajamarca al 2021. Lima: Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C. Disponible en: <https://siar.regioncajamarca.gob.pe/documentos/estrategia-regional-biodiversidad-cajamarca-2021>
- Guzmán, A., Rivard, B., & Sánchez-Azofeifa, G. A. (2018). Monitoring tropical forest succession and degradation with airborne imaging spectroscopy and lidar. *Remote Sensing of Environment*, 213, 161–170. Disponible en: <https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/14031/forests-13-01709.pdf;jsessionid=29AF19C38959302CF02ADC4B13A357CD?sequence=1>.
- Harrison, D., Rivard, B., & Sánchez-Azofeifa, A. (2018). Mapping tree species diversity in tropical dry forests using imaging spectroscopy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, 487–500.
- Hernández, J., & Montaner, D. (2015). Patrones de respuesta espectral. En C. Mena (Ed.), *Tecnologías geoespaciales: experiencias aplicadas al estudio y gestión del territorio*. Disponible en: <https://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Hern%C3%A1ndez%20%26%20Montaner%202009%20SAF.pdf>.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2015). Teledetección. Centro Nacional de Información Geográfica. España. Disponible en: <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). (2022). *Cedrela odorata*: The IUCN Red List of Threatened Species 2022: Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext_plus&pid=S2007-11322022000100031&lng=es&tlng=es&nrm=iso.

- Jaksic, F. (2007). Ecología de comunidades. Ediciones UC. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/FabianJaksic/publication/295705162_Ecologia_de_comunidades_segunda_edicion_ampliada_Ediciones_Universidad_Catolica_de_Chile_Santiago_336_pp/links/61df198a034dda1b9ef199e0/Ecologia-de-comunidades-segunda-edicion-ampliada-Ediciones-Universidad-Catolica-de-Chile-Santiago-336-pp.pdf.
- Jiménez, G. (2017) Construcción de una biblioteca espectral de las especies vegetales de la microcuenca del Río Pomacocha (Ecuador). Disponible en: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/14778>.
- Kiajian Xu, K., Han, H., Wang, S., Zhao, P., Geng, J., Jiang, H., & Ding, A. (2025). *TS2GNet: A spatio-temporal-spectral guided network for satellite-based hyperspectral tree species mapping*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 207, 190–205.
- La Manna, L., & Carabelli, F. (2005). Distribución espacial de la declinación de los bosques de *Austrocedrus chilensis* en el Valle 16 de octubre (Chubut, Argentina). *Actas Primeras Jornadas Argentinas de Ecología de Paisaje*, Buenos Aires, 2. Disponible en: https://redforestal.conicet.gov.ar/download/divulgacion/21_Distribucion-espacial-de-la-declinacion-de-los-bosques-de-A.-chilensis-T.pdf.
- Landis, J., & Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174. Disponible en: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1819141>.
- Malcher, J., Robertson, D., Holt, G., & Lester, R. E. (2025). Cuantificación y atribución de la variación espectral en cultivos de árboles perennes de regadío. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29, 100939. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/journal/remote-sensing-applications-society-and-environment/vol/38/suppl/C?utm_source=chatgpt.com.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). (2015). Estudio de suelos de la región Cajamarca: informe técnico de diagnóstico de suelos. Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios, Lima. Disponible en: <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/INFSUELOSZEE091.pdf>

- Ministerio del Ambiente. (2006). Decreto Supremo N.º 043-2006-AG: Listado de especies forestales amenazadas del Perú. Lima, Perú. Disponible en: <https://www.ecolex.org/details/legislation/decreto-supremo-no-043-2006-ag-categorizacion-de-especies-amenazadas-de-flora-silvestre-lex-faoc065710/?type=treaty&sortby=newest&q=cote+d%27ivoire>
- Nasiri, V., Beloiu, M., Darvishsefat, A. A., Griess, V. C., Maftai, C., & Waser, L. T. (2023). Mapping tree species composition in mixed temperate forests using spectral-temporal features and satellite time series. *Ecological Informatics*, 75, 102267. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/366327297_Mapping_tree_species_composition_in_a_Caspian_temperate_mixed_forest_based_on_spectral-temporal_metrics_and_machine_learning.
- Nogués, B. (2013). El estudio de la distribución espacial en la biodiversidad: concepto y métodos. Cuadernos de Investigación Geográfica: Geographical Research Letters, (29), 67–82. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/28068891_El_estudio_de_la_distribucion_espacial_en_la_biodiversidad_concepto_y_metodos.
- 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. Disponible en: <https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/3033/Perez.pdf?sequence=1>
- Ruiz, P., Navarro, H., Güimaraes, A. & Navas, G. (2013). Análisis de la dispersión espacial de diversas especies forestales, utilizando las parcelas del Inventario Forestal Nacional (IFN). Disponible en: https://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/14626/14469
- Sampayo Maldonado, S. (2015). Propagación asexual de clones seleccionados de *Cedrela odorata* L. Disponible en: <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/3794>.

- Sánchez, P. (2012). La teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales. Universidad de Cuenca. Disponible en: <https://dspace-test.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/779/1/Trabajo-de-Titulaci%C3%B3n.pdf>.
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre). (2021). Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre: resultados preliminares de distribución de especies forestales del Perú. Lima, Perú. Disponible en: <https://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/943/1/SERFOR%202022%20Anuario%202021.pdf>
- Sobrino, J. A. (2001). Teledetección. Universitat de Valencia. Disponible en: <https://www.uv.es/otri/buscador-de-oct/CAPACIDADES/OCTGRP-UCG-Sobrino,JA.pdf>
- Torres, (2005). Descripción botánica de *Cedrela odorata* L. en Generalidades de *Cedrela odorata* L.: plantaciones forestales comerciales en México. Disponible en <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/938/2981>.
- Vicente, S. (2023). Distribución espacial con imágenes satelitales de *Podocarpus oleifolius* D. Don en el Área de Conservación Municipal Bosque Huamantanga, Jaén – Cajamarca. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/5902/01.-%20Tesis%20Salomon%20Vicente%20Guerrero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Webster, G. (1995). The Panorama of Neotropical Cloud Forests. Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests 53-77. Disponible en: http://ctfs.si.edu/Public/pdfs/ToDelete/Gentry_1993_proceedingsBioConservNeotrMontaneForest.pdf.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Certificado de identificación de la especie *Cedrela odorata* L.



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 DIRECTORIAL N.º 0311-2013- MINAGRI-DGFFS-DGEFFS.

CERTIFICA:

Que, CELINA KATHERIN CADENILLAS QUISPE, tesista de la Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Académico profesional de Ingeniería Forestal, con fines de investigación, ha solicitado la identificación y certificación botánica de una planta procedente del distrito Huabal, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca, donde es conocida con el nombre vulgar de "cedro", la muestra en estado fértil ha sido estudiada y determinada con el nombre científico de *Cedrela odorata* L. Se certifica conforme a la base de datos de W³Tropicos del Missouri Botanical Garden que sigue el sistema moderno de clasificación del grupo de filogenia de las angiospermas (APG III), publicado en 1998 y la actualización realizada en 2016 por APG IV. Este sistema evita el uso de la nomenclatura taxonómica clásica por arriba de orden. Chase Mark W. & James L. Reveal (2009 – en APG III) consideran a todas las plantas verdes en la Clase Equisetopsida. Teniendo en cuenta los datos de la base de W³Tropicos, APG III, APG IV y WFO. La especie identificada presenta las siguientes categorías taxonómicas y clados:

Reino: Plantae
División: Angiospermae
Clase: Equisetopsida
Subclase: Magnoliidae
Superorden: Rosanae
Orden: Sapindales
Familia: Meliaceae
Género: *Cedrela*
Especie: *Cedrela odorata* L.

Nombre vulgar: "Cedro"

Se expide la presente certificación botánica para fines de investigación.

Lima, 24 de febrero del 2025



J. Sánchez Silva ES - Pasa 2-496, Santa Lucía - Lima III - Lima

Anexo 2. Panel fotográfico



Foto 1. Individuo de *Cedrela odorata* L. en el caserío la esperanza



Foto 2. Ubicación de la especie *Cedrela odorata* L. en el caserío la unión



Foto 3. Georreferenciación de individuos de *Cedrela odorata* L.



Foto 4. Colecta de muestras botánicas de *Cedrela odorata* L.



Foto 5. Registro de puntos de control de la clase pastos



Foto 6. Registro de puntos de control de la clase agricultura



Foto 7. Registro de puntos de control de la clase bosque



Foto 8. Registro de puntos de control de la clase tierra sin vegetación



Foto 9. Registro de puntos de control de la clase urbano

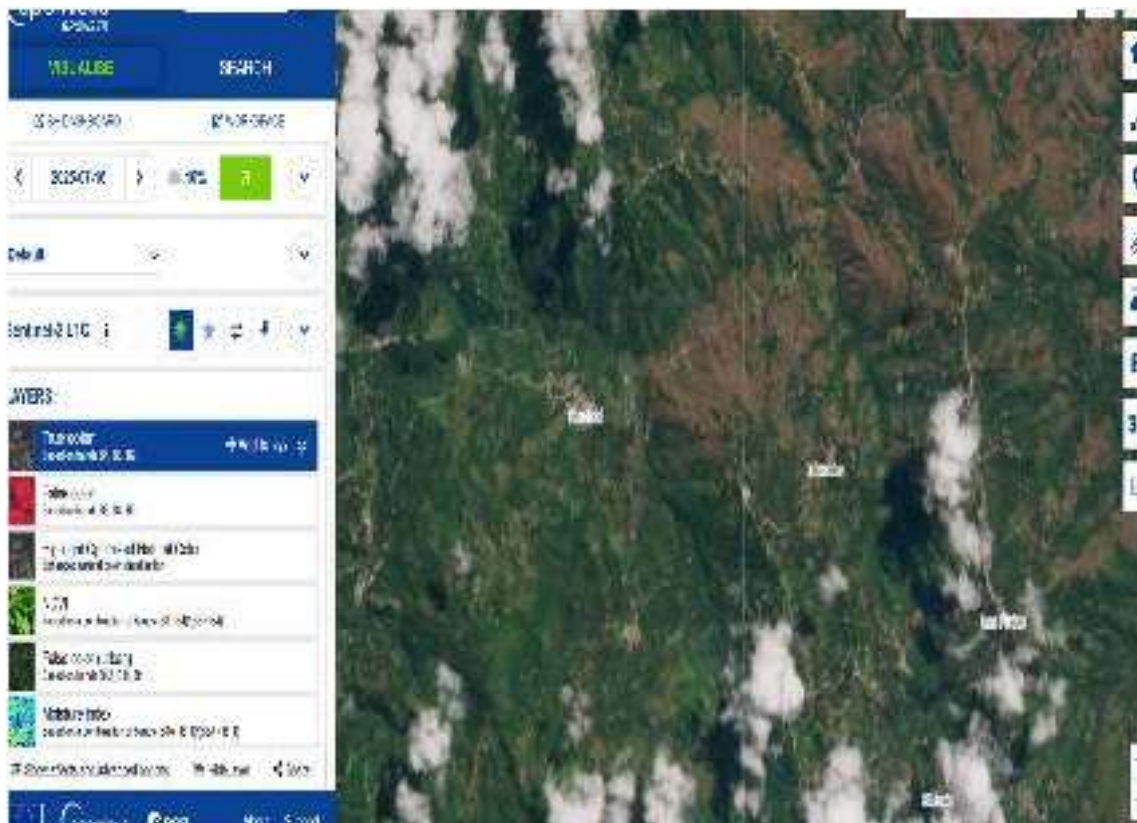


Foto 10. Registro de puntos de control de la clase vegetación arbustiva

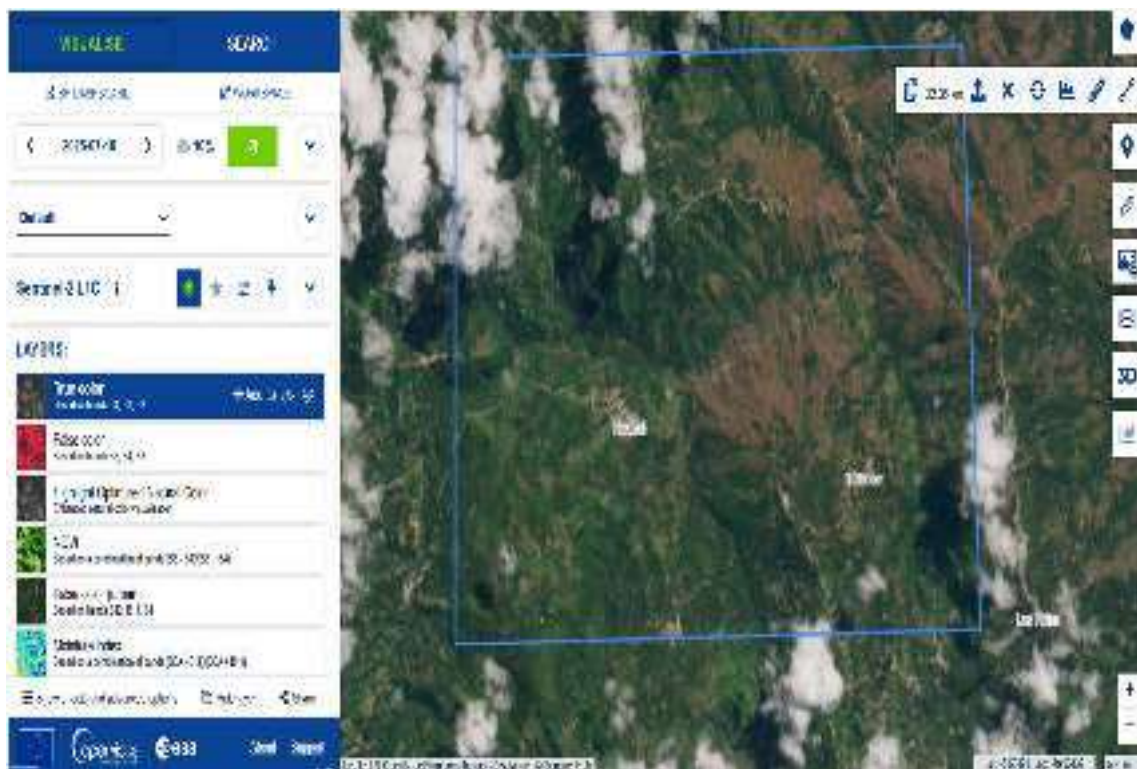
Anexo 03. Relación de árboles georreferenciados de *Cedrela odorata* L.

Centro Poblado	Especie	Este	Norte	Altitud
San juan	CEDRO 1	733018	9382861	1665 m
San juan	CEDRO 2	733412	9382460	1558 m
San juan	CEDRO 3	733420	9382473	1550 m
San juan	CEDRO 4	733413	9382492	1556 m
San juan	CEDRO 5	733439	9382447	1539 m
La esperanza	CEDRO 6	733226	9382581	1651 m
La esperanza	CEDRO 7	732881	9382621	1659 m
La esperanza	CEDRO 8	732642	9382446	1654 m
La esperanza	CEDRO 9	732556	9382333	1663 m
La esperanza	CEDRO 10	731928	9381273	1576 m
La esperanza	CEDRO 11	731678	9381304	1551 m
La esperanza	CEDRO 12	731495	9380910	1503 m
La esperanza	CEDRO 13	731527	9380519	1443 m
La esperanza	CEDRO 14	731585	9380535	1431 m
Buenos aires	CEDRO 15	731861	9378376	1666 m
Buenos aires	CEDRO 16	731782	9378470	1667 m
Buenos aires	CEDRO 17	731788	9377993	1754 m
Buenos aires	CEDRO 18	731246	9377658	1954 m
Buenos aires	CEDRO 19	731273	9377694	1944 m
Buenos aires	CEDRO 20	731297	9377654	1949 m
Buenos aires	CEDRO 21	731185	9377615	1954 m
Buenos aires	CEDRO 22	731157	9377612	1946 m
Buenos aires	CEDRO 23	731157	9377661	1943 m
La unión	CEDRO 24	730066	9379644	1572 m
La unión	CEDRO 25	730061	9379631	1569 m
La unión	CEDRO 26	730039	9379641	1576 m
La unión	CEDRO 27	730213	9379828	1585 m
La unión	CEDRO 28	730223	9379842	1579 m
La unión	CEDRO 29	730251	9379838	1580 m
La unión	CEDRO 30	730259	9379812	1585 m

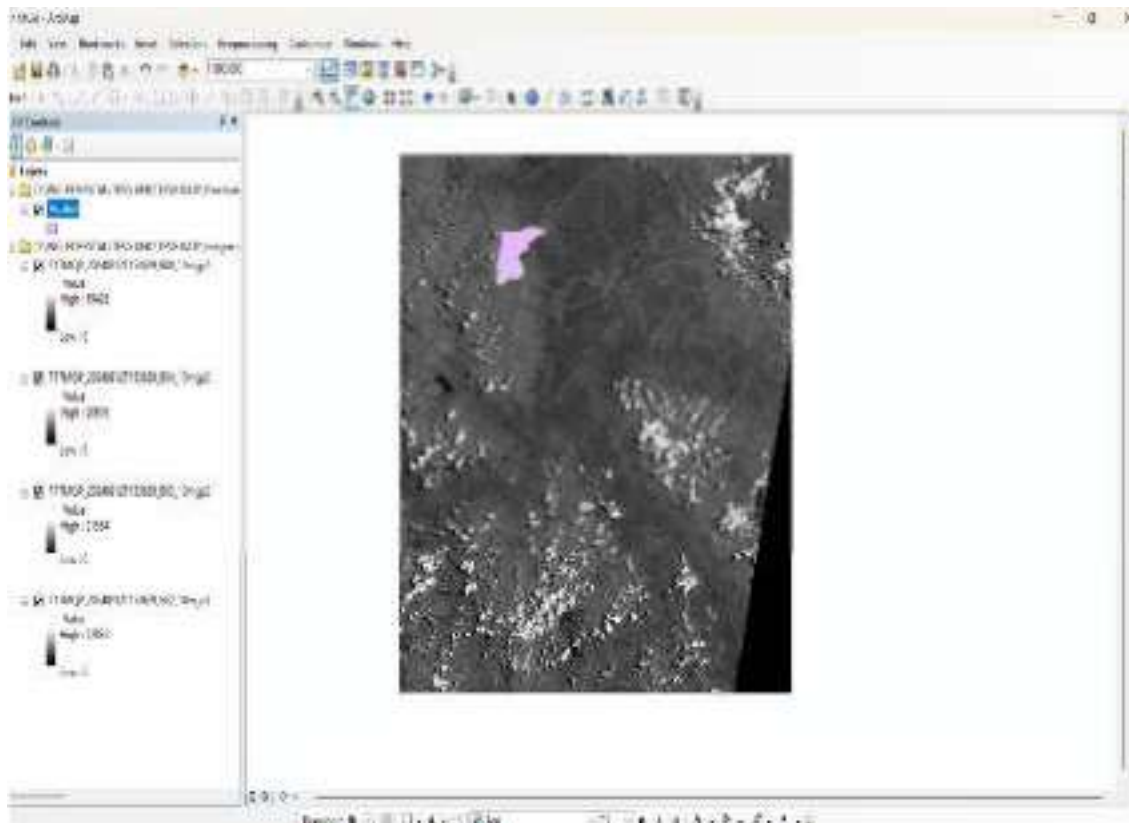
Anexo 4. Ingreso al repositorio Copernicus



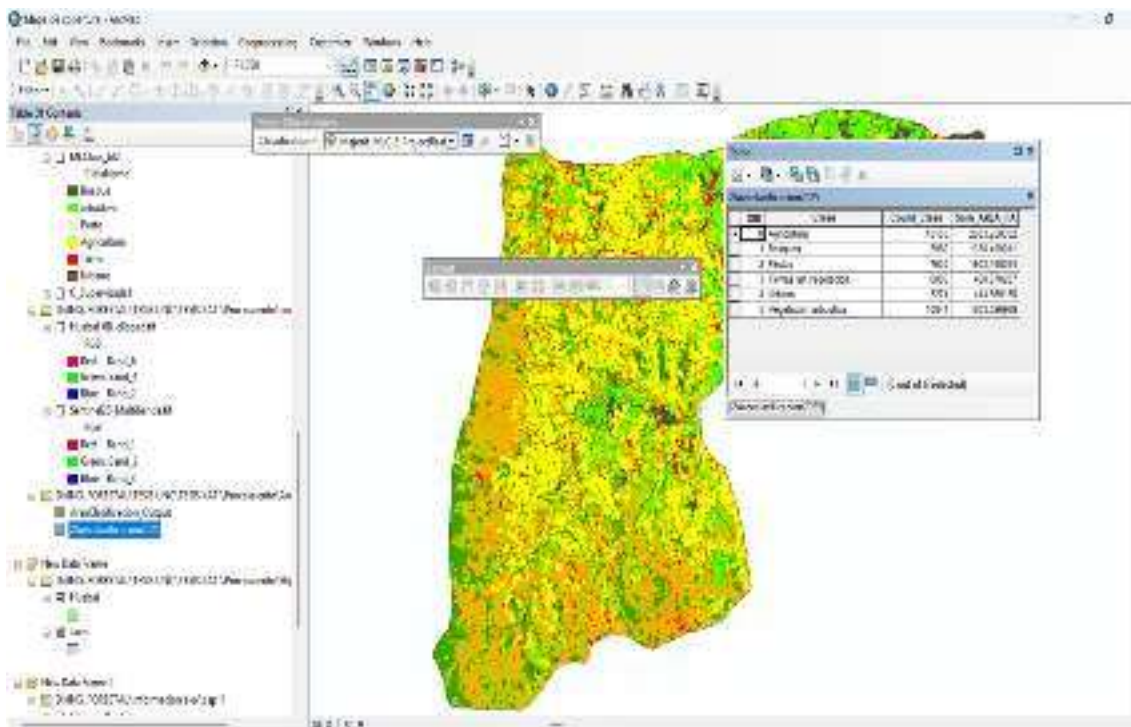
Anexo 5. Selección y descarga de la imagen satelital Sentinel 2B



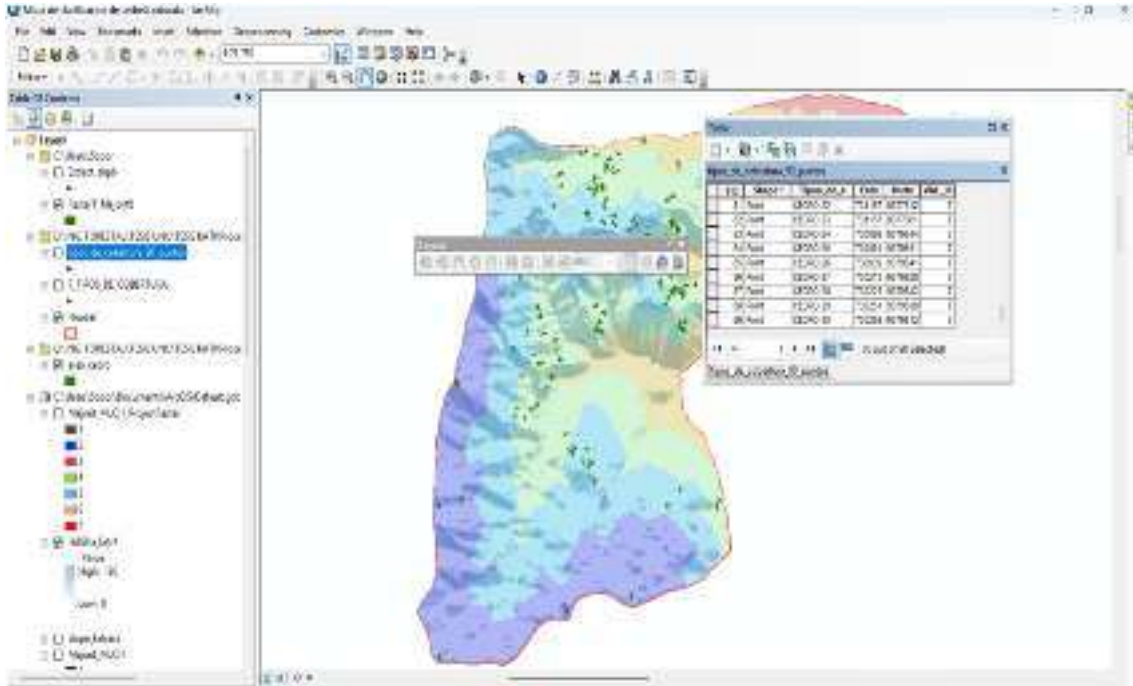
Anexo 6. Selección y carga de bandas a procesar



Anexo 7. Procesamiento de la imagen satelital



Anexo 8. Procesamiento de la imagen satelital con la especie *Cedrela odorata* L.



Anexo 9. Especies acompañante a *Cedrela odorata* L. en el distrito de Huabal

Nombre científico	Familia	Nombre común
<i>Nageia rospiglosii</i> Pilg.	PODOCARPACEAE	Romerillo blanco
<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	PODOCARPACEAE	Saucecillo
<i>Nectranda arnotiana</i> Nees	LAURACEAE	Pacash
<i>Ficus casapiensis</i> Miq.	MORACEAE	Higuerón
<i>Sapium cf. Glandulosum</i> (L) Morong	EUPHORBIACEAE	Lechero
<i>Calyptranthes</i> sp.	MYRTACEAE	Lanche
<i>Cedrela odorata</i> L.	MELIACEAE	Cedro
<i>Ocotea</i> sp.	LAURACEAE	Roble
<i>Cinchona officinalis</i> L.	RUBIACEAE	Cascarilla