

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE NEGOCIOS

AGRONÓMICOS Y FORESTALES



**Análisis multitemporal del vigor vegetativo de *Persea americana*
y cambio de la cobertura del suelo en los distritos de Huanta y
Luricocha, Ayacucho**

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

Ingeniero de Negocios Agronómicos y Forestales

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

Agronomía

PRESENTADO POR:

Condori Hinojosa, Sandra Dayci

ASESOR:

Dr. Reynaldo Sucari León

HUANTA- PERÚ

2026

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS SANDRA UNAH.pdf

AUTOR

SANDRA DAYCI CONDORI HINOSTROZA

RECUENTO DE PALABRAS

18566 Words

RECUENTO DE CARACTERES

98319 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

82 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.8MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 8, 2026 3:33 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 8, 2026 3:34 PM GMT-5

● 14% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 11% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Firmado digitalmente por:
SUCARI LEON REYNALDO FIR
01341544 hard
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 08/08/2026 16:25:36-0500

“Análisis multitemporal del vigor vegetativo de Persea americana y cambio de la cobertura del suelo en los distritos de Huanta y Luricocha, Ayacucho”

TESISTA

Bach. Sandra Dayci Condori Hinostroza

ASESOR

Dr. Reynaldo Sucari León



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
Creada por Ley N° 29658
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
"Año la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE NEGOCIOS AGRONÓMICOS Y FORESTALES

En la ciudad de Huanta, en el auditorio de Estudios Generales de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, ubicado en el Jr. Miguel Lazón N° 370 – cinco esquinas, a los 19 días del mes de marzo de 2026, siendo las 11:30 horas, se dio inicio al acto académico de sustentación de tesis con la presencia de los miembros del jurado calificador:

Dr. Juan Quispe Rodríguez	Presidente
Dr. Enderson Henry Cruz Mamani	Miembro titular 2
Dr. Reynaldo Sucari León	Miembro titular 3

Acto seguido se procedió a dar lectura a la Resolución de Vicepresidencia Académica N° 025-2026-CO-UNAH, en la que señala fecha, hora y designación de jurado evaluador para la sustentación de tesis de la Bachiller **Sandra Dayci Condori Hinostroza**, con la tesis titulada: "ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL VIGOR VEGETATIVO DE *Persea americana* Y CAMBIO DE LA COBERTURA DEL SUELO EN LOS DISTRITOS DE HUANTA Y LURICOCHA, AYACUCHO"; asesorado por el Dr. Reynaldo Sucari León, para optar el Título profesional de: Ingeniero de Negocios Agronómicos y Forestales.

Observaciones:


Ninguna


Terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado evaluadores, los mismos que fueron defendidos y absueltos por la tesista. Acto seguido se procedió a calificar con el resultado siguiente:

Aprobado Regular	()
Aprobado Bueno	()
Aprobado Muy Buenos	()
Aprobado Excelente	(x)

Con la calificación de *Dieciocho* (18)

Siendo las *11:00 p.m.* se da por finalizada el acto académico de sustentación de tesis pasando a firmar los miembros del jurado evaluador.


.....
Dr. Juan Quispe Rodríguez
Presidente


.....
Dr. Enderson Henry Cruz Mamani
Miembro Titular 2


.....
Dr. Reynaldo Sucari León
Miembro Titular 3

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y ejemplo de perseverancia que me inspiran cada día. A mis hermanos, por su apoyo constante, compañía y alegría en cada etapa de este camino.

AGRADECIMIENTO

Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud a mis padres, pilares fundamentales de mi vida, por su esfuerzo y apoyo en cada paso de mi formación.

A mis hermanos, por ser fuente constante de motivación y confianza.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento al Dr. Reynaldo Sucari León, por su guía, paciencia y orientaciones durante este proceso de investigación.

RESUMEN

El presente estudio titulado “Análisis Multitemporal del Vigor Vegetativo de *Persea americana* y Cambio de la Cobertura del Suelo en los distritos de Huanta y Luricocha, Ayacucho” tuvo como finalidad analizar la variación del vigor vegetativo y los cambios en la cobertura del suelo durante el periodo 2015–2023, mediante el uso de imágenes multiespectrales Landsat 8, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el potencial hídrico foliar. La investigación fue de tipo aplicada, con un nivel descriptivo-correlacional y diseño no experimental para los objetivos específicos (O1 y O3) y diseño experimental para el objetivo (O2). Se procesaron imágenes satelitales con corrección radiométrica y atmosférica, obteniendo mapas temáticos del NDVI para los años 2015 y 2023. Además, se realizaron mediciones del estado hídrico foliar mediante la cámara de presión de Scholander y de la humedad de suelo con sensores Watermark, en cultivos de palta con y sin acceso a riego en la localidad de Cedropata del distrito de Huanta, provincia de Huanta, región Ayacucho. Los resultados evidenciaron un incremento neto de 4,726.55 hectáreas de vegetación densa, lo que representa una tasa media anual de recuperación de 525 ha año⁻¹. Este aumento se concentró principalmente en zonas agrícolas y agroforestales de menor pendiente, asociadas al crecimiento de plantaciones de palta. Asimismo, se observó una correlación positiva entre la humedad del suelo y el potencial hídrico foliar en las plantas con acceso a riego, indicando un buen estado fisiológico; en contraste, las plantas sin riego presentaron valores negativos más elevados, reflejando condiciones de estrés hídrico. Se concluye que el NDVI es un indicador confiable para evaluar el vigor vegetativo del cultivo de *Persea americana*, y que la expansión agrícola de este cultivo ha generado cambios significativos en la cobertura del suelo. Los resultados constituyen una herramienta de apoyo para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la planificación agrícola en los distritos de Huanta y Luricocha.

Palabras clave: *Persea americana*, NDVI, cobertura del suelo, vigor vegetativo, estrés hídrico, teledetección.

ABSTRACT

The present study entitled “Multitemporal Analysis of the Vegetative Vigor of *Persea americana* and Land Cover Change in the Districts of Huanta and Luricocha, Ayacucho” aimed to analyze the variation in vegetative vigor and changes in land cover during the period 2015–2023, using Landsat 8 multispectral imagery, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and leaf water potential. The research was applied in nature, with a descriptive–correlational level and a non-experimental design for specific objectives (O1 and O3), and an experimental design for objective (O2). Satellite images were processed with radiometric and atmospheric corrections, producing NDVI thematic maps for the years 2015 and 2023. In addition, measurements of leaf water status were carried out using the Scholander pressure chamber, and soil moisture was measured using Watermark sensors, in avocado (*Persea americana*) crops with and without irrigation access in the locality of Cedropata, district of Huanta, province of Huanta, region of Ayacucho. The results showed a net increase of 4,726.55 hectares of dense vegetation, representing an average annual recovery rate of 525 ha year⁻¹. This increase was mainly concentrated in agricultural and agroforestry areas with lower slopes, associated with the expansion of avocado plantations. Likewise, a positive correlation was observed between soil moisture and leaf water potential in plants with access to irrigation, indicating a good physiological condition. In contrast, plants without irrigation presented higher negative values, reflecting water stress conditions. It is concluded that NDVI is a reliable indicator for evaluating the vegetative vigor of *Persea americana* crops, and that the agricultural expansion of this crop has generated significant changes in land cover. The results constitute a useful tool for the sustainable management of water resources and agricultural planning in the districts of Huanta and Luricocha.

Keywords: *Persea americana*, NDVI, land cover, vegetative vigor, water stress, remote sensing.

ÍNDICE

RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN	xvi
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1 Descripción y formulación del problema	18
1.1.1 Problema general.....	18
1.1.2 Problemas específicos	18
1.2 Objetivos.....	19
1.2.1 Objetivo general	19
1.2.2 Objetivos específicos	19
1.3 Justificación e importancia	19
1.4 Hipótesis	20
1.4.1 Hipótesis general.....	20
1.4.2 Hipótesis específicas	20
1.5 Variables.....	21
1.5.1 Variable dependiente.....	21
1.5.2 Variable independiente.....	21
2. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Antecedentes.....	23
2.1.1 Internacionales	23
2.1.2 Nacionales	24
2.1.3 Local.....	24
2.2 Bases teóricas	25
2.2.1 <i>Persea americana</i>	25
2.2.2 Cambio de uso de suelo.....	25
2.2.3 Vigor vegetativo.....	26
2.2.4 Expansión agrícola	26
2.2.5 Imágenes Satelitales y Teledetección.....	26
2.2.6 Agricultura de precisión	28
2.2.7 Movimiento del agua en el suelo, planta y atmosfera	29
2.2.8 Potencial hídrico, estrés hídrico y la respuesta de las plantas	29
2.3 Definiciones de términos	30
2.3.1 NDVI.....	30
2.3.2 Imágenes Satelitales	30
2.3.3 Teledetección	31
2.3.3.1 Proceso de teledetección.....	31

3.	METODOLOGÍA	32
3.1	Tipo y nivel de la investigación.....	32
3.2	Diseño de la investigación.....	32
3.3	Ámbito temporal y espacial.....	33
3.3.1	Ámbito temporal	33
3.3.2	Ámbito espacial.....	33
3.4	Población y muestra	35
3.4.1	Población.....	35
3.4.2	Muestra.....	35
3.4.3	Muestreo.....	35
3.5	Instrumentos	36
3.6	Procedimientos	38
3.6.1	Obtención de imágenes satelitales Landsat	38
3.6.2	Preprocesamiento de Imágenes	41
3.6.3	Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	41
3.6.4	Registro de Humedad de Suelo de <i>Persea americana</i>	44
3.6.4.1	Los árboles.....	44
3.6.4.2	Tratamientos	44
3.6.4.3	Instalación del sensor de humedad de suelo (Watermark).....	45
3.6.5	Medición del estado hídrico de <i>Persea americana</i>	46
3.6.6	Mediciones	47
4	ANÁLISIS DE DATOS.....	47
4.1	Análisis multitemporal del vigor vegetativo y cambio de la cobertura de <i>Persea americana</i>	47
4.2	Análisis de la relación del estado hídrico de la <i>Persea americana</i> con la humedad de suelo y la temperatura del aire	48
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
5.1	Resultados de variación vegetativo y cobertura de suelo	48
5.1.1	Análisis del Crecimiento Acumulado y las Tendencias Anuales.....	52
5.1.2	Influencia en los Cambios de la Cobertura del Suelo	56
5.2	Análisis del estado hídrico (Ψ_h) en relación con la Humedad de suelo	57
6	CONCLUSIONES	62
7	RECOMENDACIONES	63
8	REFERENCIAS.....	64
9.	ANEXOS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Imagen digital por satelitales constituida por pixeles.....</i>	27
Figura 2 <i>Esquema de la Cámara Scholander de medición de potencial hídrico.....</i>	29
Figura 3 <i>Procesos de la teledetección de imágenes satelitales para su análisis.....</i>	32
Figura 4 <i>Área de estudio para la toma de datos del estado hídrico de Persea americana – Localidad de Cedropata.....</i>	34
Figura 5 <i>Delimitación de la población, las muestras y las áreas de muestreo respecto al nivel de la variación vegetativo y crecimiento de cultivo de Persea americana.....</i>	36
Figura 6 <i>Plataforma de GloVis (Global Visualization Viewer) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).....</i>	38
Figura 7 <i>Plataforma de GloVis (Global Visualization Viewer) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) selección de las imagenes con menor al 20% de nubosidad</i>	39
Figura 8 <i>Plataforma de Google earth pro, Ubicación de las coordenadas geográficas del trabajo de investigación.....</i>	39
Figura 9 <i>Firma espectral de coberturas (L5, L7, L8).....</i>	40
Figura 10 <i>Valores digitales a reflectancia en la parte superior de la atmósfera.....</i>	41
Figura 11 <i>Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....</i>	42
Figura 12 <i>Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....</i>	42
Figura 13 <i>Se verificó la exactitud posicional mediante puntos GPS de campo.....</i>	43
Figura 14 <i>Muestras de palto elegidas por conveniencia para la medición de estrés hídrico en cultivos palta ubicado en la localidad de Cedropata.....</i>	45
Figura 15 <i>Clasificación general de cambios de la Cobertura del Suelo del cultivo de Persea americana en Huanta y Luricocha año 2015 -2016.....</i>	49
Figura 16 <i>Clasificación general de cambios de la Cobertura del Suelo del cultivo de Persea americana en Huanta y Luricocha año 2017 -2018.....</i>	49
Figura 17 <i>Clasificación general de cambios de la Cobertura del Suelo del cultivo de Persea americana en Huanta y Luricocha año 2019 -2020.....</i>	50
Figura 18 <i>Clasificación general de cambios de la Cobertura del Suelo del cultivo de Persea americana en Huanta y Luricocha año 2021 -2022.....</i>	50
Figura 19 <i>Clasificación general de cambios de la Cobertura del Suelo del cultivo de Persea americana en Huanta y Luricocha año 2023.....</i>	51
Figura 20 <i>Dato acumulado final (2015-2023) Incremento de Persea americana (%)....</i>	53
Figura 21 <i>Nivel de crecimiento de áreas cultivadas con Persea americana de los distritos de Huanta y Luricocha desde 2015 al 2023.....</i>	54
Figura 22 <i>Relación entre Humedad del Suelo y Potencial Hídrico (Planta 1/ con riego).....</i>	58

Figura 23 <i>Relación entre Humedad del Suelo y Potencial Hídrico (Planta 4/ con riego)</i>	59
Figura 24 <i>Relación entre Humedad del Suelo y Potencial Hídrico (Planta 6/ sin riego)</i> 60	
Figura 25 <i>Relación entre Humedad del Suelo y Potencial Hídrico (Planta 7/ sin riego)</i> 61	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de variables</i>	22
Tabla 2 <i>Intervalos del rango de salud vegetal con NDVI</i>	28
Tabla 3 <i>Características de las imágenes satelitales del Landsat 8</i>	37
Tabla 4 <i>Equipos, materiales y Software</i>	37
Tabla 5 <i>Interpretación de las lecturas de los sensores Watermark</i>	45
Tabla 6 <i>Puntos de instalación de los sensores de humedad de suelo en cultivos de Palta de la localidad de Cedropata</i>	46
Tabla 7 <i>Puntos de medición de las plantas de palta del estado hídrico con la cámara de scholander de la localidad de Cedropata</i>	47
Tabla 8 <i>Análisis del Crecimiento Acumulado y las Tendencias Anuales Periodo 2015 al 2023</i>	52
Tabla 9 <i>Potencial hídrico en (MPa) y humedad de suelo (cb) expuesta a riego en los cultivos de palta en la localidad de Cedropata</i>	57
Tabla 10 <i>Potencial hídrico en (MPa) y humedad de suelo (cb) sin riego en los cultivos de palta en la localidad de Cedropata</i>	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Matriz de consistencia</i>	72
Anexo 2 <i>Datos de medición del estado hídrico de palta del tratamiento A-sin riego de los cultivos de palta del terreno de estudio en la localidad de Cedropata</i>	74
Anexo 3 <i>Datos de medición del estado hídrico de palta del tratamiento B-con riego de los cultivos de palta del terreno de estudio en la localidad de Cedropata</i>	76
Anexo 4 <i>Datos de la medición de la humedad de suelo de los tratamientos A y B de los cultivos de palta del terreno de estudio ubicado en la localidad de Cedropata</i>	78
Anexo 5 <i>Cultivos de palta in situ de la localidad de Cedropata</i>	78
Anexo 6 <i>Selección y etiquetado de las muestras de planta para la medición del estado hídrico y humedad de suelo</i>	79
Anexo 7 <i>Cámara de Scholander para medir el estado hídrico del cultivo</i>	79
Anexo 8 <i>Equipo utilizado para registrar la humedad de suelo, Watermark</i>	80
Anexo 9 <i>Sensor HOBO para su registro de humedad del aire</i>	80
Anexo 10 <i>Selección de las hojas sanas y maduras para la medición del estado hídrico de la palta</i>	81
Anexo 11 <i>Medición del estado hidrico de palta in situ con la cámara de Scholander</i>	82
Anexo 12 <i>Instalación del sensor Watermark y toma de datos de la humedad de suelo</i> ...	83

INTRODUCCIÓN

El crecimiento sostenido de la agricultura orientada a la exportación en el Perú ha promovido la expansión de cultivos de alto valor comercial, como la palta (*Persea americana*), en regiones andinas tradicionalmente dedicadas a sistemas agrícolas mixtos. En la provincia de Huanta, región Ayacucho, este proceso ha generado una transformación progresiva en el uso y la cobertura del suelo, así como un incremento en la demanda de agua para riego, situación que plantea desafíos ambientales y de sostenibilidad hídrica.

El cambio climático, caracterizado por la reducción de glaciares, la variabilidad de las precipitaciones y el incremento de las temperaturas ha afectado la disponibilidad de agua en las cuencas medias y bajas andinas, impactando directamente en la productividad de los cultivos. En este contexto, resulta fundamental analizar la relación entre el estado vegetativo del cultivo de palta y la dinámica de cambio de la cobertura del suelo, con el fin de comprender los efectos que esta expansión agrícola produce sobre el entorno natural.

El uso de herramientas de teledetección y análisis multitemporal, como las imágenes satelitales Landsat 8 y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), permite identificar variaciones espaciales y temporales del vigor vegetativo de la *Persea americana*, así como cuantificar los cambios de cobertura del suelo en un periodo determinado. A ello se suma la medición del estado hídrico foliar y de la humedad del suelo, que aporta una visión integral sobre la eficiencia del uso del agua en los sistemas de riego y las condiciones fisiológicas del cultivo.

Por tanto, la presente investigación tiene como objetivo analizar el vigor vegetativo de *Persea americana* y el cambio de la cobertura del suelo en los distritos de Huanta y Luricocha durante el periodo 2015–2023, a partir de imágenes multispectrales, índices de vegetación y mediciones del potencial hídrico foliar. Los resultados de este estudio buscan contribuir con información científica que sirva de base para la gestión sostenible de los recursos hídricos, la planificación territorial y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles en la región de Ayacucho.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Algunos glaciares andinos han desaparecido y se ha visto la reducción de muchos otros por el cambio climático, proyectándose su desaparición en pocas décadas (Vuille et al., 2008); asimismo los bofedales altoandinos han disminuido (Meneses et al., 2014) y esto está provocando reducción de la cantidad de agua en la parte media y baja de las cuencas. Además, se ha observado una variabilidad en los patrones estacionales de las precipitaciones y un aumento en las temperaturas ambientales, reflejándose en la escasez de agua; a pesar de estos acontecimientos, no se ha registrado un cambio significativo en el comportamiento de la población en cuanto al uso responsable del agua (Aghapour et al., 2020), y se ha descuidado la exploración de alternativas para mejorar las prácticas de riego para la agricultura (Cai et al., 2003) y la gestión hídrica de manera más eficiente y sostenible (Novoa et al., 2019).

En el Perú, en los últimos años las exportaciones de palta al mercado extranjero han estado en crecimiento (Crist et al., 2017; Ketema et al., 2020); durante el año 2021, la región de Ayacucho logró producir 28, 427 toneladas de palta a través de las provincias de La Mar, Lucanas, Huamanga y Huanta que produjo 2,627 toneladas (Carhuallanqui, 2022), entonces indudablemente esta actividad agrícola se ha convertido en una fuente de ingresos para la población local (Soto y Sulca, 2017) y que en la actualidad siguen extendiendo los cultivos de palta. A pesar de este incremento positivo de la exportación de palta y extensión, esta actividad tiene efectos negativos, que ocasiona la disminución de la fertilidad del suelo (Di Benedetto et al., 1988) e identificándose como el principal factor al cambio de la cobertura del suelo generando reducción de áreas con vegetación nativas (Burgos et al., 2011) ocasionado pérdida de biodiversidad (De la Vega y Merino, 2021), disminución de bosques (FAO, 2015; Wang et al., 2017), reducción y contaminación hídrica (Burgos et al., 2011) debido a que durante la etapa de fructificación necesitan elevadas cantidades de agua, fertilizantes y pesticidas (Geiger et al., 2010).

Por otro lado, la falta de alternativas tecnológicas y el mal manejo agronómico (controles fitosanitarios, riegos, labores culturales y fertilización) impiden el aumento de la producción de palta (Sotomayor et al., 2016); el exceso

o escaso de agua durante el riego ocasiona el estrés hídrico de la palta lo que interrumpe al desarrollo del fruto y afecta al vigor vegetativo (Carr, 2013) implicando directamente al rendimiento y la calidad del producto final (Neuhaus et al., 2009). Como resultado, esta problemática también afecta al tamaño del fruto de la palta, esto ha generado descartes de cosechas del 10% al 15% por no cumplir con los estándares de calidad que exige el mercado extranjero (Salazar, 2023). Por lo tanto, se debe aplicar técnicas de conservación de agua, cambio de las prácticas agrícolas que aprovechen mejor el recurso hídrico (Vuille et al., 2008).

Así mismo no hay estudios en la provincia de Huanta sobre el estado hídrico de los cultivos de palta en la época de estiaje que tienen acceso a riego y los que están limitadas al riego, y también no se sabe cómo es este comportamiento durante la temporada lluviosa, tampoco se tiene reportes sobre el crecimiento geográfico de los cultivos de palta hasta la actualidad, y no se aplica tecnologías para monitorear el estado vegetativo de los cultivos lo cual ayudaría predecir el rendimiento, entonces se plantea un trabajo importante en este plan de investigación.

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1 Problema general

¿Cuál es el impacto de *Persea americana* en el cambio de la cobertura del suelo, y cómo es la variación multitemporal del vigor vegetativo desde 2015 al 2023 y el estado hídrico actual en los distritos de Huanta y Luricocha?

1.1.2 Problemas específicos

P1: ¿Cómo ha variado a lo largo del tiempo el vigor vegetativo de *Persea americana* en los distritos de Huanta y Luricocha, desde el año 2015 al 2023?

P2: ¿Cuál es el estado hídrico actual de los cultivos de palta que tienen acceso a riego y sin riego, y como está relacionado con la humedad del suelo?

P3: X

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Analizar el vigor vegetativo de *Persea americana* y el cambio de la cobertura del suelo desde 2015 al 2023 de los distritos de Huanta y Luricocha, mediante el uso de Imágenes multiespectrales, NDVI y Potencial hídrico foliar.

1.2.2 Objetivos específicos

O1: Determinar el nivel de la variación del vigor vegetativo de *Persea americana* de los distritos de Huanta y Luricocha desde 2015 al 2023, utilizando el Índice de Vegetación NDVI.

O2: Evaluar el estado hídrico actual de los cultivos de *Persea americana* que tienen acceso a riego y sin riego y relacionarlos con la humedad del suelo.

O3: Determinar el nivel de crecimiento de áreas cultivadas con *Persea americana* de los distritos de Huanta y Luricocha desde 2015 al 2023, y analizar cómo este crecimiento ha influido en los cambios de la cobertura del suelo, mediante el uso de las imágenes satelitales.

1.3 Justificación e importancia

Abordaremos cuestiones fundamentales que implica la comprensión de las variaciones del vigor vegetativo de *Persea americana* que sirven como indicadores tempranos de cambio climático. Además, la obtención de datos del estado hídrico actual proporcionará información valiosa sobre las respuestas de la vegetación ante variaciones de las condiciones ambientales. Así mismo los cambios en la cobertura del suelo por la expansión del cultivo de palta permitirá comprender e identificar como esta actividad agrícola está afectando a los ecosistemas circundantes, lo cual contribuiría en la mejora de la gestión del territorio.

El cultivo de *Persea americana* se ve afectado por la disponibilidad de agua, y es fundamental determinar su estado hídrico actual de los que tienen acceso a riego y los que están limitados al acceso de agua en temporadas de estiaje, y comprobar si el estado vegetativo cambia con la llegada de las lluvias. Entonces esta investigación permitirá conocer el vigor vegetativo multitemporal, estado hídrico actual para analizar los cambios o variaciones de este cultivo; esto

tiene implicaciones prácticas significativas para los agricultores y las autoridades locales con la finalidad de conservar los recursos hídricos.

El uso del NDVI en el procesamiento de imágenes con datos por pixel para adquirir índices de vegetación, así poder evaluar el vigor vegetativo de *Persea americana* es metodológicamente sólido y aceptado en la investigación ambiental y agrícola. Provee información cuantitativa y objetiva de la salud de la vegetación. Por otro lado, la adopción de imágenes satelitales como fuente de datos, metodológicamente es valiosa por proveer información a gran escala y en diferentes momentos temporales. Esto permite identificar patrones de cambio en la cobertura del suelo.

Estas justificaciones respaldan la relevancia y la importancia del proyecto de investigación para abordar cuestiones relacionadas con la ecología, la agricultura sostenible y la gestión del territorio en la provincia de Huanta.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

Durante el periodo de 2015 a 2023, la extensión de *Persea americana* en los distritos de Huanta y Luricocha, ha experimentado un incremento significativo. Asimismo, existe una correlación positiva entre la extensión y el vigor vegetativo, medido mediante el Índice de Vegetación NDVI, lo que indicaría un crecimiento saludable del cultivo.

1.4.2 Hipótesis específicas

H1: El Índice de Vegetación NDVI es una herramienta eficaz para evaluar el vigor vegetativo de *Persea americana*, lo que indica que el NDVI puede ser utilizado como un indicador confiable de la salud del cultivo en la región de estudio.

H2: El estado hídrico actual de los cultivos de *Persea americana* que tienen acceso a riego no presenta indicios de estrés hídrico, al contrario de los que presentan déficit en el riego, sus los valores de potencial hídrico foliar tienen valores negativos superiores, indicando que existe un elevado estrés en la planta por falta de agua, y están altamente correlacionados con la humedad del suelo.

H3: Se observa un crecimiento significativo de las áreas cultivadas con *Persea americana* en los distritos de Huanta y Luricocha en las

imágenes satelitales desde el año 2015 al 2023, lo que indicaría cambios negativos en la cobertura del suelo.

1.5 Variables

1.5.1 Variable dependiente

- Cobertura del suelo

1.5.2 Variable independiente

- Persea americana

Tabla 1*Operacionalización de variables*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Instrumento	Fuente
Variable dependiente Cobertura del suelo	Son características y descripción del material físico que se encuentra en la superficie de la tierra, como vegetación, agua, rocas, entre otros; se involucra en los estudios de uso del suelo modificada por las actividades antrópicas (Suárez et al., 2017).	Esta variable representa las modificaciones en los tipos de cobertura de suelo en la provincia de Huanta desde 2015 hasta 2023 por las tierras cultivadas de <i>Persea americana</i> , así como otros cambios en el uso de la tierra.	Cambio de la cobertura del suelo	Porcentaje de cambio en la cobertura	%	Complemento de ArcGIS para la cuantificación de coberturas	Imágenes históricas de satélite
Variable independiente <i>Persea americana</i>	Pertenece a la familia Lauráceas, se encuentran en espacios tropicales y subtropicales; lideran los países de México, República Dominicana, Perú, Colombia y Chile; las variedades más comercializadas son Hass y Fuerte (Piscoche, 2023; Quispe, 2015).	Esta variable ayudará distinguir en qué áreas de la provincia de Huanta se cultiva. Puede indicar mayor o menor extensión de plantaciones de palta y su relación con los cambios en la cobertura de suelo y el comportamiento del vigor vegetativo.	Expansión agrícola	Crecimiento geográfico	Ha	Complemento de ArcGIS para la cuantificación de coberturas	Imágenes históricas del satélite Landsat 8
			Vigor de la vegetación	estrés hídrico	NDVI		Imágenes multispectral de satélite.
					Mpa	Bomba de Scholander	Hojas de <i>Persea americana</i>

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacionales

Ewane et al., (2023) desarrollaron el artículo “Expansión agrícola y cambios en la cobertura del suelo en el paisaje del monte Bamboutos, oeste de Camerún: implicaciones para la planificación local del uso del suelo y el desarrollo sostenible”, se utilizó imágenes de satélite Landsat de 1980 al 2018 y encuestas dirigidas a los agricultores para comprender las actividades agrícolas actuales en la zona de estudio; viendo como resultado la disminución de pastizales, bosques primarios y secundarios; y un aumento significativo de tierras con cultivos de té, eucalipto y áreas urbanas; concluyeron que la expansión agrícola y tierras de pastoreo son impulsores del cambio de cobertura del suelo (LUCC), por lo que afecta funciones y servicios de los ecosistemas como la regulación del agua, la formación y protección del suelo.

Dame et al., (2023) desarrollaron la investigación “Dinámicas sociohidrológicas y conflictos hídricos en el alto valle de Huasco, Chile”, mediante la detección remota de Corona, Landsat, Sentinel-2 se evaluó los cambios de las demandas de agua por las actividades mineras y cambios en el uso de la tierra agrícola orientada a la exportación. Los resultados muestran que hubo una disminución drástica de los glaciares desde el año 2000 y un aumento de tierras agrícolas hasta el 2015, actualmente la expansión agrícola se detuvo por problemas de escasez y calidad de agua debido a los cambios en el uso de la tierra. Concluyendo que estos problemas van generando conflictos socio-hidrológicos en Chile, de tal motivo es importante la protección de las criósfera para la disponibilidad de agua.

Cánceles et al., (2023) desarrollaron la investigación en España “Alternativas de riego para aguacate (*Persea americana Mill.*) en la región subtropical mediterránea en el contexto del cambio climático: una revisión”, con el objetivo de analizar el papel del riego deficitario como táctica para abordar tanto el impacto del cambio climático como la falta de recursos hídricos, al enfocarse en mejorar la eficiencia, conservar el agua y optimizar los beneficios potenciales en el contexto del sistema de riego agrícola, se realizó mediante programaciones de riego sostenible, llegaron a la conclusión

que el cultivo de palta requiere estrategias de resiliencia sostenible para reducir el consumo de agua de riego para evitar el estrés hídrico y que afecte el rendimiento y la calidad de fruto.

Contador (1998) realizó la investigación “Caracterización del status del palto (*Persea americana* Mill.), en función de la humedad disponible en el suelo, en dos tipos de suelo dos sistemas de riego”. Utilizó la cámara de presión Scholander para medir el potencial hídrico de las hojas que estuvieran sanas y aduras expuestas en dos tratamientos (riego por microaspersión y riego por goteo), mismo que realizó las mediciones de la humedad con la sonda de capacitancia a una distancia de 1.5 m del tronco a una profundidad de 3 cm. Llegó a la conclusión de que no existe relación en ambos tratamientos entre el potencial hídrico de la palta con el estado de humedad del suelo.

2.1.2 Nacionales

Zumaeta, (2018) desarrolló la investigación “Análisis Multitemporal y Predictivo del Cambio de Uso del Suelo y Pérdida de Cobertura Vegetal en la Microcuenca Yuyac, Amazonas, 2018”, se utilizó Corine Land Cover (CLC) para clasificar e interpretar los cambios de uso y pérdida de cobertura vegetal, también se seleccionó imágenes satelitales de LandSat 5 y 8 con menos del 10% de nubes, mediante el Software QGIS realizó las correcciones de las imágenes. Los resultados dieron que el uso de suelo se dio por el crecimiento urbano, la transformación antrópica y la extensión agrícola, indicando que estas actividades fueron incrementadas durante los tres periodos estudiados. Concluyeron que el cambio de uso de suelo y la pérdida de la cobertura vegetal son causados con mayor intensidad por las actividades agrícolas y ganaderas.

2.1.3 Local

Santiago (2022) realizó la investigación “Análisis multitemporal (1990 – 2020) para la evaluación de la variación de la cobertura y uso del suelo de Kimbiri, cusco - 2021”. Utilizó la técnica de teledetección, con la adquisición de imágenes satelitales de la plataforma Landsat, misma que fueron corregidas previamente (geométrica, radiométrica y atmosférica), se empleó el Software ArcGIS para el procesamiento de información y consistió en tres fases (entrenamiento, asignación y verificación) el tipo de clasificación supervisada con algoritmo de máxima probabilidad y para la validación se utilizó la matriz de confusión y el índice de Kappa. Los resultados indicaron la categorización

de 14 clases alcanzando hasta nivel 3 de detalle, y el grado de concordancia de la clasificación mostraron resultados eficientes con un coeficiente de kappa 0.71 para el año 1990 y un 0.81 para el año 2020, finalmente se realizó el análisis multitemporal donde se pudo identificar que el bosque denso sufrió mayor variación con tasa anual de cambio -0.30 %, seguidamente del bosque fragmentado con tasa de -1.81 %; por otro lado, se observó el aumento de la clase mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales con una tasa 3.12 %; seguidamente mosaico de pastos y cultivos con 4.39 %.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 *Persea americana*

La palta, *Persea americana* Mill., pertenece a la familia Lauráceas, se encuentran distribuidos en espacios tropicales y subtropicales, se clasifican por tres razas (mexicana, guatemalteca y Antillana). En el mundo, las naciones líderes de exportación de palta son México, República Dominicana, Perú, Colombia y Chile; el Perú ocupa el tercer puesto a nivel mundial (Piscoche, 2023), gracias a sus condiciones agroclimáticas (Mondéjear et al., 2023), zonas geográficas (Raihan y Tuspekova, 2022) que posee la costa y sierra peruana (Mondéjear et al., 2023), que lo convierten en una nación agrícola diversa y vital (Raihan y Tuspekova, 2022).

En los últimos años, el cultivo de palto ha adquirido una significativa relevancia comercial en el Perú, posicionando al país como el tercer productor más grande a nivel mundial, contribuyendo con el 7.7% de la producción global, con las variedades “Fuerte” y “Hass” (Quispe, 2015).

2.2.2 Cambio de uso de suelo

En el uso de suelo es fundamental para realizar actividades agrícolas, ganaderas, minerías y construcciones de (Coveña, 2023), sin embargo, estas actividades generan cambios de la cobertura del suelo generando pérdidas de la biodiversidad, hábitat, servicios, vienes y altera la capacidad productiva de ecosistemas, por lo que pone en riesgo a la seguridad en la producción de alimentos, la calidad de agua y el suelo.

Ante este problema se desarrolla el ordenamiento territorial consiste en planificar y buscar zonas viables para hacer su uso del territorio de manera equilibrada y amigable con el medio ambiente que impide impactos negativos al medio ambiente (Galiano y Suárez, 2023). Actualmente se puede estudiar la

dinámica del cambio de uso de suelo y la pérdida de cobertura vegetal mediante tecnologías avanzadas como el sistema de información geográfica que nos permite determinar y comprender los problemas actuales de tal sentido se puede evitar futuros riesgos (Almaaitah et al., 2018).

2.2.3 Vigor vegetativo

Los índices de vegetación han encontrado un amplio uso en teledetección, permitiendo monitorear tanto cualitativa y cuantitativa la evolución en el tiempo del vigor vegetativo (Gao et al., 2023). Para evaluar el vigor y el crecimiento de los cultivos se utilizan imágenes satelitales como Sentinel mediante el NDVI para extraer información y analizar los datos automatizados ligado a la toma de decisiones para mejorar los niveles de productividad la calidad de producto (Ahmed et al., 2023).

2.2.4 Expansión agrícola

La deforestación y degradación de bosques son consecuencia de diversas causas como la construcción de carreteras, actividades agrícolas, la expansión de la agroindustria, la actividad minera y la tala (Levers et al., 2021). Asimismo, la expansión agrícola se debe al aumento en la demanda mundial de alimentos, con la participación de empresarios y pequeños propietarios (Palomino, 2023); por otro lado, la disponibilidad de suelos agrícolas en nuestro país es limitada, ya que solo el 3.8% del territorio es adecuado para prácticas agrícolas intensivas, lamentablemente esta pequeña porción de tierras sufre graves problemas como la deforestación, construcción de carreteras, erosión hídrica y eólica, mal manejo del riego, sobrepastoreo, intensificación de cultivos, drenaje deficiente y salinización (Plaza, 2016).

Sin embargo, las buenas prácticas sostenibles aplicadas en la expansión agrícola pueden aumentar la productividad, reducir la presión para la intensificación agrícola y generar una reducción importante en las emisiones de gases de efecto invernadero (González et al., 2023).

2.2.5 Imágenes Satelitales y Teledetección

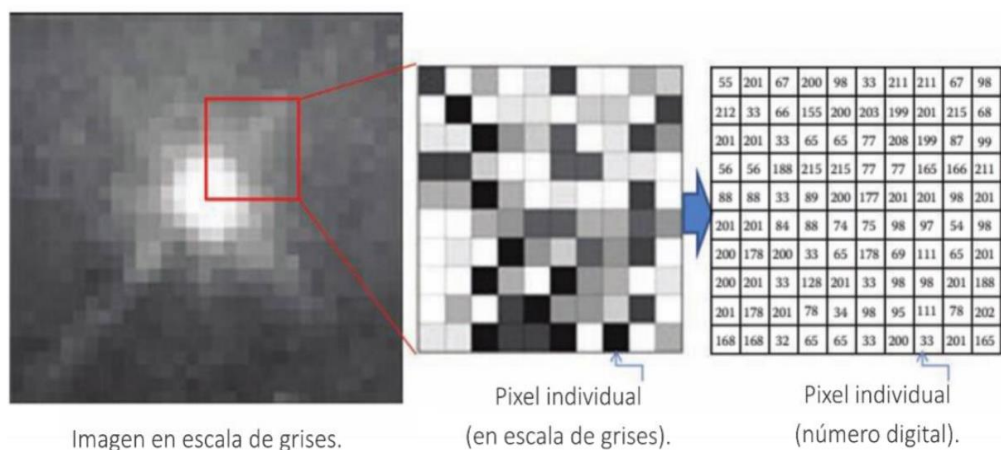
Los satélites de teledetección obtienen imágenes satelitales a diferentes resoluciones, son utilizados para la detección de cambios debido a fenómenos naturales o provocados por el hombre; estas herramientas permiten actualizar los datos de la tierra en tiempo real y ser aplicadas en mapas para comprender los cambios significativos periódicamente (Asokan y Anitha, 2019), pueden

detallar información de cambios de la cobertura y uso de la tierra (Pu y Landry, 2012). Los sistemas satelitales como Landsat, Sentinel, Terra, RapidEye son valiosas y muy usadas por su política de datos gratuitos (Jeppesen et al., 2019).

La teledetección brinda apoyo a diversas prácticas de agricultura de precisión, como la siembra, fertilización, protección y cultivo, al suministrar datos que informan sobre el crecimiento y estado de los cultivos, las condiciones del suelo y los factores ambientales (Brambilla et al., 2021; Paul et al., 2022; Paustian y Theuvsen, 2017), esto conduce a una mejor gestión del cultivo, mayores rendimientos y una mayor rentabilidad (Khanal et al., 2020), de las cuales estos datos convertidas en imágenes digitales se define por filas y columnas constituida por pixeles por lo que son generados en las imágenes satelitales y cada pixel registra un valor numérico (Martín, 2018), debido a que en el sistema de teledetección la radiación solar es la fuente principal que refleja a la superficie terrestre hacia los sensores espaciales para generar información y aplicar en mapas temáticos (García y Montoya, 2021).

Figura 1

Imagen digital por satelitales constituida por pixeles



Nota. La figura muestra que las imágenes captadas por satelitales están conformadas por pixeles, estos poseen datos importantes para su análisis de una investigación. (Sudhanshu et al., 2015).

2.2.5.1 Sensores activos y pasivos

Las más usadas son los sensores Radio Detection And Ranging (RADAR) que generan imágenes en dos dimensiones en el rango de microondas, de las cuales emiten y reciben la señal del mismo objetivo (Acevo,

2011), estas tienden a capturar atributos de la vegetación y del suelo aplicadas en la hidrología, glaciología, agricultura y silvicultura (Martín, 2018).

Los sensores pasivos se limitan en la adquirir la información mediante la radiación debido a que no cuentan con la fuente de energía propia, de las cuales estas operan en regiones de las microondas y en la región visible e infrarrojo, dentro de los sensores pasivos se hacen uso de imágenes satelitales de Landsat 7 y 8 (Martín, 2018).

2.2.6 Agricultura de precisión

La agricultura de precisión hace uso de tecnologías que permite obtener datos precisos con la finalidad de minimizar riegos y costos en los muestreos de suelos, de tal modo ayuda a gestionar de manera eficaz la agricultura (Cisternas et al., 2020), dentro de esta gestión se utiliza la teledetección con fines de lograr satisfacer las necesidades de la producción moderna mediante los manejos de suelo y cultivos (García y Flego, 2008); así mismo el uso de drones en la agricultura de precisión facilitan al conteo de plantas, supervisión de su crecimiento, identificar el nivel nutricional y evaluar el estrés hídrico; estas herramienta se pueden utilizar en grandes o pequeñas extensiones de cultivos (Pino, 2019) para aumentar en la producción y el rendimiento (García y Flego, 2008).

2.2.6.1 Índices de Vegetación aplicado a la agricultura

El índice de vegetación es un índice que se utiliza para evaluar la calidad y desarrollo de la vegetación, así como también calcular el vigor vegetativo mediante sensores remotos como las imágenes satelitales (Cima, 2021).

Los índices de vegetación se obtienen en mapas que son recolectados los datos mediante drones, está tecnología se aplica en la agricultura para ver el estado de salud de las plantas (Mahajan y Bundel, 2016). El NDVI es un indicador donde que si el valor es 1.0 indica tener una vegetación saludable y si el valor indica valores cercanos a 0.0 indica que son suelos desnudos o la vegetación está en mal estado (Pino, 2019).

Tabla 2

Intervalos del rango de salud vegetal con NDVI

Correlación colorimétrica entre valores de NDVI y factores biológicos

Color	Rango de NDVI	Factor Biológico
Rojo	$\leq 0.1 - 1.3$	Vegetación escasa o baja densidad de siembra
Naranja	0.3 – 0.4	Vegetación enferma y/o con plagas
Amarrillo	0.4 – 0.5	Vegetación con deficiencia fuerte de nutrientes
Verde Claro	0.5 – 0.6	Vegetación con deficiencia leve de nutrientes
Verde Oscuro	0.6 - 1	Vegetación saludable

Nota. En la figura se observa los intervalos del rango de salud de la vegetación muertas y sanas por el NDVI, además se pueden diferenciar por los colores de las bandas que compone la herramienta. (Cima, 2021).

2.2.7 Movimiento del agua en el suelo, planta y atmosfera

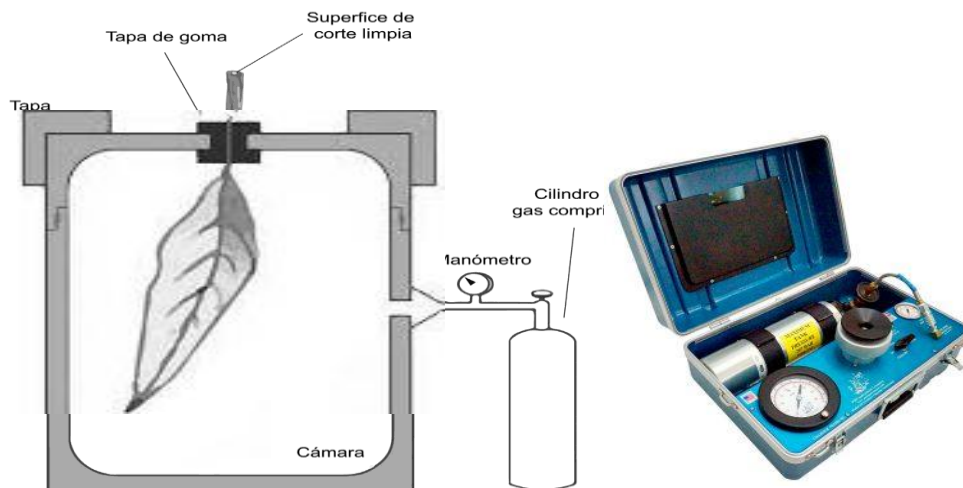
El agua circula a través de los poros del suelo donde es absorbida por las raíces de la planta y es transportada hacia las hojas mediante los conductores del xilema y floema del tallo, lo que ocurre la mayor parte de pérdida de agua en la transpiración a través de las estomas de las hojas (Juenger y Verslues, 2023), lo cual es liberado el vapor de agua a la atmosfera. La planta es el punto intermedio en la gradiente gracias al potencial hídrico que encuentra en el suelo y la atmosfera (Villar, 2015).

2.2.8 Potencial hídrico, estrés hídrico y la respuesta de las plantas

El potencial hídrico es un indicador que muestra el estado hídrico de las plantas, se utiliza para ajustar el nivel riego; para evaluar se utiliza las hojas (Balbont y Reyes, 2023) o tallos debido a su mayor sensibilidad en la demanda hídrica (Berríos y Pérez, 2023), en caso para la medición por hojas se hace uso de la cámara Scholander que estarán expuestas bajo presión; las hojas con mayor hidratación necesitarán una presión más ligera, mientras las hojas más estresadas debe estar a mayor presión para liberar el agua de sus tejidos lo que indicaría estar en mal estado hídrico (Balbont y Reyes, 2023).

Figura 2

Esquema de la Cámara Scholander de medición de potencial hídrico



Nota. La gráfica muestra el esquema para la medición del estado hidricp de la hoja de planta con e equipo “Cámara Scholander”. Fuente: (Villar, 2015).

El estrés hídrico afecta negativamente a las diferentes funciones de la fisiología vegetal de la planta, como el crecimiento vegetativo, la capacidad fotosintética y la productividad de la planta. Las altas temperaturas o la baja humedad ocasiona la alta demanda de evaporación (Cánceles et al., 2023); el exceso de agua en el riego en las plantas ocasiona el estrés hidrico por lo se debe ajustar al ahorro de agua con un riego adecuado de acuerdo al tipo de cultivos, de tal forma la pérdida del rendimiento es mínima o nula, lo que aumenta la productividad del agua y fruto, porque el uso inadecuado del agua, ya sea en exceso o en déficit, puede conducir a una productividad irregular y, en consecuencia, a distorsionar el rendimiento de la fruta (Cánceles et al., 2023).

2.3 Definiciones de términos

2.3.1 NDVI

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada es ampliamente utilizado para estimar la cantidad y el vigor vegetativo de un área. Se calcula como la diferencia normalizada entre las bandas de infrarrojo cercano (NIR) y rojo visible (RED), proporcionando información sobre la densidad y la salud de la vegetación (Medida et al., 2023; Xue y Suárez, 2017). Este índice presenta un valor numérico variación de -1 a $+1$, con valor positivo indica el vigor vegetativo del cultivo, mientras que el valor negativo indica ausencia de vegetación o exposición al suelo (Liu et al., 2006; Rouse et al., 1973).

2.3.2 Imágenes Satelitales

Es el producto de capturar la radiación emitida por la superficie terrestre mediante un sensor colocado en un satélite artificial (Sánchez, 2012). Existen numerosas plataformas que ofrecen imágenes satelitales gratuitas para descargar, ya sea directamente o mediante procesamiento en la nube (Geoinnova, 2022). Estas imágenes tienen características como resolución, colores, elevación entre otros y la calidad de la imagen va estar influenciada por las situaciones meteorológicas al inicio de realizar la toma (Sánchez, 2012).

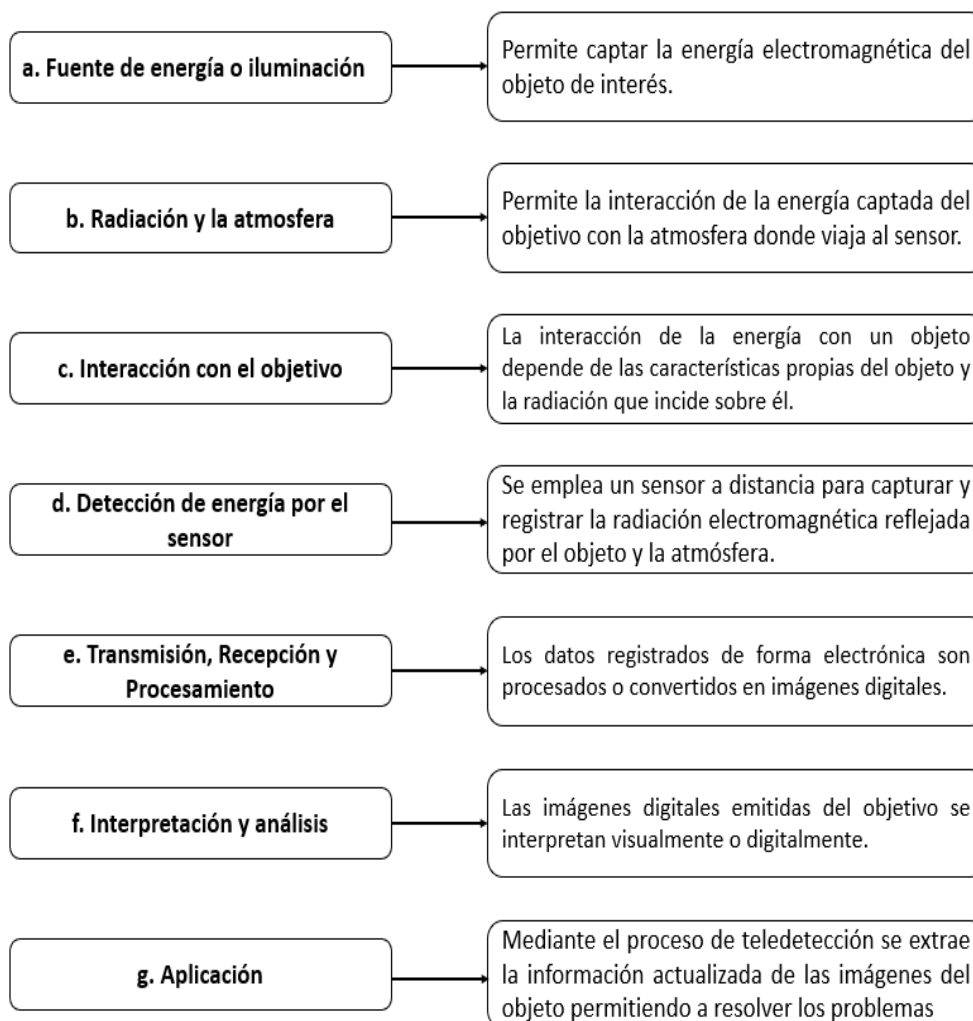
2.3.3 Teledetección

Mediante los satélites aerotransportados se calculan la cantidad de radiación electromagnética emitida por el objetivo y se obtiene informaciones de la superficie terrestre (Sánchez, 2012).

2.3.3.1 Proceso de teledetección

Figura 3

Procesos de la teledetección de imágenes satelitales para su análisis



Nota. (Sánchez, 2012).

3. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de la investigación

Corresponde al tipo de investigación aplicada para el objetivo dos, el nivel de investigación es descriptivo-correlacional, esto implica que el estudio se basa en la recolección sistemáticas de datos, y sus análisis geográficos agrícolas para abordar la evolución de la expansión agrícola y vigor vegetativo de *Persea americana* durante el año 2015 al 2023.

3.2 Diseño de la investigación

El enfoque de esta investigación es experimental respecto al segundo (02) objetivo específico el cual es, determinar el estado hídrico actual de los cultivos de *Persea americana* que tienen acceso a riego y los que se ven limitados al

acceso al agua, de las cuales se llevó a cabo en la localidad de Cedropata, distrito de Huanta, provincia de Huanta, Ayacucho.

Mientras que, los objetivos específicos 01 y 03 es no experimental, corresponden a un enfoque de análisis multitemporal de las mapas temáticas (1) Determinar el nivel de la variación del vigor vegetativo de *Persea americana* de los distritos de Huanta y Luricocha desde 2015 al 2023, utilizando el Índice de Vegetación NDVI, (3) Determinar el nivel de crecimiento de áreas cultivadas con *Persea americana* de los distritos de Huanta y Luricocha desde 2015 al 2023, y analizar cómo este crecimiento ha influido en los cambios de la cobertura del suelo, mediante el uso de las imágenes satelitales.

Además se seleccionó puntos estratégicos y se evaluó fenómenos existentes con el propósito de identificar los cambios de uso de suelo y analizar el vigor vegetativo a lo largo del tiempo (Hernández et al., 2016).

3.3 Ámbito temporal y espacial

3.3.1 Ámbito temporal

Para el análisis multitemporal del nivel de variación del vigor vegetativo y el nivel de cambio de la cobertura vegetal de *Persea americana* será mediante imágenes del satélite Landsat 8, de estación seca del mes de junio – agosto desde el año 2015 al 2023, abarcando los distritos de Luricocha y Huanta, de la provincia de Huanta, región de Ayacucho.

Para ello se seleccionaron las parcelas características que se pueden encontrar en el distrito de Huanta y Luricocha a fin de validar indicadores a través de la técnica de teledetección a la vez se georreferenciará los puntos mediante el aplicativo AlpineQuest bajo un sistema de coordenadas en UTM.

La compilación de datos respecto al estado hídrico de la planta se realizará durante cuatro (04) meses, ubica en la localidad de Cedropata, distrito de Huanta, con un área total de 0.30 Ha. con cultivo de *Persea americana* (palta).

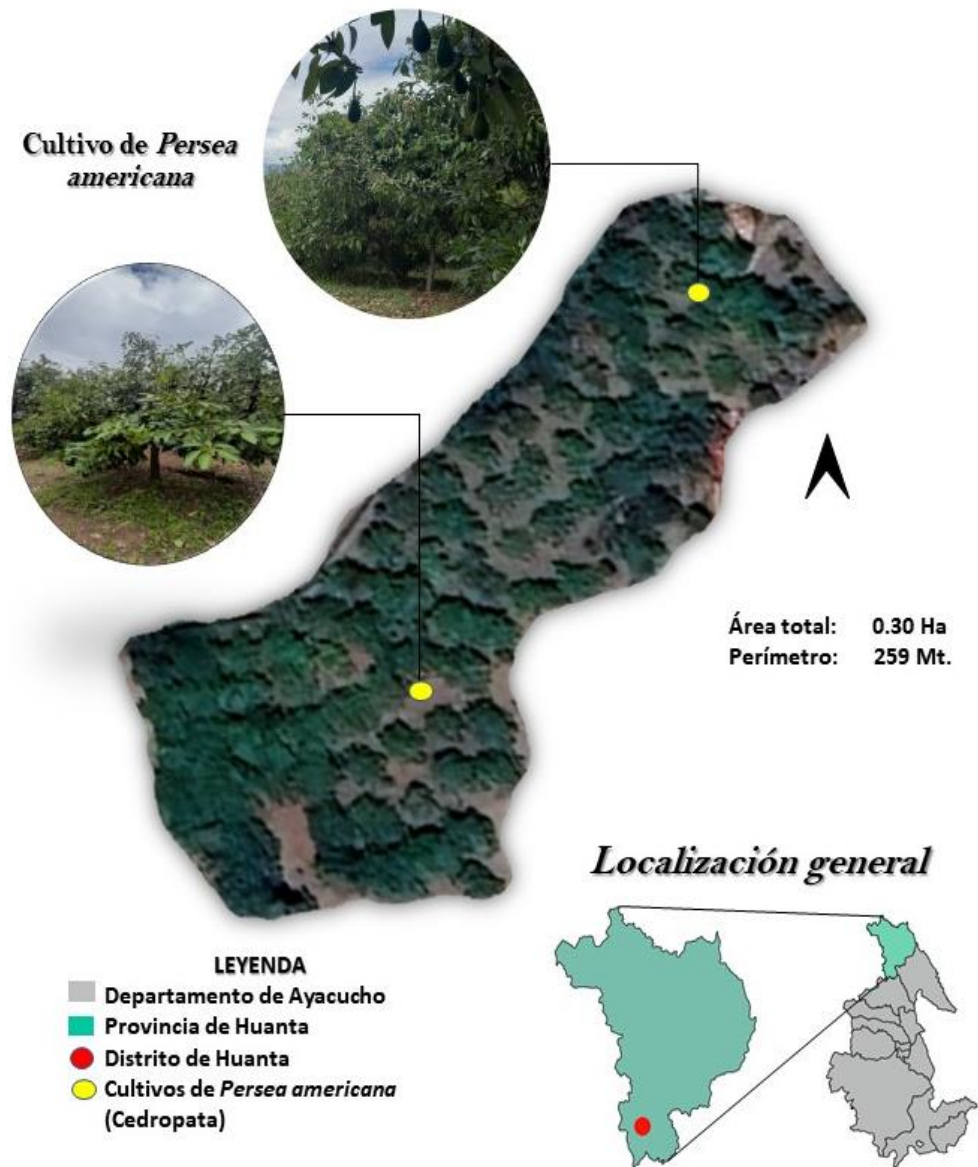
3.3.2 Ámbito espacial

El ámbito espacial del Proyecto se ubica en la localidad de Cedropata, distrito de Huanta, provincia de Huanta, región de Ayacucho; respecto al objetivo específico 02, por otro lado, de los objetivos específicos 01 y 03 se tomaron imágenes del satélite Landsat 8, seleccionadas a las áreas de los

distritos de Luricocha y Huanta, obteniéndose la selección de las imágenes entre 2015 al 2023.

Figura 4

Área de estudio para la toma de datos del estado hídrico de Persea americana – Localidad de Cedropata



Nota. La figura muestra el área de estudio respecto al análisis del estado hídrico del cultivo de *Persea americana* localizado en Cedropata perteneciente al distrito de Huanta, con las coordenadas de ubicación 581297.53 mE y 8571754.46 mS 18L.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población estudiada del estudio experimental comprende 40 árboles de *Persea americana*, ubicada en la localidad de Cedropata del distrito de Huanta; mismo que, para el procedimiento no experimental la población engloba todo el territorio de los distritos de Huanta y Luricocha.

3.4.2 Muestra

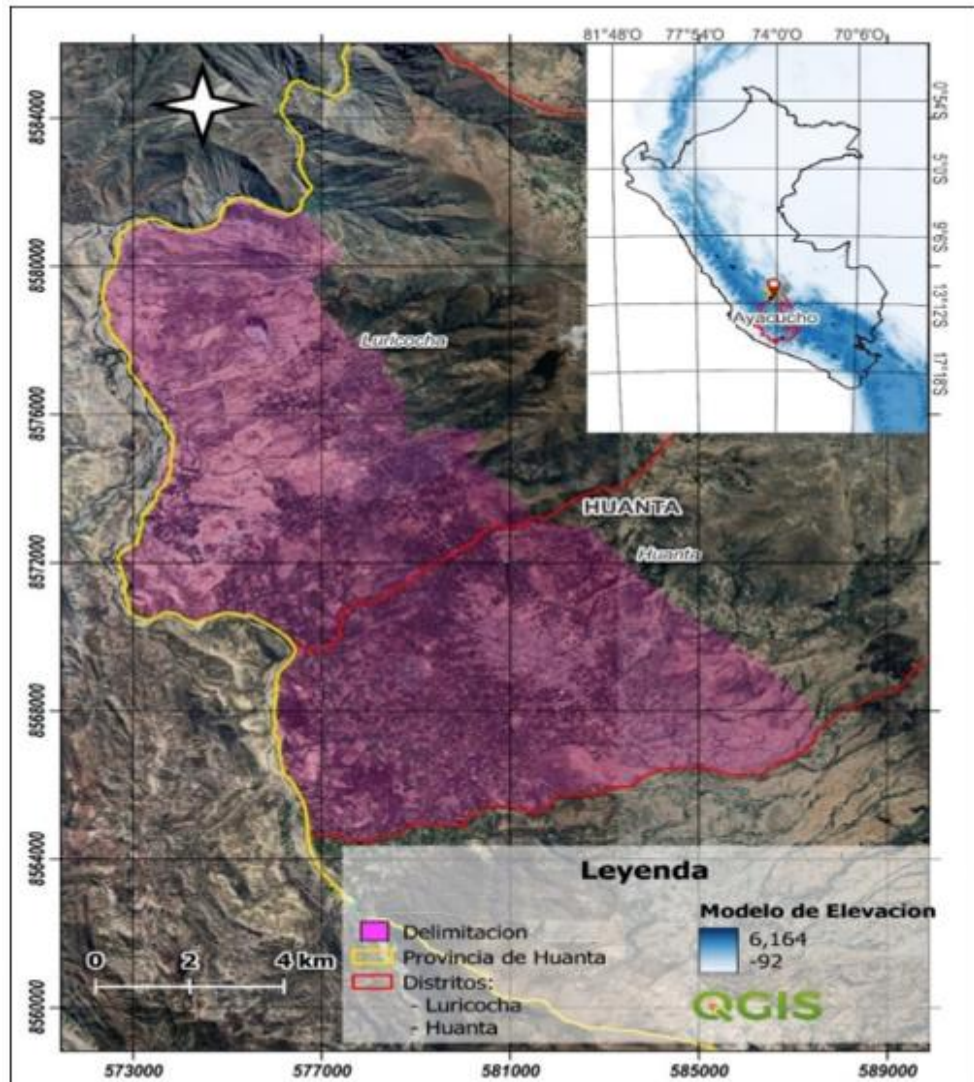
En el área de estudio experimental se realizó en 02 tratamientos (sin riego y con riego). Colocamos 04 sensores permanentes de humedad de suelo ubicadas alrededor de diferentes plantas de palta seleccionadas aleatoriamente. Esto permitirá monitorear la humedad del suelo en diferentes puntos del experimento y obtener datos más representativos.

3.4.3 Muestreo

La investigación es de manera intencionado no probabilístico, la selección de las áreas de muestreo y validación de áreas representativas para el análisis del cambio de cobertura del suelo se basarán en las coberturas con cultivo de palta y coberturas como áreas sin vegetación, áreas con cobertura arbórea y arbustiva, cuerpos de agua y otras coberturas con cultivo agrícola; a partir de ello se realizará la foto-interpretación de las imágenes de alta resolución del satélite Landsat 8. Por otro lado, el número de muestras de palta para la medición del estrés hídrico se localizarán con el aplicativo AlpineQuest para móvil con sistema operativo Android, al criterio por conveniencia.

Figura 5

*Delimitación de la población, las muestras y las áreas de muestreo respecto al nivel de la variación vegetativo y crecimiento de cultivo de *Persea americana**



Nota. En la figura se visualiza la delimitación de la población para el estudio y/o para el análisis multitemporal respecto al nivel de la variación vegetativo y crecimiento de cultivo de *Persea americana* de los distritos de Luricocha y Huanta de los años de 2015 al 2023.

3.5 Instrumentos

Para determinar el estado hídrico de este cultivo se utilizó la cámara de presión de Scholander permite medir la tensión de agua en las hojas de *Persea americana* (Palta) con acceso a riego y sin acceso a riego para identificar

diferencias significativas, así mismo, se recopiló datos de humedad de suelo con un registrador con sensores permanentes.

Se instaló 04 sensores de humedad del suelo en el área de estudio con cultivo de palta, 02 sensores de humedad de suelo en el tratamiento con acceso a riego y 02 sensores al tratamiento sin acceso a riego, para relacionarlos el acceso al riego y el estado hídrico de la planta.

Para el análisis de datos del Vigor vegetativo y cambio de cobertura de suelo se utilizarán imágenes satelitales históricos con menor al 20% de nubosidad, sus especificaciones se indica en la Tabla.

Tabla 3

Características de las imágenes satelitales del Landsat 8

Banda	Bandas	Resolución (m)
Banda 1	(Coastal / Aerosol): 0.43 – 0.45	30
Banda 2	Azul (Blue): 0.45 – 0.51	30
Banda 3	Verde (Green): 0.53 – 0.59	30
Banda 4	Rojo (Red): 0.64 – 0.67	30
Banda 5	Infrarrojo cercano (NIR): 0.85 – 0.88	30
Banda 6	SWIR 1 (infrarrojo de onda corta 1): 1.57 – 1.65	30
Banda 7	SWIR 2: 2.11 – 2.29	30
Banda 8	Pancromática (Panchromatic): 0.50 – 0.68	15
Banda 9	Cirrus (para detectar nubes altas): 1.36 – 1.38	30

Se priorizarán las imágenes tomadas durante los meses de estación seca (junio-agosto), con el porcentaje más bajo de nubosidad, de esa manera se evitará confusiones en el algoritmo de clasificación, de lo contrario, imágenes con nubosidad o sombras provocarán cambios en los rasgos espectrales de la superficie (Nikolakopoulos et al., 2006).

Tabla 4

Equipos, materiales y Software

Equipos	Materiales	Software
- AlpineQuest y/o GPS **	- Libreta de campo	
- Cámara de Scholander **	- Bolsas Ziploc laminada	- ArcGIS
- Sensor de humedad de suelo	- Tijera de altura para podar	- R-Studio.
	- Navaja de acero	
- Sensor de humedad de aire	- Lupa de 20x	

- Lentes de seguridad
- Escalera de aluminio
- Tanque de Nitrógeno Gaseoso
- Guantes Quirúrgicos
- Plataformas digitales (Landsat 8)

** Equipos que cuenta la universidad.

3.6 Procedimientos

3.6.1 Obtención de imágenes satelitales Landsat

Se implementó el siguiente procedimiento para la adquisición de las imágenes satelitales:

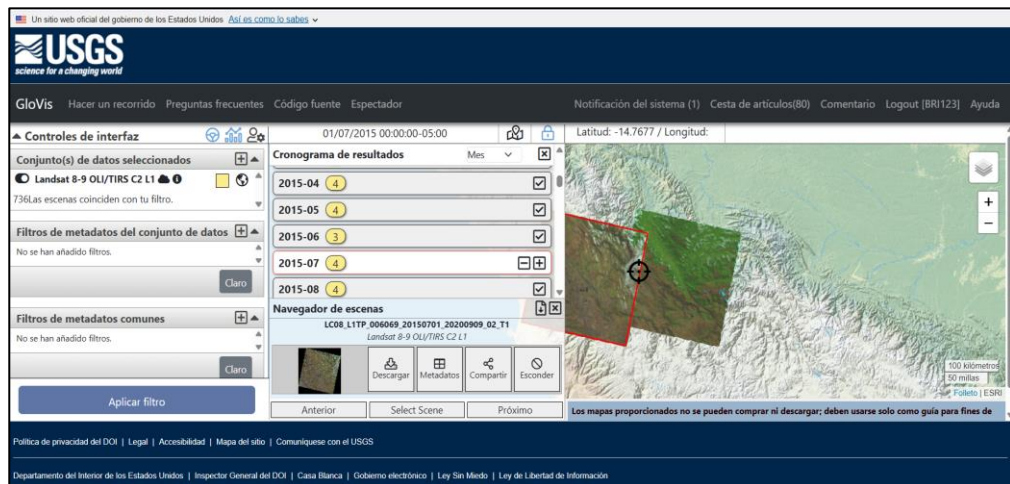
A. Selección de la Plataforma y Datos

Se accedió al portal **GloVis (Global Visualization Viewer)** del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) mediante la URL:

<https://glovis.usgs.gov/app>

Figura 6

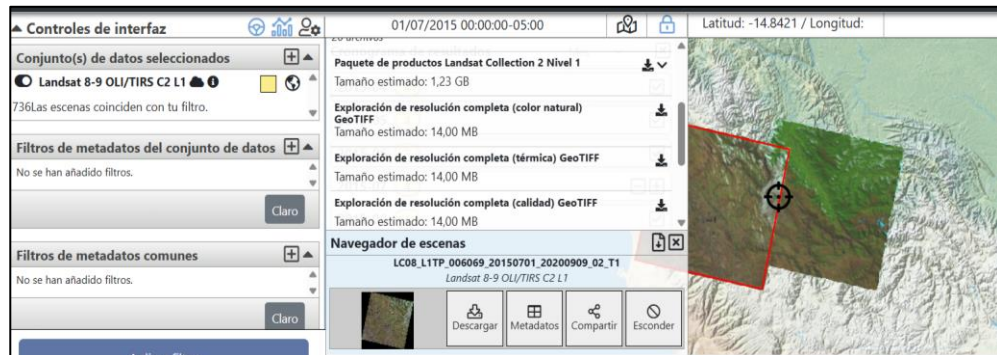
Plataforma de GloVis (Global Visualization Viewer) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)



Se seleccionaron imágenes del satélite Landsat 8 OLI/TIRS debido a su disponibilidad gratuita y características espectrales apropiadas para el análisis de vegetación.

Figura 7

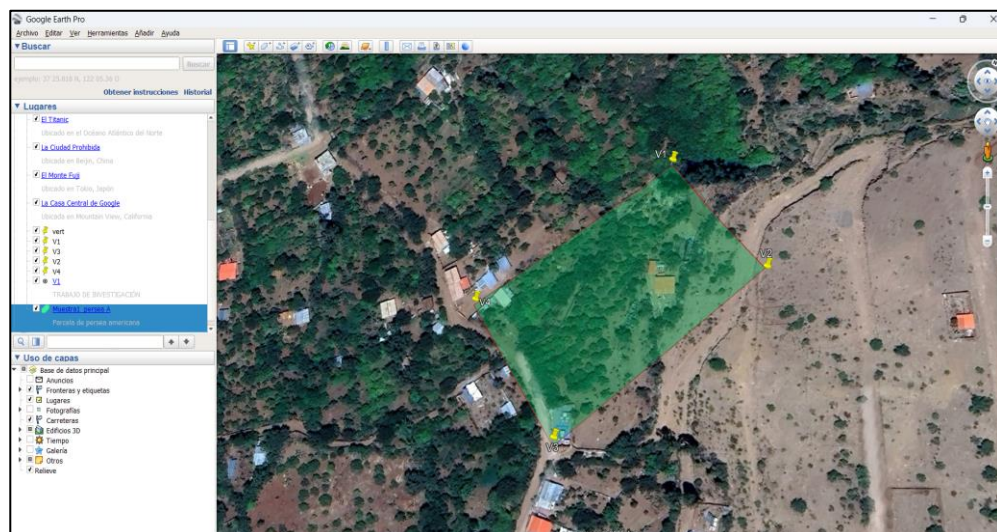
Plataforma de GloVis (Global Visualization Viewer) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) selección de las imágenes con menor al 10% de nubosidad



Se definió las coordenadas UTM84-18S, como área de estudio del trabajo de investigación en los distritos de Luricocha y Huanta (departamento de Ayacucho, Perú).

Figura 8

Plataforma de Google earth pro, Ubicación de las coordenadas geográficas del trabajo de investigación.



B. Criterios de Selección de Imágenes

- Se estableció un periodo temporal de análisis comprendido entre los años 2015-2023
- Se priorizaron imágenes con cobertura de nubes menor al 10% para garantizar la calidad visual.
- Se seleccionaron fechas correspondientes a la época de desarrollo vegetativo de Persea americana (junio-agosto)

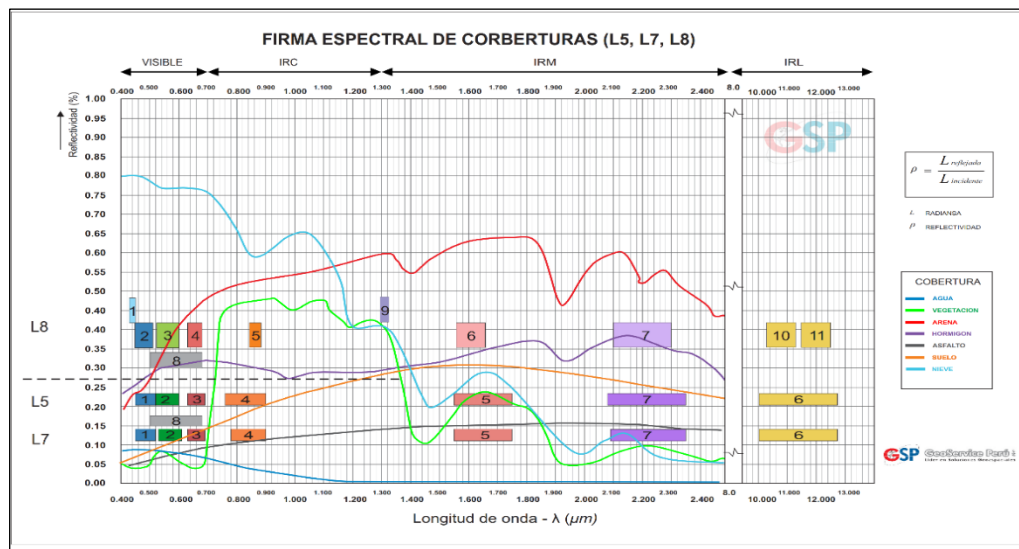
- Se verificó la integridad de las bandas espectrales requeridas para el cálculo de índices de vegetación.

C. Proceso de Descarga

- Se delimitó el área de interés mediante coordenadas geográficas: Latitud -12.918418° , Longitud -74.250033°
- Se aplicaron filtros temporales y de cobertura nubosa
- Se descargaron las bandas espectrales específicas:
 - ✓ Banda 4 (Rojo: $0.64-0.67 \mu\text{m}$)
 - ✓ Banda 5 (Infrarrojo cercano: $0.85-0.88 \mu\text{m}$)
 - ✓ Bandas complementarias para correcciones atmosféricas

Figura 9

Firma espectral de coberturas (L5, L7, L8)



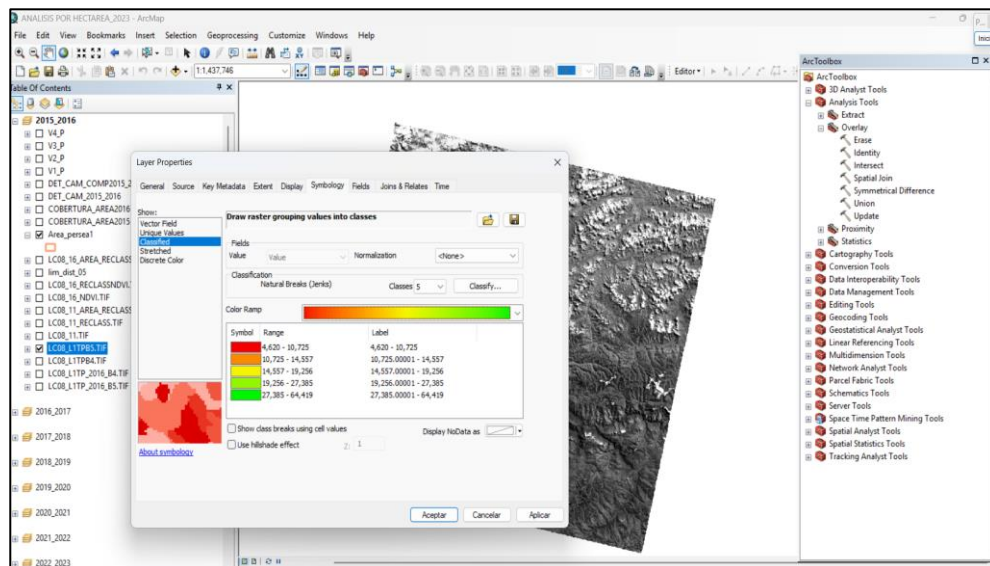
3.6.2 Preprocesamiento de Imágenes

A. Correcciones Aplicadas

- Se realizó corrección atmosférica utilizando el modelo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes)
- Se aplicó corrección geométrica mediante puntos de control en tierra
- Se convirtieron los valores digitales a reflectancia en la parte superior de la atmósfera
- Se recortaron las imágenes al área de estudio específica de los distritos de Luricocha y Huanta periodo 2015 al 2023.

Figura 10

Valores digitales a reflectancia en la parte superior de la atmósfera



3.6.3 Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

A. Metodología de Cálculo

- Se calculó el NDVI mediante la fórmula:

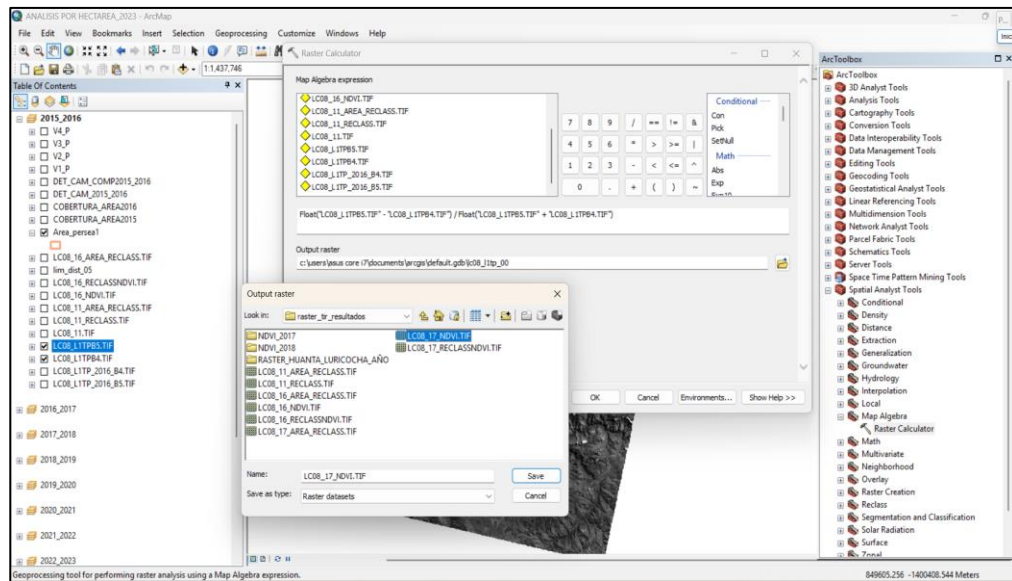
$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

Donde:

- ✓ NIR: Banda 5 del Landsat 8 (Infrarrojo Cercano)
- ✓ Rojo: Banda 4 del Landsat 8 (Espectro Rojo)

Figura 11

Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

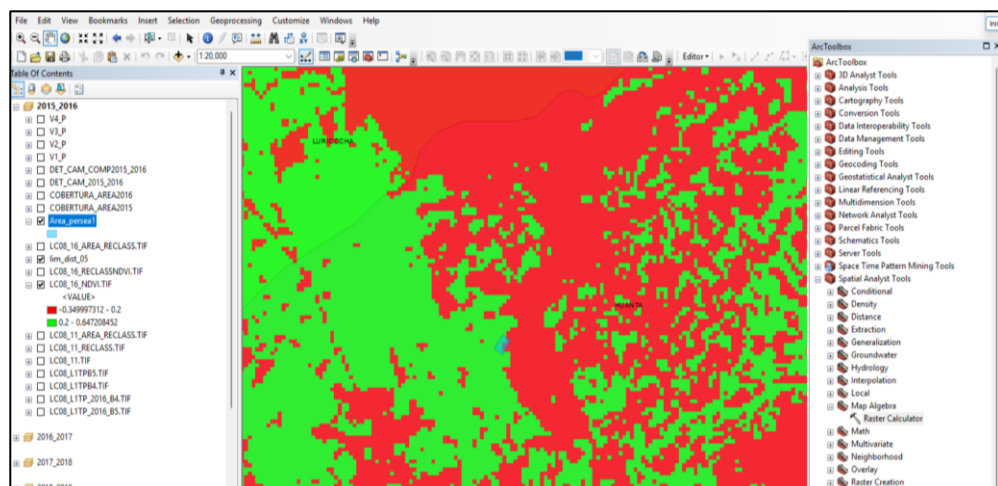


B. Procesamiento Específico para *Persea americana*

- Se identificaron parcelas muestrales de *Persea americana* (palto) mediante trabajo de campo y verificación in situ
- Se delimitó una muestra representativa de una hectárea en cada distrito
- Se aplicó un algoritmo de mejora al cálculo del NDVI que incluyó:
 - ✓ Filtrado de valores atípicos
 - ✓ Suavizado temporal de series
 - ✓ Corrección por efectos estacionales

Figura 12

Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)



C. Análisis de Variación Vegetativa y Cambio de Cobertura

➤ Monitoreo Temporal

- ✓ Se generaron series temporales de NDVI para el periodo 2015-2023
- ✓ Se calcularon estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, valores máximo y mínimo) por campaña agrícola
- ✓ Se identificaron tendencias y patrones estacionales del cultivo

➤ Análisis de Cambio de Cobertura

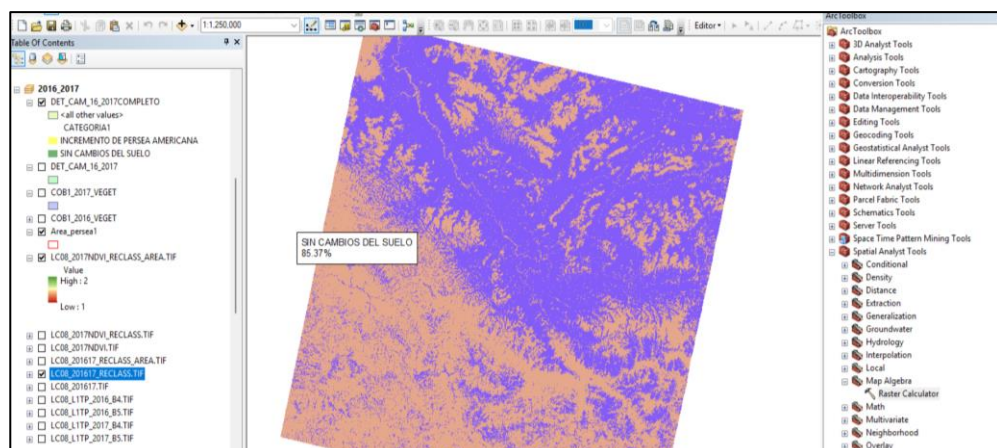
- ✓ Se clasificaron las imágenes mediante algoritmo de máxima verosimilitud
- ✓ Se cuantificaron los cambios de cobertura de *Persea americana*
- ✓ Se generaron mapas temáticos de distribución espacial y temporal del cultivo
- ✓ Se validaron los resultados con datos de campo y imágenes de alta resolución

➤ Control de Calidad

- ✓ Se realizó validación cruzada con datos de productividad agrícola oficiales
- ✓ Se aplicó análisis de consistencia temporal a las series de NDVI
- ✓ Se verificó la exactitud posicional mediante puntos GPS de campo
- ✓ Se calculó el índice Kappa para evaluar la precisión de la clasificación (valor obtenido: 0.85)

Figura 13

Se verificó la exactitud posicional mediante puntos GPS de campo



Este procedimiento metodológico permitió caracterizar la variación vegetativa y los cambios de cobertura de *Persea americana* en los distritos de

Luricocha y Huanta durante el periodo de estudio, proporcionando información valiosa para la gestión sostenible del cultivo.

3.6.4 Registro de Humedad de Suelo de *Persea americana*

3.6.4.1 Los árboles

Los árboles de palta utilizados para el estudio experimental fueron árboles adultos de la variedad Hass. Cada árbol mantenía una distancia de siete metros.

3.6.4.2 Tratamientos

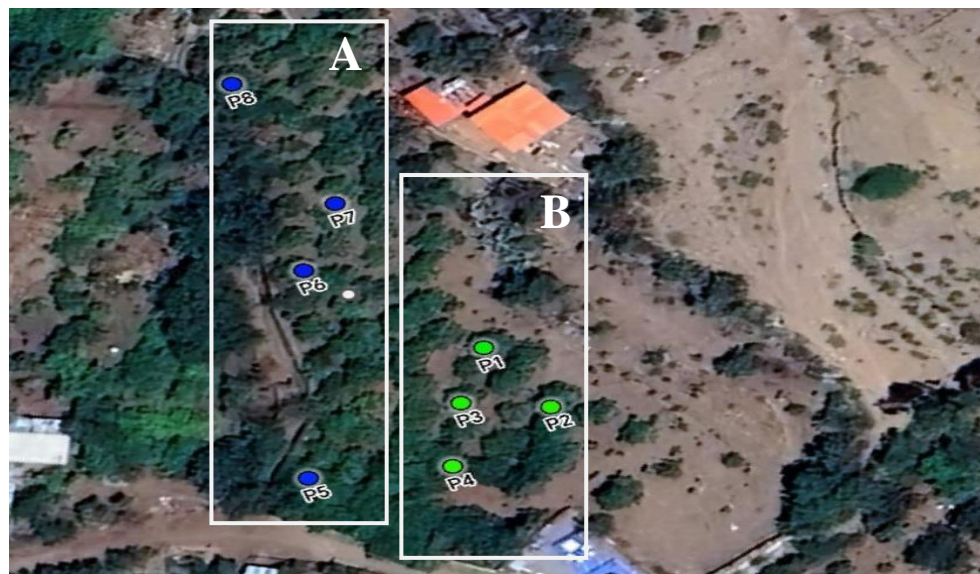
El terreno utilizado con plantaciones de palta se dividieron en dos grupos de tratamiento, se tomó datos de 04 árboles de palta en cada tratamiento (**A y B**) para la medición del estado hídrico, y registro de la humedad de suelo mediante la instalación de 02 sensores de humedad de suelo para cada tratamiento (**A y B**):

Tratamiento A (Sin riego): No proporciona agua adicional a los 02 árboles de palta. Dejamos que estas plantas dependan de la humedad natural del suelo.

Tratamiento B (Con riego): Se proporcionó una cantidad constante y controlada de agua (20 L.) a los 02 árboles de palta. Esto se hizo de forma regular, asegurando que todas las plantas reciban la misma cantidad de agua.

Figura 14

Muestras de palto elegidas por conveniencia para la medición de estrés hídrico en cultivos palta ubicado en la localidad de Cedropata



Nota. La figura muestra los puntos de la planta para la medición del estrés hídrico de los tratamientos A y B, se instaló el sensor (Watermark), para el registro de la humedad de suelo en los puntos P6 y P7 (tratamiento A - sin acceso a riego) y en los puntos P1 y P4 (tratamiento B - con acceso a riego).

3.6.4.3 Instalación del sensor de humedad de suelo (Watermark)

En los últimos años los sensores Watermark resultó fiabilidad y presión en las diferentes especies agrícolas y forestales para medir la humedad del suelo (Shock *et al.*, 2013), se instalaron dos sensores aleatoriamente para cada tratamiento (A y B) con una profundidad de 45 cm. a una distancia de 50 cm del tronco de la planta del cultivo de palto, los datos de humedad de suelo se interpretan de la siguiente manera.

Tabla 5

Interpretación de las lecturas de los sensores Watermark

0-10 Centibars:	Suelo saturado
10-30 Centibars:	Suelo con suficiente humedad, excepto los suelos de arena gruesa que empiezan a secarse.
30-60 Centibars:	Margen normal para iniciar el riego excepto en los suelos muy arcillosos.

60-80 Centibars:	Margen normal para inicial el riego en los suelos muy arcillosos.
>80 centibars:	El suelo se está secando peligrosamente.

Nota. (Villaseñor *et al.* 2025).

Tabla 6

Puntos de instalación de los sensores de humedad de suelo en cultivos de Palta de la localidad de Cedropata

Tratamiento	Puntos de instalación del sensor de humedad de suelo	Coordenadas UTM	
		Este	Norte
B	P1	581355	8571746
B	P4	581344	8571727
A	P6	581339	8571767
A	P7	581347	8571777

Nota. En la presente tabla muestra los puntos donde se instaló in situ los cuatro sensores de humedad de suelo en los dos tratamientos.

3.6.5 Medición del estado hídrico de *Persea americana*

Para la medición del estado hídrico de *Persea americana* (palta) se realizó mediante el equipo (cámara de Scholander), se utilizaron 08 plantas en los dos tratamientos, 04 plantas en el tratamiento A sin acceso a riego y 04 plantas en el tratamiento B con acceso a riego, se midieron 32 hojas sanas y maduras (cuatro hojas por árbol de palta), estas fueron obtenidos a una altura máximo de 2 metros del suelo, con orientaciones al este, oeste, norte y sur.

La selección de las hojas se inició a las 11:30 am, al seleccionar cada muestra de hoja se pusieron dentro de la bolsa laminada hermetizada, este tipo de bolsa permite generar la opacidad dentro de la bolsa, por lo que las estomas de las hojas se van a cerrar. Adicionalmente el que sea laminada va significar que se va llegar a un equilibrio en el déficit de presión de vapor entre lo que está dentro y fuera de la hoja, por lo tanto ambas condiciones van a frenar por completo la transpiración de la muestra (hoja), de esta manera se va equilibrar el estrés hídrico de la hoja con el nivel de estrés hídrico de la planta; terminado con la selección dejamos actuar por un aproximado de 40 minutos, pasado el tiempo se procede a medir cada muestra de hoja: se cortó la hoja del árbol con la ayuda de una navaja, mismo que se hace un corte a 2

cm del peciolo de la hoja para introducirlo en la cámara de presión Scholander, la hoja por la misma presión del equipo comienza a expulsar la savia, una vez detectado el primer peñisco de agua con la ayuda de una lupa 40x se procede a la toma del dato para su registro en el cuaderno de campo que indica al potencial hídrico de la hoja de la palta.

3.6.6 Mediciones

Las mediciones del estado hídrico se realizaron cada 07 días con la cámara de presión Scholander en ambos tratamientos (con riego y sin riego), que comprenden 08 plantas de palta, asimismo se tomó datos sobre la humedad de suelo cada 07 días el mismo día donde se realiza la medición del estado hídrico. Las mediciones del estado hídrico y toma de datos de humedad de suelo se inició el 02 de febrero y se culminó el 25 de junio de 2024.

Tabla 7

Puntos de medición de las plantas de palta del estado hídrico con la cámara de scholander de la localidad de Cedropata

Tratamiento	Puntos de medición del estado hídrico	Coordenadas UTM	
		Este	Norte
B	P1	581355	8571746
B	P2	581359	8571733
B	P3	581349	8571738
B	P4	581344	8571727
A	P5	581326	8571732
A	P6	581339	8571767
A	P7	581347	8571777
A	P8	581343	8571802

Nota. En la presente tabla muestra los puntos donde se realizó la medición del estado hídrico mediante la cámara de scholander de los dos tratamientos.

4 ANÁLISIS DE DATOS

4.1 Análisis multitemporal del vigor vegetativo y cambio de la cobertura de *Persea americana*

La validación de datos se realizó para la clasificación 2015 a 2023 (Landsat 8); para la clasificación de las imágenes satelitales se seleccionó el área de estudio y se aplicó la fórmula del NDVI: $((NIR - Red) / (NIR + Red))$ y con el soporte de Google Earth pro, se identificó visualmente el tipo de cobertura

existente. Finalmente, para la clasificación se realizó la comparación utilizando la matriz de confusión para finalmente obtener el cálculo del coeficiente de kappa, el cual mide el grado de fiabilidad gabinete – campo.

4.2 Análisis de la relación del estado hídrico de la *Persea americana* con la humedad de suelo y la temperatura del aire

Los resultados del estado hídrico de las hojas (Ψ_h) de la palta, humedad de suelo en Mpa durante los meses (febrero y junio) se graficó en el R-Studio, para entender la relación entre estos factores y su impacto en la planta; para una mejor interpretación de los datos fueron agrupados a modelos de regresión simple y múltiple.

El análisis de los datos obtenidos del potencial hídrico de la hoja de *Persea americana* y la humedad del suelo, se asoció a modelos de regresión lineal simple y múltiple, para estudiar la relación existente entre Ψ_h y la humedad de suelo.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados de variación vegetativo y cobertura de suelo

De acuerdo con el objetivo de determinar el nivel de crecimiento de las áreas cultivadas con *Persea americana* (palto) y analizar su influencia en los cambios de la cobertura del suelo, el análisis de los datos satelitales revela una dinámica de cambio compleja, marcada por periodos de expansión, estabilidad y pérdida. La principal fuente de datos para la investigación diacrónica de la cobertura de *Persea americana* en este estudio son imágenes satelitales en formato TIF. Como se muestra en la Figura 15. Estos archivos, almacenados en un modelo de datos ráster, utilizan una matriz de píxeles para representar la información geográfica. La reflectancia espectral del cultivo se representa mediante un valor en cada celda. La ubicación precisa de las parcelas de estudio utilizadas para la producción de *Persea americana* en las provincias de Huanta y Luricocha se integra en este conjunto de datos geospaciales georreferenciados, lo que permite el mapeo y la medición de los cambios en la superficie cultivada entre 2015 y 2023.

Figura 15

Clasificación general de cambios de la Cobertura del Suelo del cultivo de Persea americana en Huanta y Luricocha año 2015 -2016

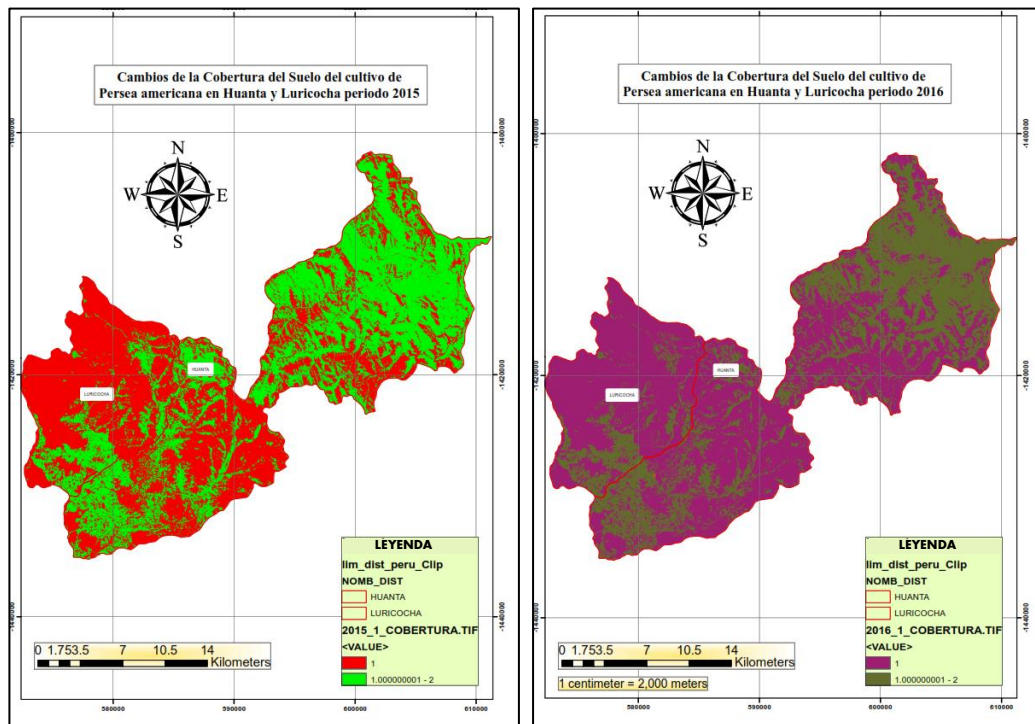


Figura 16

Clasificación general de cambios de la Cobertura del Suelo del cultivo de Persea americana en Huanta y Luricocha año 2017 -2018

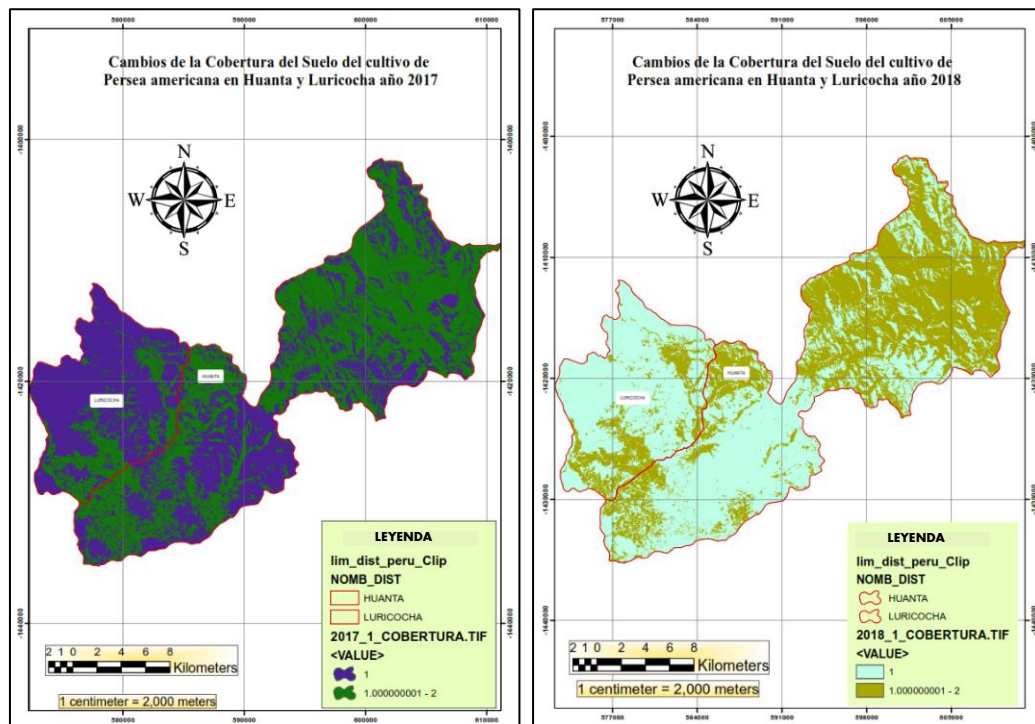


Figura 17

Clasificación general de cambios de la Cobertura del Suelo del cultivo de Persea americana en Huanta y Luricocha año 2019 -2020

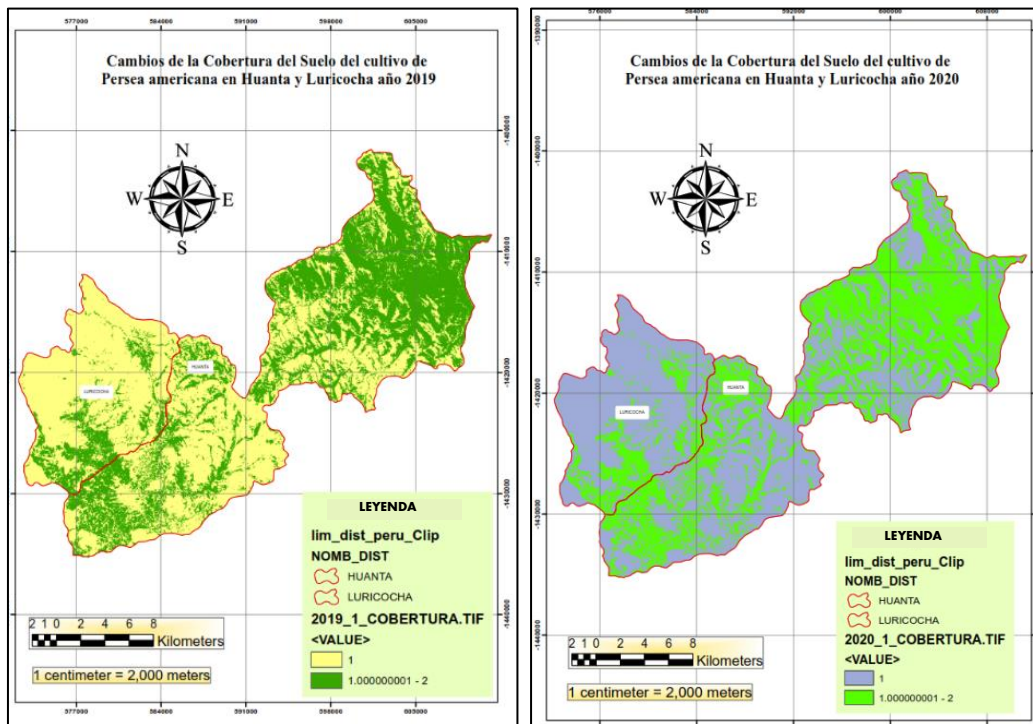


Figura 18

Clasificación general de cambios de la Cobertura del Suelo del cultivo de Persea americana en Huanta y Luricocha año 2021 -2022

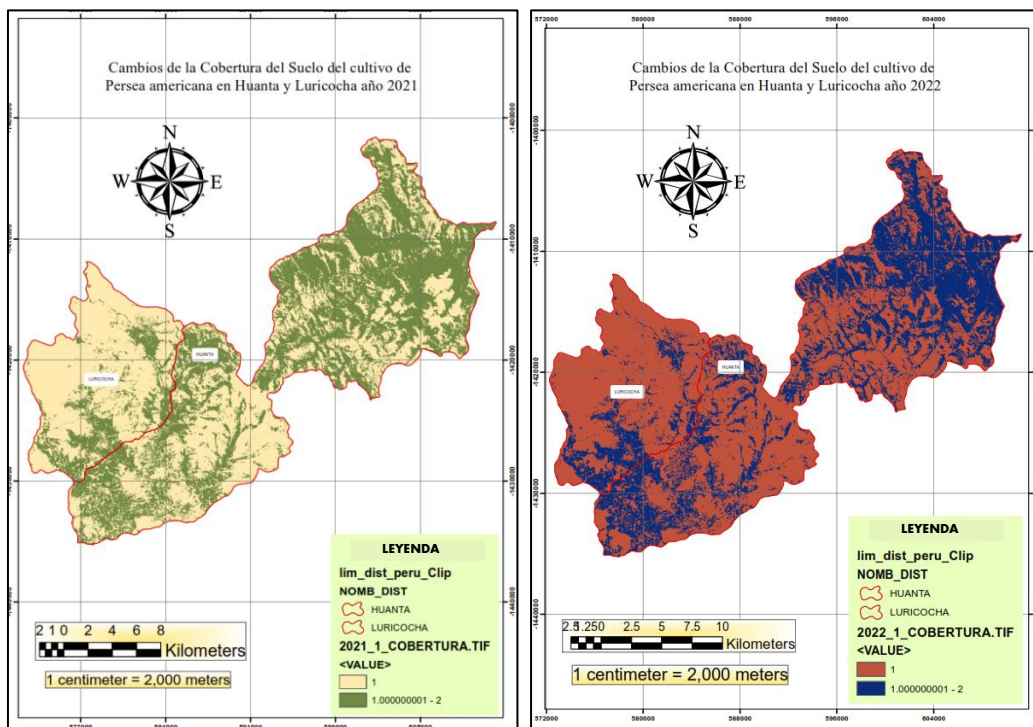
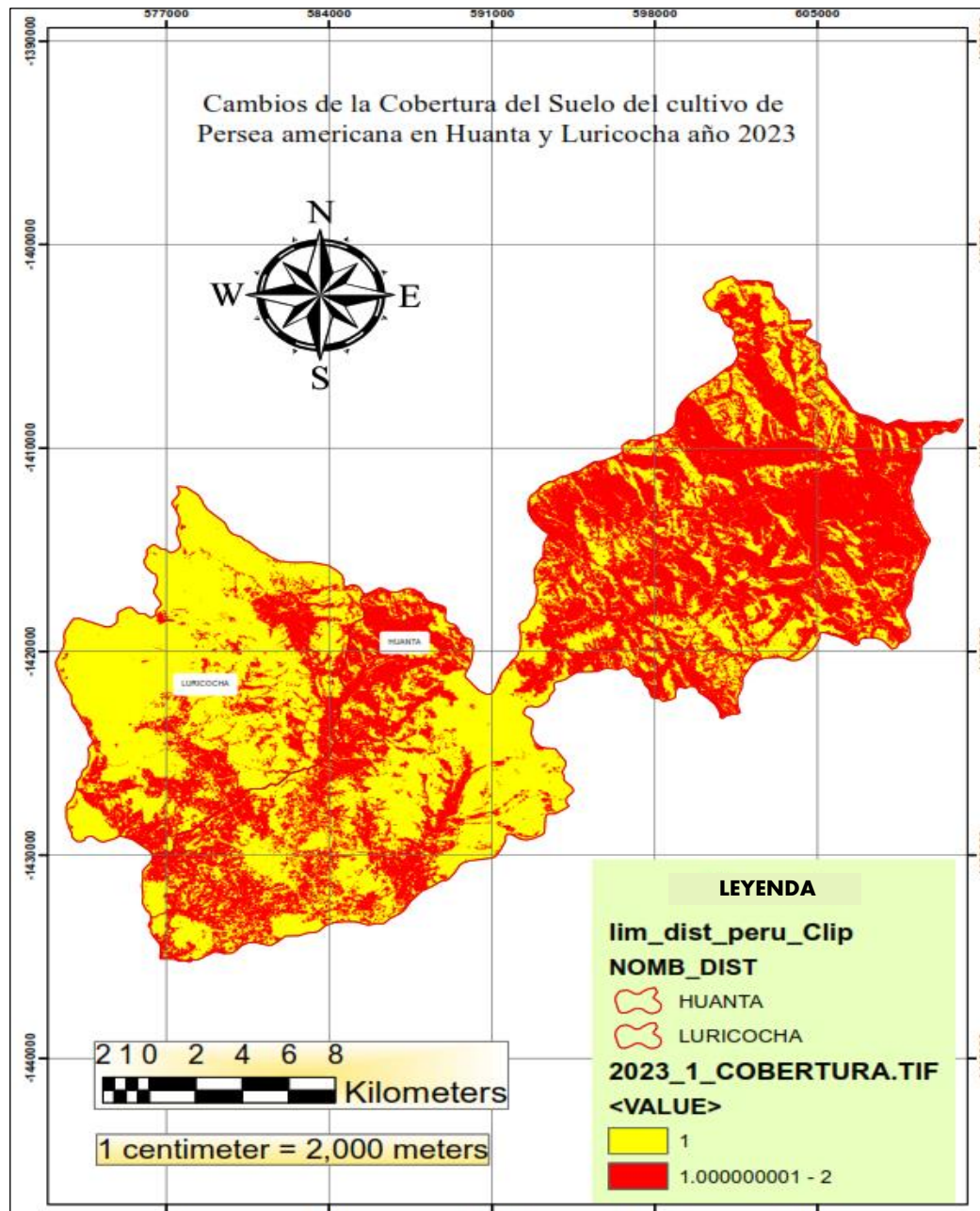


Figura 19

Clasificación general de cambios de la Cobertura del Suelo del cultivo de Persea americana en Huanta y Luricocha año 2023



5.1.1 Análisis del Crecimiento Acumulado y las Tendencias Anuales

Tabla 8

Análisis del Crecimiento Acumulado y las Tendencias Anuales Periodo 2015 al 2023

Período	Incremento de <i>Persea americana</i> (%)	Sin cambios en el suelo/plantación (%)	Perdida de <i>Persea americana</i>
2015-2016	9.06%	90.94%	-
2016-2017	14.53%	85.37%	-
2017-2018	0.00%	75.53%	24.47%
2018-2019	24.47%	75.83%	-
2019-2020	0.00%	100%	-
2020-2021	0.00%	81.92%	18.08%
2021-2022	18.08%	81.92%	-
2022-2023	0%	100%	-
2015-2023 (acumulado)	14.63%	85.37%	-

Según la tabla 08 y como se muestra en la figura 20-21, el cultivo se expandió de forma leve pero significativa en la región de estudio, como lo demuestran las estadísticas acumuladas finales (2015-2023), que muestran un aumento neto del 14,63 % (0.14532 ha), en comparación con el 85,37 % (0.847646 ha) de las áreas sin cambios. Como es habitual en los procesos de cambio de uso del suelo influenciados por factores socioeconómicos y climáticos, esta expansión no fue continua, sino que se produjo en pulsos distintos (Rojas et al., 2020).

Figura 20

Dato acumulado final (2015-2023) Incremento de Persea americana (%)

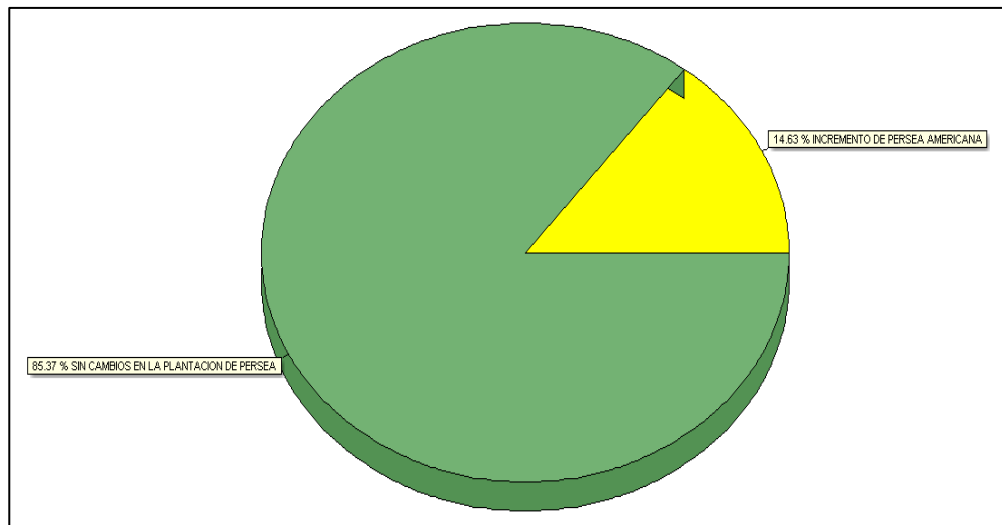
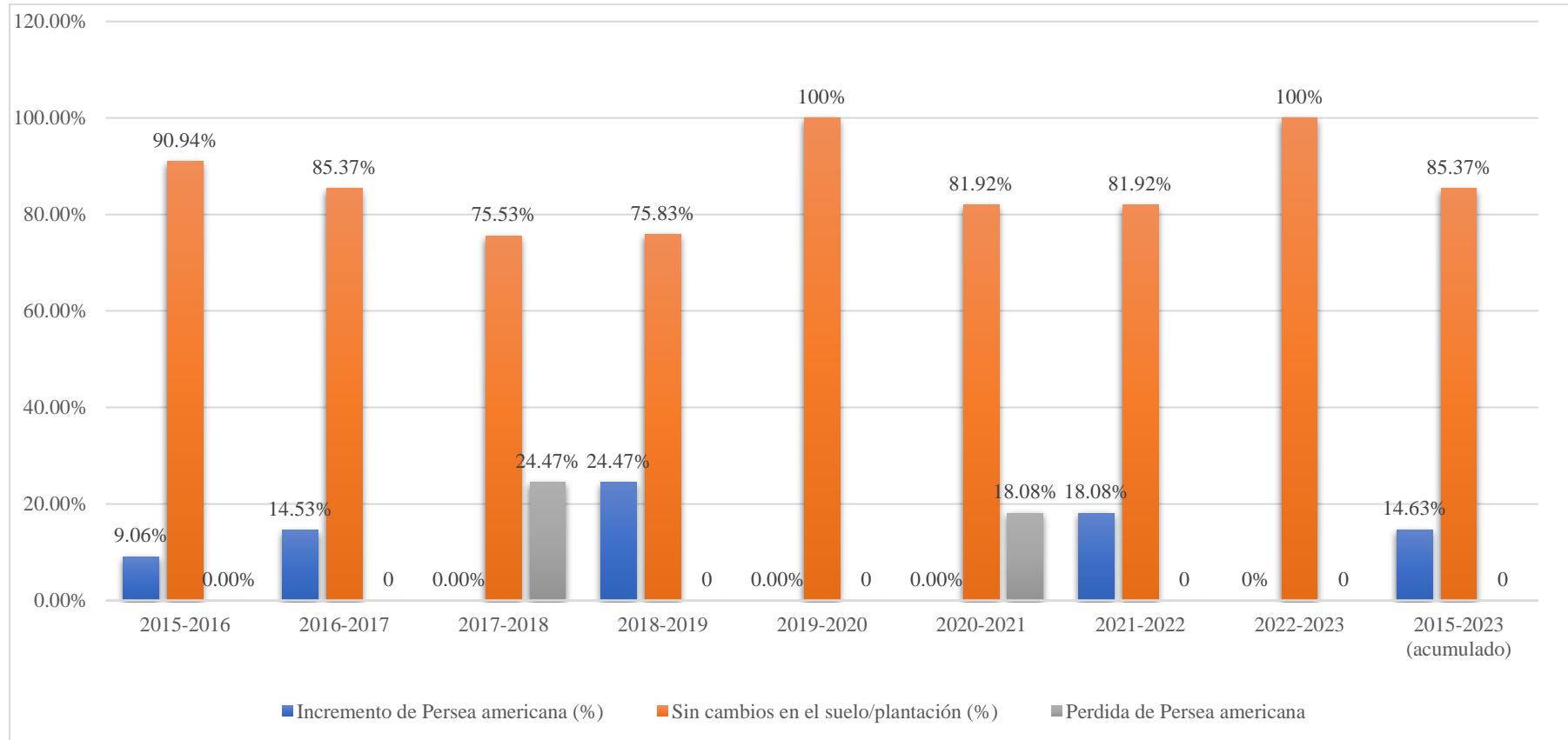


Figura 21

Nivel de crecimiento de áreas cultivadas con Persea americana de los distritos de Huanta y Luricocha desde 2015 al 2023



Según la figura 21. Los Periodos de Expansión Agresiva (2015-2017): Se observan incrementos del 9,06 % y del 14,53 % durante la primera fase de crecimiento. Este patrón indica un periodo de aceptación temprana del cultivo, posiblemente impulsado por el éxito del aguacate tanto en el mercado nacional como en el internacional. Dado que la firma espectral de la hoja joven de la palta presenta valores característicos, el análisis multiespectral mediante índices como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) habría sido esencial para diferenciar estas plantas jóvenes de otra vegetación (Gao, 2022).

Primera disminución notable (2017-2018): El porcentaje de pérdida del 24,47 % es crucial. Una pérdida de esta magnitud en un solo año suele indicar sucesos disruptivos como los siguientes, en lugar de ser resultado exclusivo de la cosecha o la gestión agrícola:

- **Estrés hídrico o climático:** Las sequías prolongadas que afectan la salud de los cultivos pueden identificarse mediante los índices de estrés hídrico (NDWI) o por una caída drástica de los valores del NDVI y de los índices de clorofila, como el Índice de Clorofila Terrestre de Meris (MTCI), que muestran una disminución de la actividad fotosintética (Zarco-Tejada et al., 2019).
- **Enfermedades o plagas:** Brotes que pueden rastrearse mediante teledetección observando los cambios en la salud de la vegetación que se agregan espacialmente.
- La conversión a un cultivo a corto plazo diferente antes del rebrote se conoce como sustitución temporal.

Recuperación y Nueva Expansión (2018-2022): Con un aumento del 24,47 % en 2018-2019 que iguala con precisión la pérdida del año anterior, es muy probable que las mismas áreas perdidas se conviertan o replanten. Esto sugiere un alto nivel de inversión y resiliencia en cultivos. Este ciclo de "pérdida y recuperación/reconversión" se sustenta en un segundo pico de crecimiento del 18,08 % en 2021-2022, que se produjo tras una pérdida del 18,08 % el año anterior.

Periodos de Estabilidad (2019-2020, 2022-2023): Las fases de consolidación y maduración de las plantaciones se reflejan en años con un crecimiento del 0 % y un 100 % o aproximadamente un 81-85 % de áreas inalteradas. El análisis del índice de clorofila sería ideal para supervisar las condiciones nutricionales y sanitarias de los cultivos existentes durante estos periodos, garantizando así su productividad (Ustin y Middleton, 2021).

5.1.2 Influencia en los Cambios de la Cobertura del Suelo

La expansión del 14.63% de *Persea americana* necesariamente implicó una transformación de la cobertura original del suelo en los distritos de Huanta y Luricocha entre los años 2015 al 2023.

- **Reemplazo de ecosistemas agrícolas naturales o tradicionales:** Los sistemas de agricultura de subsistencia, los pastizales naturales y los matorrales menos lucrativos probablemente se han sacrificado en aras del crecimiento. Este cambio puede medirse gracias a la teledetección, que demuestra cómo el terreno se está homogeneizando hacia el monocultivo perenne (Chuvieco, 2020).
- **Efecto en la dinámica edáfica e hidrológica:** La introducción de un cultivo perenne, como el *Persea americana*, que requiere mucha agua y tiene una estructura radicular densa, altera la evapotranspiración y la infiltración hídrica de la zona. Estas variaciones en el balance hídrico superficial pueden rastrearse mediante teledetección y sensores térmicos (Zarco-Tejada et al., 2019).
- **Fragmentación del paisaje:** A pesar del pequeño aumento neto, los pulsos de expansión pueden haber producido patrones de fragmentación que aíslan o conectan parches de vegetación natural, lo que podría tener un impacto en la biodiversidad del área.

El cultivo de *Persea americana* en Huanta y Luricocha tiene un futuro estable con un crecimiento neto positivo constante hasta 2023. El patrón de "pérdida seguida de recuperación" observado sugiere una industria dinámica y resiliente a las adversidades, lo cual podría estar relacionado con el desarrollo técnico de los agricultores. Sin embargo, esta aparente estabilidad oculta una presión continua sobre los recursos, especialmente el agua. El cultivo podría haber alcanzado su saturación dadas las condiciones actuales de disponibilidad

de tierra y agua, o podría ser una parada intencionada antes de una nueva fase de expansión, como lo demuestra la falta de crecimiento en el último año (2022-2023). La gestión sostenible de este importante cultivo en la zona depende del monitoreo continuo mediante técnicas de teledetección.

5.2 Análisis del estado hídrico (Ψ_h) en relación con la Humedad de suelo

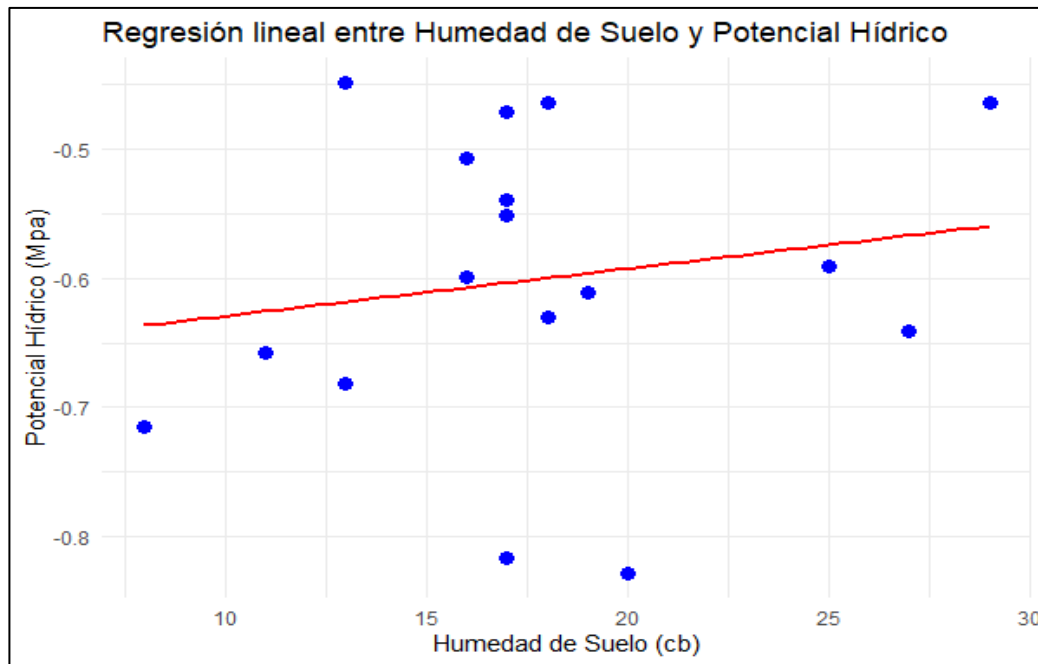
Tabla 9

Potencial hídrico en (MPa) y humedad de suelo (cb) expuesta a riego en los cultivos de palta en la localidad de Cedropata

FECHA	Tratamiento B			Tratamiento B		
	PLANTA 1/ CON RIEGO			PLANTA 4/ CON RIEGO		
	Humedad de Suelo (cb)	Potencial Hídrico (bares)	Potencial Hídrico (MPa)	Humedad de Suelo (cb)	Potencial Hídrico (bares)	Potencial Hídrico (MPa)
03/02/2024	20	8.29	-0.829	11	6.75	-0.675
10/02/2024	17	5.52	-0.552	16	5.59	-0.559
17/02/2024	8	7.15	-0.715	9	5.89	-0.589
25/02/2024	25	5.91	-0.591	19	5.71	-0.571
02/03/2024	17	8.16	-0.816	23	6.53	-0.653
09/03/2024	11	6.58	-0.658	24	6.16	-0.616
16/03/2024	27	6.41	-0.641	18	6.45	-0.645
23/03/2024	13	6.82	-0.682	23	7.23	-0.723
30/03/2024	18	6.31	-0.631	30	5.50	-0.550
06/04/2024	16	5.99	-0.599	17	2.59	-0.259
13/04/2024	13	4.49	-0.449	16	3.04	-0.304
20/04/2024	17	4.72	-0.472	28	3.48	-0.348
27/04/2024	19	6.11	-0.611	14	5.47	-0.547
04/05/2024	17	5.40	-0.540	20	5.19	-0.519
11/05/2024	18	4.64	-0.464	26	4.40	-0.440
18/05/2024	16	5.08	-0.508	13	4.97	-0.497
25/05/2024	29	4.65	-0.465	14	4.09	-0.409

Figura 22

Relación entre Humedad del Suelo y Potencial Hídrico (Planta 1/ con riego)



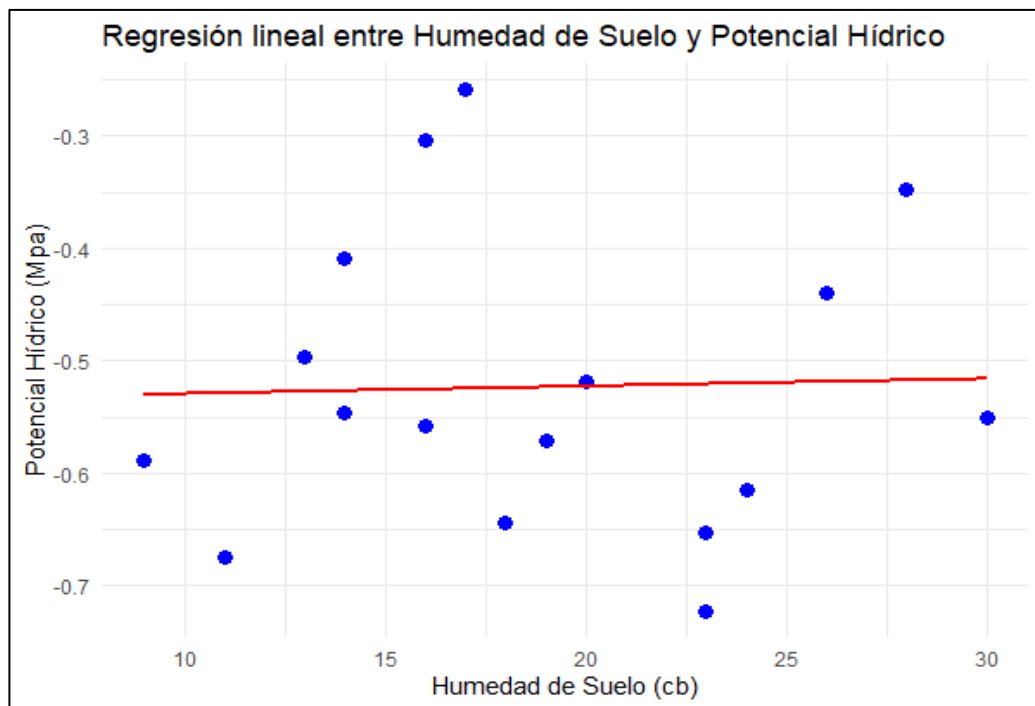
En la gráfica se visualiza respecto a la planta 1 del Tratamiento B, los puntos muestran una ligera tendencia positiva entre la humedad de suelo y potencial hídrico, se ve que la pendiente es muy débil y positiva lo que indica una relación directa débil, a mayor humedad de suelo, el potencial hídrico tiende a mejorar. Respecto a los valores de potencial hídrico (eje y) están en el rango de aproximadamente -0.8 MPa y -0.4 MPa, lo que implica que:

- 0.4 MPa → Indica que la planta está en buen estado hídrico, pero no crítico.
- 0.8 MPa → Indica un inicio de estrés hídrico, pero no crítico.

Se visualiza que la mayoría de los valores en la gráfica están alrededor de -0.6 MPa, indicando que la planta está en un estado leve de estrés hídrico, pero manejable respecto al riego, es decir que la planta responde positivamente al riego.

Figura 23

Relación entre Humedad del Suelo y Potencial Hídrico (Planta 4/ con riego)



En la gráfica se visualiza respecto a la planta 4 del Tratamiento B, los puntos muestran una dispersión moderada (los puntos muestran la relación directa entre la humedad de suelo y potencial hídrico), lo que indica que la relación entre la humedad de suelo y potencial hídrico no es muy fuerte, asimismo mediante la línea de tendencia es casi horizontal que da entender que la planta al riego es estable.

Respecto a los valores de potencial hídrico (eje y) oscilan entre -0.7 MPa y -0.3 MPa, lo que implica que:

-0.3 MPa → Indica un estado hídrico muy bueno (sin estrés).

-0.7 MPa → Indica un inicio de estrés hídrico leve a moderado, pero no crítico.

Se visualiza que la mayoría de los valores en la gráfica están cerca de -0.5 MPa, indicando que la planta está bien hidratada y no está bajo u estrés hídrico significativo, además la planta 4 está bien adaptada al riego y mantiene un equilibrio hídrico saludable, por último, indica que la relación entre la humedad y potencial hídrico es débil, por lo que la planta está absorbiendo el agua de manera eficiente y que el modo de riego está funcionando correctamente.

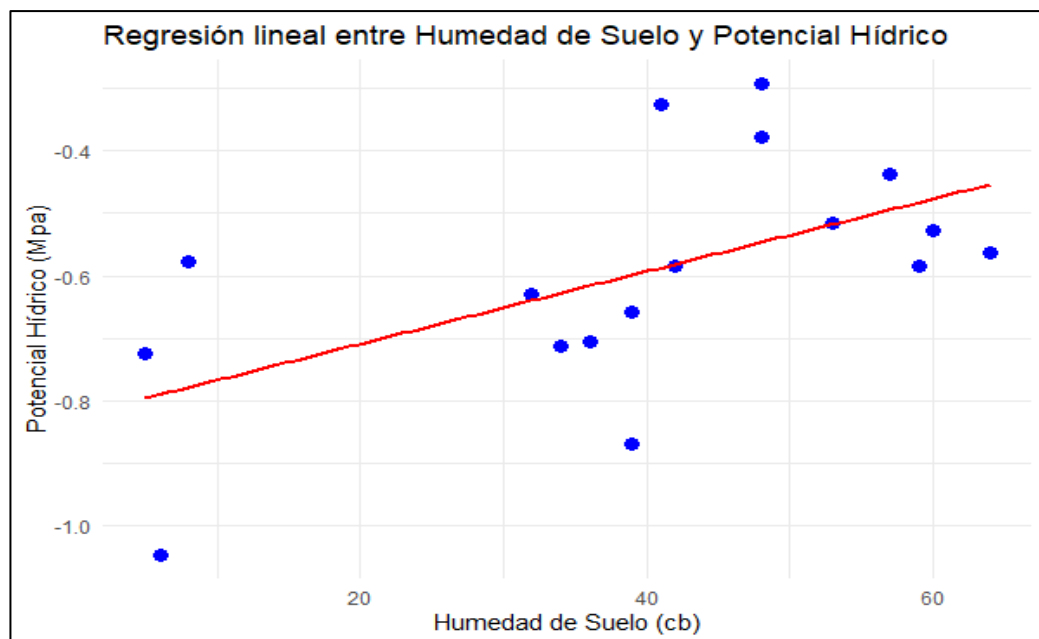
Tabla 10

Potencial hídrico en (MPa) y humedad de suelo (cb) sin riego en los cultivos de palta en la localidad de Cedropata

FECHA	Tratamiento A			Tratamiento A		
	PLANTA 6 / SIN RIEGO		Potencial	PLANTA 7 / SIN RIEGO		Potencial
	Humedad de Suelo (cb)	Potencial Hídrico (bares)	Potencial Hídrico (MPa)	Humedad de Suelo (cb)	Potencial Hídrico (bares)	Potencial Hídrico (MPa)
03/02/2024	6	10.48	-1.048	9	6.97	-0.697
10/02/2024	8	5.78	-0.578	6	5.97	-0.597
17/02/2024	5	7.25	-0.725	8	6.62	-0.662
25/02/2024	32	6.31	-0.631	29	5.88	-0.588
02/03/2024	39	8.69	-0.869	30	6.35	-0.635
09/03/2024	34	7.13	-0.713	35	6.44	-0.644
16/03/2024	39	6.57	-0.657	37	5.71	-0.571
23/03/2024	36	7.05	-0.705	39	6.70	-0.670
30/03/2024	42	5.85	-0.585	39	5.87	-0.587
06/04/2024	41	3.26	-0.326	40	3.09	-0.309
13/04/2024	48	2.93	-0.293	45	3.14	-0.314
20/04/2024	48	3.79	-0.379	49	3.24	-0.324
27/04/2024	53	5.16	-0.516	47	4.06	-0.406
04/05/2024	57	4.38	-0.438	51	4.97	-0.497
11/05/2024	59	5.84	-0.584	58	5.07	-0.507
18/05/2024	60	5.28	-0.528	65	4.59	-0.459
25/05/2024	64	5.63	-0.563	79	4.59	-0.459

Figura 24

Relación entre Humedad del Suelo y Potencial Hídrico (Planta 6/ sin riego)



En la gráfica se visualiza respecto a la planta 6 del Tratamiento A, los puntos muestran una dispersión más amplia que la planta con riego, lo que indica una relación menos estable entre la humedad de suelo y el potencial hídrico, y la línea de tendencia tiene una pendiente positiva, esto implica que a medida aumenta la humedad de suelo, el potencial hídrico mejora.

Respecto a los valores de potencial hídrico (eje y) varían entre -1.1 MPa y -0.3 MPa, lo que implica que:

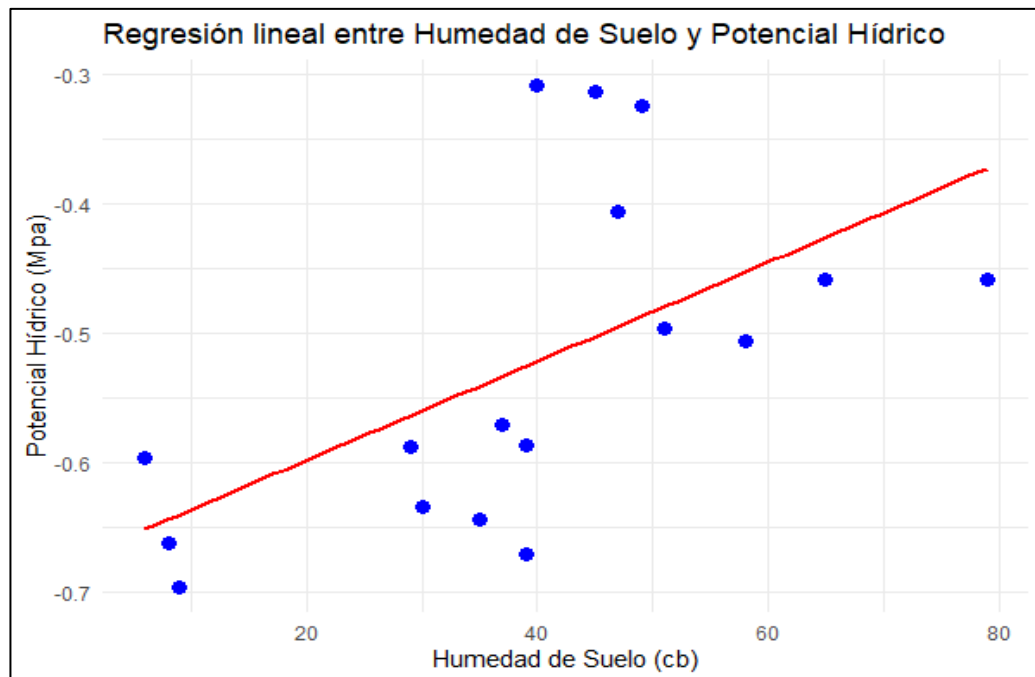
-0.3 MPa → Indica estado óptimo, sin estrés hídrico.

-1.1 MPa → Indica un nivel moderado de estrés hídrico, es decir que la planta está teniendo dificultad para obtener agua del suelo.

Se visualiza que la mayoría de los valores están alrededor de -0.6 MPa, indicando que la planta está experimentando cierto estrés hídrico constante debido a la falta de riego, por último, indica que la planta 6 tiene una relación más clara entre humedad y potencial hídrico, asimismo la planta presenta estrés hídrico en periodos de naja humedad, ya que cuando hay menos humedad en el suelo, el potencial hídrico se vuelve más negativo, indicando que la planta está sufriendo para absorber agua.

Figura 25

Relación entre Humedad del Suelo y Potencial Hídrico (Planta 7/ sin riego)



En la gráfica se visualiza respecto a la planta 7 del Tratamiento A, la dispersión de los puntos es menor que en la planta 6, la pendiente de la línea de

tendencia es positiva, lo que indica que a medida que aumenta la humedad de suelo, el potencial hídrico mejora, lo que confirma que la pendiente positiva confirma que la planta responde bien a la disponibilidad de humedad del suelo.

Respecto a los valores de potencial hídrico (eje y) varían entre -0.7 MPa y -0.3 MPa, lo que implica que:

-0.3 MPa → Indica estado óptimo de hidratación.

-1.1 MPa → Indica un estrés hídrico moderado, pero dentro de límites aceptables para la palta.

El rango más estrecho en comparación con la planta 6 indica que la planta mantiene mejor el equilibrio hídrico incluso en ausencia de riego. Por último, la planta 7 muestra una relación positiva clara entre la humedad y potencial hídrico, con mayor variabilidad de la planta 6.

6 CONCLUSIONES

- Mediante el uso del NDVI se evidenció una correspondencia directa entre los valores del índice y el estado fisiológico del cultivo. Las áreas con mayor densidad vegetal presentaron valores positivos del NDVI cercanos a 1.0, mientras que las zonas con baja cobertura mostraron valores inferiores a 0.4.
- Se encontró una correlación positiva entre la humedad del suelo y el potencial hídrico foliar en las plantas con riego, lo que refleja un adecuado manejo hídrico; en contraste, las plantas sin riego mostraron niveles elevados de estrés hídrico, con valores de potencial foliar más negativos.
- Al 2023, el panorama del cultivo de *Persea americana* en Huanta y Luricocha es de estabilidad con un crecimiento positivo. Sin embargo, esta estabilidad aparente continúa con el desgaste de los recursos, particularmente el agua, motivo que se evidenció la ausencia de crecimiento en el año (2022-2023) del cultivo de palta que pudo relacionarse por las condiciones de la baja disponibilidad de agua.
- El análisis multitemporal mediante las imágenes Landsat 8 permitió determinar, un incremento del 14.63 % de expansión agrícola con *Persea americana* entre 2015 y 2023 en los distritos de Huanta y Luricocha.

7 RECOMENDACIONES

- El monitoreo continuo con técnicas de teledetección utilizando el software ArcGIS 10.8 y los satélites Landsat 8, es esencial para gestionar de manera sostenible este importante cultivo en la región.
- Se recomienda plantar la palta en suelo con un potencial hídrico entre -0.01 y -0.03 MPa (megapascal) y una humedad del suelo del 60-80%. Si el suelo es demasiado seco, las plántulas pueden sufrir estrés hídrico y tener un crecimiento lento.
- En cuanto al tiempo del plantón, la época óptima para plantar varía según la región y clima. Sin embargo, en general, se recomienda plantar durante la época de lluvias o en primavera, cuando la humedad de suelo es adecuada y la temperatura es más estable.

8 REFERENCIAS

- Acevo, R. (2011). *Sistemas de teledetección activos y pasivos embarcados en sistemas aéreos no tripulados para la monitorización de la tierra* [Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://acortar.link/90qO00>
- Aghapour, M., Nazari, M., Araghinejad, S. y Soufizadeh, S. (2020). Economic impacts of climate change on water resources and agriculture in Zayandehroud river basin in Iran. *Agricultural Water Management*, 241 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106323>
- Ahmed, T., Javed, N., Faisal, M. y Sadia, H. (2023). *A Framework for Smart Agriculture System to Monitor the Crop Stress and Drought Stress Using Sentinel-2 Satellite Image*. Springer Naturaleza. <https://acortar.link/ARS9fr>
- Almaaitah, R., Azhari, A., Rahim, M. y Ridwan, F. (2018). Spatial distribution of soil erosion risk using rusle, RS and gis techniques. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(10), 681-697. <https://acortar.link/jQjKuy>
- Amarnath, G., Babar, S. y Murthy, M. (2017). Evaluating MODIS-vegetation continuous field products to assess tree cover change and forest fragmentation in India – A multi-scale satellite remote sensing approach. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(2), 157-168. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.05.004>
- Asokan, A. y Anitha, J. (2019). Change detection techniques for remote sensing applications: a survey. *Earth Science Informatics*, 12 (2), 143-160. <https://doi.org/10.1007/s12145-019-00380-5>
- Balbont, C. y Reyes, M. (2023). Uso de inductores hormonales para incrementar la tolerancia a sequía y calidad de frutos en arándano. *Instituto de Investigación Agropecuarias*. <https://acortar.link/IkWCow>
- Berrios, P. y Pérez, A. (2023). *Desarrollo de un nuevo indicador del estado hídrico de las plantas basado en el espectro foliar*. 11º Workshop en Investigación Agroalimentaria para jóvenes investigadores. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/12098>
- Brambilla, M., Romano, E., Toscano, P., Cutini, M., Biocca, M., Ferré, C., Comolli, R. y Bisaglia, C. (2021). From Conventional to Precision Fertilization: A Case Study on the Transition for a Small-Medium Farm. *AgriEngineering*, 3(2), 438-446. <https://doi.org/10.3390/agriengineering3020029>
- Burgos, A., Anaya, C. y Solorio, I. (2011). *Evaluación del impacto ecológico del cultivo de aguacate a nivel regional y de parcela en el Estado de Michoacán: definición de una tipología de productores*. Centro de Investigaciones En Geografía Ambiental. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33800.01281>

- Cai, X., McKinney, D. y Rosegrant, M. (2003). Sustainability analysis for irrigation water management in the Aral Sea region. *Agricultural Systems*, 76(3), 1043-1066. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00028-8)
- Cánceles, B., Durán, V., Franco, D., Cuadros, S., Cermeño, P. y García, I. (2023). Irrigation Alternatives for Avocado (*Persea americana* Mill.) in the Mediterranean Subtropical Region in the Context of Climate Change: A Review. *Agriculture*, 13(5), 1049. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriculture13051049>
- Carhuallanqui, J. (12 de marzo del 2022). *Ayacucho produjo 28 mil toneladas de palta para exportación.* CORREO. <https://diariocorreo.pe/edicion/ayacucho/ayacucho-produjo-28-mil-toneladas-de-palta-para-exportacion-noticia/?ref=dcr>
- Carr, M. (2013). The water relations and irrigation requirements of avocado (*Persea americana* Mill.): A REVIEW. *Experimental Agriculture*, 49(2), 256–278. <https://doi.org/10.1017/S0014479712001317>
- Cima, M. (2021). *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): Análisis y Mapeo de la deforestación en el municipio de Bacalar, Quintana Roo* [Tesis de Bachiller, Universidad de Quintana Roo]. <https://acortar.link/2dHrI8>
- Cisternas, I., Velásquez, I., Caro, A. y Rodríguez, A. (2020). Systematic literature review of implementations of precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 176(5), 105626. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105626>
- Contador, G. A. (1998). Caracterización del status hídrico del Palto (*Persea Americana* Mill), en función de la humedad disponible en el suelo, en dos tipos de suelo y dos sistemas de riego. FAO AGRIS.
- Coveña, M. (2023). *Análisis del ambio de uso de suelo por actividades Agropecuarias en la Parroquia “Sixto durán ballén” provincia de Manabí* [Tesis Bachiller, Universidad Agraria del Ecuador]. [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/COVEÑA QUINDE MARTHA SELENA.pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/COVEÑA_QUINDE_MARTHA_SELENA.pdf)
- Chuvieco, E. (2020). *Fundamentals of satellite remote sensing* (3.^a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351058536>
- Crist, E., Mora, C. y Engelman, R. (2017). The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. *Science*, 264, 260-264. <https://doi.org/10.1126/science.aal2011>
- Dame, J., Nüsser, M., Schmidt, S. y Zang, C. (2023). Socio-hydrological dynamics and water conflicts in the upper Huasco valley, Chile. *Frontiers in Water*, 5. <https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1100977>

- De la Vega, A. y Merino, L. (2021). Socio-environmental impacts of the avocado boom in the Meseta Purépecha, Michoacán, Mexico. *Sustainability*, 13(13), 7247. <https://doi.org/10.3390/su13137247>
- Di Benedetto, L., Maugeri, G. y Poli Marchese, E. (1988). *Sezione and principal linee di ricerca: Dinamismo della vegetazione del piano mediterraneo della sicilia*. Plant Biosystems. <https://doi.org/10.1080/11263508809430602>
- Ewane, E., Deh, A., Mfonkwet, N. y Nkembi, L. (2023). Agricultural expansion and land use land cover changes in the Mount Bamboutos landscape, Western Cameroon: implications for local land use planning and sustainable development. *International Journal of Environmental Studies*, 80(1), 186-206. <https://doi.org/10.1080/00207233.2021.2006911>
- Galiano, M. y Suárez, J. (2023). *Análisis del cambio de uso de suelo y proyección futura para el cantón Otavalo* [Tesis de Bachiller, Universidad Técnica del Norte]. http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/13622/2/03_RNR_444_TRABAJO_DE_GRADO.pdf
- Gao, B.-C. (2022). *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation and Agricultural Crops*. In *Manual of Remote Sensing* (Vol. 4). American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Gao, S., Zhong, R., Yan, K., Ma, X., Chen, X., Pu, J., Gao, S., Qi, J., Yin, G. y Myneni, R. (2023). Evaluating the saturation effect of vegetation indices in forests using 3D radiative transfer simulations and satellite observations. *ScienceDirect*, 295, 113665. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113665>
- García, E. y Flego, F. (2008). Agricultura de Precisión. *Ciencia y Tecnología*, 8, 99-116. <http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>
- García, E. y Montoya, K. (2021). *Análisis espectral y estadístico del estudio comparativo entre sensores activos y pasivos para el cálculo de biomasa e índices espectrales del cultivo de cebada (Hordeum Vulgare) en la Hacienda El Prado* [Tesis de Bachiller, Universidad de las Fuerzas Armadas]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24130/1/T-ESPE-044393.pdf>
- Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W., Emmerson, M., Morales, M., Ceryngier, P., Liira, J., Tschardtke, T., Winqvist, C., Eggers, S., Bommarco, R., Pärt, T., Bretagnolle, V., Plantegenest, M., Clement, L., Dennis, C., Palmer, C., Oñate, J., ... Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11(2), 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.001>
- Geoinnova. (16 de junio del 2022). *Imágenes satelitales gratuitas: principales*

sitios web de descarga. Geoinnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/imagenes-satelitales-gratuitas/>

- González, C., Flores, C., Rodríguez, S., Olgún, M., Flores, A., Torres, J., Bocco, G., Fernández, C. y Gordo, C. (2023). Long-term pathways analysis to assess the feasibility of sustainable land-use and food systems in Mexico. *Sustainability Science*, 18(1), 469-484. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01243-7>
- Hernández, R., Fernández, C. y Del Pilar, M. (2016). *Metodología de la investigación*. (sexta Ed.; M. Rocha y M. Toledo, Eds.). <https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodología-de-la-Investigación.pdf>
- Jeppesen, J., Jacobsen, R., Inceoglu, F. y Toftegaard, T. (2019). A cloud detection algorithm for satellite imagery based on deep learning. *Remote Sensing of Environment*, 229, 247–259. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.039>
- Juenger, T. y Verslues, P. (2023). Time for a drought experiment: Do you know your plants' water status?. *The Plant Cell*, 35(1), 10-23. <https://doi.org/10.1093/plcell/koac324>
- Ketema, H., Wei, W., Legesse, A., Wolde, Z., Temesgen, H., Yimer, F. y Mamo, A. (2020). Quantifying smallholder farmers' managed land use/land cover dynamics and its drivers in contrasting agro-ecological zones of the East African Rift. *Global Ecology and Conservation*, 21, e00898. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00898>
- Khanal, S., Kushal, K., Fulton, J., Shearer, S. y Ozkan, E. (2020). Remote sensing in agriculture-accomplishments, limitations, and opportunities. *Remote Sensing*, 12(22), 3783. <https://doi.org/10.3390/rs12223783>
- Levers, C., Romero, A., Baumann, M., De Marzo, T., Fernández, P., Gasparri, N., Gavier, G., Le Polain, Y., Piquer, M., Semper, A. y Kuemmerle, T. (2021). Agricultural expansion and the ecological marginalization of forest-dependent people. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(44), 1-9. <https://doi.org/10.1073/pnas.2100436118>
- Liu, Y., Swinton, S. y Miller, N. (2006). In site-specific yield response consistent over time? Does it pay?. *American Journal of Agricultural Economics*, 88(2), 471–483. <https://www.jstor.org/stable/3697736>
- Mahajan, U. y Bundel, B. (2016). Drones for Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), to Estimate Crop Health for Precision Agriculture: A Cheaper Alternative for Spatial Satellite Sensors. *Jawaharlal Nehru University*, 38-41. <https://acortar.link/HJSbyz>
- Martín, M. (2018). *Mapeo remoto multisensor de coberturas agrícolas extensivas*

en la zona central de Córdoba [Requerimiento de Magister, Universidad Nacional de Córdoba]. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/6841>

- Medida, S., Prasuna, P., Suneel, G., Geetha, P., Kranthi, K., Vinusha, V., Sneha, L., Naik, B., Pramanick, B., Brestic, M., Gaber, A. y Hossain, A. (2023). Detection of water deficit conditions in different soils by comparative analysis of standard precipitation index and normalized difference vegetation index. *Heliyon*, 9(4), e15093. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15093>
- Meneses, R., Loza, S., Lliully, A., Palabral, A. y Anthelme, F. (2014). Métodos para cuantificar diversidad y productividad vegetal de los bofedales frente al cambio climático. *Ecología en Bolivia*, 49(3), 42-55. <https://acortar.link/JER143>
- Mondéjear, B., Neyra, P., Pizarro, J. y Rosales, G. (2023). “Viabilidad económica financiera de una empresa sostenible que integra a los pequeños productores agrícolas de palta Hass en el valle de Virú (La Libertad).” [Requerimiento de Magister, Universidad ESAN]. <https://acortar.link/pOqehZ>
- Neuhaus, A., Turner, D., Colmer, T. y Blight, A. (2009). Drying half of the root-zone from mid fruit growth to maturity in “Hass” avocado (*Persea americana* Mill.) trees for one season reduced fruit production in two years. *Scientia Horticulturae*, 120(4), 437-442. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.12.010>
- Nikolakopoulos, K., Kamaratakis, E. y Chrysoulakis, N. (2006). SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 27(21), 4819-4838. <https://doi.org/10.1080/01431160600835853>
- Novoa, V., Ahumada, R., Rojas, O., Sáez, K., De la Barrera, F. y Arumí, J. (2019). Understanding agricultural water footprint variability to improve water management in Chile. *Science of the Total Environment*, 670, 188-199. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.127>
- Palomino, M. (2023). “Valoración Económica del Área de Conservación Regional de Codo del Pozuzo, Perú”. [Tesis de Doctor, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://acortar.link/TfIEpU>
- Paul, K., Chatterjee, S., Pai, P., Venkatesh, A., Juikar, S., Prasad, V. y Bhadra, B. (2022). Viable smart sensors and their application in data driven agriculture. *Computer and Electronics in Agriculture*, 198, 107096. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107096>
- Paustian, M. y Theuvsen, L. (2017). Agricultural expansion and the ecological marginalization of forest-dependent people. *Precision Agriculture*, 18(5), 701-716. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9482-5>
- Pino, E.(2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un

- futuro de alta tecnología. *Idesia* (Arica), 37(1).
<https://doi.org/10.4067/s0718-34292019005000402>
- Piscoche, R. (2023). *Diseño de plan Estratégico de Exportación para los productores de palta fuerte (Persea americana) del Distrito de Macate-Ancash*. [Tesis de Doctor, Universidad Nacional del Santa].
<https://acortar.link/zJ4srr>
- Plaza, O. (2016). *Cambios Sociales en el Perú 1968-2008*. Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://acortar.link/uVNYBU>
- Pu, R. y Landry, S. (2012). A comparative analysis of high spatial resolution IKONOS and WorldView-2 imagery for mapping urban tree species. *Remote Sensing of Environment*, 124, 516-533.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.06.011>
- Quispe, S. (2015). *Manejo Técnico del Palto*. Buenaventura.
<https://es.slideshare.net/mario530/manual-palta-74682172>
- Raihan, A. y Tuspekova, A. (2022). The nexus between economic growth, renewable energy use, agricultural land expansion, and carbon emissions: New insights from Peru. *Energy Nexus*, 6, 100067.
<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100067>
- Rojas, J. M., Guertin, D. P., & Castellanos, E. J. (2020). *Land Use and Land Cover Change in Latin America: A Synthesis of Case Studies*. En J. M. Rojas & E. J. Castellanos (Eds.), *Land Use and Climate Change Interactions in Latin America* (pp. 1-22). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37537-5_1
- Rouse, J., Haas, R., Schell, J. y Deering, D. (1973). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. NASA.
<https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>
- Santiago Huaman, Y. E. (2022). Análisis multitemporal (1990-2020) para la evaluación de la variación de la cobertura y uso del suelo de Kimbiri, Cusco-2021. [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/c9808536-08c2-44e3-8d17-6bb3d3973a73>
- Sánchez, P. (2012). *La teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales* [Tesis de Bachiller, Universidad de Cuenca].
<http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1109083>
- Soto, M. y Sulca, B. (2017). Cadena Productiva en el Crecimiento Económico de los Productores de Palta en el distrito de Luricocha (2014-2015). *BMC Public Health*, 5(1), 1-8. <https://acortar.link/bAHGWi>
- Sotomayor, A., Viera, A. y Viera, W. (2016). Potencial del cultivo de aguacate (*persea americana mill*) en Ecuador como alternativa de comercialización en

- el mercado local e internacional. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3(3), 1-9. <https://doi.org/10.26423/rctu.v3i3.192>
- Suárez, A. S., Jiménez, A. F., Castro, M. y Cruz, A. (2017). Clasificación y mapeo automático de coberturas del suelo en imágenes satelitales utilizando Redes Neuronales Convolucionales. *Orinoquia*, 21(1), 64-75. <https://doi.org/10.22579/20112629.432>
- Sudhanshu, P., Mahesh, R., Prasad, E. y Fitzgerald, J. (2015). *Remote Sensing Systems—Platforms and Sensors: Aerial, Satellite, UAV, Optical, Radar, and LiDAR*. 1st Edition. <https://acortar.link/ejiekb>
- Shock, C. C., Welch, T., Wang, F. Z., Flock, R., Feibert, E. B. G., Shock, C. A., & Pereira, A. 2013. El control del riego mediante la tensión matricial del suelo. Corvallis, Or.: Extension Service, Oregon State University https://ir.library.oregonstate.edu/challenge?dest=/concern/open_educational_resources/gx41mj166
- Ustin, S. L., & Middleton, E. M. (2021). *Understanding Vegetation Stress Responses to Environmental Conditions with Hyperspectral and Thermal Remote Sensing*. *Remote Sensing of Environment*, *263*, 112545. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112545>
- Villaseñor, O., Fernandez, J., Garcia, Y, y Argente L., (2025). Evaluación del contenido de humedad de un suelo vertisol compactado mediante sensor watermark en una plantación de *Cedrela odorata* L. en el Valle del Yaqui, Sonora. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 11(1): 21-29.
- Villar, P. (2015). *El agua y los organismos*. Ecología. <https://acortar.link/Ro1B36>
- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G. y Bradley, R. (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews*, 89(3-4), 79-96. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.04.002>
- Wang, Q., Liu, H. y Cheung, Y. (2017). A renewable energy cooperation scheme for OFDM systems using evolutionary many-objective optimization algorithm. *12th International Conference on Computational Intelligence and Security*, 327, 194-197. <https://doi.org/10.1109/CIS.2016.0053>
- Xue, J. y Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
- Zarco-Tejada, P. J., Hornero, A., & Hernández-Clemente, R. (2019). *Understanding the Temporal Dimension of the Vineyard Canopy Dynamics Using Hyperspectral Remote Sensing*. En A. K. Srivastava (Ed.), *Advances in Grape and Wine Biotechnology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.88500>
- Zumaeta, D. (2018). Caracterización de la crianza de cerdos de traspacio en la provincia

de Chachapoyas, Amazonas, Perú [Tesis de Maestro, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas].
<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1936/Alvarado%20Chuqui%20Wigoberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

9. ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Dependiente	Cambio de la cobertura del suelo	Tipo: Aplicada Nivel: Descriptivo-correlacional Diseño: Experimental respecto al segundo (02) objetivo. Población: La población estudiada comprenderá la parte baja del territorio de la provincia de Huanta con cultivos de <i>Persea americana</i> . Muestra: La población engloba a los distritos de Huanta y Luricocha Técnicas e instrumentos de observación: Directa, mediante guías de observación de imágenes satelitales; e indirecta, con equipos de medición de sensoramiento remoto.
¿Cuál es el impacto de <i>Persea americana</i> en el cambio de la cobertura del suelo, y cómo es la variación multitemporal del vigor vegetativo desde 2015 al 2023 y el estado hídrico actual en los distritos de Huanta y Luricocha?	Analizar el vigor vegetativo de <i>Persea americana</i> y el cambio de la cobertura del suelo desde 2015 al 2023 de los distritos de Huanta y Luricocha, mediante el uso de Imágenes multispectrales, NDVI y Potencial hídrico foliar.	Durante el periodo de 2015 a 2023, la extensión de <i>Persea americana</i> en los distritos de Huanta y Luricocha, ha experimentado un incremento significativo. Asimismo, existe una correlación positiva entre la extensión y el vigor vegetativo, medido mediante el Índice de Vegetación NDVI, lo que indicaría un crecimiento saludable del cultivo.	Cobertura del suelo		
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Independiente	Expansión agrícola	
P1: ¿Cómo ha variado a lo largo del tiempo el vigor vegetativo de <i>Persea americana</i> en los distritos de Huanta y Luricocha, desde el año 2015 al 2023? P2: ¿Cuál es el estado hídrico actual de los cultivos de palta que tienen acceso a riego y sin riego, y como está relacionado con la humedad del suelo? P3: ¿Cuánto ha sido el crecimiento de las áreas cultivadas con <i>Persea americana</i> desde el año 2015 al	O1: Determinar el nivel de la variación del vigor vegetativo de <i>Persea americana</i> de los distritos de Huanta y Luricocha desde 2015 al 2023, utilizando el Índice de Vegetación NDVI. O2: Evaluar el estado hídrico actual de los cultivos de <i>Persea americana</i> que tienen acceso a riego y sin riego y relacionarlos con la humedad del suelo. O3: Determinar el nivel de crecimiento de áreas cultivadas con <i>Persea americana</i> de los distritos de Huanta y Luricocha desde 2015 al	H1: El Índice de Vegetación NDVI es una herramienta eficaz para evaluar el vigor vegetativo de <i>Persea americana</i> , lo que indica que el NDVI puede ser utilizado como un indicador confiable de la salud del cultivo en la región de estudio. H2: El estado hídrico actual de los cultivos de <i>Persea americana</i> que tienen acceso a riego no presenta indicios de estrés hídrico, al contrario de los que presentan déficit en el riego, sus los valores de potencial hídrico foliar tienen valores negativos superiores, indicando que existe un elevado estrés en la planta por falta de agua, y están altamente correlacionados con la humedad del suelo.	<i>Persea americana</i>	Vigor de la vegetación	

<p>2023 y cómo influye en los cambios de cobertura del suelo en los distritos de Huanta y Luricocha?</p>	<p>2023, y analizar cómo este crecimiento ha influido en los cambios de la cobertura del suelo, mediante el uso de las imágenes satelitales.</p>	<p>H3: Se observa un crecimiento significativo de las áreas cultivadas con Persea americana en los distritos de Huanta y Luricocha en las imágenes satelitales desde el año 2015 al 2023, lo que indicaría cambios negativos en la cobertura del suelo.</p>			
--	--	--	--	--	--

Anexo 2

Datos de medición del estado hídrico de palta del tratamiento A-sin riego de los cultivos de palta del terreno de estudio en la localidad de Cedropata

ESTADO HIDRICO / Tratamiento A – sin riego							
Muestra	Fecha	Hora (P.m.)	N	S	E	O	Promedio
Planta 5	3/02/2024	1:21	8.07	6.1	7.61	7.81	7.40
	10/02/2024	2:00	4.54	4.25	4.16	5.57	4.63
	17/02/2024	1:39	6.47	7.7	4.91	2.78	5.47
	24/02/2024	2:05	5.52	3.11	6.89	5.3	5.21
	2/03/2024	12:40	7.72	6.16	7.16	7.18	7.06
	9/03/2024	1:42	5.74	6.7	5.19	3.87	5.38
	16/03/2024	12:36	6.78	6.32	7.01	7.72	6.96
	23/03/2024	12:49	5.79	6.99	7.82	6	6.65
	30/03/2024	12:45	3.79	4.69	4.52	6	4.75
	6/04/2024	1:06	2.89	4.8	3.77	3.56	3.76
	13/04/2024	12:59	3.31	2.55	3.46	4.65	3.49
	20/04/2024	12:56	3.36	2.48	4.27	2.89	3.25
	27/04/2024	1:12	4.63	6.43	5.71	4.3	5.27
	4/05/2024	1:11	6.31	3.62	5.03	4.09	4.76
	11/05/2024	12:49	6.23	5.9	4.41	6.01	5.64
	18/05/2024	1:19	3.03	5.17	4.18	6.03	4.60
25/05/2024	12:49	3.21	6.06	6.01	4.05	4.83	
Planta 6	3/02/2024	1:33	7.85	11.83	9.86	12.37	10.48
	10/02/2024	2:08	7.9	5.67	3.24	6.29	5.78
	17/02/2024	1:47	8.28	9.34	4	7.38	7.25
	24/02/2024	2:17	6.14	6.94	7.03	5.12	6.31
	2/03/2024	12:56	7.24	8.1	9.68	9.73	8.69
	9/03/2024	1:53	7.82	8.43	5.02	7.26	7.13
	16/03/2024	12:43	6.03	5.42	6.7	8.14	6.57
	23/03/2024	12:55	7.16	7.09	8.11	5.82	7.05
	30/03/2024	12:52	7.31	6.58	4.08	5.42	5.85
	6/04/2024	1:16	4.54	3.49	1.95	3.07	3.26
	13/04/2024	1:12	3.58	1.98	3.42	2.72	2.93
	20/04/2024	1:13	3.62	4.62	3.28	3.62	3.79
	27/04/2024	1:29	3.29	5.34	6.16	5.84	5.16
	4/05/2024	1:22	5.42	4.76	4.16	3.18	4.38
	11/05/2024	12:58	4.91	7.06	5.13	6.26	5.84
	18/05/2024	1:24	4.19	6.04	5.26	5.61	5.28
25/05/2024	1:06	4.24	5.17	7.09	6.03	5.63	
Planta 7	3/02/2024	1:48	8.56	5.93	6.84	6.53	6.97
	10/02/2024	2:16	7.42	5.38	5	6.07	5.97
	17/02/2024	1:53	6.48	6.59	7.48	5.94	6.62
	24/02/2024	2:23	5.23	7.08	6.11	5.09	5.88
	2/03/2024	1:05	7.26	5.29	6.48	6.35	6.35

	9/03/2024	2:07	5.84	7.95	6.48	5.47	6.44
	16/03/2024	12:52	4.17	5.59	7	6.06	5.71
	23/03/2024	1:10	6.71	7.18	6.78	6.14	6.70
	30/03/2024	1:09	5.63	6.36	5.25	6.24	5.87
	6/04/2024	1:27	2.9	2.97	3.33	3.15	3.09
	13/04/2024	1:28	1.24	3.26	4.23	3.82	3.14
	20/04/2024	1:27	2.18	4.24	3.41	3.13	3.24
	27/04/2024	1:37	2.12	4.63	3.47	6.01	4.06
	4/05/2024	1:33	5.41	5.16	5.52	3.79	4.97
	11/05/2024	1:09	6.24	4.7	3.42	5.91	5.07
	18/05/2024	1:38	4.31	5.13	4.61	4.32	4.59
	25/05/2024	1:21	5.91	4.34	4.02	4.1	4.59
	3/02/2024	2:00	7.07	5.95	5.51	6.1	6.16
	10/02/2024	2:25	3.73	2.46	2.52	4.23	3.24
	17/02/2024	2:00	5.69	3.68	5	5.43	4.95
	24/02/2024	2:29	4.19	7.16	8.02	8.01	6.85
	2/03/2024	1:17	6.72	6.12	5.15	6.01	6.00
	9/03/2024	2:12	6.96	3.73	6	6.34	5.76
	16/03/2024	1:07	7.2	6.71	7.11	7.79	7.20
	23/03/2024	1:19	7	6.61	8.02	7.11	7.19
Planta 8	30/03/2024	1:16	4.14	6.19	3.11	3.22	4.17
	6/04/2024	1:36	2.94	2.15	3.32	3.01	2.86
	13/04/2024	1:39	2.76	3.44	3.65	4.14	3.50
	20/04/2024	1:37	3.63	5.41	3.44	3.67	4.04
	27/04/2024	1:52	4.36	5.21	4.33	4.71	4.65
	4/05/2024	1:48	4.17	6.03	6.27	4.68	5.29
	11/05/2024	1:23	6.61	2.62	3.52	4.9	4.41
	18/05/2024	1:53	3.42	4.12	5.02	5.42	4.50
	25/05/2024	1:38	6.83	2.63	5.13	5.11	4.93

Anexo 3

Datos de medición del estado hídrico de palta del tratamiento B-con riego de los cultivos de palta del terreno de estudio en la localidad de Cedropata

ESTADO HIDRICO/ Tratamiento B - con riego							
MUESTRA	FECHA	Hora (P.m.)	N	S	E	O	Promedio
Planta 1	3/02/2024	12:00 p. m.	6.53	5.17	14.33	7.11	8.29
	10/02/2024	1:24 p. m.	4.95	5.11	5.3	6.72	5.52
	17/02/2024	1:05 p. m.	7.11	7.28	7.3	6.89	7.15
	24/02/2024	1:17 p. m.	5.12	7.14	4.27	7.09	5.91
	2/03/2024	12:01 p. m.	6.17	5.22	14.24	7.02	8.16
	9/03/2024	1:10 p. m.	7.01	7.18	5.03	7.09	6.58
	16/03/2024	12:00 p. m.	5.23	5.71	8.02	6.68	6.41
	23/03/2024	12:05 p. m.	7.16	7.02	6.67	6.42	6.82
	30/03/2024	12:03 p. m.	7.21	6.13	6.81	5.08	6.31
	6/04/2024	12:22 p. m.	8.08	6.09	4.66	5.12	5.99
	13/04/2024	12:06 p. m.	4.2	6.51	3.84	3.4	4.49
	20/04/2024	12:02 p. m.	4.7	6.02	4.05	4.09	4.72
	27/04/2024	12:15 p. m.	6.12	6.31	7.8	4.21	6.11
	4/05/2024	12:12 p. m.	2.89	7.02	5.61	6.07	5.40
	11/05/2024	12:02 p. m.	3.26	6.01	4.12	5.16	4.64
	18/05/2024	12:06 p. m.	5.12	6.14	4.53	4.52	5.08
25/05/2024	12:07 p. m.	5.31	6.26	2.82	4.19	4.65	
Planta 2	3/02/2024	12:47 p. m.	8.45	6.39	5.76	6.38	6.75
	10/02/2024	1:42 p. m.	5.3	5.56	4.99	6.49	5.59
	17/02/2024	1:11 p. m.	6.57	4.85	5.69	6.43	5.89
	24/02/2024	1:25 p. m.	4.11	6.25	5.3	7.18	5.71
	2/03/2024	12:14 p. m.	7.12	6.13	6.76	6.09	6.53
	9/03/2024	1:17 p. m.	6.75	5.58	6.96	5.34	6.16
	16/03/2024	12:11 p. m.	6.11	6.41	7.14	6.13	6.45
	23/03/2024	12:10 p. m.	6.21	8.21	7.2	7.31	7.23
	30/03/2024	12:12 p. m.	5.17	6.01	5.7	5.12	5.50
	6/04/2024	12:35 p. m.	2.75	2.44	2.63	2.52	2.59
	13/04/2024	12:21 p. m.	3.92	3.04	2.29	2.91	3.04
	20/04/2024	12:13 p. m.	3.62	4.11	3.12	3.05	3.48
	27/04/2024	12:26 p. m.	5.21	5.47	5.48	5.72	5.47
	4/05/2024	12:27 p. m.	4.21	6.61	4.82	5.13	5.19
	11/05/2024	12:17 p. m.	4.21	5.07	3.19	5.11	4.40
	18/05/2024	12:24 p. m.	4.13	5.13	5.34	5.28	4.97
25/05/2024	12:17 p. m.	4.61	4.17	3.79	3.78	4.09	
Planta 3	3/02/2024	12:59 p. m.	7.48	6.91	4.81	8.08	6.82
	10/02/2024	1:49 p. m.	4.75	5.03	4.88	6.34	5.25
	17/02/2024	1:21 p. m.	6.17	5.52	6	3.11	5.20
	24/02/2024	1:36 p. m.	6.69	7.38	7.7	8.28	7.51
	2/03/2024	12:25 p. m.	7.24	6.72	5.17	7.69	6.71
	9/03/2024	1:25 p. m.	6.16	6.25	5	4.13	5.39
	16/03/2024	12:20 p. m.	6.49	6.79	6.06	6.02	6.34
	23/03/2024	12:21 p. m.	6.13	7.53	4.79	6.37	6.21

	30/03/2024	12:21 p. m.	5.12	5.74	4	3.9	4.69
	6/04/2024	12:44 p. m.	3.33	4	2.77	3.45	3.39
	13/04/2024	12:33 p. m.	3.51	3.73	4.17	2.87	3.57
	20/04/2024	12:26 p. m.	4.18	3.08	4.11	4.02	3.85
	27/04/2024	12:38 p. m.	6.82	5.26	3.19	7.01	5.57
	4/05/2024	12:31 p. m.	5.31	5.59	5.26	4.1	5.07
	11/05/2024	12:23 p. m.	5.32	4.12	2.62	4.14	4.05
	18/05/2024	12:41 p. m.	3.42	4.8	4.28	3.19	3.92
	25/05/2024	12:28 p. m.	5.72	4.23	4.27	4.01	4.56
	3/02/2024	1:09 p. m.	3.51	7.9	8.87	8.4	7.17
	10/02/2024	1:55 p. m.	4.75	5.03	4.88	6.34	5.25
	17/02/2024	1:30 p. m.	9.17	7.02	8	8.01	8.05
	24/02/2024	1:52 p. m.	8.05	7.02	6.17	6.89	7.03
	2/03/2024	12:32 p. m.	4.52	7.17	7.56	7.25	6.63
	9/03/2024	1:35 p. m.	5.23	6.2	7.02	8.1	6.64
	16/03/2024	12:28 p. m.	5.25	6.13	7	5.72	6.03
	23/03/2024	12:31 p. m.	5.12	4.72	5.78	7.24	5.72
Planta 4	30/03/2024	12:36 p. m.	6.28	5.62	4.82	6.29	5.75
	6/04/2024	12:53 p. m.	3.58	4.54	3.38	3.81	3.83
	13/04/2024	12:45 p. m.	5	5.33	4.03	4.72	4.77
	20/04/2024	12:38 p. m.	6.01	4.86	5.06	6.13	5.52
	27/04/2024	12:51 p. m.	4.8	6	4.28	6.03	5.28
	4/05/2024	12:51 p. m.	2.9	3.47	6	5.01	4.35
	11/05/2024	12:35 p. m.	4.19	4.26	5.09	6.07	4.90
	18/05/2024	1:08 p. m.	4.52	4.72	3.27	4.02	4.13
	25/05/2024	12:33 p. m.	3.46	5.16	3.83	3.29	3.94

Anexo 4

Datos de la medición de la humedad de suelo de los tratamientos A y B de los cultivos de palta del terreno de estudio ubicado en la localidad de Cedropata

Datos de Humedad de Suelo (40 cm)				
FECHA	Tratamiento B (con riego)		Tratamiento A (sin riego)	
	Planta 1	Planta 4	Planta 6	Planta 7
17/02/2024	8	9	5	8
25/02/2024	25	19	32	29
02/03/2024	17	23	39	30
09/03/2024	11	24	34	35
16/03/2024	27	18	39	37
23/03/2024	13	23	36	39
30/03/2024	18	30	42	39
06/04/2024	16	17	41	40
13/04/2024	13	16	48	45
20/04/2024	17	28	48	49
27/04/2024	19	14	53	47
04/05/2024	17	20	57	51
11/05/2024	18	26	59	58
18/05/2024	16	13	60	65
25/05/2024	29	14	64	79

Anexo 5

Cultivos de palta in situ de la localidad de Cedropata



Anexo 6

Selección y etiquetado de las muestras de planta para la medición del estado hídrico y humedad de suelo



Anexo 7

Cámara de Scholander para medir el estado hídrico del cultivo



Anexo 8

Equipo utilizado para registrar la humedad de suelo, Watermark

**Anexo 9**

Sensor HOBO para su registro de humedad del aire



Anexo 10

Selección de las hojas sanas y maduras para la medición del estado hídrico de la palta



Anexo 11*Medición del estado hídrico de palta in situ con la cámara de Scholander*

Anexo 12

Instalación del sensor Watermark y toma de datos de la humedad de suelo

