

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



**“Nivel de cobertura vegetal como base de los servicios
ecosistémicos en la microcuenca Singucate-Canchaque”**

TESIS

Para optar el título profesional de ingeniera forestal y medio
ambiente

EJECUTOR

Br. Ramírez Carrasco Lesly Gianella

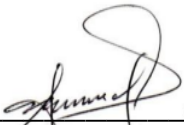
TUMBES, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE



Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Miguel Puestas Chully



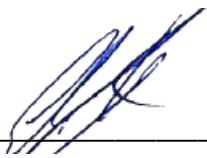
Presidente

Dr. Eber Herrera Palacios



Secretario

Mg. Eder Hidalgo Sandoval



Vocal

TUMBES, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD CIENCIA AGRARIAS

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



**“Nivel de cobertura vegetal como base de los servicios
ecosistémicos en la microcuenca Singucate-Canchaque”**

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y
forma.

PRESENTADO POR

Br. Ramírez Carrasco Lesly Gianella

Dr. Bermejo Requena Luis Alberto
Asesor

Ing. Quiroga Silupu Jair
Co-Asesor

TUMBES, 2025



ANEXO VIII

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los veintitrés días del mes de mayo de dos mil veinticinco, siendo las diez horas, con sesenta minutos (10:00), de la, de forma presencial en la sala de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, se reunieron el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 047-2023/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D., **Dr. Miguel Antonio Puestas Chully** (Presidente), **Dr. Eber Leopoldo Herrera Palacios** (Secretario), **Mg. Eder Esaud Hidalgo Sandoval** (Vocal), reconociendo en la misma resolución además, al **Dr. Luis Alberto Bermejo Requena**, como **Asesor**, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, "**Nivel de cobertura vegetal como base de los servicios ecosistémicos en la microcuenca Singucate-Canchaque**", para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente, presentado por la **Bach. Lesly Gianella Ramírez Carrasco**, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte de la sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara a la: **Bach. LESLY GIANELLA RAMÍREZ CARRASCO**; aprobada, por unanimidad, con el calificativo bueno.

Se hace conocer a la sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda apta para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las once horas y treinta minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.


Tumbes, 23 de mayo del 2025

| | |
|---|---|
| | |
| Dr. Miguel Antonio Puestas Chully DNI N° 02660522 CODIGO ORCID 0000-0003-1979-9572 Presidente | Dr. Eber Leopoldo Herrera Palacios DNI N° 42460218 CODIGO ORCID 0000-0002-725-9087 Secretario |
| | |
| Mg. Eder Esaud Hidalgo Sandoval DNI N° 42311217 CODIGO ORCID 0000-0002-85683255 Vocal | |

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)
S.acad.

Lesly Ramirez

T-RAMIREZ

 Texto final

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trncoid::3117:485803201

Fecha de entrega
22 ago 2025, 11:36 GMT-5

Fecha de descarga
22 ago 2025, 11:59 GMT-5

Nombre del archivo
T-RAMIREZ.pdf

Tamaño del archivo
3.3 MB

64 páginas

14.739 palabras

84.239 caracteres



Dr. Bermejo Requena, Luis Alberto
Asesor de Tesis
ORCID ID: 0000-0001-5294-7034




19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 14%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

- 15% Fuentes de Internet
- 5% Publicaciones
- 14% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

| | | | |
|----|-------------------------|---|-----|
| 1 | Trabajos del estudiante | Universidad Nacional de Tumbes on 2023-03-02 | 2% |
| 2 | Internet | repositorio.continental.edu.pe | 1% |
| 3 | Internet | siar.regionpiura.gob.pe | <1% |
| 4 | Internet | hdl.handle.net | <1% |
| 5 | Internet | repositorio.upn.edu.pe | <1% |
| 6 | Internet | www.coursehero.com | <1% |
| 7 | Trabajos del estudiante | Universidad Técnica De Cotopaxi on 2025-07-24 | <1% |
| 8 | Trabajos del estudiante | Universidad Nacional de Tumbes on 2023-03-05 | <1% |
| 9 | Internet | repositorio.unj.edu.pe | <1% |
| 10 | Internet | www.researchgate.net | <1% |
| 11 | Internet | repositorio.lamolina.edu.pe | <1% |

| | | | |
|----|-------------------------|--|-----|
| 12 | Internet | repository.udca.edu.co | <1% |
| 13 | Internet | chm.cbd.int | <1% |
| 14 | Internet | www.editorialgrupo-aea.com | <1% |
| 15 | Trabajos del estudiante | Universidad Continental on 2021-04-28 | <1% |
| 16 | Internet | archive.org | <1% |
| 17 | Trabajos del estudiante | Universidad Técnica De Cotopaxi on 2025-07-23 | <1% |
| 18 | Internet | revistas.unesum.edu.ec | <1% |
| 19 | Trabajos del estudiante | Universidad de Manizales on 2024-09-22 | <1% |
| 20 | Internet | press.religacion.com | <1% |
| 21 | Internet | core.ac.uk | <1% |
| 22 | Internet | www.slideshare.net | <1% |
| 23 | Internet | ri.agro.uba.ar | <1% |
| 24 | Trabajos del estudiante | Fundación Universitaria Católica del Norte on 2024-12-14 | <1% |
| 25 | Trabajos del estudiante | Unidades Tecnológicas de Santander on 2025-06-19 | <1% |

| | | | |
|----|-------------------------|---|-----|
| 26 | Internet | repositorio.unap.edu.pe | <1% |
| 27 | Internet | revistas.uteq.edu.ec | <1% |
| 28 | Internet | www.grafiatl.com | <1% |
| 29 | Trabajos del estudiante | Universidad Nacional de Tumbes on 2025-07-16 | <1% |
| 30 | Internet | cia.uagraria.edu.ec | <1% |
| 31 | Internet | repositoriodspace.unipamplona.edu.co | <1% |
| 32 | Trabajos del estudiante | Universidad Privada Antenor Orrego on 2025-01-14 | <1% |
| 33 | Trabajos del estudiante | Universidad de Guadalajara - Posgrados on 2025-01-22 | <1% |
| 34 | Trabajos del estudiante | Universidad Privada del Norte on 2023-11-18 | <1% |
| 35 | Trabajos del estudiante | Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt on 20... | <1% |
| 36 | Trabajos del estudiante | Universidad Cesar Vallejo on 2025-01-29 | <1% |
| 37 | Internet | es.slideshare.net | <1% |
| 38 | Internet | www.scribd.com | <1% |
| 39 | Trabajos del estudiante | Universidad Nacional de Tumbes on 2022-06-03 | <1% |

| | | | |
|----|-------------------------|---|-----|
| 40 | Trabajos del estudiante | Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador on 2024-08-21 | <1% |
| 41 | Internet | ciama-mex.org | <1% |
| 42 | Internet | www.adaptation-fund.org | <1% |
| 43 | Internet | www.elagrimensor.com.ar | <1% |
| 44 | Internet | www.prisma.org.sv | <1% |
| 45 | Internet | repositorio.ana.gob.pe | <1% |
| 46 | Internet | pt.scribd.com | <1% |
| 47 | Internet | repositorioacademico.upc.edu.pe | <1% |
| 48 | Internet | repository.humboldt.org.co | <1% |
| 49 | Publicación | Piragauta Sierra, Mónica. "Evaluación de los Servicios Ecosistémicos en el Borde U... | <1% |
| 50 | Internet | mide.jalisco.gob.mx | <1% |
| 51 | Internet | repositorio.unh.edu.pe | <1% |
| 52 | Trabajos del estudiante | Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas on 2024-11-19 | <1% |
| 53 | Trabajos del estudiante | Universidad Nacional de Colombia on 2020-05-07 | <1% |

| | | | |
|----|-------------------------|---|-----|
| 54 | Internet | revistaingenieria.univalle.edu.co | <1% |
| 55 | Internet | revistas.upt.edu.pe | <1% |
| 56 | Trabajos del estudiante | Fundación Universitaria Católica del Norte on 2024-09-30 | <1% |
| 57 | Trabajos del estudiante | Universidad Cooperativa de Colombia on 2019-11-08 | <1% |
| 58 | Trabajos del estudiante | Universidad Privada del Norte on 2023-05-08 | <1% |
| 59 | Internet | patents.google.com | <1% |
| 60 | Internet | repositorio.utn.edu.ec | <1% |
| 61 | Trabajos del estudiante | ucss on 2024-12-19 | <1% |
| 62 | Trabajos del estudiante | Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador on 2025-07-29 | <1% |
| 63 | Internet | documents.mx | <1% |
| 64 | Internet | ia802706.us.archive.org | <1% |
| 65 | Internet | issuu.com | <1% |
| 66 | Internet | repositorio.utc.edu.ec | <1% |
| 67 | Internet | scholarsarchive.byu.edu | <1% |

| | | | |
|----|-------------------------|--|-----|
| 68 | Internet | scielosp.org | <1% |
| 69 | Internet | www.scielo.sa.cr | <1% |
| 70 | Publicación | "Sucesión forestal en microcuencas del sur de Chile : consecuencia de las perturb... | <1% |
| 71 | Publicación | KNIGHT PIESOLD CONSULTORES S.A.. "EIA del Proyecto Plataforma de Lixiviación ... | <1% |
| 72 | Trabajos del estudiante | Pontificia Universidad Catolica de Chile on 2023-07-04 | <1% |
| 73 | Internet | journal.espe.edu.ec | <1% |
| 74 | Internet | repositorio.unc.edu.pe | <1% |
| 75 | Internet | repositorio.unfv.edu.pe | <1% |
| 76 | Internet | revista.inta.go.cr | <1% |
| 77 | Internet | www.amigosaguilaimperial.org | <1% |
| 78 | Internet | www.directemar.cl | <1% |
| 79 | Internet | www.iadb.org | <1% |
| 80 | Internet | (9-29-03) http://200.9.244.58/sistema/ramsar/c_climatico.htm | <1% |
| 81 | Publicación | Oswaldo Jadán, Miguel Cifuentes, Bolier Torres, Daniela Selesi, Dario Veintimilla, ... | <1% |

| | | | |
|----|-------------------------|---|-----|
| 82 | Trabajos del estudiante | Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas on 2023-02-09 | <1% |
| 83 | Trabajos del estudiante | Universidad San Ignacio de Loyola on 2018-02-15 | <1% |
| 84 | Trabajos del estudiante | Universidad Técnica De Cotopaxi on 2025-07-24 | <1% |
| 85 | Trabajos del estudiante | Universidad de Manizales on 2025-05-28 | <1% |
| 86 | Internet | boletin.invemar.org.co | <1% |
| 87 | Internet | docplayer.es | <1% |
| 88 | Internet | repositorio.uncp.edu.pe | <1% |
| 89 | Internet | revistas.unasam.edu.pe | <1% |
| 90 | Internet | ridum.umanizales.edu.co | <1% |
| 91 | Internet | vdocuments.mx | <1% |
| 92 | Internet | www.oikos.unam.mx | <1% |
| 93 | Internet | www.refworld.org | <1% |
| 94 | Internet | 1library.co | <1% |
| 95 | Trabajos del estudiante | Fundación Universitaria Católica del Norte, on 2023-11-14 | <1% |

| | | | |
|-----|-------------------------|---|-----|
| 96 | Publicación | Tamaris Turizo, Ivan Dario. "El efecto de la localización sobre el valor de la viviend... | <1% |
| 97 | Trabajos del estudiante | Universidad Católica de Colombia on 2025-07-21 | <1% |
| 98 | Trabajos del estudiante | Universidad Nacional de Costa Rica on 2019-10-03 | <1% |
| 99 | Trabajos del estudiante | Universidad Regional Amazónica IKIAM on 2025-08-11 | <1% |
| 100 | Trabajos del estudiante | Universidad de Almeria on 2024-12-01 | <1% |
| 101 | Trabajos del estudiante | Universidad de Costa Rica on 2021-08-27 | <1% |
| 102 | Trabajos del estudiante | aereshs on 2025-06-12 | <1% |
| 103 | Internet | catalonica.bnc.cat | <1% |
| 104 | Internet | doczz.net | <1% |
| 105 | Internet | es.scribd.com | <1% |
| 106 | Internet | eujournal.org | <1% |
| 107 | Internet | futur.upc.edu | <1% |
| 108 | Internet | idus.us.es | <1% |
| 109 | Internet | le.uwpress.org | <1% |

| | | | |
|-----|--|------------------------------|-----|
| 110 | Internet | repositorio.geotech.cu | <1% |
| 111 | Internet | repositorio.inta.gob.ar | <1% |
| 112 | Internet | repositorio.upla.edu.pe | <1% |
| 113 | Internet | repositorio.uraccan.edu.ni | <1% |
| 114 | Internet | repository.udistrital.edu.co | <1% |
| 115 | Internet | search.bvsalud.org | <1% |
| 116 | Internet | sumapaz.minambiente.gov.co | <1% |
| 117 | Trabajos del estudiante urjc on 2022-12-13 | | <1% |
| 118 | Internet | www.antoniojcastro.com | <1% |
| 119 | Internet | www.fao.org | <1% |
| 120 | Internet | www.jove.com | <1% |
| 121 | Internet | www.magiran.com | <1% |
| 122 | Internet | www.scielo.org.mx | <1% |
| 123 | Internet | zagan.unizar.es | <1% |

| | | | |
|-----|-------------------------|---|-----|
| 124 | Trabajos del estudiante | Universidad Nacional Federico Villarreal on 2023-10-28 | <1% |
| 125 | Publicación | "XIX reunión nacional SELPER-México: Memorias", Universidad Nacional Autonom... | <1% |
| 126 | Publicación | "XXV IUFRO World Congress: Forest Research and Cooperation for Sustainable", X... | <1% |
| 127 | Publicación | Juan Manuel Carricondo Antón. "Utilización de residuos vegetales para la elimina... | <1% |
| 128 | Publicación | Sustainable Agriculture, 2009. | <1% |
| 129 | Trabajos del estudiante | Unidades Tecnológicas de Santander on 2018-12-11 | <1% |
| 130 | Trabajos del estudiante | Universidad Continental on 2023-07-11 | <1% |
| 131 | Trabajos del estudiante | Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2024-06-11 | <1% |
| 132 | Trabajos del estudiante | Universidad Técnica De Cotopaxi on 2025-07-24 | <1% |
| 133 | Internet | bdigital.unal.edu.co | <1% |
| 134 | Trabajos del estudiante | unifranz on 2025-03-26 | <1% |
| 135 | Internet | www.clubensayos.com | <1% |
| 136 | Internet | prezi.com | <1% |
| 137 | Trabajos del estudiante | Universidad Continental on 2023-06-20 | <1% |

| | | |
|--------------------|----------|-----|
| 138 | Internet | |
| docs.wixstatic.com | | <1% |
| <hr/> | | |
| 139 | Internet | |
| dspace.utpl.edu.ec | | <1% |

Dedicatoria

A la memoria de mi amado padre Miguel Ramírez Labán, aunque ya no estés a mi lado, tu espíritu sigue siendo mi guía constante en cada paso que doy. Tu ejemplo de esfuerzo y dedicación ha sido una fuente inagotable de inspiración, especialmente en los momentos más difíciles. Cada desafío que enfrento me recuerda a tu fortaleza y perseverancia, y me impulsa a seguir adelante con la misma pasión y determinación que siempre te caracterizó.

Agradecimiento

A mi madre, por enseñarme a enfrentar las adversidades de la vida con valentía y determinación, mostrándome que cada obstáculo es una oportunidad para crecer y aprender. Tu presencia constante en mi vida ha sido un refugio seguro, un lugar donde siempre he encontrado apoyo y amor.

Expreso mi más sincero agradecimiento al Dr. Bermejo Requena Luis Alberto, por su valiosa orientación, paciencia y conocimientos compartidos a lo largo del desarrollo de esta investigación. Su asesoría ha sido importante para mejorar el enfoque y la calidad de este trabajo.

De igual manera, agradezco al Ing. Quiroga Silupu Jair, por su colaboración y apoyo en el desarrollo de este estudio. Su guía técnica y académica ha sido de gran ayuda para consolidar los resultados y alcanzar los objetivos propuestos.

Índice general

| | |
|--|-------------|
| Resumen | xxv |
| Abstract..... | xxvi |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA (ESTADO DEL ARTE)..... | 4 |
| 2.1 CONCEPTOS BÁSICOS | 4 |
| 2.2 ANTECEDENTES..... | 6 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 12 |
| 3.1 MATERIALES, EQUIPOS-SOFTWARE..... | 12 |
| 3.1.1 Materiales | 12 |
| 3.1.2 Equipos..... | 12 |
| 3.1.3 Software..... | 13 |
| 3.2 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION..... | 13 |
| 3.2.1 Trabajo de gabinete..... | 13 |
| 3.2.2 Trabajo de Campo | 13 |
| 3.2.3 Resultados..... | 14 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 15 |
| 4.1 Presentación de los resultados | 15 |
| 4.1.1 Identificación de imágenes Lansat 8..... | 15 |
| 4.1.2 Identificación de imágenes sentinel | 25 |
| 4.1.3 Elaboración de NDVI a partir de imágenes satelitales SENTINEL 02 | 27 |
| 4.1.4 Identificación de Dem para generar el mapa de uso mayor del suelo. | 31 |
| 4.1.5 Generación de mapa de curvas de nivel..... | 34 |
| 4.1.6 Generación de Mapa de Isoyetas. | 36 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 4.1.7 | Estimación de la Precipitación Media Según Nivel de Cobertura Vegetal en la Microcuenca Singuate | 39 |
| 4.1.8 | Generación del mapa de susceptibilidad a la Erosión. | 43 |
| 4.2 | DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS..... | 50 |
| 5. | CONCLUSIONES | 52 |
| 6. | RECOMENDACIONES..... | 53 |
| 7. | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 54 |
| | ANEXOS | 58 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Distribución altitudinal de la precipitación total anual en la cuenca del río Piura (1970-1990) | 36 |
| Tabla 2: Contribución de la Cobertura del Terreno a la Precipitación Total Estimada según el grado de cobertura y la extensión del área | 40 |
| Tabla 3: Relación entre las categorías de vegetación, extensión territorial y lluvia media calculada en la microcuenca Singuate | 42 |
| Tabla 4: Servicios Ecosistémicos en la Microcuenca Sigucate Canchaque | 47 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Delimitación del área de estudio en la microcuenca Singucate-Canchaque con imágenes satelitales LANDSAT 8 | 15 |
| Figura 2: Ubicación regional de la microcuenca Singucate-Canchaque | 16 |
| Figura 3. Composición de bandas satelitales inicial en la microcuenca Singucate-Canchaque | 17 |
| Figura 4. Imagen satelital corregida de la microcuenca Singucate-Canchaque con composición de bandas ajustada | 18 |
| Figura 5. Composición de bandas naturales de la microcuenca Singucate-Canchaque | 19 |
| Figura 6. Composición de bandas en falso color en la microcuenca Singucate-Canchaque | 20 |
| Figura 7. Mapa de localización de caseríos y cobertura vegetal en la Microcuenca Singucate-Canchaque..... | 22 |
| Figura 8. Cobertura vegetal de la microcuenca Singucate-Canchaque y su histograma de frecuencias. | 23 |
| figura 9: Identificación de imágenes satelitales SENTINEL 02..... | 27 |
| Figura 10: Tipos de la Cobertura Vegetal en la Microcuenca Singucate-Canchaque 2024 | 28 |
| Figura 11. Mapa de uso mayor del suelo en la Microcuenca Singucate | 32 |
| Figura 12. Mapa de curvas a nivel en la Microcuenca Singucate, 2024..... | 35 |
| Figura 13. Mapa de curvas isoyetas en la Microcuenca Singucate, 2024..... | 37 |
| Figura 14. Mapa de susceptibilidad a la erosión con la cobertura vegetal en la Microcuenca Singucate, 2024 | 44 |

Índice de anexos

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Matriz de consistencia básica | 59 |
| Anexo 2. Identificación de la zona de estudio | 60 |
| Anexo 3. Matriz de Cálculo de Susceptibilidad a la Erosión..... | 60 |
| Anexo 4. Fotos | 61 |

Resumen

La cobertura desempeña un papel crucial en el equilibrio ecológico de los ecosistemas, al influir directamente en la regulación hídrica y en la conservación del suelo. En la microcuenca Singucate-Canchaque, la variabilidad altitudinal y climática condiciona la distribución espacial de la vegetación, así como su relación con los servicios ecosistémicos que provee. El presente busca caracterizar el tipo de la cobertura vegetal en esta microcuenca, estableciendo su vínculo con los servicios ecosistémicos presentes en el área. Para su desarrollo, se emplearon herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica, utilizando mapas de cobertura vegetal, curvas de nivel, isoyetas y mapas de susceptibilidad a la erosión. Los datos obtenidos fueron procesados y analizados con el fin de identificar patrones de distribución de la vegetación y evaluar su interacción con la estabilidad ecológica de la microcuenca. Los resultados evidencian que la cobertura vegetal varía significativamente en función de la altitud y la disponibilidad hídrica. En las zonas de mayor elevación predominan los bosques húmedos de montaña, caracterizados por una alta capacidad para regular el agua. En contraste, las áreas con menor precipitación y pendientes pronunciadas presentan una reducción notable en la cobertura vegetal, lo cual incrementa la vulnerabilidad del suelo a procesos erosivos. Esta dinámica condiciona la oferta de servicios ecosistémicos y la estabilidad del suelo en la microcuenca. Se determina que la distribución de la cobertura vegetal en la microcuenca responde a la interacción compleja entre altitud, precipitación y uso del suelo. Las zonas con mayor disponibilidad hídrica presentan una vegetación más densa y estable, mientras que aquellas con menor cobertura vegetal muestran signos evidentes de deterioro y riesgo erosivo, lo que demanda estrategias de manejo y conservación para garantizar la sostenibilidad ecológica de la microcuenca.

Palabras clave: cobertura vegetal, servicios ecosistémicos, regulación hídrica, erosión, microcuenca.

Abstract

Vegetation cover plays a crucial role in the ecological balance of ecosystems, directly influencing water regulation and soil conservation. In the Singucate-Canchaque microbasin, altitudinal and climatic variability determines the spatial distribution of vegetation and its relationship to the ecosystem services it provides. This study seeks to characterize the vegetation cover type in this microbasin, establishing its relationship with the ecosystem services present in the area. For this study, remote sensing tools and geographic information systems were used, utilizing vegetation cover maps, contour lines, isohyets, and erosion susceptibility maps. The data obtained were processed and analyzed to identify vegetation distribution patterns and evaluate their interaction with the ecological stability of the microbasin. The results show that vegetation cover varies significantly depending on altitude and water availability. Humid montane forests predominate in the higher elevation areas, characterized by a high capacity for water regulation. In contrast, areas with lower rainfall and steep slopes show a notable reduction in vegetation cover, which increases the soil's vulnerability to erosion. This dynamic influences the supply of ecosystem services and soil stability in the micro-watershed. It has been determined that the distribution of vegetation cover in the micro-watershed responds to the complex interaction between altitude, precipitation, and land use. Areas with greater water availability have denser and more stable vegetation, while those with lower vegetation cover show clear signs of deterioration and erosion risk, which requires management and conservation strategies to ensure the ecological sustainability of the micro-watershed.

Keywords: vegetation cover, ecosystem services, water regulation, erosion, micro-watershe

I. INTRODUCCIÓN

La naturaleza ha sido crucial para la existencia de la humanidad, ofreciendo servicios esenciales como generación de oxígeno, regulación de los sistemas climáticos, la polinización de las cosechas y la provisión de alimentos, fibra y otros recursos. Sin embargo, en las últimas décadas, la acción humana ha ejercido una presión considerable sobre los ecosistemas del planeta. Según Moran (2015), cerca del 75% de las superficies de la Tierra han sido modificadas por actividades humanas, limitando la biodiversidad a áreas cada vez más reducidas.

Esta problemática también se presenta en Perú, donde más del 60% del corresponden a territorio boscoso, situando al país entre los más boscosos del mundo. Sin embargo, la tala de árboles ha sido un desafío constante, impactando tanto los bosques naturales como los servicios ecosistémicos que estos ofrecen (SERFOR-INEI, 2021).

En la microcuenca Singucate-Canchaque, ubicada en la región Piura, esta dificultad es particularmente alarmante. Las principales actividades económicas productivas, como la agricultura y la ganadería, han contribuido a la pérdida de la cobertura vegetal. La ampliación de tierras agrícolas a través de la deforestación y la quema de vegetación ha tenido efectos adversos en los ecosistemas locales. La falta de conciencia ambiental y la ausencia de apoyo técnico para una gestión sostenible de los recursos naturales han agravado la situación, afectando tanto la producción como los servicios ecosistémicos que proporcionan los bosques secos estacionalmente, las tierras cultivadas, el matorral andino y el páramo (Proyecto Erber-CIPCA).

La microcuenca, caracterizada por la variedad de cultivos como maíz, café, plátano y legumbres, ha experimentado una disminución en su productividad en años recientes, lo que pone en peligro el sustento de sus pobladores.

El reto que enfrenta la microcuenca Singucate-Canchaque gira en torno a la necesidad de determinar el grado de cobertura vegetal, ya que esto es fundamental para la oferta de servicios ecosistémicos que son esenciales para el bienestar de la población local y el equilibrio ambiental. La vegetación no

solo regula el ciclo hídrico y protege los suelos, sino que también es vital para la sostenibilidad de las prácticas agrícolas y ganaderas que sustentan a la comunidad.

En este marco, se ha planteado la siguiente pregunta de investigación: ¿Es factible caracterizar el grado de cobertura vegetal como base de los servicios ecosistémicos de la microcuenca Singucate-Canchaque? De esta pregunta principal se desprenden diversos interrogantes específicos: En primer lugar, ¿Cómo se puede medir y describir la cobertura vegetal de la microcuenca Singucate-Canchaque? En segundo lugar, se plantea: ¿Cómo se relacionan la cobertura vegetal y los servicios ecosistémicos en la microcuenca Singucate-Canchaque? Finalmente, surge la pregunta: ¿Cómo se puede elaborar un mapa del Índice de Vegetación para la microcuenca Singucate-Canchaque?

El estudio que se presenta aquí, se sustenta en el hecho de que la vegetación es un componente esencial para el ecosistema, desempeñando tareas cruciales como regular el ciclo del agua, disminuir la erosión del suelo, proteger tanto el suelo como las tierras fértiles, moderar la temperatura del entorno, disminuir la contaminación atmosférica y embellecer el paisaje, además de ser la base de la cadena alimentaria.

El uso de la cobertura vegetal constituye una estrategia fundamental para que los agricultores puedan proteger el suelo y enriquecerse con nutrientes. Dado que la microcuenca Singucate Canchaque está predominantemente dedicada a actividades agrícolas y ganaderas, es crucial que las comunidades locales comprendan la importancia de la cobertura vegetal y su conexión con los servicios ecosistémicos que esta brinda. En años recientes, estas comunidades han sufrido una notable reducción en su productividad, lo que ha impulsado la búsqueda de soluciones y alternativas de producción que preserven la fertilidad del suelo, sean compatibles con los ecosistemas y aseguren la sostenibilidad a largo plazo, contribuyendo así a generar ingresos que mejoren la calidad de vida de los habitantes de la microcuenca.

El propósito principal de este estudio es identificar el tipo y la calidad de la cobertura vegetal en la microcuenca Singucate-Canchaque. Para alcanzar este objetivo general, se han planteado dos metas específicas: primero, evaluar y caracterizar la cobertura vegetal presente en la microcuenca; y segundo, examinar la relación entre esta cobertura y los servicios ecosistémicos que se desarrollan en la zona.

2. REVISIÓN DE LITERATURA (ESTADO DEL ARTE)

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS

a) Cobertura Vegetal

En la cuenca, las distintas clases de vegetación están determinadas por factores del entorno físico, así como por características biológicas y del suelo. Parámetros como la lluvia, la temperatura y la evaporación potencial son útiles para clasificar los diversos tipos de bosques **(Holdrige, 1919)**.

La cobertura vegetal se puede entender como la capa natural de plantas que cubre la superficie terrestre, compuesta por biomasa con variadas características físicas y ambientales, que van desde pastizales hasta bosques naturales. Además, incluye la cubierta resultante de la actividad humana, como las áreas destinadas a cultivos **(Bennett, 199)**.

b) Microcuenca

Una subcuenca se caracteriza por la unión de aguas superficiales que confluyen en un mismo cauce, alimentando dicha área, la cual generalmente abarca unas 5,000 hectáreas. Esta subcuenca incluye dieciséis elementos fundamentales, entre ellos el agua, el suelo, el clima, la vegetación, la fauna, la topografía, los recursos minerales y la actividad humana **(Vásquez Villanueva, 2000)**

c) Deforestación

Se refiere al cambio del área boscosa hacia otros usos del suelo o a una disminución considerable de la extensión forestal durante un período prolongado. Esto abarca la transformación de bosques naturales en plantaciones, terrenos agrícolas, pastizales, zonas de embalses y áreas urbanas **(Smith y Schwartz, 2015)**.

d) Servicios Ecosistémicos

Son los beneficios que los ecosistemas le brindan a las personas que incluyen recursos como alimentos y agua, funciones de regulación del clima y del ciclo hídrico, así como servicios culturales. Además, existen

servicios de soporte que son fundamentales para sostener todos estos beneficios **(Leemans et al., 2003)**

e) Uso del suelo

El término uso de suelo describe las distintas maneras en que las personas modifican el paisaje para cubrir sus requerimientos físicos y mentales. Las particularidades del uso del suelo se originan de la combinación entre factores naturales y culturales o humanos **(López, 1999)**

f) Sistemas de información geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen beneficios significativos frente a la cartografía tradicional, ya que facilitan el procesamiento automatizado de datos espaciales con referencia interna, la generación de mapas temáticos y el manejo de información digital **(Sendra, 1992)**

Un Sistema de Información Geográfica consiste en una combinación estructurada de hardware, software y datos geoespaciales que permiten la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y visualización de distintos tipos de información georreferenciada, orientada a la solución de problemas en planificación y gestión territorial **(Rincón-Ruíz et al., 2014)**

g) Curva de Isoyetas

Las curvas de isoyetas son líneas en un mapa que conectan puntos con la misma cantidad de precipitación acumulada durante un período específico. Estas líneas permiten representar de manera gráfica la distribución espacial de las lluvias sobre una región o cuenca hidrográfica, facilitando el análisis de patrones de precipitación y la planificación en la gestión del agua **(Ortega y otros, 2020)**.

h) Precipitación Media real

Es el promedio ponderado de las precipitaciones en diferentes áreas de una cuenca o región, calculada a partir de datos puntuales de lluvia

registrados en estaciones meteorológicas y representada en un mapa a través de las isoyetas (**Vargas y Uchofen, 2022**)

i) Interpolación Espacial

Es el proceso matemático mediante el cual se estiman valores de precipitación en áreas donde no se cuenta con datos directos, basándose en mediciones disponibles de estaciones cercanas. Existen diversas técnicas de interpolación, como el kriging y la inversa de la distancia ponderada (**Herrera y Castro, 2021**).

2.2 ANTECEDENTES

Small (2009) realizó un muestreo sistemático en 38 puntos clave dentro de la subcuenca Zamora-Huayco, recopilando información acerca de las formaciones vegetales, las condiciones hidrológicas y el porcentaje de materia orgánica presente en el suelo. Para analizar los datos, empleó los programas estadísticos SPS 13.0 y XLSTAT, además de aplicar la matriz de Leopold con el fin de identificar la influencia humana predominante. De manera complementaria, el estudio incluyó un análisis asociado a la materia orgánica y otros parámetros del suelo, utilizando el software ArcView 3.2 junto con imágenes satelitales ASTER para evaluar la cobertura agrícola y vegetal, las cuales fueron procesadas en Erdas Imagine 8.4.

Chura Choquevilca (2010) realizó una evaluación y caracterización de las asociaciones vegetales en el sector Ventaimedia de Poopó, proporcionando datos esenciales para determinar la capacidad productiva forrajera de cada comunidad vegetal sin comprometer la integridad del suelo. Su estudio también incluyó el análisis de diferentes tipologías de suelo para establecer su potencial de uso, teniendo en cuenta factores como la vegetación existente, el uso actual del terreno, la fisiografía, el material parental y la disponibilidad de agua. El objetivo era optimizar el aprovechamiento de estos recursos, así como identificar áreas susceptibles a la contaminación derivada de actividades mineras. Para ello, utilizó

herramientas tecnológicas avanzadas como la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG).

Ortega Molina (2014) analizó la dinámica del agua, los nutrientes y la erosión en diversas coberturas vegetales de los Andes colombianos, que incluían cultivos sin residuos, pastizales y bosques secundarios. Los resultados mostraron que los bosques tenían la mejor capacidad para manejar el agua, con una escorrentía superficial muy baja del 0.69%, mientras que los pastizales presentaron las mayores pérdidas de nitrógeno, fósforo y suelo, siendo hasta 92, 44 y 30 veces superiores a las del bosque, respectivamente. Este estudio enfatiza la relevancia de los bosques altoandinos para conservar el suelo, regular el agua y mantener el ciclo de nutrientes, asegurando así la provisión de servicios ecosistémicos clave.

Manscera Sanabria (2019) realizó un estudio de Murca -River Micro Lasin, en Colombia, utilizando métodos geomáticos y una medición remota con imágenes satelitales Landsat 5 y 8 para mapear los servicios de ecosistemas relacionados con la regulación del agua. Los resultados mostraron un aumento en el recubrimiento de vegetación de 1998 a 2015, lo que mejoró la potencia del control del agua en el área. Además, se concluyó que la medición remota es una herramienta útil para monitorear estos servicios y gestión ambiental.

Robayo Ávila (2019) realizó una investigación sobre la vegetación del Jardín Botánico de Bogotá de nombre José Celestino Mutis, tomando como base imágenes del satélite Landsat 8. En su estudio, examinó la flora urbana utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (GIS), elaborando estadísticas sobre la vegetación a partir de 250 pruebas elegidas al azar en la zona urbana de Bogotá. Este análisis tenía como objetivo comprobar la hipótesis de conexiones lineales entre la vegetación y diez índices relacionados. Su estudio también contempló la identificación de los servicios ecosistémicos que modulan la cobertura vegetal encontrada en muestras estudiadas.

Ato y Gonzales (2019) llevaron a cabo un análisis sobre cómo la modificación en la cobertura de vegetación afecta la cantidad de agua en

la microcuenca Amojú, situada en Jaén, durante el lapso de 1995 a 2019. A través de imágenes satelitales obtenidas de LANDSAT y utilizando el sistema de clasificación Corine Land Cover, lograron diferenciar siete categorías de cobertura vegetal y su uso. Los hallazgos mostraron una reducción de 2638.64 hectáreas en la extensión de bosque denso alto, así como una merma de 1.50032 m³/s en el flujo del río Amojú. También determinaron una relación promedio entre el caudal y el bosque de 1:1646.582, lo que implica que por cada m³/s de caudal que se perdió, se extinguieron aproximadamente 1646.582 hectáreas de bosque denso alto. En su conclusión, afirmaron que la alteración en la cobertura vegetal influyó de manera considerable en la disminución del caudal de la microcuenca, anticipando que el caudal medio caiga a 0.9887 m³/s para el año 2050.

Cayambe y Simancas (2020) llevaron a cabo un estudio en la cuenca alta del río Jubones, Ecuador, con el objetivo de caracterizar la cobertura vegetal y proponer medidas para la recuperación de áreas degradadas mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Evaluaron el estado de salud de la vegetación utilizando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que reveló que gran parte del área estudiada presentaba vegetación en buen estado, aunque algunas zonas mostraban signos de degradación. A través del análisis con imágenes satelitales, generaron mapas temáticos que identificaron áreas estratégicas para la intervención. Las interpretaciones finales indicaron que aproximadamente el 40% del área requería medidas urgentes de recuperación, lo que llevó a la formulación de estrategias de manejo sostenible.

En su investigación, **Alayo Calizaya (2021)** examina de qué manera la vegetación impacta en los servicios hídricos del ecosistema dentro de la gestión del agua destinada al consumo humano, enfocándose en el sistema hidrogeológico y su zona de resguardo de la región Arequipa. Su trabajo empleó un método cuantitativo con un diseño correlacional en términos estadísticos, llevando a cabo mediciones tanto en el presente como proyecciones. Además, empleó técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica para analizar los cambios en la cobertura vegetal

desde 1984 hasta 2021, utilizando cinco métricas de vegetación (ARVI, EVI, NDVI, SR, SIPI). Además, el estudio llevó a cabo un análisis comparativo de las modificaciones en la cobertura vegetal y examinó cómo estas transformaciones se relacionan con la gestión de los recursos hídricos, tomando en cuenta el rol de los diversos actores involucrados en la administración de dichos sistemas.

Según Bazan et al. (2021), realizaron un estudio con el fin de clasificar los tipos de cobertura vegetal en la subcuenca utilizando el clasificador Árbol de decisiones. Esta investigación, de enfoque descriptivo y no experimental, se basó en imágenes satelitales Landsat 8 y el índice NDMI. Los hallazgos mostraron que hay cuatro clases principales de vegetación: pajonal andino, bosque, bofedal y arbusto. El pajonal andino fue el más extendido, con una superficie de 4405,86 hectáreas, mientras que el bofedal fue el menos representado, con 190,71 hectáreas. En conclusión, se identificaron estos cuatro tipos de vegetación como los principales en la subcuenca Quillcay.

Guzmán Guaraca (2021) Examinó cómo variaron el rendimiento y la oferta de servicios ecosistémicos en las categorías predominantes de uso del suelo, específicamente en cultivos agrícolas y pastizales naturales de la cuenca alta del Río Sauce Chico entre 2001 y 2017. Para ello, se analizaron aspectos clave como la evapotranspiración del dosel, el albedo y los cambios estacionales de la vegetación, empleando el índice NDVI obtenido a partir de datos del sensor MODIS y procesados mediante Google Earth Engine. Asimismo, se elaboró un índice destinado a cuantificar la oferta de servicios ecosistémicos. Los resultados indicaron que las diferencias anuales en evapotranspiración entre las coberturas fueron relativamente bajas, mientras que los cultivos agrícolas mostraron mayor variabilidad en el albedo. En cuanto a la actividad fotosintética, tanto los cultivos como los pastizales presentaron patrones similares, con picos en los periodos de mayor contenido de agua en el suelo, desde febrero hasta abril y de septiembre a diciembre.

Rivera A. (2022) llevó a cabo una investigación sobre la vegetación en la subcuenca Santa Eulalia, ubicada en Lima-Perú, durante los años 2003 a

2019, con el fin de analizar las variaciones en la cobertura vegetal a lo largo de ese tiempo. La investigación aplicó un enfoque descriptivo y un diseño cuantitativo de tipo longitudinal, utilizando imágenes satelitales de Landsat 5 y Landsat 8, además del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para clasificar la vegetación en densa, poco densa, suelo expuesto y cuerpos de agua. Los hallazgos revelaron una reducción promedio anual de 2.65 km² en la vegetación poco densa y de 0.81 km² en la densa. Asimismo, se observó un leve incremento en la superficie de agua, mientras que el área de suelo desnudo creció a un ritmo de 3.44 km² por año. El estudio determinó que los cambios en la vegetación son resultado de la actividad humana y eventos naturales, enfatizando así la necesidad de implementar medidas para la conservación.

En una investigación reciente, **Cusic (2023)** estudió cómo ha cambiado la cobertura de vegetación en la microcuenca Chorrillos, que se encuentra en el distrito de Huancayo, con la intención de evaluar la reducción de esta cobertura entre 2000 y 2020. Este estudio, que utilizó un enfoque tanto descriptivo como a largo plazo, se basó en imágenes satelitales de Landsat 7 y 8 procesadas a través de ArcGIS. Los resultados indicaron una significativa baja en la cobertura vegetal, resaltando una caída del 94,67% en las áreas de pajonal andino, mientras que las zonas destinadas a la agricultura crecieron un 36,86%. Se determinó que las modificaciones en el uso del suelo han impactado de forma adversa a la vegetación, promoviendo actividades agrícolas y forestales en desmedro de los ecosistemas naturales.

Guzmán G. et al. (2023) estudiaron la vegetación y su influencia en la oferta de servicios ecosistémicos de la Cuenca Alta del Río Sauce Chico entre 2001-2017, utilizando teledetección y sistemas de información geográfica. Se estudiaron principalmente pastizales naturales y áreas agrícolas mediante índices como el NDVI y el IPSE. Los resultados mostraron que los pastizales naturales constituyeron el 65% de la cobertura y mantuvieron valores elevados de NDVI (>0.65), indicando una alta capacidad fotosintética y un gran potencial para proveer servicios ecosistémicos. Por otro lado, las zonas agrícolas, que cubrían el 25%,

mostraron mayor estacionalidad y valores de NDVI entre 0.35 y 0.50, lo que limita su función en la retención de agua y el secuestro de carbono.

Guerrero et al. (2023) llevaron a cabo un diagnóstico ambiental en la microcuenca Río de Oro-Ecuador, identificando los factores abióticos, bióticos y socioeconómicos que condicionan la zona. Emplearon sistemas de información geográfica y análisis morfológico para evaluar el uso del suelo, la geología, la cobertura vegetal y también consideraron factores sociales. Los resultados mostraron que las áreas agropecuarias predominan con un 56% de la superficie, mientras que la cobertura vegetal natural ha disminuido en un 22% en los últimos 15 años debido a la expansión agrícola no controlada. Además, se evidenció una degradación ambiental significativa, con alta contaminación en zonas ribereñas atribuida a desechos sólidos y aguas residuales, afectando negativamente la calidad de la vegetación y comprometiendo la integridad ecológica de la microcuenca.

En un estudio reciente, **Sucoshañay et al. (2024)** realizaron un análisis en la microcuenca del Río Sandalias, ubicada en Pastaza, Ecuador, con el propósito de examinar cómo se distribuye la vegetación usando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). A través de imágenes obtenidas del satélite Landsat 9, calcularon el NDVI y hallaron valores que oscilaron entre -0.2 y 0.5. Los hallazgos mostraron que el 60.8% del área estaba cubierta por vegetación escasa, mientras que la vegetación de tipo moderado representó el 32%, lo que indica una considerable carencia de vegetación densa. Esto sugiere un posible nivel moderado de degradación en la microcuenca, a menudo asociado con el crecimiento agrícola y cambios en la utilización del suelo. El estudio concluye que es vital desarrollar estrategias de conservación y restauración para aumentar la cobertura verde y garantizar la funcionalidad ecológica de la microcuenca.

MINAM (2012), Realizó el mapa de cobertura vegetal, mediante el cual se obtuvo información de la superficie, características generales y distribución geográfica de varios tipos de cobertura vegetal existente en el país. Fue elaborado en base a imágenes satelitales en 2011 con una escala de interpretación de 1: 100,000; El área mínima de mapeo es de 16 ha y 5 ha

en casos especiales, que muestran un total de 60 unidades de unidades de vegetación y 16 unidades que pertenecen a otros tipos de recubrimiento.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES, EQUIPOS-SOFTWARE

Para el desarrollo de la investigación, se utilizaron diversos materiales, equipos y software que permitieron llevar a cabo cada una de las etapas del estudio en la microcuenca Singucate-Canchaque. Entre los materiales empleados, se utilizaron un cuaderno de trabajo, lápiz de grafito, goma de borrar, bolígrafo, hojas A4 y calzado adecuado, los cuales fueron fundamentales para la toma de notas y la protección del investigador durante el trabajo de campo.

En cuanto a los equipos, se emplearon una laptop, impresora, GPS, pilas y dron, los cuales facilitaron la recopilación de datos. Para el procesamiento y análisis de los datos recolectados, se utilizó software especializado. Entre ellos, Word se empleó para la redacción y organización del informe; Google Earth Pro fue utilizado para la visualización y exploración de imágenes satelitales del área de estudio, lo que ayudó a contextualizar la cobertura vegetal en la microcuenca; y ArcGis 10.3 fue indispensable para la creación de mapas y el análisis espacial de la información recolectada.

3.1.1 Materiales

- ❖ Cuaderno de trabajo.
- ❖ Lápiz de grafito.
- ❖ Goma de borrar.
- ❖ Bolígrafo.
- ❖ Hojas A4.
- ❖ Calzado adecuado

3.1.2 Equipos.

- ❖ Laptop.
- ❖ La Impresora.
- ❖ GPS
- ❖ Pilas.

- ❖ Dron.

3.1.3 Software.

- ❖ Word.
- ❖ Google Earth Pro.
- ❖ Arc Gis 10.3.

3.2 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.

3.2.1 Trabajo de gabinete.

Para llevar a cabo la investigación, se implementaron dos fases metodológicas clave: el trabajo de gabinete y el trabajo de campo, cada uno complementado por un análisis detallado de los resultados obtenidos.

En la etapa de trabajo de gabinete se recopiló información secundaria de fuentes confiables y actualizadas. Dentro de este proceso se llevó a cabo la búsqueda y obtención de imágenes satelitales de alta resolución de los satélites Landsat 8 y Sentinel-2, elegidas por su utilidad para el estudio de la cobertura vegetal y las características geográficas de la microcuenca Singucate-Canchaque. Estas imágenes fueron procesadas mediante el uso del software ArcGIS, que permitió realizar análisis espaciales avanzados y procesamiento de datos ráster, como la corrección radiométrica, clasificación y extracción de información temática. Para complementar la interpretación y facilitar la comparación con los datos de campo, también se utilizaron imágenes visualizadas en Google Earth Pro. Este conjunto de herramientas y datos proporcionó una visión detallada sobre la distribución y variabilidad de las condiciones ambientales en la microcuenca.

3.2.2 Trabajo de Campo

El primer paso consistió en estructurar cuidadosamente las salidas de campo hacia las parcelas seleccionadas, asegurando una cobertura adecuada de los distintos pisos altitudinales presentes en la microcuenca. Durante estas salidas, se empleó tecnología de dron para obtener imágenes aéreas de alta resolución, lo que permitió complementar la observación directa en terreno con un análisis visual amplio y detallado. De este modo, fue posible realizar una comparación más exhaustiva entre las condiciones reales y las representaciones espaciales de la cobertura vegetal.

Se realizó la evaluación de diversos tipos de formaciones vegetales presentes en la zona, así como de las características hidrogeológicas asociadas, la altitud y la posición geográfica de cada parcela de estudio. Trabajo de campo cubierto entre 10 y 20 visitas a cada piso de altura, alcanzando un rango total de 30 a 60 parcelas que se observan durante todo el proceso. Estas diversas evaluaciones facilitaron una comprensión completa y detallada de las modificaciones y particularidades de la cobertura vegetal en la microcuenca, aspectos fundamentales para el estudio ambiental y la interpretación del ecosistema de la zona.

3.2.3 Resultados

En la sección de resultados, se procedió a clasificar las formaciones vegetales observadas y a describir sus características principales. Además, se estableció una relación entre los servicios ecosistémicos y las diferentes formaciones vegetales encontradas, con el objetivo de comprender cómo la vegetación contribuye al equilibrio ambiental y a la sostenibilidad en la microcuenca.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

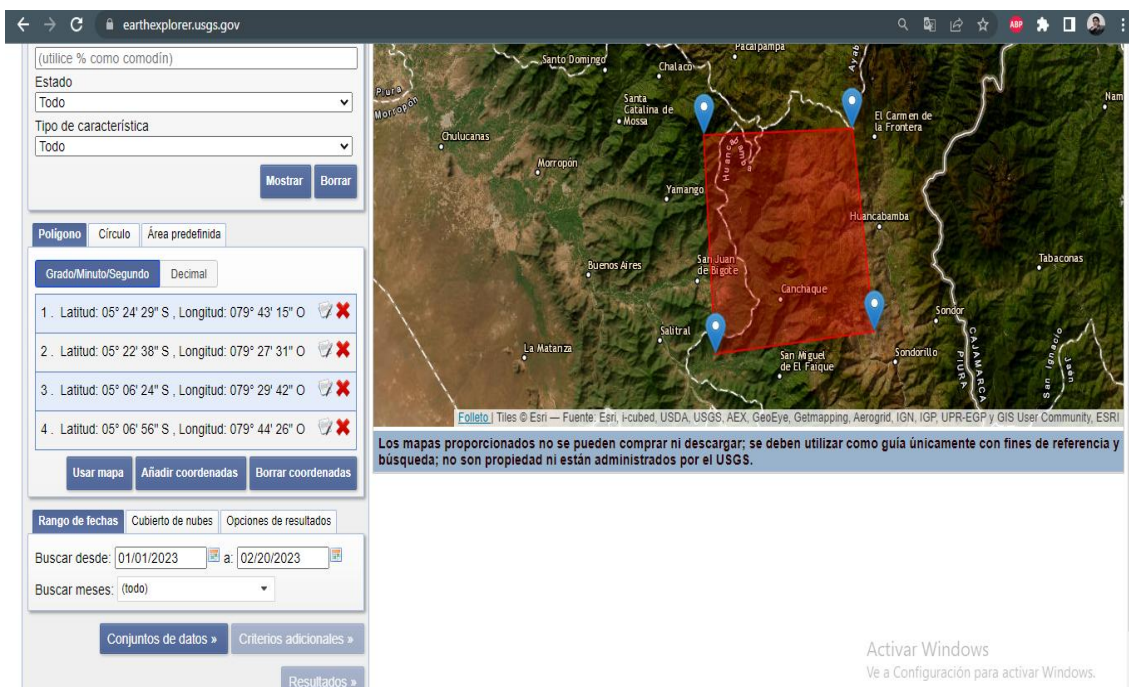
4.1 Presentación de los resultados

4.1.1 Identificación de imágenes Landsat 8

Para recopilar las imágenes satelitales Landsat 8 necesarias para el análisis de la microcuenca, se empleó la plataforma digital Earth Explorer ofrecida por el USGS. El proceso se inició definiendo la zona de interés mediante la inserción de coordenadas geográficas en la herramienta de selección de área, donde se delimitaron los vértices de un polígono que abarca la cuenca de estudio. De este modo, se garantizó que las imágenes descargadas cubrieran exactamente la superficie requerida.

Posteriormente, se estableció el periodo de búsqueda ajustando las fechas específicas de interés, permitiendo así filtrar los resultados para obtener escenas que coincidieran con las condiciones y temporalidad del trabajo. Tras definir la región y el rango temporal, se seleccionó el conjunto de datos correspondiente al sensor Landsat 8, reconocido por la calidad de la información que proporciona

Figura 1: Delimitación del área de estudio en la microcuenca Siguncate-Canchaque con imágenes satelitales LANDSAT 8



Nota: Nota: El área de estudio está delimitada por un recuadro rojo que abarca las zonas del distrito de San Juan de Bigote, Canchaque y San Miguel de El Faique. Las imágenes satelitales corresponden a datos obtenidos de los satélites LANDSAT 8 y 9.

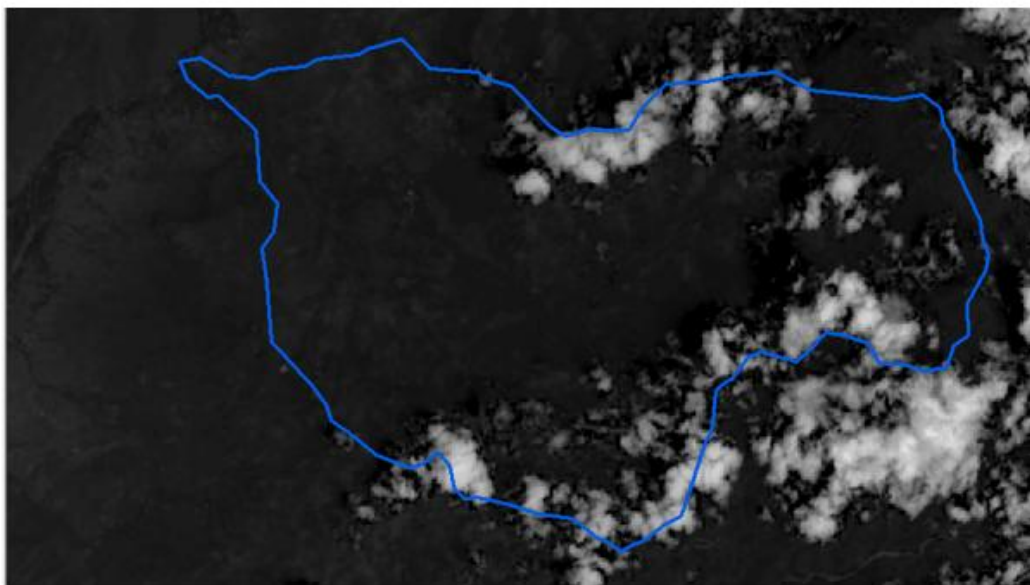
Figura 2: Ubicación regional de la microcuenca Singucate-Canchaque



Nota. Fuente: Las imágenes satelitales corresponden a datos obtenidos de los satélites LANDSAT 8 y 9.

Esta imagen presenta la localización de la microcuenca Singucate-Canchaque, destacada en un recuadro rojo, en el contexto geográfico del norte del Perú. Se observa su posición relativa respecto a las regiones vecinas, como Piura, Cajamarca y Amazonas. La superposición de datos satelitales proporciona un panorama amplio del área de estudio, permitiendo identificar la relación geográfica entre la cuenca y los territorios circundantes. Este mapa es útil para ubicar espacialmente la microcuenca en relación con su entorno regional.

Figura 3. Composición de bandas satelitales inicial en la microcuenca Singucate-Canchaque



Nota: Fuente: Imagen satelital sin corrección de color, obtenida de un sensor de LANDSAT

Esta imagen de escala de grises muestra la microcuenca Singucate Canchaque sin la aplicación de corrección del color. Se observa que la delimitación de la microcuenca está marcada con una línea azul que sigue los contornos del área de estudio. Esta composición inicial de bandas satelitales se utiliza como referencia base para la evaluación de características del terreno, pero carece de los detalles que se resaltan con la corrección de color. La falta de diferenciación en las tonalidades de la imagen impide la identificación precisa de la vegetación y cuerpos de agua en el área de estudio.

La imagen fue creada mediante la combinación de bandas satelitales de diferentes longitudes de onda, capturadas por el sensor LANDSAT. Las bandas utilizadas aquí fueron seleccionadas para proporcionar una visión inicial del área de estudio, resaltando las características geográficas principales, como el relieve y las diferencias en la superficie del terreno.

Figura 4. Imagen satelital corregida de la microcuenca Singucate-Canchaque con composición de bandas ajustada



Nota: Fuente: Imagen satelital corregida obtenida de un sensor de LANDSAT para el área de estudio de la microcuenca Singucate Canchaque, con ajustes de color -corrección atmosférica.

La imagen muestra la microcuenca Singucate-Canchaque con una corrección de color aplicada, lo que permite una visualización más clara y detallada de la cobertura vegetal y otros elementos del terreno. La delimitación del área de estudio está marcada en azul. A diferencia de la imagen en escala de grises, la corrección de color en esta imagen resalta variaciones en el terreno y la vegetación, mejorando la capacidad de identificar zonas de interés, como áreas con mayor densidad forestal o cambios en la cobertura del suelo. Este procesamiento de color permite un análisis más preciso del estado de la vegetación en la microcuenca.

Figura 5. Composición de bandas naturales de la microcuenca Singucate Canchaque



La imagen que refleja la figura 5 representa una composición de bandas naturales, en la cual las áreas de vegetación se muestran con un tono verde predominante, lo que facilita la identificación de zonas con mayor cobertura vegetal. Esta composición, basada en bandas visibles, permite tener una referencia visual del estado del terreno y de las áreas cubiertas por vegetación densa, principalmente en las zonas medias y superiores de la cuenca.

La composición de las bandas de esta figura permite identificar con mayor precisión la distribución de la vegetación en la microcuenca. Según Mancera (2019), el análisis multitemporal de imágenes satelitales es esencial para detectar cambios en la cobertura vegetal y evaluar la capacidad de las cuencas para regular los servicios ecosistémicos, especialmente los hídricos. En el caso de la microcuenca Singucate-Canchaque, la imagen sugiere que las áreas con mayor cobertura vegetal podrían estar contribuyendo de manera significativa a la retención de humedad y regulación hídrica, como fue señalado por Ortega Molina (2014), quien resaltó la importancia crucial de los bosques en la mejora del ciclo de nutrientes y en la conservación del suelo.

Además, tal como lo mostraron Cayambe y Simancas (2020) en su estudio de la cuenca alta del río Jubones, la identificación de áreas con signos de degradación es crucial para la planificación de estrategias de recuperación. En la figura 8, las áreas con menor densidad de vegetación pueden estar expuestas a procesos de degradación, similares a los descritos en la cuenca de Jubones, donde el 40% de la superficie requería medidas urgentes de restauración. Estas áreas de baja cobertura de la microcuenca Singucate-Canchaque podrían beneficiarse de acciones de reforestación para mejorar la provisión de servicios ecosistémicos.

En comparación con estudios como el de Ato y Gonzales (2019), quienes encontraron una correlación entre la pérdida de cobertura vegetal y la disminución de caudal en la microcuenca Amojú, es plausible inferir que áreas de baja cobertura vegetal en la microcuenca Singucate-Canchaque podrían estar contribuyendo a una reducción en la capacidad de regulación hídrica, esto subraya la relevancia de una correcta gestión de la vegetación para preservar el equilibrio ecológico y los beneficios ambientales.

Figura 6. Composición de bandas en falso color en la microcuenca Singucate-Canchaque



La figura 6 utiliza una combinación de bandas en falso color, donde las zonas de vegetación aparecen en tonos rojos y anaranjados, lo que facilita la diferenciación entre áreas con alta actividad fotosintética y suelos descubiertos o zonas degradadas.

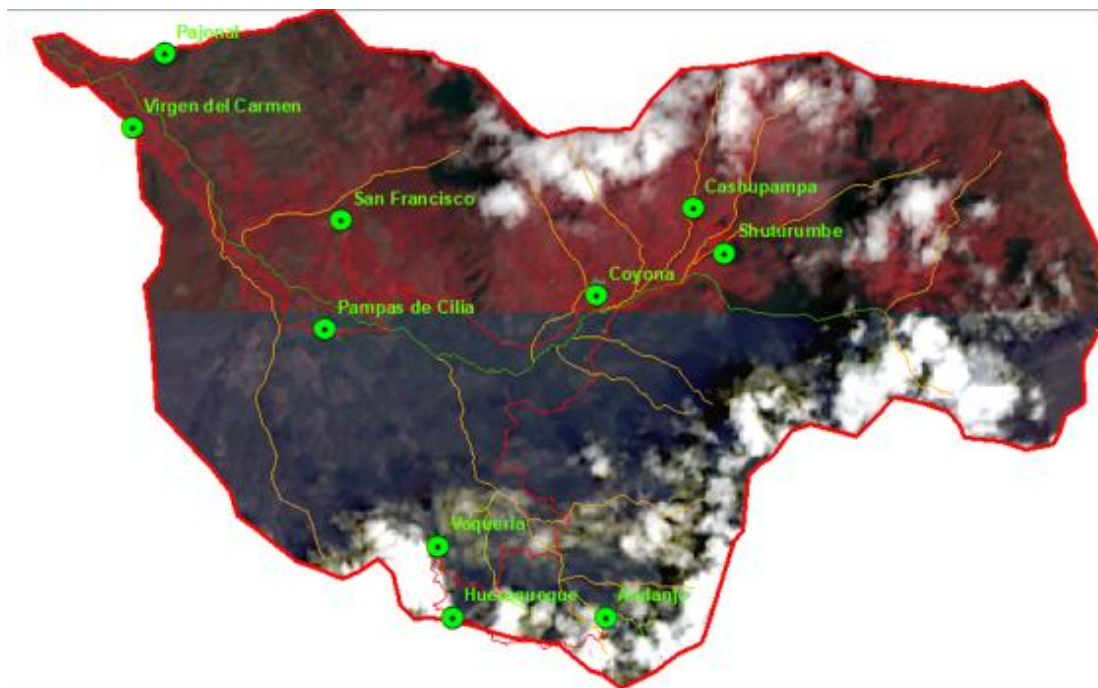
En esta imagen, las zonas en rojo brillante corresponden a áreas con vegetación más saludable, principalmente en las partes media y baja de la cuenca, donde las condiciones de humedad favorecen un mayor desarrollo vegetal. Según Rivera (2022), el uso del NDVI y el análisis infrarrojo en imágenes satelitales es clave para la clasificación de la vegetación en categorías de densidad, tal como se observa en esta figura. Las áreas en rojo indican vegetación densa, lo que sugiere que estas zonas están en buenas condiciones y probablemente juegan un papel importante en la provisión de servicios ecosistémicos, como la retención de agua y la mitigación de la erosión.

Maza (2009) destacó la aplicación de imágenes infrarrojas para el análisis de la cobertura vegetal como una técnica eficaz para medir los impactos antropogénicos sobre los ecosistemas. En la microcuenca Singucate-Canchaque, esta técnica permite observar que, aunque existen áreas con vegetación densa, también hay zonas donde la vegetación está fragmentada o es menos abundante, lo que podría estar vinculado a actividades humanas como la agricultura extensiva.

Sucoshañay et al. (2024) también enfatizaron la importancia de monitorear la degradación de la vegetación utilizando imágenes infrarrojas, especialmente en áreas con presión agrícola. En la microcuenca Singucate-Canchaque, las áreas de menor densidad de vegetación, que no están coloreadas en rojo, podrían estar experimentando procesos de degradación similares a los observados en la cuenca del río Sandalias, donde la expansión agrícola ha sido un factor determinante en la reducción de la cobertura vegetal.

Guzmán Guaraca (2021), en su análisis de la cuenca alta del río Sauce Chico, encontró que las áreas con mayor actividad fotosintética presentaban una mayor capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos principalmente el secuestro de carbono y retención del agua. En la microcuenca Singucate-Canchaque, es probable que las áreas en rojo (alta actividad fotosintética) estén contribuyendo de manera significativa a la regulación de los ciclos hidrológicos y al mantenimiento de la biodiversidad local, mientras que las áreas de baja cobertura podrían requerir intervención para restaurar su funcionalidad ecológica.

Figura 7. Mapa de localización de caseríos y cobertura vegetal en la Microcuenca Singucate-Canchaque.



Nota: Fuente: Elaboración propia con imágenes satelitales LANDSAT, utilizando ArcGIS Pro para la delimitación y mapeo.

Esta figura muestra como se distribuyen los principales caseríos en la microcuenca Singucate-Canchaque, sobre un mapa de cobertura vegetal generada a partir de imágenes satelitales. Se destacan los caseríos como Pajonal, Virgen del Carmen, San Francisco, entre otros, dentro del área delimitada, lo que permite observar la relación cobertura vegetal -asentamientos humanos.

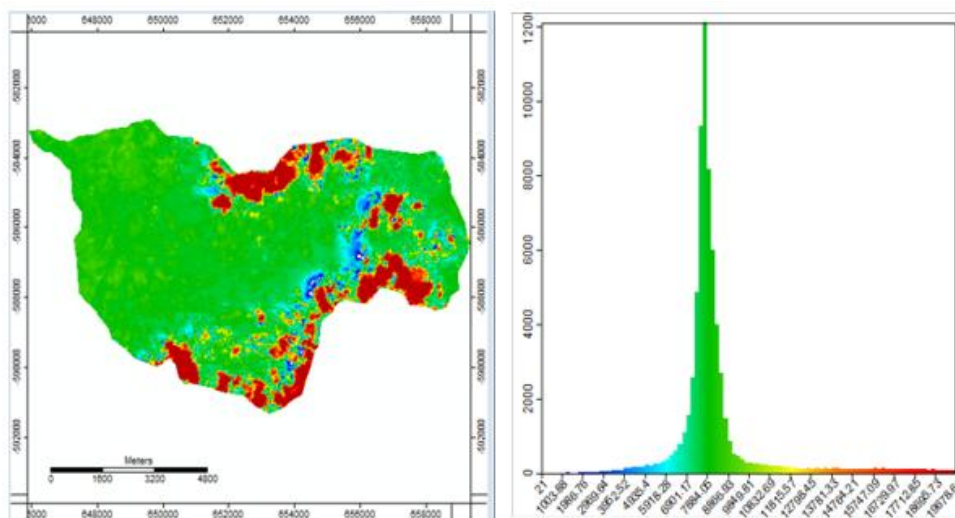
La figura muestra una interacción constante entre las áreas de asentamientos humanos y la cobertura vegetal. De acuerdo con Maza (2009), el uso de herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica facilita la evaluación de la vegetación y la identificación de cambios antropogénicos, como la pérdida de vegetación alrededor de los caseríos. Los caseríos, ubicados principalmente en áreas con menor densidad vegetal, sugieren un impacto directo de las actividades humanas sobre el paisaje.

Los hallazgos de este análisis coinciden con los reportados en las investigaciones de Ortega Molina (2014), quien identificó que las coberturas vegetales como el bosque juegan un rol crucial en la regulación de los recursos

hídricos, lo que es esencial para la sustentabilidad de los caseríos que dependen de estos servicios. Sin embargo, como señaló Robayo Ávila (2019), el crecimiento de las áreas urbanas y los caseríos puede disminuir la capacidad de la vegetación para ofrecer estos servicios, especialmente si no se gestiona adecuadamente el crecimiento urbano.

Por otra parte, los estudios de Bazan et al. (2021) en la subcuenca Quillcay destacan la importancia de la diversidad de la cobertura vegetal para mantener un balance ecológico. En el caso de la microcuenca Singucate-Canchaque, la predominancia de áreas de matorral y pajonales sugiere que, si bien existen coberturas vegetales presentes, la presión de los caseríos podría estar reduciendo su efectividad para retener humedad y mitigar la erosión del suelo. Esto se manifiesta en la necesidad de intervenciones que promuevan la restauración ecológica, como se ha mencionado en trabajos de Sucoshañay et al. (2024), quienes argumentan que las estrategias de conservación en áreas vulnerables como esta son esenciales para asegurar la funcionalidad de los ecosistemas en el largo plazo.

Figura 8. Cobertura vegetal de la microcuenca Singucate-Canchaque y su histograma de frecuencias.



Fuente: Elaboración propia basada en imágenes satelitales de la microcuenca Singucate-Canchaque.

Esta figura presenta la clasificación de la cobertura vegetal de la microcuenca Singucate-Canchaque. A la izquierda se muestra el mapa clasificado por tipos

de cobertura vegetal, representados en diferentes colores, mientras que a la derecha se observa el histograma de frecuencias que detalla la distribución de las clases de cobertura identificadas en la imagen.

Cobertura verde intenso: Representa áreas con vegetación densa, probablemente compuesta por bosque o matorrales densos. Este tipo de cobertura es fundamental para la regulación hídrica, la protección del suelo contra la erosión, y la retención de carbono, como señalan Cayambe y Simancas (2020) en su estudio sobre la cuenca del río Jubones.

Cobertura amarilla: Corresponde a vegetación moderada, como pastizales o áreas de cultivo en crecimiento. Estas zonas juegan un rol importante en la economía local y tienen una capacidad moderada para ofrecer servicios ecosistémicos como la regulación de flujos hídricos. En el estudio de Cusic (2023) sobre la microcuenca Chorrillos, se observó una tendencia a la expansión de estas áreas en detrimento de los ecosistemas naturales.

Cobertura roja: Indica áreas con suelos desnudos o vegetación escasa. Esto podría ser el resultado de la deforestación, actividades agrícolas intensivas o erosión, lo que afecta negativamente los servicios ecosistémicos. Rivera (2022) identificó en su análisis una tendencia similar en la subcuenca Santa Eulalia, donde los cambios en el uso del suelo provocaron una disminución en la vegetación y un aumento en la erosión del suelo.

Cobertura azul: Se identifica con zonas de cuerpos de agua o humedales, que son vitales para la regulación del ciclo hídrico y la biodiversidad. Estas áreas pueden ser reducidas debido a la expansión agrícola o la intervención humana, como señalaron Ato y Gonzales (2019), quienes identificaron una correlación directa entre la pérdida de cobertura vegetal y la reducción de caudales en la microcuenca Amojú.

El histograma adjunto complementa la visualización del mapa al mostrar la distribución cuantitativa de cada clase de cobertura vegetal en la microcuenca. El pico mayor se encuentra en la cobertura verde, lo que sugiere que la mayor parte del área está cubierta por vegetación densa, lo cual es un indicador positivo para los servicios ecosistémicos relacionados, tal como lo observaron Guzmán et al. (2023) en la cuenca del río Sauces Chico. Sin embargo, la presencia

notable de áreas rojas (suelos desnudos) y amarillas (vegetación moderada) plantea la necesidad de implementar estrategias de conservación, como lo sugieren Mancera (2019) y Bazan et al. (2021) en estudios similares sobre el impacto significativo que tiene la cobertura vegetal en la regulación hídrica y la mitigación del cambio climático.

Según Rivera (2022), la clasificación de la vegetación a través de imágenes satelitales es un enfoque efectivo para monitorear los cambios en la cobertura vegetal a lo largo del tiempo. En este caso, el mapa muestra que la mayor parte de la vegetación se concentra en las áreas verdes, lo que sugiere una cobertura vegetal densa y en buen estado. Esto concuerda con lo observado por Cusic (2023), quien documentó que áreas con vegetación densa tienen una mayor capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos, como la regulación hídrica y la retención de carbono.

El histograma a la derecha permite interpretar mejor la proporción de cada tipo de cobertura vegetal en la microcuenca. Tal como señalaron Ato y Gonzales (2019) en su estudio sobre la relación entre la cobertura vegetal y los caudales de agua, la reducción de áreas verdes en favor de otras coberturas, como suelos desnudos o agrícolas (colores rojos o amarillos), podría impactar negativamente en la capacidad de la cuenca para regular el agua y mantener el equilibrio ecológico.

4.1.2 Identificación de imágenes sentinel

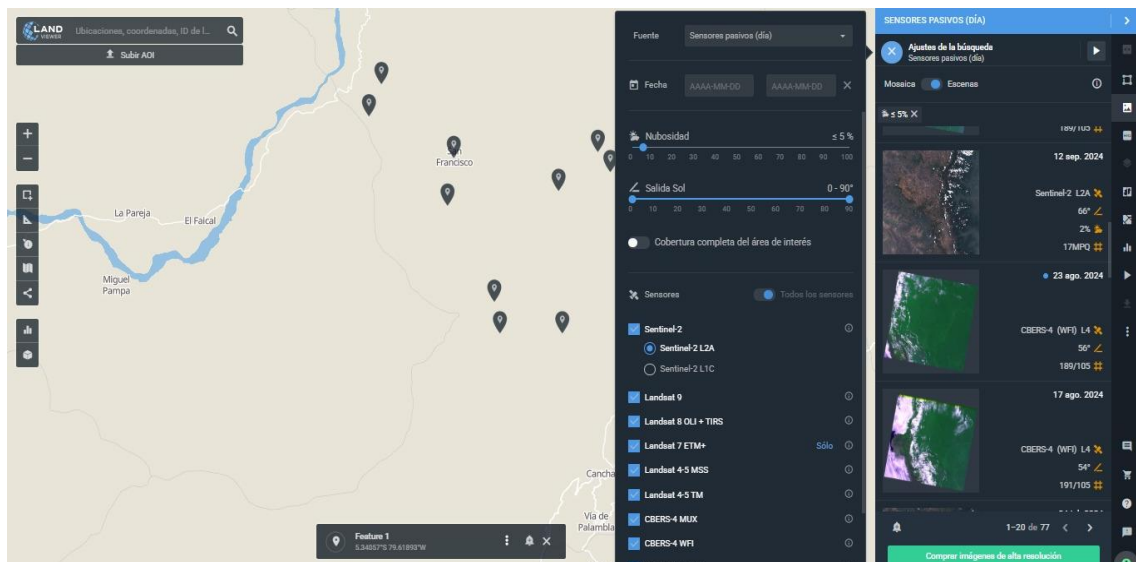
Para la obtención de imágenes satelitales Sentinel-2 se utilizó la plataforma Land Viewer, especializada en la gestión y visualización de datos geoespaciales. En primer lugar, se ingresaron las coordenadas exactas recolectadas durante las actividades de campo, lo que permitió delimitar con precisión el área de estudio mediante la construcción de un polígono en el mapa digital. Este procedimiento garantizó que las imágenes seleccionadas cubrieran íntegramente la zona de interés.

Posteriormente, se configuraron filtros específicos en Land Viewer, tales como el rango de fechas, el porcentaje máximo de nubosidad y el horario de adquisición, para filtrar las escenas disponibles y asegurar la calidad de las

imágenes seleccionadas. En la sección de sensores, se optó por Sentinel-2, seleccionando el nivel de procesamiento adecuado según los requerimientos del estudio.

La plataforma respondió mostrando un listado de imágenes disponibles, detallando la fecha de captura y el porcentaje de nubosidad de cada una. Tras realizar una visualización previa para evaluar la calidad y cobertura, se procedió a descargar aquellas escenas que cumplían con los criterios definidos y que presentaban cobertura total del área delimitada. Este método permitió obtener datos satelitales actualizados y confiables, fundamentales para el análisis espacial y ambiental de la microcuenca.

Ilustración 1: Descarga de imágenes sentinel 2.



Fuente: Plataforma Land Viewer

figura 9: Identificación de imágenes satelitales SENTINEL 02



Nota : Imagen sentienel 02 procesada en Argis mediante composición de bandas 4, 3 y 2.

Las imágenes sentinel 02 proporcionan una resolución de 10 metros contienen 13 bandas para realizar filtros a color natural y falso color o componer índices espectrales a máxima resolución, estos satélites forman parte del programa copernicus de la comisión europea. Estas imágenes proporcionan presentan un gran potencial en cuento a monitoreo sistemático de la cobertura boscosa en todo el mundo de acuerdo a lo manifestado por Puerta Tuesta, R. H., Iannacone Oliver, J. A., & Reategui Inga, M. E. (2023).

4.1.3 Elaboración de NDVI a partir de imágenes satelitales SENTINEL 02

El NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) es un índice espectral empleado comúnmente para evaluar la cobertura y el estado de la vegetación a partir de imágenes satelitales multiespectrales. En este estudio, se utilizó una imagen Sentinel-2 con procesamiento de nivel 2A, que corresponde a la reflectancia superficial, obtenida desde la plataforma Copernicus Open Access Hub.

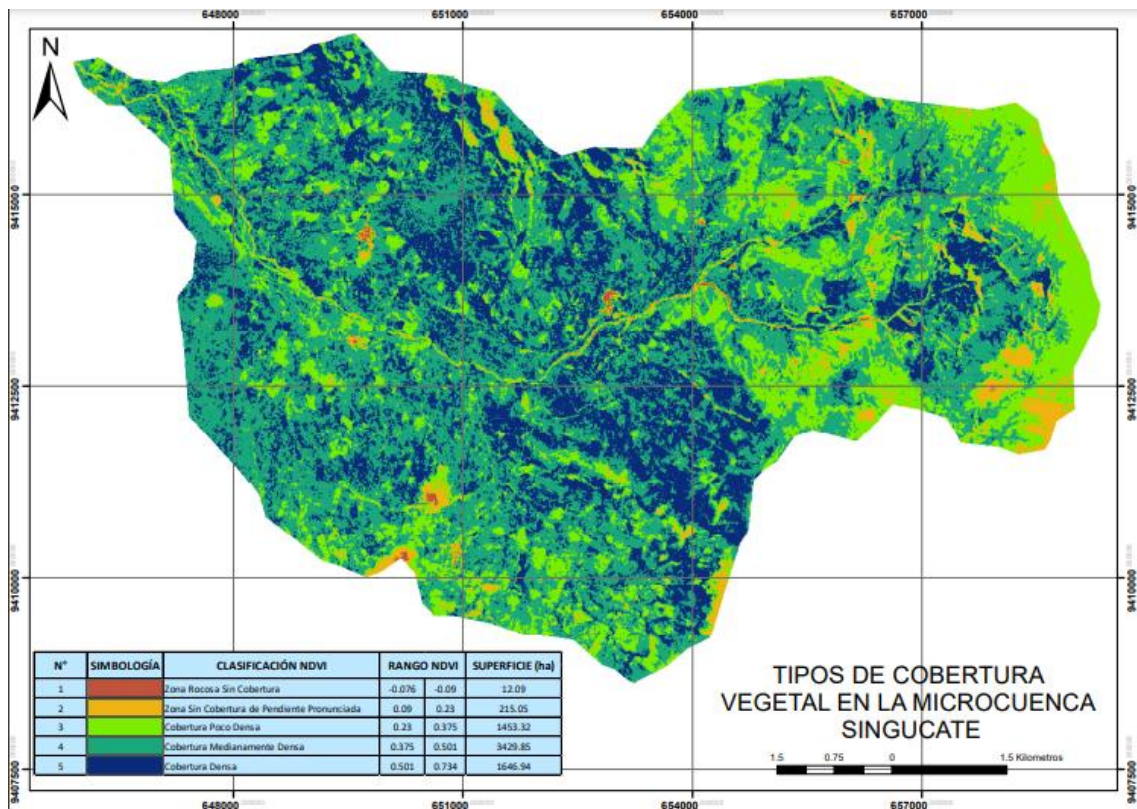
Las imágenes sentinel 02 descargadas están compuestas por múltiples bandas espectrales individuales en formato .jp2. Para el cálculo del NDVI, se utilizaron las siguientes bandas:

- Banda 8 (B8 – Infrarrojo cercano - NIR): con una longitud de onda de 842 nm y una resolución espacial de 10 metros.
- Banda 4 (B4 – Rojo - Red): con una longitud de onda de 665 nm y una resolución espacial de 10 metros.

Estas bandas fueron cargadas en el entorno de trabajo del software ArcGIS Pro, el índice NDVI, se calculó mediante la herramienta "**Raster Calculator**" disponible en el módulo **Spatial Analyst** de ArcGIS Pro. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$NDVI = \frac{(NIR - red)}{(NIR + red)} = \frac{(B8 - B4)}{(B8 + B4)}$$

Figura 10: Tipos de la Cobertura Vegetal en la Microcuenca Singucate Canchaque 2024



Fuente: Datos obtenidos a partir de imágenes satelitales Sentinel-2, procesadas mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en el software ArcGIS 10.3

El Mapa de Cobertura Vegetal clasifica las áreas de la microcuenca Singucate-Canchaque según el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Este índice permite evaluar la calidad y la densidad de la vegetación presente en función de la reflectancia de la superficie terrestre, lo que indica la salud y extensión de la vegetación. El análisis del mapa revela cinco tipos de cobertura vegetal distribuidos de la siguiente manera:

Zona Rocosa Sin Cobertura: Representa áreas con escasa o nula vegetación. Estas zonas incluyen formaciones rocosas y superficies expuestas, donde la vegetación es prácticamente inexistente. Estas áreas son poco productivas desde el punto de vista agrícola y carecen de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos significativos relacionados con la vegetación, como la retención de agua o la protección contra la erosión. Según Maza (2009), este tipo de zonas carecen de materia orgánica, lo que disminuye su capacidad para sostener procesos ecológicos importantes como la infiltración de agua y la regeneración natural de la vegetación.

Zona sin cobertura de pendiente pronunciada: Este tipo de cobertura corresponde a áreas con pendientes acentuadas que presentan poca o ninguna vegetación. Estas zonas son vulnerables a la erosión del suelo debido a la escasa protección vegetal, lo que aumenta el riesgo de deslizamientos de tierra y pérdida de nutrientes esenciales en el suelo. Chura Choquevillca (2010), en su estudio, destaca que las pendientes pronunciadas sin cobertura vegetal son propensas a procesos de degradación acelerada, especialmente en regiones montañosas como la microcuenca Singucate-Canchaque, donde la erosión puede comprometer la estabilidad del terreno.

Cobertura poco densa: Las áreas con cobertura poco densa muestran vegetación dispersa o esporádica. Estas áreas se encuentran mayormente asociadas a zonas agrícolas o ganaderas, donde la actividad humana ha reducido la densidad de la vegetación natural. La capacidad de estas zonas para proporcionar servicios ecosistémicos es limitada, dado que la vegetación es insuficiente para regular eficazmente el ciclo hídrico o prevenir la erosión. Ortega Molina (2014), destaca que las áreas con vegetación poco densa presentan una baja capacidad para retener nutrientes, lo que afecta la regeneración de los suelos y el control de la erosión en el mediano plazo.

Cobertura medianamente densa: Este tipo de cobertura se extiende sobre la mayor parte de la microcuenca, con una superficie de 3,429.85 hectáreas. Las áreas con cobertura medianamente densa son clave para la oferta de servicios ecosistémicos, como la regulación del ciclo del agua y el control de la erosión del suelo. Estas zonas muestran vegetación más estable y tienen un rol crucial en la sostenibilidad ambiental de la microcuenca. Según Mancera (2019), las zonas con cobertura medianamente densa son vitales para el control de la erosión y la retención de humedad, proporcionando servicios ecosistémicos que benefician tanto a la biodiversidad local como a las actividades agrícolas.

Cobertura densa: Las áreas con cobertura densa abarcan 1,646.94 hectáreas, siendo los espacios con mayor concentración de vegetación en la microcuenca. Estas áreas tienen una alta capacidad para retener agua, lo que ayuda a mitigar el riesgo de sequías y deslizamientos, además de proporcionar hábitats para diversas especies locales, lo que contribuye a la conservación de la biodiversidad. Las áreas con cobertura vegetal densa son las que poseen mayor valor ambiental y proporcionan los beneficios más destacados en la gestión del recurso hídrico y la reducción de la erosión. Ato y Gonzales (2019) resaltan que las áreas con vegetación densa en microcuencas similares actúan como zonas de retención de agua clave, reduciendo significativamente el escurrimiento superficial y aumentando la recarga de acuíferos locales.

El Mapa de Cobertura Vegetal en la microcuenca Singucate-Canchaque se obtuvo mediante el análisis de imágenes satelitales Sentinel 2 y Landsat 8, procesadas a través del software ArcGIS 10.3 y la plataforma Google Earth Pro. Para ello, se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual permitió identificar y clasificar diferentes tipos de vegetación en la microcuenca. El NDVI proporcionó valores que fueron clasificados en cinco tipos de cobertura vegetal: desde áreas con cobertura densa hasta zonas sin vegetación.

Este análisis se complementó con la superposición de mapas de curvas isoyetas, mapas de suelos CUM, y el mapa de curvas a nivel, lo que permitió integrar la cobertura vegetal con otros factores importantes como la precipitación, el tipo de suelo y la topografía. Cayambe y Simancas (2020) destacaron la importancia de utilizar índices de vegetación como el NDVI en combinación con variables

climáticas y topográficas para obtener un panorama completo de la funcionalidad ecosistémica en cuencas montañosas.

Las áreas con cobertura densa y medianamente densa se ubicaron principalmente en zonas donde las curvas isoyetas indicaron mayores niveles de precipitación, lo que sugiere una mayor capacidad de retención de agua. Estas zonas contribuyen de manera significativa a la oferta hídrica en la microcuenca, actuando como reservorios naturales que permiten la infiltración de agua en el suelo y la reducción del escurrimiento superficial. Rivera (2022) enfatiza que la conexión entre la cobertura vegetal y las precipitaciones es esencial para asegurar un suministro constante de agua en las microcuencas, particularmente en áreas donde la variabilidad climática influye en la distribución de las lluvias.

Las áreas sin cobertura o con cobertura poco densa, en cambio, mostraron menor capacidad de regulación hídrica, lo que podría aumentar el riesgo de sequía y afectar la disponibilidad de agua en períodos secos. Según Guzmán Guaraca (2021), estas áreas también son más propensas a la erosión y la pérdida de suelo, lo que afecta la calidad del suelo y limita la capacidad productiva de las tierras agrícolas.

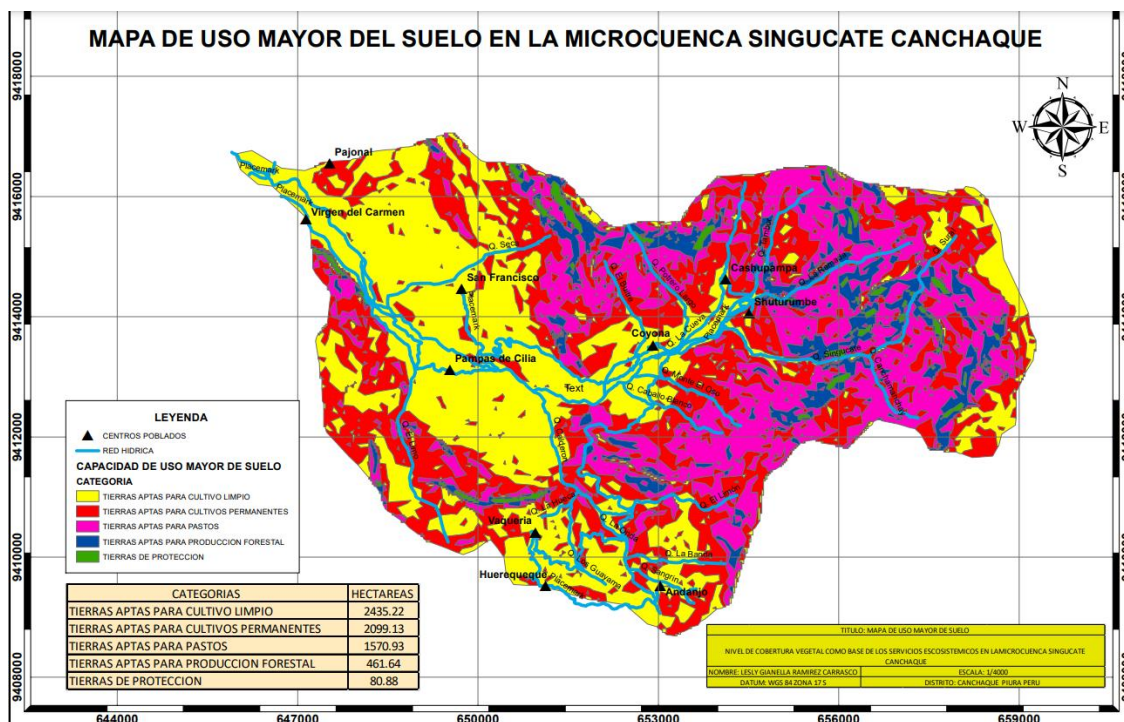
El análisis de la cobertura vegetal en la microcuenca muestra que las áreas con mayor densidad de vegetación son esenciales para la regulación de los servicios ecosistémicos, mientras que las áreas sin cobertura o con cobertura poco densa presentan mayores desafíos para la sostenibilidad ambiental de la cuenca. Alayo (2021) resalta la importancia de conservar las áreas con mayor densidad de vegetación para garantizar la provisión continua de servicios ecosistémicos, especialmente en zonas montañosas que están sujetas a una mayor presión ambiental debido a la explotación agrícola.

4.1.4 Identificación de Dem para generar el mapa de uso mayor del suelo.

El proceso para elaborar un mapa de uso mayor del suelo tomando de base un Modelo Digital de Elevación (DEM) en ArcGIS comienza con la adquisición del DEM, el cual fue obtenido desde la plataforma USGS (ver figura 19). A continuación, se delimita el área de estudio en formato vectorial para focalizar el análisis. Posteriormente, se utiliza la herramienta "Extract by Mask" para recortar el DEM, concentrándose exclusivamente en la zona de interés. Sobre el DEM

recortado, se generan variables derivadas como pendiente, altitud y orientación del terreno mediante análisis de superficie. Estas variables permiten realizar una clasificación del suelo según su aptitud para diversos usos. En el caso específico de la microcuenca Singucate, dicha clasificación se organizó en categorías que incluyen tierras aptas para cultivos limpios, cultivos permanentes, pasturas, producción forestal y zonas de protección.

Figura 11. Mapa de uso mayor del suelo en la Microcuenca Singucate



Por otro lado, la figura 11, muestra el mapa de uso mayor del suelo en la Microcuenca Singucate-Canchaque ofrece una representación clara y detallada de la capacidad del terreno para diferentes actividades productivas y de conservación, clasificando las áreas en cinco categorías principales: tierras aptas para cultivo limpio, cultivos permanentes, pastos, producción forestal y tierras de protección. Estas categorías reflejan las características específicas del suelo, como su fertilidad, pendiente y cobertura vegetal, determinando su potencial y las limitaciones para el uso sostenible.

Las tierras aptas para cultivo limpio, representadas en amarillo, abarcan 2,435.22 hectáreas y se ubican principalmente en zonas de menor altitud y pendiente moderada. Estas áreas cuentan con condiciones favorables para cultivos anuales que no requieren grandes intervenciones de conservación. Por

otro lado, las tierras destinadas a cultivos permanentes, en rojo, cubren 2,099.13 hectáreas y son ideales para plantaciones de larga duración, como frutales, gracias a su estabilidad relativa y características edáficas.

Las áreas identificadas como aptas para pastos, en verde, ocupan 1,570.93 hectáreas y son clave para actividades ganaderas. Estas zonas suelen coincidir con pendientes menos pronunciadas, donde la vegetación puede sostener la actividad pecuaria sin causar una degradación excesiva del suelo. Por su parte, las tierras para producción forestal, en azul, representan 461.64 hectáreas y están localizadas en áreas con pendientes más pronunciadas, donde la reforestación y el manejo de vegetación leñosa son esenciales para proteger el suelo y promover la captura de carbono.

Las tierras de protección, señaladas en morado y con una extensión de 80.88 hectáreas, están ubicadas en las zonas más vulnerables de la microcuenca. Estas áreas tienen alta susceptibilidad a la erosión o características ambientales críticas, por lo que su conservación es prioritaria para preservar la estabilidad ecológica y proteger los servicios ecosistémicos.

El mapa también destaca la red hídrica de la microcuenca, la cual atraviesa todas las categorías de uso del suelo. Esto subraya la importancia de preservar las zonas cercanas a los cursos de agua para garantizar la regulación hídrica y prevenir procesos de erosión. Además, las áreas de mayor capacidad para la conservación, como las tierras de protección y las destinadas a la producción forestal, coinciden con zonas de bosques húmedos de montaña, que desempeñan un papel crucial en la retención del suelo y la regulación del ciclo hídrico.

La figura 12, muestra el mapa de curvas de nivel, que representa las altitudes de la microcuenca Singucate-Canchaque, abarcando desde los 500 hasta los 3,500 m.s.n.m., con una alta densidad de curvas en áreas montañosas que indican pendientes pronunciadas. Este gradiente altitudinal es determinante para la distribución espacial de los ecosistemas y la funcionalidad de los servicios ecosistémicos, especialmente la regulación hídrica y la protección contra la erosión.

El diseño del mapa se apoya en datos obtenidos mediante teledetección y análisis SIG, siguiendo estándares metodológicos internacionales, como los empleados en investigaciones de Guzmán Guaraca (2021) y Sucoshañay et al. (2024).

El gradiente altitudinal juega un papel crucial en la configuración de la cobertura vegetal. Las zonas de mayor altitud albergan ecosistemas boscosos densos, como los bosques húmedos de montaña, que desempeñan un papel esencial en la regulación del ciclo hídrico y la retención del suelo. Estos hallazgos concuerdan con los resultados de Ortega Molina (2014), quien documentó que los bosques altoandinos reducen significativamente la escorrentía superficial, favoreciendo la infiltración del agua y mejorando las tasas de pérdida de los suelos. En contraste, estas áreas bajas y moderadas, donde predominan cultivos y pastos naturales, exhiben una mayor susceptibilidad a la degradación del suelo debido a una menor densidad de cobertura vegetal.

4.1.5 Generación de mapa de curvas de nivel

El proceso inició con la carga del DEM como capa base, seguida de la configuración de intervalos de altitud específicos para la generación automática de las curvas a nivel. Estos intervalos se definieron en función de la escala y los objetivos del análisis. Posteriormente, las curvas generadas fueron suavizadas para corregir posibles irregularidades derivadas de la resolución del modelo digital.

La figura 12, muestra un mapa de curvas a nivel, él fue elaborado utilizando el software ArcGIS 10.3, integrando información primaria obtenida de un Modelo Digital de Elevación de alta resolución. Este procedimiento permitió representar de manera precisa las variaciones altitudinales del terreno en la cuenca del río Piura, generando una visualización detallada de las pendientes y relieves presentes en la región.

Este mapa se utilizó como base para análisis más complejos, como la identificación de áreas susceptibles a erosión el cual se muestra más adelante.

4.1.6 Generación de Mapa de Isoyetas.

El mapa de curvas isoyetas fue elaborado utilizando el software ArcGIS 10.3, basado en datos históricos de precipitación registrados entre 1970 y 1990 en estaciones meteorológicas de la cuenca del río Piura. Para su construcción, se aplicó el método de interpolación espacial llamado Kriging, el cual es muy reconocido por su capacidad para estimar valores en áreas sin datos directos, basándose en la correlación espacial de las mediciones existentes. Este proceso consistió en generar un modelo estadístico que ajusta las variaciones en los datos de precipitación, permitiendo obtener una representación continua de la distribución espacial de las lluvias.

La información utilizada provino de fuentes confiables, recopiladas de 37 estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo de un gradiente altitudinal que va desde los 10 hasta los 3430 m.s.n.m. Estas estaciones incluyen puntos clave como Chusis, Morropón y Huar-Huar, cuyos datos fueron ajustados para excluir valores atípicos asociados a eventos extraordinarios, como el fenómeno El Niño de 1983. Los datos se presentan a continuación.

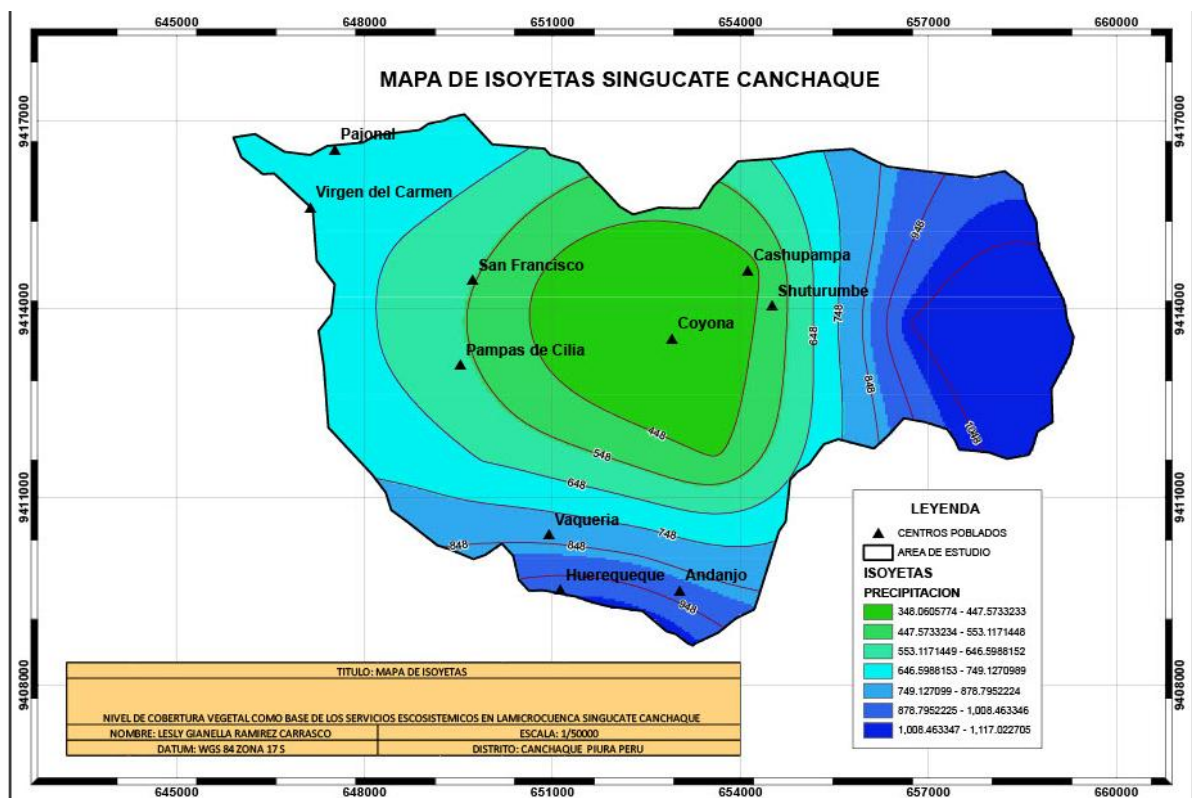
Tabla 1. Distribución altitudinal de la precipitación total anual en la cuenca del río Piura (1970-1990)

| Nº | Estación | Altitud (m.s.n.m.) | Precipitación Total Anual Promedio (mm) |
|----|---------------|--------------------|---|
| 1 | Chusis. | 10 | 3 |
| 2 | La Esperanza. | 12 | 28 |
| 3 | Bernal. | 16 | 26 |
| 4 | Laguna Ramón. | 20 | 13 |
| 5 | San Miguel. | 25 | 36 |
| 6 | Monte grande. | 27 | 36 |
| 7 | Miraflores. | 30 | 63 |
| 8 | Mallaresc. | 45 | 91 |
| 9 | Corpac Piura. | 49 | 52 |
| 10 | Chilaco. | 90 | 189 |
| 11 | Chulucanas. | 95 | 243 |
| 12 | Morropón. | 140 | 276 |
| 13 | Bigote. | 200 | 325 |
| 14 | Tejedores. | 200 | 196 |
| 15 | Virrey. | 229 | 166 |
| 16 | San Joaquín. | 230 | 111 |
| 17 | Las Lomas. | 250 | 183 |
| 18 | Barrios. | 310 | 491 |
| 19 | San Pedro. | 330 | 35 |
| 20 | Chignia. | 555 | 274 |

| | | | |
|----|-----------------|------|------|
| 21 | Paltashaco. | 900 | 183 |
| 22 | Pirga. | 1230 | 731 |
| 23 | Canchaque. | 1250 | 804 |
| 24 | Sapillica. | 1446 | 588 |
| 25 | Santo Domingo. | 1475 | 847 |
| 26 | Frías. | 1550 | 1135 |
| 27 | Huancabamba. | 1952 | 468 |
| 28 | Pacaipampa. | 2000 | 929 |
| 29 | Huarmaca. | 2180 | 926 |
| 30 | Chalaco. | 2200 | 876 |
| 31 | Pasapampa. | 2410 | 884 |
| 32 | Altamiza. | 2575 | 770 |
| 33 | Palo Blanco. | 2800 | 746 |
| 34 | Arrendamientos. | 3075 | 464 |
| 35 | Arenales. | 3080 | 584 |
| 36 | Huar-Huar. | 3150 | 1236 |
| 37 | Talaneo. | 3430 | 642 |

Nota: No se incluye la precipitación total anual del año 1983 debido al fenómeno El Niño.

Figura 13. Mapa de curvas isoyetas en la Microcuenca Singucate, 2024



Fuente: Elaboración propia en ArcGIS 10.3, con base en Subproyecto VA-04 Cuenca del río Piura.

El mapa generado muestra la distribución espacial de la precipitación, destacando áreas con alta disponibilidad hídrica en las áreas altas y niveles bajos en las áreas costeras. Esta herramienta es clave para identificar patrones de precipitación que influyen en la dinámica hidrológica de la cuenca, así como para planificar estrategias de manejo sostenible de los recursos hídricos.

Estos resultados, responden a que las áreas con mayor precipitación se concentran en las zonas altas, mientras que las zonas bajas presentan menores valores. Este patrón responde a los gradientes altitudinales y climáticos propios de la región, coincidiendo con los análisis de Cayambe y Simancas (2020) en la cuenca alta del río Jubones, donde las precipitaciones más elevadas fueron determinantes para la salud de la vegetación.

El gradiente de precipitaciones mostrado en el mapa tiene una correlación directa con la distribución de la cobertura vegetal. Áreas de alta precipitación coinciden con bosques húmedos de montaña, que desempeñan un rol esencial en la regulación hídrica y la protección contra la erosión. Ortega Molina (2014) subrayó que estas coberturas vegetales son efectivas en la retención del agua, reduciendo las pérdidas por escorrentía y manteniendo la integridad del suelo.

En contraste, las áreas con menor precipitación están asociadas a cultivos y pastos naturales, que presentan una capacidad limitada para regular el ciclo hídrico. Esto se alinea con los hallazgos de Guzmán Guaraca (2021), quien observó que las áreas agrícolas en la cuenca del río Sauce Chico tenían menor provisión de servicios ecosistémicos en comparación con los pastizales y bosques.

Lo mostrado, permite complementar el análisis del mapa de curvas de nivel, mostrando que las zonas altas, con mayores precipitaciones, tienen pendientes pronunciadas que favorecen la infiltración en áreas con cobertura vegetal adecuada. No obstante, estas mismas condiciones pueden incrementar la escorrentía superficial en áreas deforestadas, exacerbando el riesgo de erosión. Rivera (2022) destacó en la subcuenca Santa Eulalia que la interacción entre altitud, precipitación y cobertura vegetal es crucial para mitigar el impacto de las actividades humanas en los ecosistemas.

La distribución espacial de la precipitación en la microcuenca es un factor clave para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Mancera (2019) enfatizó que las zonas con mayor precipitación y cobertura vegetal densa tienen una capacidad superior para la regulación hídrica, lo que es consistente con los resultados observados en la microcuenca Singucate-Canchaque. Además, Alayo (2021) señaló que los ecosistemas que proveen servicios hídricos dependen de un equilibrio entre la cobertura vegetal y el manejo sostenible de los recursos.

El mapa de las isoyetas es un mecanismo para identificar áreas críticas donde la gestión de recursos hídricos es prioritaria. Las zonas con alta precipitación y cobertura vegetal densa deben ser conservadas, mientras que las áreas con baja precipitación requieren estrategias de reforestación y manejo sostenible del suelo. Este enfoque coincide con las recomendaciones de Sucoshañay et al. (2024), quienes propusieron la implementación de programas de restauración en microcuencas degradadas para mejorar su funcionalidad ecosistémica.

4.1.7 Estimación de la Precipitación Media Según Nivel de Cobertura Vegetal en la Microcuenca Singuate

Para un análisis y conexiones más detallados entre los patrones climáticos y la ecología en esta áreas, se empleó un mapa de la vegetación obtenido a partir del índice NDVI, el cual fue dividido en cinco categorías principales de acuerdo a la densidad de biomasa, asignando a cada una su correspondiente área geográfica. Esta relación entre la lluvia y la vegetación ha sido resaltada por autores como Linsley et al. (1982), quienes sustentan que los espacios con mayor cobertura vegetal, además de influir en la escorrentía, suelen estar en consonancia con regiones de mayor precipitación, puesto que ofrecen condiciones más propicias para el ciclo del agua en esa localidad.

Se asignaron valores estimados de precipitación media anual a cada categoría de cobertura, tomando como referencia la ubicación espacial en el mapa de

isoyetas y las condiciones ecológicas esperadas de acuerdo al tipo de vegetación.

Tabla 2: Contribución de la Cobertura del Terreno a la Precipitación Total Estimada según el grado de cobertura y la extensión del área

| Nivel de Cobertura | de Precipitación Media Estimada (mm) | Superficie (ha) | Contribución a Precipitación Total (mm·ha) |
|--|---|------------------------|---|
| Zona Rocosa sin cobertura | 400 | 12.09 | $400 \times 12.09 = 4,836$ |
| Zona sin cobertura de pendiente pronunciada | 600 | 215.05 | $600 \times 215.05 = 129,030$ |
| Cobertura poco densa | 650 | 1,453.32 | $650 \times 1,453.32 = 944,658$ |
| Cobertura medianamente densa | 700 | 3,429.85 | $700 \times 3,429.85 = 2,400,895$ |
| Cobertura densa | 750 | 1,646.94 | $750 \times 1,646.94 = 1,235,205$ |

Nota: Elaboración propia

Cálculo de la precipitación media ponderada:

$$P_m = \frac{\sum(P_i \times A_i)}{\sum A_i}$$

- P_m = Precipitación media (mm)
- P_i = Valor medio de precipitación en cada zona delimitada por isoyetas (mm)
- A_i = Área correspondiente a cada zona

Para calcular la precipitación media del área se utiliza la fórmula siguiente:

$$P_m \frac{\sum(P_i \times A_i)}{\sum A_i} = \frac{4,836 + 129,030 + 944,658 + 2,400,895 + 1,235,205}{12.09 + 215.05 + 1453.32 + 3429.85 + 1646.94}$$

$$P_m = \frac{4,714,624}{6,757.25} = 698.05mm$$

- La categoría de cobertura con densidad media, que abarca una superficie de 3,429.85 hectáreas, representa la mayor extensión territorial y contribuye de manera importante a la precipitación media, con un valor estimado cercano a los 700 mm anuales.
- Aunque la zona con cobertura densa ocupa un área menor, presenta la precipitación más elevada asignada, aproximadamente 750 mm, lo que indica condiciones climáticas más húmedas o una mayor capacidad para retener el agua.
- Las áreas sin cobertura vegetal o con pendientes pronunciadas experimentan niveles inferiores de precipitación estimada, lo cual coincide con la escasa vegetación y la limitada retención de humedad en estos sectores.
- El cálculo final de la precipitación media ponderada, que alcanza los 698.05 mm, ofrece una estimación ajustada para la microcuenca, considerando tanto la distribución espacial de las lluvias como la variabilidad en la cobertura vegetal.

Este enfoque se ha utilizado en investigaciones parecidas, tales como las llevadas a cabo por Pizarro et al. (2013) en cuencas de Chile y por García et al. (2008) en estudios sobre la relación entre el clima y la cobertura en zonas andinas. Así, la evaluación de elementos hidrometeorológicos y ecológicos, permitiendo una comprensión más precisa y útil para la administración ambiental de la microcuenca Singucate..

Tabla 3: Relación entre las categorías de vegetación, extensión territorial y lluvia media calculada en la microcuenca Singuate

| Categoría Cobertura Vegetal | Superficie (ha) | Precipitación Media Estimada (mm) | Observaciones |
|---|----------------------------|--|--|
| Zona Rocosa sin cobertura | 12.09 | 400 | Sin vegetación, baja retención de agua |
| Zona sin cobertura pendiente pronunciada | 215.05 | 600 | Pendientes pronunciadas, cobertura nula |
| Cobertura poco densa | 1,453.32 | 650 | Vegetación dispersa o intervenida |
| Cobertura medianamente densa | 3,429.85 | 700 | Vegetación intermedia, zonas manejadas (pastizales, zonas de pastoreo abiertas) |
| Cobertura densa | 1,646.94 | 750 | Vegetación densa, mayor capacidad de retención |

Fuente: Elaboración Propia

La tabla ilustra la conexión entre la vegetación y la cantidad de precipitación media calculada en la microcuenca Singuate, además de la proporción que ocupa cada tipo de vegetación. Las zonas sin vegetación o con pendientes empinadas reciben menos lluvia, entre 400 y 600 mm, lo que restringe notablemente la capacidad del suelo para retener agua.

En contraste, las áreas con cobertura densa, a pesar de ocupar una superficie más pequeña, presentan la mayor cantidad de precipitación estimada (cerca de 750 mm), lo que contribuye a un ecosistema más húmedo y con una mejor capacidad para almacenar agua. Las coberturas de densidad media, que abarcan la mayor parte del área analizada, están relacionadas con

precipitaciones que varían entre 650 y 700 mm, y se asocian principalmente a vegetación gestionada, como pastizales y espacios abiertos destinados al pastoreo.

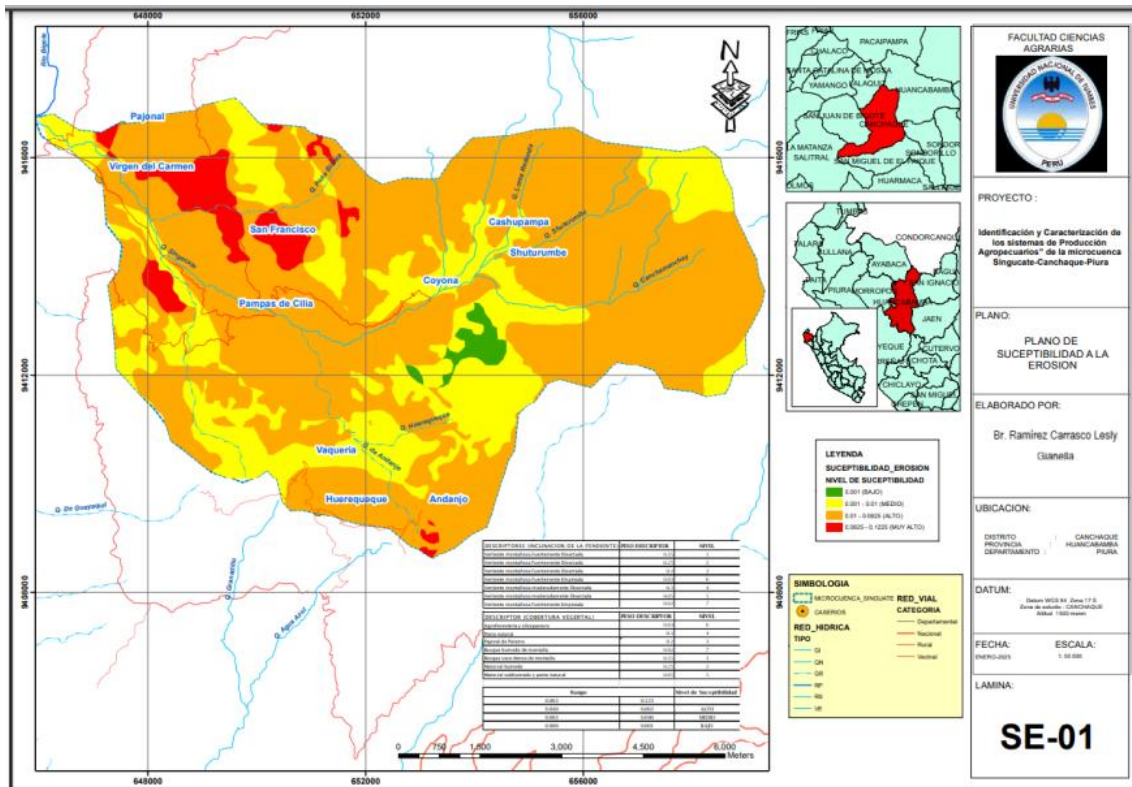
Este patrón evidencia la íntima relación entre el clima local, la vegetación y el uso del suelo, lo cual es esencial para entender la dinámica ambiental y desarrollar estrategias efectivas de manejo y conservación en la microcuenca.

4.1.8 Generación del mapa de susceptibilidad a la Erosión.

En la figura 13, se presenta el mapa de susceptibilidad a la erosión de la zona de estudio, el cual es una elaboración propia que combina diversas capas de información temática, siguiendo las directrices de la metodología establecida para la formulación de la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE), propuestas por el Gobierno Regional de Piura, GORE (2010), para su elaboración se utilizó, ArcGIS 10.3, integrando dos planos principales: el de cobertura vegetal y el de geomorfología, los cuales fueron generados previamente como parte del proceso de zonificación.

El análisis se desarrolló a partir de un enfoque multicriterio, considerando variables como la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y las características geomorfológicas de la región. La pendiente fue obtenida a partir de un Modelo Digital de Elevación, mientras que el plano de cobertura vegetal se elaboró mediante la interpretación de imágenes satelitales y datos validados en campo. Este plano se superpuso al análisis geomorfológico para identificar las zonas con mayor susceptibilidad a la erosión, tomando en cuenta factores como la textura del suelo, la capacidad de retención hídrica y la presencia de vegetación protectora. La metodología aplicada permitió generar una clasificación que identifica áreas con diferentes niveles de susceptibilidad.

Figura 14. Mapa de susceptibilidad a la erosión con la cobertura vegetal en la Microcuenca Singucate, 2024



Fuente: Elaboración propia con base en “La Zonificación Ecológica Económica (ZEE) de la región Piura”, GORE (2010)

La figura 13, muestra el mapa de susceptibilidad a la erosión de la microcuenca Singucate-Canchaque proporciona una clasificación espacial del nivel de riesgo erosivo, basado en la interacción de variables geomorfológicas y de cobertura vegetal. La susceptibilidad se representa en cuatro niveles denominados bajo, medio, alto y muy alto, estableciendo una gradación de vulnerabilidad ante procesos de erosión.

El mapa ha sido elaborado utilizando información topográfica y cobertural, considerando dos factores determinantes en la erosión del suelo:

- I. Inclinación de la pendiente, donde se identifican vertientes montañosas con diferente grado de disección y empinamiento.
- II. Cobertura vegetal, categorizada en agroforestería, pastos naturales, pajonales, bosques húmedos y secos, matorrales y suelos sin vegetación significativa.

Las áreas con muy alta susceptibilidad están concentradas en zonas de fuerte pendiente y escasa cobertura vegetal, mientras que las áreas de baja susceptibilidad coinciden con zonas de pendiente moderada y bosques húmedos de montaña.

El análisis conjunto de los mapas de cobertura vegetal, curvas de nivel, isoyetas y susceptibilidad a la erosión proporciona una visión detallada sobre la dinámica ecosistémica de la microcuenca Singucate-Canchaque, permitiendo comprender la interacción entre la topografía, el régimen hídrico y la estabilidad del suelo.

El Mapa de Curvas de Nivel revela una heterogeneidad altitudinal significativa, con elevaciones que van desde los 500 hasta los 3,500 m s.n.m. En las áreas de mayor altitud predominan ecosistemas boscosos, especialmente bosques húmedos de montaña que desempeñan un papel importante en la regulación del agua y la estabilidad de la base. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Chura Choquevillca (2010), quien documentó que la vegetación de altura tiene una alta capacidad de retención hídrica y evita la erosión acelerada.

Sin embargo, en zonas de menor altitud y pendientes más suaves, la cobertura vegetal ha sido reemplazada en gran medida por pastizales naturales y tierras agrícolas, lo que reduce su capacidad de regulación hídrica. Rivera (2022) evidenció en la subcuenca Santa Eulalia que la expansión de la actividad agropecuaria en zonas de menor altitud condujo a una reducción progresiva del nivel de cobertura vegetal y un aumento en la vulnerabilidad a la erosión.

El mapa de isoyetas indica que las precipitaciones varían entre los 274 mm y los 1,235 mm anuales, con valores más altos en las zonas de mayor altitud. Esta relación confirma lo señalado por Cayambe y Simancas (2020) en la cuenca alta del río Jubones, donde la disponibilidad del agua condiciona la densidad de la vegetación y su capacidad de recuperación frente a presiones antropogénicas.

En la microcuenca Singucate-Canchaque, se observa que las zonas con alta precipitación están mejor conservadas y presentan una cobertura vegetal más densa, lo que sugiere una menor susceptibilidad a la erosión. En cambio, las áreas con menor precipitación exhiben una reducción en la cobertura vegetal, lo que las hace más propensas a la degradación del suelo, un patrón similar al encontrado por Alayo (2021) en la zona oriental de Arequipa.

El mapa de susceptibilidad a la erosión muestra que las áreas con mayor pendiente y menor cobertura vegetal presentan los niveles más altos de vulnerabilidad. Las pendientes pronunciadas, identificadas en el Mapa de Curvas de Nivel, aumentan la escorrentía superficial en zonas con baja cobertura vegetal, favoreciendo la erosión. Ato y Gonzales (2019) encontraron en la microcuenca Amojú que la deforestación y el cambio de uso del suelo fueron factores determinantes en la reducción del caudal hídrico y el incremento de la erosión.

Los descriptores del mapa indican que los bosques húmedos de montaña tienen la menor susceptibilidad a la erosión, mientras que las áreas de pajonal y pasto natural presentan una mayor vulnerabilidad. Este resultado concuerda con Ortega Molina (2014), quien destacó que los bosques altoandinos reducen significativamente la erosión, preservando la integridad del suelo y controlando el movimiento del agua


La superposición de mapas permite inferir que las áreas con menor precipitación, mayor pendiente y escasa cobertura vegetal son las más vulnerables a la erosión, lo que compromete la estabilidad del ecosistema. Mancera (2019) identificó que el monitoreo con SIG y teledetección es importante para gestionar estos riesgos y desarrollar estrategias de manejo sostenible.

La tendencia observada en la microcuenca Singucate-Canchaque indica que, sin medidas de conservación, la erosión continuará afectando las áreas de menor cobertura vegetal, reduciendo su capacidad de regulación hídrica y favoreciendo procesos de desertificación. Sucoshañay et al. (2024) resaltaron que la restauración de áreas degradadas mediante reforestación y prácticas agroforestales es esencial para frenar la erosión y garantizar la provisión de servicios ecosistémicos.

El análisis integrado de los mapas demuestra que la estabilidad ecológica de la microcuenca depende de la interacción entre altitud, precipitación y cobertura vegetal. Las zonas con mayor cobertura boscosa presentan una mayor capacidad de retención hídrica y menor susceptibilidad a la erosión, mientras que las áreas degradadas requieren estrategias urgentes de restauración.

Los resultados refuerzan la importancia de la gestión sostenible del territorio, mediante la implementación de prácticas de conservación en zonas críticas y la promoción de modelos de uso del suelo que prioricen la resiliencia ecológica. Esta perspectiva se alinea con los estudios de Guerrero et al. (2023), quienes concluyeron que la degradación ambiental en microcuencas hidrográficas es un proceso reversible si se aplican estrategias adecuadas de manejo de la vegetación y restauración del suelo.

Tabla 4: Servicios Ecosistémicos en la Microcuenca Sigucate Canchaque

| REGULACION HIDRICA | |
|---|---|
| <p>Este tipo de paisaje, caracterizado por una abundante cobertura vegetal, juega un papel fundamental para el servicio ecosistémico de regulación hídrica. La vegetación y el suelo actúan conjuntamente para retener el agua, disminuir la escorrentía superficial y favorecer la infiltración, lo que es vital para conservar el balance hídrico en el área estudiada. Además, la masa vegetal facilita la captación y filtración del agua, protegiendo el suelo frente a procesos erosivos y modulando el flujo hídrico hacia las cuencas y acuíferos subyacentes. En consecuencia, la imagen representa condiciones de campo que evidencian un adecuado funcionamiento del servicio ecosistémico de regulación hídrica proporcionado</p> |  |

por el ecosistema natural presente en la zona. Como se indica en el mapa de cobertura vegetal (figura 10), el centro poblado de Coyona exhibe una cobertura vegetal densa, lo que la convierte en una zona con una regulación hídrica efectiva. Esta densidad de vegetación contribuye significativamente a reducir el riesgo de inundaciones en la región.

CONTROL DE LA EROSION

La capacidad del ecosistema para mitigar las fuerzas que inducen el desprendimiento de partículas de suelo, especialmente aquellas generadas por la erosión hídrica, es fundamental. La remoción de la cobertura vegetal deja el suelo expuesto a los efectos directos de la lluvia, la escorrentía superficial y el viento, lo que facilita significativamente el proceso erosivo. La preservación de la vegetación juega un papel crucial en la estabilización del suelo y la reducción de la erosión, al aumentar la infiltración del agua y disminuir la velocidad de la escorrentía.



CAPTURA DE CARBONO

La relación entre la captura de carbono y la cobertura vegetal es muy estrecha, dado que las plantas constituyen uno de los principales métodos naturales para la absorción de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera.

Diversos tipos de cobertura vegetal exhiben capacidades distintas para la fijación de carbono. Además de capturar dióxido de carbono mediante la fotosíntesis, la cobertura vegetal también actúa como un reservorio de carbono, almacenándolo tanto en la biomasa vegetal como en el suelo, lo cual contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático.



4.2 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

- En la investigación denominada Variación espacio-temporal de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia (Lima-Perú) en el período 2003 – 2019 desarrollada por Torres Joaquín, H. J., & Rivera Aguilar, P. O. en el año 2022, se utilizó tecnología satelital y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para analizar las variaciones en la vegetación. Los resultados mostraron que la vegetación densa se concentra en áreas específicas con una superficie promedio de 15.9 km². Por otro lado, la cobertura vegetal poco densa se distribuye ampliamente por toda la subcuenca, especialmente en las zonas medias y valles bajos, cubriendo una superficie significativamente mayor de 177.2 km². Mientras que, en el marco de esta investigación, se emplearon imágenes Sentinel-2 para analizar detalladamente la cobertura vegetal en la microcuenca. Los resultados encontrados indican la presencia de varias categorías de cobertura vegetal y sin cobertura. Se identificaron zonas rocosas sin cobertura con una superficie total de 12.02 ha, así como zonas sin cobertura de pendiente pronunciada que cubren 215.05 ha. En cuanto a la cobertura vegetal, se encontró una cobertura poco densa que abarca 1453.32 ha, una cobertura medianamente densa que se extiende por 3429.85 ha a lo largo de toda la microcuenca, y una cobertura densa con una superficie de 0.734 ha, principalmente ubicada en las partes medias de la microcuenca.
- En un estudio reciente denominado Análisis de la cobertura vegetal de la microcuenca Chorrillos, distrito de Huancayo, 2023. Cusic, mediante el procesamiento de imágenes satelitales Landsat 7 y 8, obtuvo que el uso actual de suelos estuvo dividido en áreas urbanas 0,89 ha; terrenos con bosque 176,72 ha; terrenos con cultivo extensivo 28,31 ha; terrenos con huerto frutales 19,77 ha; zona de praderas naturales 170,66 ha, asimismo la identificación de cobertura vegetal estuvo conformada por áreas agrícolas 28,18 ha; herbazal 244,10 ha; área urbana 0,69 ha; matorrales 103,43 ha y plantación forestal 19,77 h, mientras que en la presente

investigación se estudiaron los resultados obtenidos para la microcuenca Singucate, ubicada en Canchaque a partir de imágenes procesadas del sensor Landsat 8, con el fin de determinar la capacidad de uso mayor del suelo. Los resultados indican que la superficie destinada a tierras para cultivo limpio es de 2435.22 hectáreas; para cultivo permanente, 2099.13 hectáreas; tierras aptas para pastos abarcan 1570.93 hectáreas; tierras destinadas a la producción forestal comprenden 461.64 hectáreas; y finalmente, tierras para producción general suman 80.88 hectáreas.

- En el estudio titulado Aporte de la geomática en el mapeo de servicios ecosistémicos para la regulación hídrica en la microcuenca del río Murca, Colombia, realizado por Juan Sebastián Mancera Sanabria en 2019, se emplearon imágenes satelitales Landsat procesadas en ArcGIS 10.5 y ENVI 5.3 para generar mapas de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) e Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI). El autor concluye que la metodología propuesta es de fácil implementación para el mapeo de servicios ecosistémicos. En nuestra investigación, utilizamos imágenes satelitales Sentinel-02 para elaborar el mapa de NDVI y, mediante análisis, identificamos servicios ecosistémicos como la regulación hídrica, el control de la erosión y la captura de carbono. Los resultados indican que la zona media, específicamente Coyona, presenta una cobertura vegetal densa, lo que la convierte en un área con una regulación hídrica efectiva. Este hallazgo refuerza la relevancia de la vegetación en la gestión sostenible del agua y sugiere que esta metodología puede ser aplicada en otros contextos similares para la planificación ambiental.

5. CONCLUSIONES

La microcuenca Singucate-Canchaque presenta una diversidad de cobertura vegetal influenciada por factores altitudinales y climáticos. Los bosques húmedos de montaña predominan en las zonas de mayor elevación, mientras que en las áreas bajas se observa una mayor presencia de pastizales y matorrales subhúmedos. La intervención antrópica ha modificado significativamente la cobertura en algunas áreas, favoreciendo la expansión de actividades agropecuarias en detrimento de la vegetación nativa.

La conexión entre la cobertura vegetal y los servicios ecosistémicos en la microcuenca se manifiesta en la regulación hídrica y la estabilidad del suelo. Los bosques húmedos contribuyen a la retención de humedad y a la reducción de la escorrentía superficial, mientras que las zonas con menor vegetación presentan una mayor susceptibilidad a la erosión. La degradación progresiva de la cobertura vegetal afecta la capacidad de la microcuenca para mantener un equilibrio en la provisión de agua y la conservación de la biodiversidad.

La variabilidad en la precipitación y las características del relieve condicionan la calidad de la cobertura vegetal y su capacidad para sostener servicios ecosistémicos. Las áreas con mayor disponibilidad hídrica presentan una vegetación más densa y estable, mientras que las zonas con baja precipitación muestran signos de deterioro del suelo y reducción de la cobertura vegetal. La interrelación de estos elementos pone de manifiesto la necesidad de implementar estrategias de gestión sostenible para mantener la funcionalidad del ecosistema.

La investigación evidencia que la variación en la cobertura vegetal debido a la altitud y la precipitación tiene un impacto significativo en la provisión de servicios ecosistémicos, desde el control de la erosión hasta la regulación del clima y el secuestro de carbono.

6. RECOMENDACIONES

Implementar estrategias de conservación en áreas vulnerables, priorizando la protección de los bosques húmedos de montaña y la recuperación de zonas degradadas. Acciones como la reforestación con especies nativas pueden contribuir a estabilizar el suelo y mejorar la capacidad de regulación hídrica en la microcuenca.

Fomentar el manejo sostenible del suelo y la vegetación, promoviendo prácticas agroforestales y el uso adecuado de los pastizales. Evitar el sobrepastoreo y aplicar técnicas de conservación en terrenos agrícolas puede reducir la pérdida de cobertura vegetal y mejorar la estabilidad del ecosistema.

Realizar evaluaciones periódicas sobre la cobertura vegetal y su relación con los servicios ecosistémicos, utilizando información disponible de imágenes satelitales y estudios previos. Un seguimiento en distintos periodos permitirá identificar tendencias y tomar medidas oportunas para la gestión sostenible de la microcuenca.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alayo Calizaya, H. F. (2021). Cobertura vegetal, servicios ecosistémicos hídricos y su relación con la disponibilidad del agua para consumo humano en la zona oriental de Arequipa, ámbito del sistema hidrogeológico oriental-2021. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13824>

Ato Gonzales, A. D. J., & Gonzales Quiroz, J. M. (2019). Análisis de la relación entre el cambio de cobertura vegetal y la cantidad de agua 1995-2019 en la microcuenca Amojú – Jaén. Universidad Nacional de Jaén. <https://hdl.handle.net/UNJ/145>

Bazan, F. S., Mallqui Meza, H., & Rios Recra, R. (2021). Mapeo de la cobertura vegetal en la subcuenca Quillcay (Ancash, Perú) con el clasificador de Árbol de decisiones. Aporte Santiaguino, 14(1), 78-91. <https://doi.org/10.32911/as.2021.v14.n1.761>

Bennett, A., 1999. Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. Programa de conservación de bosque UICN, Conservando los ecosistemas boscosos serie No. 1, primera y segunda parte. Unión Mundial para la Naturaleza. 275 pp.

Cayambe Yáñez, M. P., & Simancas Quizhpe, P. I. (2020). Estudio de cobertura vegetal mediante SIG para formulación de medidas de recuperación de espacios degradados en la cuenca alta del río Jubones. Universidad Agraria del Ecuador.

CIPCA, ERBER GROUP 2021 Proyecto: Mejora de los Servicios de Regulación Hídrica, Conservación de Suelos, Conservación de los suelos y Bosques en la Microcuenca Sigucuate- Canchaque.

- Chura Choquevillca, J. S. (2010). Determinación de la cobertura vegetal y capacidad de uso de los suelos del municipio de Poopó (Sector Ventaimedia) (Tesis doctoral).
- Guerrero Calero, J. M., Cárdenas Baque, D. A., Moran Mora, J. J., Barban Forte, Y., & Hidalgo Zambrano, K. C. (2023). Caracterización y diagnóstico ambiental de la microcuenca hidrográfica Río de Oro. *Agrosilvicultura y Medioambiente*, 1(2), 14–26.
- Guzmán Guaraca, A. C. (2021). Caracterización del funcionamiento y la provisión de servicios ecosistémicos de los principales tipos de cobertura vegetal en la cuenca alta del río Sauce Chico, Provincia de Buenos Aires (Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Escuela para Graduados)
- Guzmán-Guaraca, A. C., Córdova-Lliquin, J. D., Morales-León, V. B., & Peña-Murillo, R. F. (2023). Caracterización de la cobertura vegetal y su provisión de servicios ecosistémicos mediante teledetección en una cuenca hidrográfica. *Dom. Cien.*, 9(3), 1657-1674.
- Herrera Ramírez, J. A., & Castro Poma, A. F. (2021). Estudio de la distribución espacial de la cobertura vegetal y la precipitación en la cuenca del río
- Holdridge, L. (1979). *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Costa Rica. 216 pp.
- Leemans, R., et al. (2003). *Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Island Press.
- López, E. (1999). Cambio de uso del suelo y crecimiento urbano en la ciudad de Morelia (Tesis de maestría, 134 p.). Facultad de Biología, Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo.

- Mancera Sanabria, J. S. (2019). Aporte de la geomática en el mapeo de servicios ecosistémicos para la regulación hídrica, en la microcuenca del río Murca, Colombia. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA).
- Maza, C. (2009). Clasificación y análisis de la cobertura vegetal sobre la subcuenca Zamora Huayco-Cantón Loja (Tesis de grado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.
- Moran, M. (2015, enero 7). Bosques, desertificación y diversidad biológica. Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/>
- Ortega Molina, L. F. (2014). Evaluación comparativa del papel de diferentes coberturas vegetales sobre algunos servicios ecosistémicos en los Andes colombianos (Informe/Tesis). Escuela de Geociencias.
- Ortega Vásquez, G. A., Casas Ovalle, P. N., & Pineda Rodríguez, L. S. (2021). Análisis en el nivel de precipitaciones por medio de la elaboración de los mapas de isohietas y curvas IDF (intensidad, duración, frecuencia) del departamento de Guaviare, Guainía y Vaupés [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional UCC. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/34577>
- Pizarro, R., et al. (2013). Estimación espacial de la precipitación empleando isoyetas en cuencas rurales. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNA.
- Puerta Tuesta, R. H., Iannacone Oliver, J. A., & Reategui Inga, M. E. (2023). Una revisión del uso de imágenes Sentinel-2 para el monitoreo de la cobertura boscosa a nivel global. Ingeniería y Competitividad, 25(3). <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i3.12708>
- Rincón-Ruíz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., Arias-Arévalo, P., & Zuluaga, P. A. (2014). Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectos conceptuales y

metodológicos. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

Rivera Aguilar, P. O. (2022). Variación espacio-temporal de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia (Lima-Perú) en el período 2003-2019 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].

Robayo Ávila, C. A. (s.f.). Identificación de servicios ecosistémicos de regulación asociados a la cobertura vegetal en la ciudad de Bogotá utilizando SIG y teledetección, como apoyo a la línea de investigación de coberturas vegetales urbanas del JBBJCM. [Informe/Tesis]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Sendra, J. (1992). Sistemas de Información Geográfica. Madrid, España: Ediciones Rialp S.A

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) & Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2021). Cuenta de Bosques del Perú - Documento metodológico 2021.

<https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/3296668-cuenta-de-bosques-del-peru-documento-metodologico-202>

Smith, J., & Schwartz, J. (2015). La deforestación en el Perú. WWF Perú.

Sucoshañay Villalba, D. J., Mejía Pazmiño, L. A., Del Corral Villarroel, V. H., Montero Garófalo, M. F., Yedra Machado, D. A., & Paredes Ulloa, C. O. (2024). Análisis del estado de la vegetación de una microcuenca amazónica mediante el NDVI. Caso de estudio: Microcuenca del río Sandalias. Universidad Estatal Amazónica. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13236

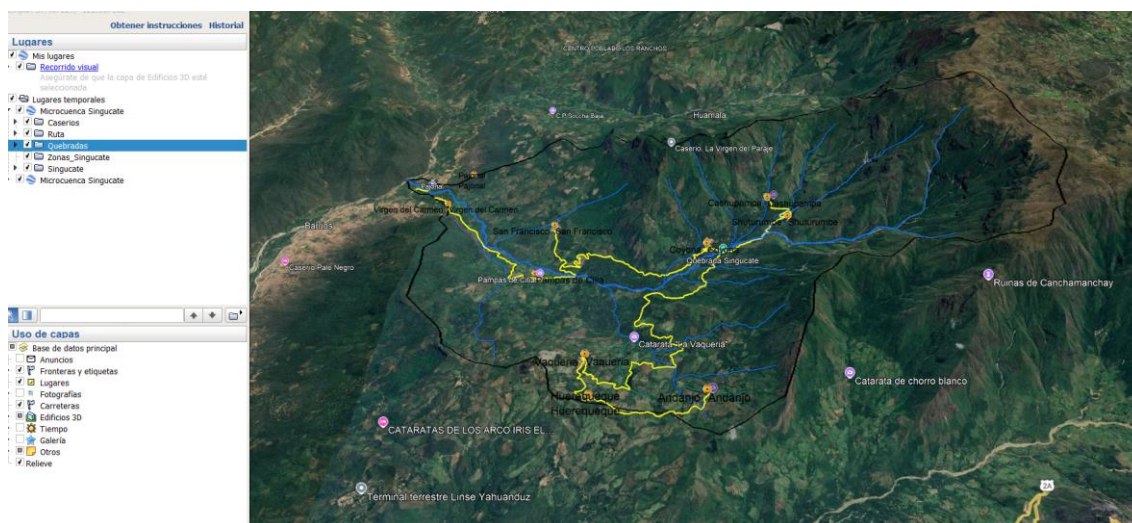
Vargas Chacaltana, L. A., & Uchofen Ñañez, J. M. (2022). Evaluación hidrológica y determinación de los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Huancabamba, Piura. Universidad César Vallejo.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia básica.

| Problema general | Objetivo general | Hipótesis general |
|---|---|--|
| ¿Es posible describir el nivel de cobertura vegetal como base para los servicios ecosistémicos en la microcuenca Singucate-Canchaque? | Identificar el tipo y la calidad de la cobertura vegetal en la microcuenca Singucate-Canchaque. | Es viable caracterizar el nivel de cobertura vegetal en la microcuenca Singucate-Canchaque como fundamento para evaluar y proteger los servicios ecosistémicos. |
| Problemas específicos | Objetivos específicos | Hipótesis específicas |
| ¿De qué manera se puede evaluar y describir la cobertura vegetal en la microcuenca Singucate-Canchaque? | Evaluar y caracterizar la cobertura vegetal en la microcuenca. | La evaluación y caracterización de la cobertura vegetal en la microcuenca Singucate-Canchaque se puede realizar mediante el uso combinado de imágenes satelitales para la elaboración de mapas temáticos, trabajo de campo para la identificación y cuantificación de tipos de vegetación. |
| ¿Cómo se relacionan la cobertura vegetal y los servicios ecosistémicos en la microcuenca Singucate-Canchaque? | Determinar la relación entre la cobertura vegetal y los servicios ecosistémicos generados en la zona. | En la microcuenca Singucate-Canchaque, la cobertura vegetal está directamente relacionada con la provisión y calidad de los servicios ecosistémicos |

Anexo 2. Identificación de la Zona de Estudio



Anexo 3. Matriz de Cálculo de Susceptibilidad a la Erosión.

| | | | |
|---|------------------------|--------------------------------|-----------------|
| 1-Vertiente montañosa Fuertemente Disectada | 0.35 | 1 | |
| 2-Vertiente montañosa Fuertemente Disectada | 0.25 | 2 | |
| 3-Vertiente montañosa Fuertemente Disectada | 0.2 | 3 | |
| 4-Vertiente montañosa Fuertemente Empinada | 0.03 | 6 | |
| 5-Vertiente montañosa moderadamente Disectada | 0.1 | 4 | |
| 6-Vertiente montañosa moderadamente Disectada | 0.05 | 5 | |
| 7-Vertiente montañosa Fuertemente Empinada | 0.02 | 7 | |
| | | | |
| DESCRIPTOR (COBERTURA VEGERTAL) | PESO DESCRIPTOR | NIVEL | |
| 1-Agroforesteria y silvopastura. | 0.03 | 6 | |
| 2-Pasto natural. | 0.1 | 4 | |
| 3-Pajonal de Paramo. | 0.2 | 3 | |
| 4-Bosque húmedo de montaña. | 0.02 | 7 | |
| 5-Bosque seco denso de montaña. | 0.35 | 1 | |
| 6-Matorral húmedo. | 0.25 | 2 | |
| 7-Matorral subhúmedo y pasto natural. | 0.05 | 5 | |
| | | | |
| | Rango | Nivel de Suceptibilidad | |
| | 0.063 | 0.123 | MUY ALTO |
| | 0.040 | 0.063 | ALTO |
| | 0.003 | 0.040 | MEDIO |
| | 0.000 | 0.001 | BAJO |

Anexo 4. Fotos



FOTO 1: COBERTURA VEGETAL



FOTO 2: EROSION DEL SUELO



FOTO 3: CICLO DEL AGUA



FOTO 4: QUEBRADA SINGUCATE



FOTO 5: TOMA DE COORDENADAS

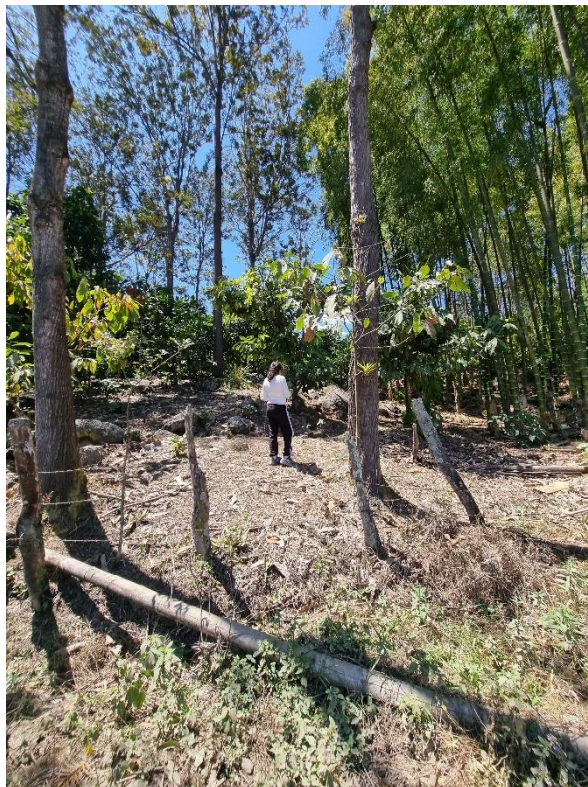


FOTO 6: VISITAS