



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO DEL USO DE SUELO PARA
DETERMINAR EL ESTRÉS HÍDRICO EN EL HUMEDAL DE SANTA ROSA,
CHANCAY. HUARAL, PERÚ-2024

Línea de investigación:
Biodiversidad, ecología y conservación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero en Ecoturismo

Autora

Llerena Rosales, Yoselin Elizabeth

Asesora

Guillen Leon, Rogelia

ORCID: 0000-0003-0152-495X

Jurado

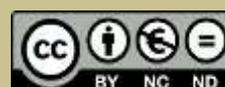
Segovia Aranibar, Elizabeth Luz

Gordon Meza, Ruth Escarlen

Aguirre Cordero, Rogelio

Lima - Perú

2025



"ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO DEL USO DE SUELO PARA DETERMINAR EL ESTRÉS HÍDRICO EN EL HUMEDAL DE SANTA ROSA, CHANCAY, HUARAL, PERÚ-2024 "

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	doaj.org Fuente de Internet	1%
2	www.readbag.com Fuente de Internet	<1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
4	Alberto Benítez Navío. "Metodología para la toma de decisiones estratégicas en la asignación sostenible de recursos para la recuperación hidrológica de humedales en situación de estrés hídrico", Universitat Politecnica de Valencia, 2023 Publicación	<1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
6	vdocumento.com Fuente de Internet	<1%



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO DEL USO DE SUELO PARA DETERMINAR
EL ESTRÉS HÍDRICO EN EL HUMEDAL DE SANTA ROSA, CHANCAY. HUARAL, PERÚ-

2024

Línea de Investigación:

Biodiversidad, ecología y conservación

Tesis para optar Título Profesional de Ingeniero en Ecoturismo

Autora:

Llerena Rosales, Yoselin Elizabeth

Asesora:

Guillen Leon, Rogelia

ORCID: 0000-0003-0152-495X

Jurado:

Segovia Aranibar, Elizabeth Luz

Gordon Meza, Ruth Escarlen

Aguirre Cordero, Rogelio

Lima - Perú

2025

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres, Carmen y Andrés, por ser el pilar fundamental en mi vida y el motor a alcanzar mis metas; a mi hijo Gabriel, quien representa mi mayor motivación; a mis hermanos Víctor y Andrés, cuyo apoyo incondicional y fortaleza han sido esenciales en cada etapa de mi vida; y a mis abuelos Leocadia y Santiago, cuyos valiosos consejos y sabiduría dejaron una huella en mi camino.

AGRADECIMIENTO

A mis profesores, por compartir su conocimiento y experiencia, brindándome las herramientas necesarias para enfrentar con confianza el campo laboral, y a mis amigos de la universidad, ahora colegas, quienes me enseñaron que no existen excusas cuando se trata de alcanzar nuestras metas.

ÍNDICE

Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción y formulación del problema	2
1.2. Antecedentes	5
1.3. Objetivos	11
- Objetivo General	11
- Objetivo Específico	11
1.4. Justificación	12
II. MARCO TEÓRICO	14
2.1. Bases teóricas	14
III. MÉTODO	35
3.1. Tipo de investigación	35
3.2. Ámbito temporal y espacial	35
3.3. Variables	36
3.4. Población y muestra	36
3.5. Instrumentos	37
3.6. Procedimientos	37
3.7. Análisis de datos	40
IV. RESULTADOS	41
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	62

VI. CONCLUSIONES	65
VII. RECOMENDACIÓN	66
VIII. REFERENCIAS	67
IX. ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tipos de humedales agrupados en las categorías	14
Tabla 2	Humedales de importancias a nivel Nacional	16
Tabla 3	Clasificación de los valores de NDVI	22
Tabla 4	Clasificación de los valores de NDWI	23
Tabla 5	Longitudes de onda de la luz visible en el espectro electromagnético	30
Tabla 6	Variables, dimensiones, indicadores e instrumentos	36
Tabla 7	Ubicación geográfica de la zona de estudio	41
Tabla 8	Correlación entre los índices EVI, NDVI y NDWI	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de la distribución de los humedales costeros	17
Figura 2 Diagrama de flujo de Dynamic World	24
Figura 3 Espectro electromagnético	29
Figura 4 Mapa de Ubicación del Proyecto	42
Figura 5 Serie de Tiempo de Cobertura de Suelo	43
Figura 6 Serie de tiempo de la cobertura del Agua	43
Figura 7 Serie de tiempo de Vegetación inundada	45
Figura 8 Serie de tiempo de la cobertura de cultivo	46
Figura 9 Serie de tiempo de la cobertura de cultivo	47
Figura 10 Serie de tiempo de la cobertura de suelo desnudo	48
Figura 11 Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2016	49
Figura 12 Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2017	50
Figura 13 Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2018	51
Figura 14 Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2019	53
Figura 15 Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2020	54
Figura 16 Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2021	55
Figura 17 Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2022	57
Figura 18 Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2023	58
Figura 19 Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2024	59
Figura 20 Agricultura en los margenes del humedal	72
Figura 21 Vegetacion exotica que cubre el cuerpo de agua del humedal	72
Figura 22 Arbusto en el humedal Santa Rosa	73
Figura 23 Suelos desnudo en el Humedal Santa Rosa	73

RESUMEN

El presente estudio titulado "Análisis de la influencia del cambio del uso de suelo para determinar el estrés hídrico en el Humedal de Santa Rosa - Chancay" tiene como objetivo analizar las repercusiones del cambio de uso del suelo en el estrés hídrico del humedal Santa Rosa entre los años 2016 y 2024. Mediante el uso de teledetección, se analizaron imágenes satelitales utilizando los índices espectrales NDVI, EVI y NDWI para determinar las variaciones en la cobertura vegetal y el recurso hídrico en el humedal. Los resultados muestran que el aumento de actividades agrícolas y urbanas ha tenido un impacto considerable en la degradación de este ecosistema, afectando la cantidad de agua disponible. Este trabajo busca aportar evidencia empírica que permita la implementación de medidas de conservación para proteger la biodiversidad y los servicios ecosistémicos del humedal Santa Rosa. La metodología empleada incluyó la clasificación de imágenes satelitales y el análisis de correlaciones estadísticas, con el fin de identificar patrones de cambio y su influencia en el estrés hídrico del área de estudio.

Palabras clave: Cambio de uso del suelo, Estrés hídrico y Cobertura vegetal

ABSTRACT

This study, entitled "Analysis of the Influence of Land Use Change to Determine Water Stress in the Santa Rosa Wetland - Chancay - Huaral, Peru," aims to assess the effects of land use change on water stress in the Santa Rosa wetland from 2016 to 2024. Using remote sensing techniques, satellite images were analyzed through NDVI, EVI, and NDWI spectral indices to determine variations in vegetation cover and water resources in the wetland. The results show that the increase in agricultural and urban activities has significantly impacted the degradation of this ecosystem, affecting the quality and availability of water. This research aims to provide empirical evidence to support the implementation of conservation and sustainable management measures to protect the biodiversity and ecosystem services of the Santa Rosa wetland. The methodology included satellite image classification and statistical correlation analysis to identify change patterns and their influence on the area's water stress.

Keywords: Land use change, Water stress, and Vegetation cover

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Mapa de Humedales del Perú creado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en 2012, se identificaron aproximadamente 27,390 cuerpos de agua, incluyendo lagos, lagunas y cochas, a lo largo del país, cubriendo un área cercana a 944,134 hectáreas. Esto representa el 11.88% del total de los humedales peruanos, los cuales se encuentran principalmente en las regiones andina y amazónica (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2015). Ramsar (2016) menciona que las áreas constituidas por pantanos y turberas, o regiones acuáticas, ya sean de condiciones naturales o artificiales, fijas o temporales, quietas o fluyentes, de agua dulce, salobre o salada, así como las zonas marinas con una profundidad que no sobrepase los seis metros durante las mare baja, son consideradas como humedales. Además de ser los ecosistemas que ofrecen la mayor variedad de beneficios relacionados con el bienestar humano, los humedales desempeñan roles esenciales en la preservación de la biodiversidad, el mantenimiento de los servicios ecológicos, y el suministro de alimentos y agua potable. Ramsar (2016) señala que estos ecosistemas son cruciales para la dinámica del ciclo del agua, esto es aún más importante. El agua es un componente vital de todos los ecosistemas, y cualquier disminución en su cantidad y/o calidad tiene consecuencias adversas significativas en los elementos e interacciones del ecosistema (Malvárez, 1999). Además, el régimen de agua y la configuración del terreno son los factores clave que definen las funciones ecológicas de un humedal, dado que determinan las características fisicoquímicas del agua y, por consiguiente, los procesos biológicos que tienen lugar en ese entorno. Debido a una variedad de factores, los humedales han sufrido cambios significativos en las propiedades físicas y químicas de sus aguas, lo que los ha convertido en algunos de los ecosistemas más vulnerables de nuestro planeta (Contreras-Araya et al., 2018). De hecho, Ramsar (2018), menciona que más de la mitad de los humedales a nivel mundial han experimentado degradación y modificación

factor detrás de estas afectaciones. Dentro de estas actividades, la agricultura y los cambios en el uso del suelo sobresalen como amenazas principales, debido a la generación de sedimentos por erosión, el incremento en la extracción de agua para riego y la infiltración de nutrientes y pesticidas procedentes de zonas agrícolas.

Los cambios en el uso del suelo se destacan como uno de los impactos humanos más significativos por sus influencias en la estructura y biodiversidad de los ecosistemas, lo cual afecta el estado de su conservación y por lo tanto en los servicios ecosistémicos que estos ofrecen, (Peña y Cortés, 2009). La degradación y pérdida de humedales continentales y sus especies asociadas han sido resultado del desarrollo de infraestructuras como presas, terraplenes y diques, la transformación del uso del suelo, extracción de aguas, contaminación, cosecha excesiva y la introducción de especies invasoras. Se anticipa que, en los próximos 50 años, el cambio climático global y la acumulación de nutrientes emergen como factores significativos y crecientes que impulsen cambios en estos ecosistemas. Con el uso de herramientas como la teledetección con el manejo de imágenes por satélite ha potenciado recientemente el estudio de las modificaciones antropogénicas en el paisaje, explorando sus repercusiones ecológicas y sociales. Considerando la relevancia social y ecológica de los humedales, así como el incremento de amenazas humanas hacia estos.

1.1. Descripción y formulación del problema

El cambio de uso de suelos se refiere a la alteración de la cobertura o manejo del terreno, lo cual impacta directamente en los ecosistemas de humedales, considerando tanto la expansión urbana como la intensificación agrícola como principales factores, A nivel global, La Convención Ramsar destaca que los humedales enfrentan diversas amenazas como la contaminación, la desecación para agricultura, los asentamientos y la urbanización, además de la caza. La regulación de muchos ríos debido a la construcción de embalses para riego y energía eléctrica ha impactado negativamente a los humedales interiores y costeros, causando

salinización, disminución de reservas de agua subterránea, pérdida de biodiversidad y degradación de hábitats. Se subraya la importancia de contar con inventarios completos y actualizados de humedales para facilitar una planificación y gestión adecuadas, lo que es crucial para su conservación y uso racional (Ramsar, 2010).

En Perú, particularmente, esta tendencia se ve exacerbada por el crecimiento urbano y la expansión agrícola, superando la media de conservación de humedales, lo que resalta una urgente necesidad de acciones concretas para su protección. El Ministerio del Ambiente (MINAM) ha desarrollado un documento de importancia que trata sobre el cambio de uso de suelo en Perú es el "Atlas de Cambio de Uso de Suelo y Cobertura de la Tierra en el Perú". Este atlas proporciona un análisis detallado de los cambios en el uso del suelo y la cobertura de la tierra en el país.

Aponte y Ramírez (2011) Menciono que el humedal Santa Rosa se caracteriza por un relieve que varía de llano a levemente ondulado. Está rodeado por una variedad de actividades humanas, incluidas la agricultura y la cría de ganado, con la agricultura predominando en las zonas sur y este, donde se cultivan principalmente algodón, camote, fresas y zapallo, siendo estas áreas propiedad de residentes de Peralvillo y Salinas Alta. Al oeste, cerca del Océano Pacífico, se encuentran zonas de desechos y criaderos de cerdos. Además, las regiones este y norte colindan con la zona urbana de Santa Rosa y el este sirve como área de pastoreo. Este lugar está catalogado como Área de Conservación Municipal y es supervisado por la Municipalidad de Chancay, resaltando su importancia ambiental y de gestión. Las principales causas incluyen la vulnerabilidad de los humedales a impactos humanos, insuficiente estructura institucional, y gobernanza fragmentada. Este cambio puede alterar significativamente el régimen hídrico del humedal, afectando a la vida silvestre, preservar la biodiversidad y mantener los servicios ecosistémicos. La creciente presión antropogénica sobre estos humedales puede incrementar el estrés hídrico, comprometiendo su integridad ecológica y

funcionalidad.

Debido a su vulnerabilidad, la explotación insostenible de los recursos naturales vinculados a los humedales, incluyendo el agua, así como su flora y fauna, representa un riesgo para su conservación. (MINAM, 2015). la consecuencia última que sería la “extinción de los ecosistemas de humedales a nivel nacional”. Por lo tanto, se establece como meta de la Estrategia Nacional de Humedales: “Fomentar la conservación y el uso sostenible de los humedales mediante la prevención, disminución y mitigación de su degradación”(MINAM, 2015). De no tomar medidas efectivas, el continuo deterioro de los humedales llevará a la extinción de estos ecosistemas clave, afectando no solo la biodiversidad local sino también las comunidades humanas que dependen de sus servicios ecosistémicos para subsistir.

Formulación del problema

Problema general

¿Cómo afecta el cambio en el uso del suelo en las áreas circundantes al estrés hídrico en el humedal de Santa Rosa- Chancay?

Problemas específicos

- ¿Cuáles son las variaciones en las coberturas de uso de suelo que se han producido en el humedal Santa Rosa entre los años 2016y 2024?
- ¿Cómo han variado los índices espectrales (NDVI, EVI, ¿NDWI) en la zona de estudio del humedal Santa Rosa entre los años 2016 y 2024 al ser analizados mediante la teledetección?
- ¿Cómo influye el cambio en el uso de suelo sobre el estrés hídrico en el humedal Santa Rosa?

1.2. Antecedentes

Antecedentes internacionales

En su tesis Rojas (2018), evalúa los efectos de los cambios en el uso del suelo sobre las tasas de sedimentación en la cuenca de la Laguna Grande, ubicada en la parte occidental de la Cordillera de Nahuelbuta, Región del Biobío, Chile. Al entender cómo distintas prácticas de uso del suelo han influenciado la sedimentación en esta cuenca, el estudio busca aportar datos críticos para la gestión y conservación de ecosistemas similares. Para alcanzar este objetivo, se emplearon análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales correspondientes a los años 1987, 1990, 1998, 2002, 2007, 2011 y 2016. Además, Analizó muestras de sedimento de la laguna correspondientes a los últimos 100 años. Pudo identificar y cuantificar los cambios en el uso del suelo y su relación con las tasas de sedimentación en la cuenca. Complemento con análisis de estudios sedimentológicos y geomorfológicos para obtener una comprensión integral de la dinámica de la cuenca. Sus resultados revelaron distintos grados de intervención humana en la cuenca, vinculados principalmente al desarrollo urbano y la actividad forestal intensiva. Identificó que la expansión urbana en áreas de baja pendiente ha sido crítica, coincidiendo con el incremento en las tasas de acumulación de sedimentos en la cuenca, subrayando la significativa influencia del uso del suelo en la dinámica sedimentaria de la cuenca. Teniendo como conclusión que los cambios en el uso del suelo, particularmente el crecimiento urbano y la explotación forestal, han tenido un impacto considerable en las tasas de sedimentación en la cuenca de la Laguna Grande.

Benítez (2022), En su tesis la desaparición y degradación de los humedales, se debe principalmente a la falta de recursos hídricos y a la gestión inapropiada de estos recursos. La sobreexplotación de los acuíferos y de las aguas superficiales y el cambio climático ha llevado a una reducción de las precipitaciones y un incremento de la evapotranspiración, afectando el balance hídrico y la calidad del agua en el humedal. La tesis desarrolla una metodología para

la toma de decisiones estratégicas en la asignación sostenible de recursos hídricos, aplicable no solo a las Tablas de Daimiel, sino a cualquier otro humedal en situación de estrés hídrico. Diseñado un índice de sostenibilidad (WRSM) que permite evaluar diferentes fuentes de agua para la regeneración hídrica del humedal. El proceso implica el uso del proceso de Análisis Jerárquico (AHP) para asignar pesos a diferentes parámetros fisicoquímicos del agua, generando funciones de rating específicas para cada parámetro y combinándolas en un índice de sostenibilidad (WRSM). Este índice le permitió comparar y seleccionar las fuentes de agua adecuadas para la regeneración hídrica del humedal. La metodología aplicada a las Tablas de Daimiel ha demostrado ser efectiva para evaluar diferentes tipos de aguas de diversas fuentes.

Garrouste (2016) El estudio investiga la utilidad del NDVI y EVI como indicadores del biomasa y calidad del forraje para los alces migratorios en el ecosistema del Gran Yellowstone. A través de imágenes satelitales MODIS, se analizaron estos índices utilizando modelos que incluyeron efectos curvilíneos, estacionales y variaciones locales, dividiendo las áreas según la fecha de inicio de la temporada (SOS) y uso del suelo, aplicando modelos lineales y no lineales. Los resultados mostraron que los modelos lineales de NDVI y EVI explicaron entre el 42% y 53% de la variación en la biomasa, pero poco sobre la clorofila, proteína cruda y digestibilidad. Los modelos no lineales mejoraron la precisión en comparación con los lineales, mostrando mayor heterogeneidad espacial en la calidad del forraje, especialmente en áreas agrícolas irrigadas. Se concluyó que, aunque NDVI y EVI son útiles para mapear patrones de forraje, presentan limitaciones importantes en la estimación precisa de la calidad del forraje, siendo esta influenciada por la elevación, uso del suelo y la temporada, destacando la relevancia de las áreas agrícolas irrigadas y pastizales de alta elevación en el ecosistema del Gran Yellowstone.

Huang (2021), El artículo enfatiza el uso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en la teledetección moderna, destacando su popularidad como

herramienta eficaz para evaluar la vegetación debido a su simplicidad y facilidad de cálculo con sensores multiespectrales, especialmente en aplicaciones agrícolas y estudios de uso de la tierra mediante Sistemas Aéreos No Tripulados (UAS). Sin embargo, también aborda los riesgos del mal uso del NDVI por parte de usuarios no capacitados en teledetección. El NDVI se calcula utilizando la fórmula, con valores que varían entre -1 y 1, donde los valores más altos indican vegetación vigorosa. Diferentes plataformas, como MODIS, Landsat y UAS, presentan variaciones en los datos NDVI debido a las diferencias en la resolución espacial y la calidad de los sensores. El NDVI ha demostrado ser útil para diferenciar tipos de vegetación, estimar propiedades como el índice de área foliar, biomasa y productividad de las plantas, aunque presenta limitaciones, como la saturación en condiciones de biomasa elevada o precipitaciones intensas. Concluye que, aunque el NDVI, su uso depende de la calidad de los datos y su interpretación.

Quishpe (2023), En su trabajo de investigación menciona que los ecosistemas de los páramos en la parroquia Isinliví ha experimentado un deterioro debido a la intervención humana y al cambio climático, lo que ha afectado la disponibilidad y calidad del recurso hídrico. La degradación de estos ecosistemas ha resultado en una disminución de la retención de agua y un aumento del estrés hídrico. El estudio proporciona un análisis multitemporal del cambio del recurso hídrico en los páramos de Isinliví durante el período 2013-2023, El uso de teledetección y SIG. Los cambios de las fuentes de agua en el área de estudio y para implementación de estrategias de manejo sostenible y conservación del recurso hídrico. Utilizó el cálculo del índice espectral NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada) para detectar la presencia de agua y determinar el estrés hídrico en la vegetación. Realizó una clasificación supervisada, se compararon datos de los años 2014, 2018 y 2022. La metodología incluyó la obtención y procesamiento de imágenes satelitales, la generación de mapas temáticos y la validación de los resultados. El análisis reveló que los páramos de Isinliví experimentaron un

estrés hídrico predominante en los años 2018 y 2022. Observo cambios en la humedad y disponibilidad de agua en la vegetación y el suelo en áreas específicas. La validación de datos mostró niveles de precisión del 93.2% en 2014, 88.4% en 2018 y 98% en 2022.

Medina (2023), El estudio aborda la degradación y la pérdida de cobertura de los humedales en el Sitio Ramsar Núm. 1981, ubicado en el noreste de México. Experimentado una disminución del área inundable y del matorral debido a la expansión agrícola y el pastoreo extensivo, donde presentaron prolongados periodos de sequía. La investigación proporciona un análisis temporal detallado del cambio de uso del suelo en un humedal específico durante un periodo de 44 años (1975-2019). Utilizando imágenes satelitales y mapas de uso de suelo, el estudio documenta la magnitud de los cambios y ofrece una base científica para la toma de decisiones en la conservación y manejo de humedales. Se emplearon imágenes satelitales y mapas históricos para comparar y cuantificar los cambios en la cobertura del suelo en tres momentos específicos: 1975, 2003 y 2019. Se utilizaron SIG y análisis estadísticos para evaluar la pérdida y ganancia de diferentes tipos de cobertura, como áreas agrícolas, matorrales y áreas inundables. Los datos obtenidos se analizaron paquete estadístico PAST. El estudio reveló una pérdida del 84 % del área inundable y una disminución del 36 % del matorral, mientras que las áreas agrícolas y de pastizales aumentaron en un 547 % y 284 %, respectivamente. Los resultados subrayan la necesidad de mejorar la gestión de las leyes para mitigar los efectos del cambio climático y la presión antrópica sobre estos ecosistemas vitales.

Antecedentes nacionales

Campos (2022), El área de estudios de la zona de amortiguamiento del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV) ha experimentado cambios significativos en el uso del suelo en los últimos años, los cuales no han sido cuantificados adecuadamente, resultando en una disminución alarmante de los relictos de humedal debido a la urbanización y las actividades humanas que amenazan su conservación. Esta investigación evaluó la evolución

espacio temporal de los relictos de humedal y la urbanización en el sector de Villa Baja de 2003 a 2019, proporcionando un análisis detallado de las edificaciones y la extensión de la vegetación utilizando imágenes satelitales y herramientas de GIS. Se realizó un análisis de las edificaciones y la extensión vegetal en los años 2003, 2010, 2015 y 2019 utilizando imágenes satelitales de Google Earth y una clasificación supervisada de las áreas. Posteriormente, realizaron mapas en ArcGIS y se llevaron a cabo trabajos de campo para documentar las actividades antropogénicas en el área. Finalmente, se proyectó la posible evolución futura de la zona considerando la tasa actual de crecimiento urbano y disminución de la vegetación natural. Sus resultados muestran un aumento de 21,31 ha en edificaciones y una disminución de 15,01 ha en vegetación natural en 16 años, lo que representa una reducción del 52,7%. Si esta tendencia continúa, para 2031 no quedarán áreas de vegetación natural en el sector de Villa Baja del humedal

Zaida (2021), en su trabajo de investigación fue identificar y cuantificar los cambios en el uso del suelo en el humedal relicto mencionado, utilizando un enfoque temporal desde el año 2001 hasta el 2021. Al analizar estas transformaciones, el estudio buscaba establecer vínculos entre la gestión del uso del suelo y la salud y sostenibilidad del humedal, proporcionando así una base para la formulación de estrategias de conservación. El estudio procesó imágenes satelitales cada cuatro años en los intervalos de 2001 al 2021, donde empleo técnicas de clasificación supervisada en SIG para identificar los usos del suelo, como áreas de densa vegetación, zonas urbanas y cuerpos de agua. Su metodología le permitió realizar una evaluación de las tendencias de cambio y sus implicaciones para el humedal. Los resultados indicaron una disminución en la cobertura de vegetación densa e intermedia, con descensos del -55,30% y -11,54%, respectivamente, y un aumento en las áreas sin vegetación y urbanizadas, de un 50,62% y 474,21%. Estos cambios reflejan las presiones antropogénicas en la zona, incluyendo actividades como la introducción de ganado, el vertido de efluentes domésticos, la

acumulación y quema de residuos, y la expansión de infraestructuras. El estudio subraya la necesidad de gestionar adecuadamente los desechos municipales y asegurar servicios básicos como el suministro de agua y saneamiento para proteger los humedales relictos y mejorar la calidad de vida en las comunidades cercanas. La investigación destaca la importancia de estos factores en la conservación de los humedales y sugiere que medidas en estos ámbitos pueden tener un impacto positivo en la preservación de estos ecosistemas.

Leyva (2014), El estudio aborda las características generales de las cabeceras de cuenca andina, destacando los servicios ecosistémicos que proporcionan, como la regulación hídrica y la biodiversidad, y los desafíos que enfrentan, como la falta de datos hidrometeorológicos y la deforestación provocada por actividades humanas. Para abordar estos desafíos, se utilizó una metodología basada en imágenes de satélite ETM+ y OLI de Landsat, con un proceso de adquisición de imágenes seguido del cálculo de los índices NDVI y NDWI, y la aplicación de la transformación *Tasselled Cap* para identificar y clasificar áreas de humedales. Los resultados obtenidos, mediante modelos de elevación digital y los índices calculados, fueron representados en figuras y mapas que muestran las variaciones en la vegetación y el agua en las cuencas Chancay-Lambayeque y Jequetepeque, discutiendo las diferencias espaciales y temporales observadas.

Loza-Taype et al. (2021), En su trabajo de investigación fue analizar y describir los cambios en la composición vegetal y los patrones de uso del suelo en Cabana a lo largo de un período de 16 años, utilizando imágenes satelitales para documentar y cuantificar estas transformaciones. El estudio utilizó un análisis supervisado de imágenes satelitales Landsat con una resolución espectral de 30 m, capturadas durante los meses de marzo y abril de los años 2000, 2005, 2010 y 2016. Se clasificaron las áreas según la vegetación predominante y los usos del suelo habituales, permitiendo la identificación de seis tipos de asociaciones vegetales y su evolución en el tiempo. Se evidenció una reducción significativa en las áreas de

vegetación natural, con una disminución de 2000 ha de las 12 500 ha iniciales, destacando un cambio en la predominancia de las asociaciones vegetales. Paralelamente, se registró un aumento en las áreas de cultivo y una expansión de los suelos degradados y áreas con vegetación escasa, junto con una notable reducción de los humedales. Además, se observó un crecimiento acelerado de la cobertura urbana. El estudio concluye que los cambios no planificados en el uso del suelo en Cabana han conducido a una significativa pérdida de vegetación y áreas productivas, afectando negativamente los servicios ecosistémicos y la sostenibilidad de los recursos naturales. Estos hallazgos subrayan la urgencia de implementar estrategias de ordenamiento territorial que promuevan un uso del suelo más equilibrado y sostenible en la región altoandina.

1.3. Objetivos

Objetivo General

Analizar de la influencia del cambio del uso de suelo en el estrés hídrico en el Humedal Santa Rosa -Chancay.

Objetivos Específicos

- Determinar las coberturas de uso de suelo generadas entre los años 2016-2024 en el Humedal Santa Rosa.
- Analizar los índices espectrales (NDVI, EVI, NDWI) mediante la teledetección para la zona de estudio entre los años 2016 y 2024.
- Determinar la influencia del cambio del uso de suelo en el estrés hídrico en el humedal Santa Rosa.

1.4. Justificación

Justificación teórica

En 2020, el Humedal Santa Rosa fue designado como Área de Conservación Ambiental por la Ordenanza Municipal N°013-2020-MPH-CM de la Municipalidad Provincial de Huaral. Esta tiene una importancia de preservar el humedal como un enclave de biodiversidad y un ecosistema crucial para mitigar los efectos del cambio climático.

Justificación practica

El presente estudio pretende analizar la influencia del cambio en el uso del suelo sobre el estrés hídrico en el Humedal de Santa Rosa. Este enfoque en poder comprender las dinámicas que afectan la disponibilidad y calidad del agua en el humedal, aspectos para su conservación y para el bienestar de las comunidades locales que dependen de sus recursos. Existe una brecha en la investigación sobre cómo los cambios en el uso del suelo afectan su equilibrio hídrico y, en consecuencia, su funcionalidad ecológica. Entender estas interacciones es esencial para elaborar estrategias de manejo y conservación.

Justificación social

Con la tesis se podrá mantener su preservación y manejo adecuado que promuevan la participación comunitaria y la educación ambiental. Además, la protección del humedal asegura la disponibilidad de recursos esenciales para las comunidades locales y la salud de los habitantes. La investigación y las acciones de conservación también pueden generar un sentido de orgullo y pertenencia entre los residentes, impulsando el desarrollo social y comunitario en armonía con el entorno natural.

Justificación económica

La conservación y manejo adecuado del Humedal Santa Rosa. Los humedales funcionan como filtros naturales para el agua. Asimismo, contribuyen a mitigar los impactos del cambio climático y a evitar inundaciones, el humedal contribuye a evitar daños a

infraestructuras y propiedades, lo que implica un ahorro significativo en costos en su recuperación. La preservación de este ecosistema también fomenta el ecoturismo, una fuente potencial de ingresos para la región que puede generar empleo y fortalecer la economía local.

Justificación metodológica

La investigación proporcionará evidencia empírica sobre los impactos del cambio de uso del suelo en los humedales. Este enfoque metodológico permitirá un análisis detallado y riguroso de las variables ambientales y su relación con el uso del suelo, facilitando la implementación de estrategias de manejo basadas en datos científicos.

1.5 Hipótesis

Hipótesis General

Si analizamos la influencia del cambio de uso de suelo se determinará el estrés hídrico en el Humedal Santa Rosa.

Hipótesis Especificas

- Si entre los años 2016 y 2024 del Humedal Santa Rosa se determinara la cobertura del uso del suelo.
- Si mediante la teledetección se podrá analizar los índices espectrales.
- Si el estrés hídrico del humedal se ve influenciado por el cambio de uso suelo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas

2.1.1 Humedales

De acuerdo con la Convención Ramsar (1971), los humedales se definen como áreas que incluyen pantanos, marismas, turberas o cualquier terreno naturalmente inundado o artificialmente regado, que puede estar sometido a inundaciones permanentes o intermitentes y cuyas aguas pueden ser estancadas o corrientes, y de cualquier tipo de salinidad. Además, los humedales pueden abarcar áreas adyacentes a ríos o costas, y también regiones de agua marina más profundas que seis metros durante la marea baja, siempre que formen parte del ecosistema del humedal. La Convención también introdujo una clasificación para los humedales que los agrupa en tres categorías principales: humedales marinos y costeros, humedales continentales, y humedales artificiales.

2.1.1.1. Tipos de humedales. El mapa de humedales elaborado por Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Ministerio del Ambiente (MINAM) en el 2012 registra diversas categorías de humedales en el Perú, que abarcan lagos, lagunas y cochas con una extensión de 944,134 hectáreas, bofedales que ocupan 549,156 hectáreas, además de aguajales y pantanos amazónicos que suman 6,447,728 hectáreas y humedales costeros con 12,173 hectáreas. En total, estas áreas comprenden 7,953,191 hectáreas de humedales en el país como se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1

Tipos de humedales agrupados en las categorías

Categoría	Tipo de Humedal	Descripción
Humedales Marinos y Costeros	Humedales litorales	Áreas de agua hasta 6 m de profundidad en la marea baja.
	Estuarios	Zonas de agua salobre donde los ríos se encuentran con el mar.

	Arrecifes de coral	Ecosistemas marinos con alta biodiversidad.
	Manglares	Bosques costeros tropicales con árboles que toleran agua salada.
	Marismas y pantanos salinos	Zonas inundadas periódicamente por mareas con vegetación adaptada a la salinidad.
	Praderas submarinas	Áreas poco profundas cubiertas por vegetación marina.
	Lagos y lagunas costeras	Cuerpos de agua conectados temporal o permanentemente al mar.
Humedales Continentales	Ríos y corrientes de agua	Cauces de agua que fluyen sobre la superficie terrestre.
	Lagos y lagunas	Cuerpos de agua dulce o salada sin salida directa al mar.
	Pantanos y marismas de agua dulce	Áreas inundadas permanentemente o de forma estacional con vegetación adaptada a agua dulce.
	Turberas	Humedales con acumulación de material orgánico (turba).
	Bosques inundables	Áreas forestales que se inundan periódicamente.
	Delta de ríos	Zonas donde los ríos se bifurcan antes de desembocar en el mar.
Humedales Artificiales	Arrozales	Campos de cultivo de arroz que se inundan temporalmente.
	Estanques piscícolas	Cuerpos de agua creados o modificados para acuicultura.
	Embalses y presas	Cuerpos de agua retenidos por barreras construidas por el ser humano.
	Canales y zanjas	Estructuras artificiales que conducen agua para el riego o drenaje.

Nota. Los humedales según la Convención de Ramsar se categorizan en tres tipos principales: humedales marinos y costeros, humedales continentales, y humedales artificiales adaptada de Ministerio del Ambiente del Perú. (2015). *Estrategia Nacional de Humedales*. Dirección General de Diversidad Biológica.

a. Humedales costeros. Los humedales costeros son zonas críticas donde convergen los ecosistemas terrestres y marinos, siendo especialmente sensibles a las dinámicas de las aguas que fluyen hacia y desde ellos (Niering, 1985). Estos ecosistemas no solo proporcionan hábitats cruciales para una amplia variedad de especies de vertebrados e invertebrados, sino que también ofrecen numerosos servicios ecosistémicos. Entre estos servicios se incluyen la retención y filtración de nutrientes, la protección de líneas costeras, el secuestro de carbono, la retención de sedimentos, el suministro y purificación del agua, y la mitigación de impactos de tormentas, inundaciones y otros eventos naturales, en parte, debido a su capacidad de reducir la fuerza y altura de las olas. Asimismo, su disposición a lo largo de las costas forma una cadena de hábitats que facilitan la migración de muchas especies, como se muestra en la **Tabla 2** las descripciones de los humedales costeros.

Tabla 2

Humedales de importancias a nivel Nacional

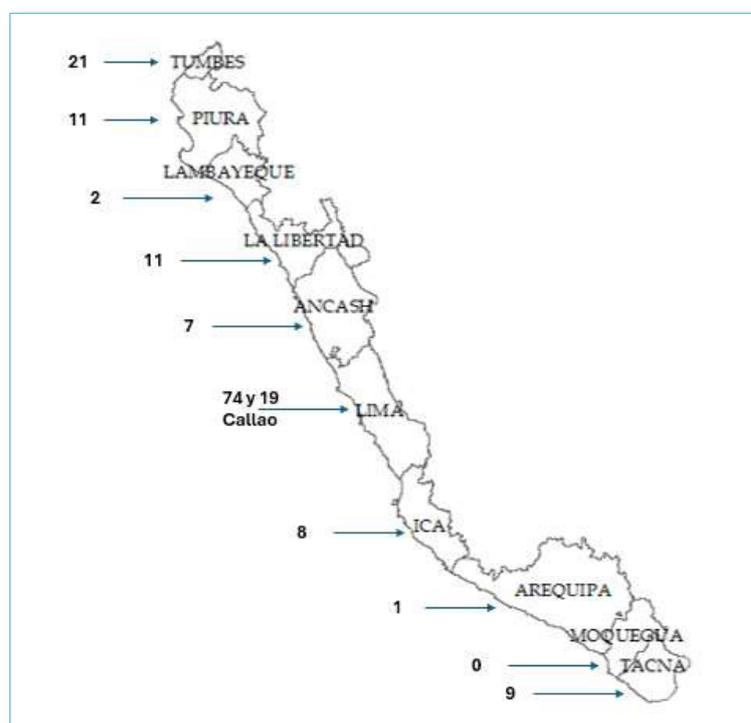
Nombre del Humedal	Región	Descripción
Humedales de Puerto Pizarro	Tumbes	Manglares y estuarios cerca de la frontera con Ecuador
Manglares de Tumbes	Tumbes	Mayor extensión de manglares en Perú, dentro del Santuario Nacional
Lagunas de Eten	Lambayeque	Lagunas costeras con abundancia de aves migratorias
Humedales de San José	Lambayeque	Estuario que es hábitat para aves migratorias y residentes
Humedal de Paraíso	Lima	Humedal de agua dulce y salobre, refugio de aves migratorias
Pantanos de Villa	Lima	Importante área de conservación de aves y fauna acuática en Lima
Humedal de Puerto Viejo	Lima	Humedal costero en Cañete con biodiversidad de aves

Nombre del Humedal	Región	Descripción
Humedal de Laguna Grande	Ica	Parte de la Reserva Nacional de Paracas, hábitat para aves acuáticas
Humedal de Pisco	Ica	Humedal costero en la Reserva Nacional de Paracas
Humedal de Mejía	Arequipa	Humedal importante para la biodiversidad en la Reserva Nacional de Mejía
Humedales de Ite	Tacna	Humedal de importancia para aves acuáticas cerca de la frontera con Chile

Nota. La tabla destaca humedales de importancia nacional en Perú, ubicados en regiones, los cuales son hábitats importantes para aves migratorias y residentes.

Figura 1

Mapa de la distribución de los humedales costeros



Nota. Sanches (2022). Mapa de la distribución de los humedales costeros

2.1.2 *Los análisis multitemporales*

Son investigaciones espaciales que comparan diferentes conjuntos de datos, como imágenes de satélite, fotos aéreas o mapas de una región específica, en varios momentos. Este tipo de estudio facilita la detección de cambios en las clasificaciones de cobertura terrestre y ayuda a comprender cómo evoluciona el ambiente natural o cómo se ve impactado por la actividad humana (Chuvieco, 1990). Se considera un método altamente efectivo para identificar y analizar transformaciones ocurridas en un intervalo de tiempo específico.

2.1.3 *Uso de suelo*

La actividad humana se centra, en gran medida, en la explotación de recursos con el propósito de mejorar el bienestar tanto individual como colectivo. Esto abarca no solo la obtención de alimentos, energía y materiales, sino también transforma los sistemas naturales, provocando cambios en el paisaje (González y Romero, 2013).

En este contexto, las modificaciones en la cobertura y el uso del suelo representan alteraciones en la superficie terrestre derivadas de nuestras actividades. Estas transformaciones impactan de manera directa aspectos ecológicos, socioeconómicos y culturales (Lambin, 2009). Para comprender mejor estos cambios, es crucial distinguir entre los conceptos de cobertura y uso del suelo, los cuales han sido definidos por diversos estudiosos.

La cobertura del suelo hace referencia a la respuesta visible a las condiciones biofísicas, manifestándose en distintos tipos. Algunos de ellos son naturales, fruto de la evolución ecológica, mientras que otros son creados por la intervención humana. Estos elementos configuran el paisaje en su conjunto, abarcando desde la vegetación y las estructuras construidas por el ser humano hasta características como rocas y cuerpos de agua.

El término "paisaje" se refiere al espacio interactivo entre el ser humano y su entorno, abarcando áreas tridimensionales de la superficie terrestre modeladas por la acción humana a lo largo del tiempo. El manejo y reutilización del suelo se ve como un reflejo de patrones de

ocupación que determinan su morfología y estructura, los cuales están interconectados a través del flujo constante de energía, materia orgánica e información dentro de un área determinada. La ecología de un paisaje ha sido moldeada por la intervención humana en el contexto de las estructuras sociales, lo que lleva a cambios dinámicos en el espacio y el tiempo. El estudio de estas dinámicas del paisaje inicia con la comprensión de estas interacciones. La interpretación en mosaico se refiere al análisis de diferentes segmentos del territorio basándose en sus coberturas, que representan diversas formas morfológicas identificables en una región (Gustafson, 1998; Vila, 2006). El uso del suelo, por otro lado, se relaciona con cómo los seres humanos aprovechan estas coberturas de forma ocasional o constante para satisfacer requerimientos tanto materiales como espirituales, reflejando la interacción entre elementos naturales y humanos.

Comprender la cobertura y el uso del suelo es fundamental para los análisis territoriales de carácter biofísico, ya que permite rastrear los cambios en estas coberturas y sus aplicaciones a lo largo del tiempo. Esto facilita interpretar diversas situaciones dentro de contextos específicos y reconocer los factores que influyen en las transformaciones territoriales, su explotación en beneficio humano y su impacto sobre servicios ecológicos esenciales. Este enfoque se convierte en la base para analizar casos concretos en la presente investigación.

Las transformaciones en la cobertura y el uso del suelo son procesos complejos, profundamente interconectados con otras transiciones dentro de los sistemas sociales y naturales. Estos cambios impactan directamente la disponibilidad de servicios ecológicos clave para las sociedades. Estudiar estas alteraciones resulta indispensable para identificar tendencias y anticipar problemas como la deforestación, la desertificación, la degradación del suelo, las alteraciones en la vegetación nativa y la pérdida de biodiversidad en áreas específicas (Lambin, 2003).

2.1.4 Fragmentación ecosistémica

Proceso mediante el cual un ecosistema continuo se divide en fragmentos más pequeños y aislados debido a actividades humanas o fenómenos naturales. Esta fragmentación interrumpe la conectividad ecológica y tiene consecuencias negativas para la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Los servicios ecosistémicos, según Quétier (2007), representan los múltiples beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas. Estos incluyen no solo recursos naturales como alimentos y agua, sino también funciones de regulación que sostienen la vida y promueven el bienestar humano. Durante las últimas cinco décadas, la interacción entre la actividad humana y los ecosistemas se ha intensificado, llevando a una mayor explotación de recursos esenciales como alimentos, agua y materiales. Este aumento ha afectado gravemente la integridad de los servicios ecosistémicos, poniendo en riesgo tanto el bienestar futuro de la humanidad como la sostenibilidad ambiental (MEA, 2005).

Según la clasificación Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005), los servicios ecosistémicos se dividen en cuatro categorías principales: de provisión, como alimentos y agua; de regulación, como la regulación del clima; culturales, que incluyen aspectos como la educación; y de soporte, como el ciclo de nutrientes. Dentro de los servicios de regulación, el ciclo hidrológico destaca por su importancia, ya que es fundamental para el suministro de agua potable y actividades como la agricultura, además de desempeñar un papel clave en la mitigación de inundaciones y la purificación del agua.

La generación de datos y estrategias que promuevan la conservación de servicios ecosistémicos es fundamental para asegurar un manejo sostenible de los ecosistemas. La biodiversidad se reconoce como uno de los beneficios más esenciales que los ecosistemas ofrecen, siendo crucial para el bienestar humano y un pilar central en la planificación para la gestión sostenible de los recursos naturales (MEA, 2005). Sin embargo, la actividad humana

ha generado impactos significativos en la biodiversidad, entre los cuales destaca la fragmentación, definida como la interrupción de la conectividad entre hábitats. Este proceso, que implica la transformación de un hábitat continuo en pequeños parches dispersos, resulta en la pérdida de hábitats y en la disminución de especies (McGarigal, 2001). García, (2011) menciona que la forma y disposición de estos fragmentos reflejan tanto la influencia humana como los procesos naturales que moldean el paisaje.

En este contexto, los corredores ecológicos emergen como herramientas fundamentales para la conservación de la biodiversidad. Estos elementos permiten restablecer la conectividad entre hábitats fragmentados, facilitando el intercambio de especies y mitigando los efectos negativos del aislamiento. De este modo, promueven la diversidad biológica y el equilibrio en los ecosistemas fragmentados (Ruiz y Duque, 2012).

Para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas, resulta imprescindible generar datos e implementar estrategias orientadas a la conservación de los servicios ecosistémicos. Este enfoque asegura un manejo sostenible que permita proteger la biodiversidad y los beneficios que brinda a las sociedades actuales y futuras.

2.1.5 Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI)

El NDVI es un índice para evaluar la salud y la densidad de la vegetación mediante la teledetección. Se calcula utilizando las bandas roja e infrarroja cercana de imágenes satelitales, aprovechando la diferencia en la reflectancia de la vegetación entre estas dos bandas. La fórmula básica para calcular el NDVI es la siguiente (Tucker, 1979),

$$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red}$$

donde NIR es la reflectancia en la banda del infrarrojo cercano y R es la reflectancia en la banda roja. El NDVI oscila entre -1 y 1, donde los valores positivos más cercanos a 1 indican una vegetación densa y saludable, mientras que los valores negativos o cercanos a cero representan áreas con vegetación escasa o nula, o superficies no vegetadas como el agua o el

suelo desnudo (Pettorelli-Vik et al., 2005). Este índice es esencial para monitorear cambios en la vegetación a lo largo del tiempo y es una herramienta clave en estudios de cambio climático, gestión de recursos naturales, y agricultura (Carlson y Ripley, 1997).

Tabla 3

Clasificación de los valores de NDVI

Clasificación	Valor
Nube y agua (NA)	< 0.01
Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1
Vegetación ligera (VL)	0.1 - 0.2
Vegetación mediana (VM)	0.2 - 0.4
Vegetación alta (VA)	> 0.4

Nota. Este cuadro de clasificación permite monitorear la salud y el tipo de vegetación en diferentes áreas geográficas López-Pérez, A., Martínez-Menes, M. R., & Fernández Reynoso, D. S. (2015, enero-febrero). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(1), 121–137.

2.1.6 Índice de Vegetación Mejorado (EVI)

Es un índice de teledetección diseñado para mejorar la sensibilidad en regiones con alta biomasa y minimizar las influencias atmosféricas y de fondo del suelo en las imágenes satelitales. A diferencia del NDVI, que utiliza solo las bandas roja e infrarroja cercana, el EVI también incluye la banda azul para corregir las distorsiones causadas por aerosoles en la atmósfera y la reflectancia del suelo (Huete et al., 2002). La fórmula para calcular el EVI

$$EVI = Gx \frac{(NIR - Red)}{NIR + C1xRed - C2xBlue + L}$$

donde G es un factor de ganancia, NIR es la reflectancia en el infrarrojo cercano, R es

la reflectancia en el rojo, Blue es la reflectancia en el azul, C1 y C2C son coeficientes para la corrección atmosférica, y L es un factor de corrección del suelo (Liu y Huete, 1995). El EVI es particularmente útil en estudios de vegetación en regiones tropicales y subtropicales, donde la densidad de la vegetación puede saturar los valores del NDVI, proporcionando una mejor discriminación de las variaciones en la vegetación densa (Justice et al., 1998).

2.1.7 Índice de Agua Normalizado Diferencial (NDWI)

El NDWI es un índice de teledetección utilizado principalmente para la identificación y el monitoreo de cuerpos de agua en imágenes satelitales. Fue desarrollado para realzar las señales del agua en relación con la vegetación y el suelo desnudo, utilizando la diferencia en la reflectancia entre el infrarrojo cercano (NIR) y el verde (McFeeters, 1996). La fórmula para calcular el NDWI es

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

donde Green es la reflectancia en la banda verde y NIR es la reflectancia en la banda del infrarrojo cercano. Este índice produce valores positivos para las superficies de agua y valores negativos o cercanos a cero para la vegetación y otros tipos de cobertura terrestre, lo que lo hace especialmente útil en el seguimiento de cambios en las áreas de agua (Gao, 1996). El NDWI es ampliamente utilizado en estudios de recursos hídricos, gestión de inundaciones y monitoreo de humedales (Chen et al., 2013).

Tabla 4
Clasificación de los valores de NDWI

Categorías de NDWI	Descripción
0.7 <= NDWI	Contenido de humedad muy alto
0.6 <= NDWI < 0.7	Contenido de humedad alto
0.5 <= NDWI < 0.6	Contenido de humedad moderado
0.4 <= NDWI < 0.5	Contenido de humedad bajo

$0.3 \leq \text{NDWI} < 0.4$	Sequía débil
$0.2 \leq \text{NDWI} < 0.3$	Sequía moderada
$0 \leq \text{NDWI} < 0.2$	Sequía fuerte
$\text{NDWI} < 0$	Sequía muy fuerte

Nota. *presenta categorías de NDWI (Índice de Diferencia Normalizada de Agua) asociadas con distintos niveles de humedad en el suelo López-Pérez, A., Martínez-Menes, M. R., & Fernández Reynoso, D. S. (2015, enero-febrero). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. Tecnología y Ciencias del Agua, 6(1), 121–137.*

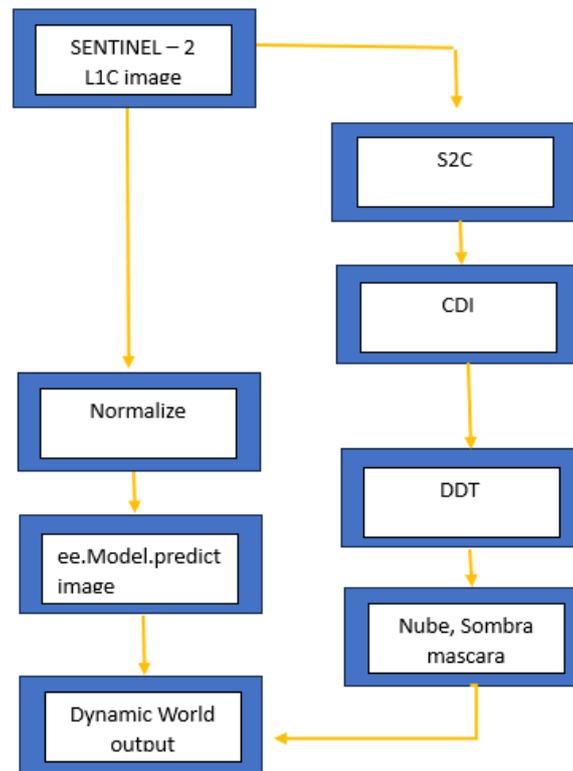
2.1.8 *Dinamic World*

Es conjunto de datos proporciona información global sobre el uso y la cobertura del suelo en casi tiempo real con una resolución de 10 metros. Los datos de Dynamic World posibilitan una medición precisa del uso y cobertura del suelo, ofreciendo ventajas tanto ambientales como sociales, incluyendo entendimiento sobre la influencia humana, la biodiversidad, la preservación del medio ambiente y la administración de áreas agrícolas y forestales.

Dynamic World es una herramienta para científicos y desarrolladores, facilitando la detección y cuantificación de alteraciones terrestres y la identificación de patrones globales. Con la disponibilidad de datos prácticamente en tiempo real, Dynamic World enriquece la comprensión colectiva sobre la utilización del suelo terrestre y el impacto de las actividades humanas en los entornos naturales. Ha priorizado la adopción de prácticas de inteligencia artificial para maximizar beneficios en sostenibilidad y minimizar riesgos potenciales asociados al uso de estos datos.

Figura 2

Diagrama de flujo de Dynamic World



Fuente: Elaboración Propia

Nota. *Proceso de predicción en tiempo casi real (NRT). Se normalizan las imágenes iniciales siguiendo el protocolo empleado durante el entrenamiento, después se utiliza el modelo ya entrenado para producir predicciones sobre la cobertura terrestre. Para eliminar interferencias debidas a nubes y sus sombras en los resultados pronosticados, se emplean las probabilidades de nubes de Sentinel-2 (S2C), junto con el Índice de Desplazamiento de Nubes (CDI) y una transformada de distancia direccional (DDT). Posteriormente, estos resultados se incorporan a la colección de imágenes de Dynamic World.*

- a) **Recopilación y Preparación de Datos:** Se utilizan imágenes de Sentinel-2 Level-2A (L2A) que ofrecen reflectancia de la superficie calibrada radiométricamente, procesadas con el paquete de software Sen2Cor. Este nivel de procesamiento ayuda a minimizar la variabilidad entre escenas debido a diferencias en la distancia solar, el ángulo cenital y las condiciones atmosféricas. Para el entrenamiento y la inferencia, se

mantienen todas las bandas excepto B1, B8A, B9 y B10, y se remuestrean bilinealmente a 10 m.

- b) **Anotación y Clasificación:** Dos grupos de anotadores, expertos y no expertos, utilizan la plataforma Labelbox para crear anotaciones densas en lugar de etiquetas de un solo píxel, con una unidad mínima de mapeo de 50×50 m (5×5 píxeles). Las imágenes de alta resolución de Google Maps y la fotografía de Google Street View están disponibles para ayudar en la anotación. La clasificación para Dynamic World se basa en una "taxonomía" que revisa varios mapas globales de LULC para mantener una semejanza con las clases de uso de la tierra presentadas en la guía de buenas prácticas del IPCC .
- c) **Procesamiento de Imágenes y Máscaras:** La metodología incluye un enfoque novedoso para el filtrado de nubes y sombras que combina varios productos y técnicas existentes. Esto implica el uso de la probabilidad de nubes de Sentinel-2 a 10 m (S2C), junto con el Índice de Desplazamiento de Nubes (CDI) y transformadas de distancia direccionales para mejorar la precisión de las máscaras de nubes y sombras aplicadas durante la anotación y el entrenamiento.
- d) **Entrenamiento y Validación del Modelo:** El modelo se entrena utilizando un enfoque de aprendizaje profundo semi-supervisado que requiere anotaciones densas espacialmente. El modelo es un Fully Convolutional Neural Network (FCNN) que transforma las bandas ópticas preprocesadas de Sentinel-2 en una distribución de probabilidad discreta de las clases basada en el contexto espacial. Este modelo permite generar predicciones de LULC en tiempo casi real para nuevas imágenes y se valida mediante un conjunto de datos de validación no visto.

2.1.9 *Sistemas de Información Geográfica (SIG)*

Se emplean para manejo de información de la superficie terrestre, permitiendo la elaboración de mapas, representaciones gráficas y modelos tridimensionales que detallan

rasgos geográficos como Humedales, Cuencas Hidrográficas, forestales, vías urbanas. Tanto las instituciones educativas como gubernamentales utilizan estas herramientas SIG para obtener una comprensión de diversas materias, que abarcan desde el desarrollo urbanístico hasta los estudios sobre el cambio climático como también contribuyen a la toma de decisiones (Jiang, 2020).

2.1.10 Sensoramiento remoto

La teledetección estudia las características físicas de un lugar. Facilita a los usuarios la visualización de objetos en unos rasgos situados en la superficie. A través de la recolección de imágenes, estas pueden ser categorizadas en términos de cobertura del suelo, entre otros tipos de análisis relevantes (Tempfli et al., 2009). La teledetección implica el uso de un sensor para tomar una imagen. Por ejemplo, plataformas especializadas en aviones, satélites y vehículos aéreos no tripulados están equipadas para llevar estos sensores.

2.1.11 Teledetección

Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC , 2018) la teledetección es el método utilizado para observar y analizar objetos en la superficie terrestre desde una distancia significativa. Esta técnica requiere el uso de un sensor capaz de captar la radiación electromagnética emitida o reflejada por la superficie y los objetos de la Tierra, así como de la plataforma que transporta dicho sensor. Adicionalmente, la teledetección engloba todas las actividades posteriores relacionadas con estas imágenes, incluyendo su procesamiento e interpretación. Cuando el sensor está instalado en un satélite, nos referimos a este proceso como teledetección espacial, mientras que, si la información se recolecta desde un avión, se le conoce como teledetección aerotransportada.

2.1.11.1 Componentes de un proceso de teledetección. Los elementos que participan en la creación de una imagen mediante teledetección utilizando sensores pasivos incluyen:

- La fuente de luz: para los sensores pasivos, esta fuente es el sol.

- El sensor que detecta y registra la energía solar reflejada por el suelo terrestre.
- Una antena terrestre encargada de recibir los datos recopilados por el sensor.
- Programas informáticos específicos diseñados para el procesamiento y el análisis de los datos recogidos.
- Los usuarios finales que aplican la información derivada de estos procesos.

El sensor recoge la energía solar reflejada por la Tierra, la convierte en un formato utilizable y la envía a una estación terrestre para su procesamiento, donde los datos se transforman en imágenes digitales. Posteriormente, estas imágenes son analizadas, ya sea visual o digitalmente, para obtener información sobre los objetos que fueron expuestos a la luz solar.

2.1.12 Fundamento Físicos de la teledetección

Chuvieco (2000) menciona que los principios físicos subyacentes a la teledetección espacial son comunes a otras formas de teledetección, como la fotografía aérea o la televisión, todos fundamentados en la detección de radiación electromagnética que los objetos emiten o reflejan. Esta radiación puede ser originada por fuentes naturales, como la luz solar, dando lugar a la teledetección pasiva, o por fuentes artificiales, como el radar, lo que se conoce como teledetección activa.

Si bien sería muy extenso abordar en profundidad todos los fundamentos físicos de la teledetección, resulta esencial resumir los conceptos clave que nos ayudan a entender cómo y por qué se recopilan datos de los objetos terrestres y sobre qué bases se realiza su identificación o análisis.

2.1.13 La energía electromagnética

La teledetección se facilita mediante la interacción de un flujo de energía con las superficies del planeta, conocido como "Radiación Electromagnética" (Pérez y Muñoz, 2006). De acuerdo con Chuvieco, (1990), las propiedades de esta radiación se explican mediante dos

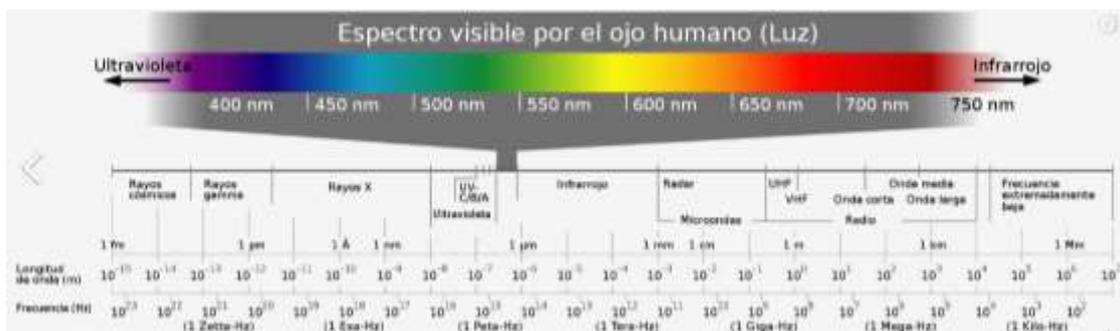
teorías esenciales: la teoría ondulatoria, desarrollada por Huygens y Maxwell, que describe la radiación electromagnética como un campo continuo de ondas, y la teoría cuántica, establecida por Planck y Einstein, que la interpreta como un conjunto de partículas discretas de energía, denominadas cuantos o fotones, caracterizadas por su ausencia de masa.

2.1.14 Espectro Electromagnético (EEM)

Fernández (2014) menciona que el espectro electromagnético (EEM) se refiere a la clasificación energética de todas las ondas electromagnéticas, representada tanto por el espectro de emisión, que muestra las longitudes de onda que una entidad emite, como por el espectro de absorción, que indica las longitudes de onda que una sustancia puede absorber. Este espectro abarca una amplia variedad de tipos de radiación, comenzando por aquellas con longitudes de onda más cortas, como los rayos gamma y los rayos X, continuando con la luz ultravioleta, la luz visible y la radiación infrarroja, y terminando con las ondas de radio, que poseen las longitudes de onda más largas.

Figura 3

Espectro electromagnético



Fuente : (Olaya, 2011)

La parte del espectro electromagnético que puede ser detectada por el ojo humano se denomina "espectro de luz visible". Aunque los límites no son precisos, generalmente se acepta que el ojo humano es sensible a las longitudes de onda que oscilan entre 380 nm y 780 nm, ampliándose este rango desde 360 nm hasta 830 nm en condiciones de baja luminosidad. En

este espectro, la sensibilidad fotópica máxima del ojo humano, o el punto en el que percibe mejor la luz, se encuentra alrededor de los 555 nm.

Tabla 5

Longitudes de onda de la luz visible en el espectro electromagnético

Luz visible	Longitud de onda (nm)
Violeta	455-390
Azul	492-455
Verde	577-492
Amarillo	597-577
Naranja	622-597
Rojo	780-622

Nota. La tabla muestra los diferentes colores de la luz visible y sus correspondientes rangos de longitud de onda en nanómetros (nm), abarcando desde el violeta (390-455 nm) hasta el rojo (622-780 nm).

2.1.15 Comportamientos espectrales

Schomwandt (2015) menciona que el propósito central de lo mencionado conduce al concepto de "firma espectral", que se entiende como el conjunto distintivo y único de valores que cada objeto refleja o emite a través de diferentes partes del espectro electromagnético, capturados por los sensores. Estos valores son fundamentales para la interpretación de imágenes satelitales.

En el caso de la vegetación, la firma espectral recogida por los sensores de teledetección indica cómo interactúa cada objeto con la energía recibida, mostrando diferentes niveles de absorción, transmisión o reflexión. Esta interacción está determinada por la estructura y composición química del objeto en cuestión. La respuesta espectral de un objeto puede cambiar según su estado o cómo interactúa con su entorno, lo cual es un principio clave que facilita el uso de la teledetección. El ajuste de las variaciones estacionales en los ciclos naturales se puede observar en el estudio de distintos tipos de cobertura vegetal. Los elementos clave incluyen: La reflectividad de la hoja es uno de los aspectos más destacados desde una perspectiva espacial

y se ve influenciada por la pigmentación, la estructura celular y el contenido de agua de la hoja.

2.1.15.1 En cuanto a los suelos. Los suelos descubiertos muestran un patrón espectral más uniforme en comparación con la vegetación.

- Suelos calcáreos se caracterizan por su alta reflectividad y coloración clara.
- Suelos arcillosos reflejan más en el espectro rojo, lo cual señala la presencia de óxido de hierro.
- El humus reduce la reflectividad en el rango de 0,70 a 0,75 μm .
- Los suelos de textura fina tienden a ser más reflectantes.
- La humedad incrementa la absorción, especialmente en las bandas de absorción del agua.

2.1.16 Reflectancia espectral del agua

Los autores Hernández y Montaner (2009) mencionan que el aspecto más sobresaliente de la curva de reflectancia del agua es su capacidad para absorber energía en las longitudes de onda del infrarrojo cercano y medio. Varios factores interconectados influyen en la reflectancia del agua, incluyendo la profundidad del cuerpo acuático, la presencia de materiales en suspensión y la textura de la superficie acuática. Las aguas que contienen altas concentraciones de sedimentos suspendidos y plancton muestran un incremento en la reflectancia en el espectro visible. Asimismo, los niveles de clorofila afectan la reflectancia del agua: un alza en la concentración de clorofila resulta en una reducción de la reflectancia en la región azul y un aumento en la verde.

2.1.17 Clasificación de imágenes

La finalidad de la clasificación de imágenes es específica: transformar las imágenes obtenidas mediante teledetección (RS) en información temática. En este ámbito, la atención se dirige hacia las características temáticas de una escena en lugar de enfocarse en sus valores de reflexión. Aspectos tales como la cobertura del suelo, el uso que se le da, el tipo de suelo o de

mineral son analizados para su posterior aplicación en análisis y modelos. Adicionalmente, la clasificación de imágenes sirve como un método de reducción de datos: la transformación de múltiples bandas multiespectrales en un solo archivo de imagen de una banda (Tempfli et al., 2009). Un caso ilustrativo es la relación entre las bandas de longitud de onda verde y roja en el estudio de la vegetación: una reflectancia baja en el verde está asociada con una reflectancia baja en el rojo. Cuando se trata de clasificación, las bandas que presentan esta correlación ofrecen información redundante y pueden interferir en el análisis.

2.1.18 Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE) representa una plataforma basada en la nube para el almacenamiento y procesamiento de vastos conjuntos de datos (de magnitud petabyte) destinados al análisis y a la toma de decisiones (Kumar y Mutanga, 2018).

Después de que la serie Landsat se hizo accesible sin costo en 2008, Google integró toda esta colección de datos con su motor de computación en la nube, habilitándolos para uso público y de código abierto. La compilación actual de datos no solo abarca los provenientes de Landsat, sino también los derivados de otros satélites, además de incluir conjuntos de datos vectoriales de Sistemas de Información Geográfica (GIS), información social y demográfica, datos meteorológicos, modelos digitales de terreno y capas de información climática. Se trata de un portal web que ofrece acceso a series temporales de imágenes satelitales globales y datos vectoriales, junto con capacidades de computación en la nube y herramientas de software y algoritmos para el análisis y procesamiento de estos datos (Gorelick- Hancher et al., 2017). El archivo de datos abarca una extensa colección de imágenes satelitales que se extiende por más de 40 años, abarcando el globo y ofreciendo en muchas áreas actualizaciones bisemanales a lo largo de todo ese tiempo, además de un amplio conjunto de registros diarios y subdiarios. Estos datos se originan de una variedad de satélites, incluyendo toda la serie Landsat, el Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS), el Radiómetro

Avanzado de Muy Alta Resolución de NOAA (NOAA AVHRR), los satélites Sentinel 1, 2 y 3, y el Satélite Avanzado de Observación Terrestre (ALOS), entre otros. Se proporciona un inventario de diversos productos satelitales que comprenden tanto datos originales como procesados, índices, imágenes compuestas y modelos de elevación con alcance global. Esta lista no engloba productos derivados adicionales como las características de la cobertura y topografía terrestre disponibles en GEE ni considera aquellos conjuntos de datos que poseen una cobertura geográfica a escala nacional o regional, así como omite la mayor parte de los datos geofísicos, demográficos y relacionados con el clima y la meteorología (Mutanga y Kumar, 2019).

2.1.19 Correlación de Pearson

Este coeficiente es un método estadístico para cuantificar la asociación entre dos variables. Cada vez que se examinen dos o más variables conjuntamente, surgirá espontáneamente la cuestión de cuán alineadas están estas variables entre sí. En dichos contextos, la curiosidad del investigador se centrará en discernir si los cambios en una variable se corresponden de manera consistente con los cambios en la otra o si, por el contrario, no existe un patrón discernible que las vincule. Desde un enfoque estadístico, el tipo de relación se mide mediante la covarianza (Kozak et al., 2012).

2.1.20 Lenguaje de programación R

R es un lenguaje de programación y un entorno de software utilizado principalmente para el análisis estadístico, la visualización de datos, y la ciencia de datos. R se originó como un proyecto en la década de 1990 por los estadísticos Ross Ihaka y Robert Gentleman en la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda (Ihaka y Gentleman, 1996). Este lenguaje es altamente valorado en la comunidad académica y en la industria por su capacidad para manejar grandes conjuntos de datos, realizar análisis complejos y crear gráficos de alta calidad. R es extensible, lo que significa que los usuarios pueden ampliar su funcionalidad mediante la

creación o el uso de paquetes adicionales que cubren una amplia gama de aplicaciones, desde la bioinformática hasta las finanzas (Chambers, 2008; Venables y Ripley, 2002). Además, R es de código abierto, lo que permite a los desarrolladores y científicos colaborar y mejorar continuamente el software R Core.

III. MÉTODO

La investigación actual se fundamenta en la implementación del método científico:

3.1. Tipo de investigación

Este trabajo de investigación, en base a la problemática abordada y los objetivos establecidos, se clasifica como una investigación de tipo aplicada. dado que busca generar conocimiento útil y directamente orientado al problema, la alteración del equilibrio hídrico en un ecosistema frágil debido a la transformación del uso del suelo. A partir del análisis de variables ambientales, hidrológicas y de cobertura terrestre.

Enfoque de la Investigación

El enfoque utilizado en este trabajo de investigación es cuantitativo, ya que aborda una serie de procesos de forma escalonada, lo que permite la recolección de datos a través de mediciones numéricas y su posterior análisis estadístico.

Tipo de diseño

Al tratarse de un diseño no experimental, este trabajo de investigación se clasifico como longitudinal, dado que recopila datos en distintos momentos a lo largo del tiempo con el fin de comprender el fenómeno, analizar su comportamiento e inferir sobre su evolución y distribución.

3.2 Ámbito temporal y espacial

Ámbito temporal

La investigación se trabajará con imágenes sentienel-2 en un intervalo de años de 2016 a 2024.

Ámbito espacial

Se recopilará información del humedal Santa Rosa en el distrito de chancay en la provincia de Huaral y en el departamento de Lima es un área de conservación distrital.

3.3 Variables

Tabla 6

Variables, dimensiones, indicadores e instrumentos

Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Variable independiente: cambio del uso de suelo.	Tipos de uso del suelo (agricultura, urbano, forestal)	Mosaicos de imagen satelitales	GOOGLE EARTH ENGINE
Variable dependiente: Estrés Hídrico	Clasificación No supervisada	Muestreo de píxeles, agrupación en categorías	NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)
		Muestreo de píxeles, agrupación en categorías	EVI (Índice de Vegetación Mejorado)
		Muestreo de píxeles, agrupación en categorías	NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada)
	Análisis Estadístico	Tablas y gráficos estadísticos	Lenguaje de Programación R studio

3.4 Población y muestra

Población

El humedal Santa Rosa en el Distrito de Chancay, Provincia de Huaral tiene 72 ha Alimentado por agua subterránea proveniente de las irrigaciones del río Chancay y con una variedad de vegetación como plantas acuáticas y totoras.

Muestra

El presente estudio se realizó en 31 Ha según la nueva delimitación del Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR).

3.5 Instrumentos

Los instrumentos para tomar en cuenta para esta investigación fueron las siguiente:

- **GEE:** Plataforma de Google Earth Engine para análisis geoespacial a gran escala.
- **NDVI:** Índice de vegetación de diferencia normalizada utilizado para medir la salud de la vegetación.
- **EVI:** Índice mejorado de vegetación que ajusta el efecto del suelo y la atmósfera.
- **NDWI:** Índice de diferencia normalizada de agua, empleado para identificar cuerpos de agua.
- **ArcGIS:** Software de sistemas de información geográfica (SIG) utilizado para crear y analizar mapas y datos geoespaciales.
- **Lenguaje de programación R:** Lenguaje de programación utilizado en análisis estadístico y visualización de datos.

Equipos

- laptop Toshiba AMD A8
- Cámara Fotográfica
- Celular iPhone 15

3.6 Procedimientos

Procedimiento para el objetivo específico 1 Determinación de la cobertura de uso de suelo generadas por entre los años 2016 - 2024 en el Humedal Santa Rosa.

Se utilizarán las herramientas de Google Earth Engine (GEE) para definir con precisión el área específica de estudio, que en este caso será el Humedal de Santa Rosa. A través de GEE, se creará una geometría personalizada que delimite de manera exacta la zona de interés, permitiendo así realizar un análisis espacial detallado y enfocado en las características particulares del humedal. Esta geometría servirá como base para extraer análisis temporales.

Se realizó un filtrado de las imágenes utilizando la herramienta Dynamic World dentro de Google Earth Engine. Este proceso implicará seleccionar las fechas específicas que correspondan a los intervalos de tiempo entre 2016 y 2024, con el objetivo de obtener una clasificación precisa de la cobertura del suelo en el Humedal Santa Rosa. Al filtrar los datos de esta manera, se logró identificar cambios y tendencias en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo.

Se analizó la cobertura de uso de suelo donde se extrajo y analizó la información de cobertura terrestres, de las cuales se realizó las comparaciones temporales, en este caso serán anuales para poder identificar los cambios y las tendencias existentes de la cobertura de uso de suelo

Se visualizaron los cambios de uso de suelo a lo largo del tiempo eso será vera dentro de la herramienta Google earth engine, donde se genera una serie de tiempo de las intervenciones que se generó en el humedal.

Procedimiento para el objetivo específico 2 procedimiento de análisis de los índices espectrales (NDVI , EVI , NDWI) mediante la teledetección para la zona de estudio entre los años 2016 – 2024.

Se delimitó el Humedal Santa Rosa utilizando la plataforma Google Earth Engine (GEE). Este proceso implica trazar una geometría que cuadre toda la extensión del humedal, garantizando que todos los análisis se centren exclusivamente en esta región. Posteriormente, se seleccionará un conjunto de imágenes satelitales Sentinel, que son conocidas por su alta resolución y capacidad para capturar datos multiespectrales, lo cual es esencial para monitorear los cambios en la cobertura del suelo. Estas imágenes se filtraron por fechas y ajustadas a la geometría previamente definida, permitiendo así un análisis temporal detallado que abarque desde el año 2016 hasta 2024. Este enfoque permitió evaluar de manera rigurosa la evolución del ecosistema.

En la misma Plataforma Google Earth Engine (GEE) se llevará a cabo el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), un indicador clave para evaluar la salud y densidad de la vegetación en el Humedal Santa Rosa. Estas bandas son esenciales porque el infrarrojo cercano es altamente reflectante en la vegetación saludable, mientras que la banda roja es fuertemente absorbida por la clorofila de las plantas. Al aplicar esta fórmula en GEE, se generará un mapa de NDVI que permitió identificar áreas con vegetación densa, moderada o escasa, y analizar su evolución temporal. De la misma fórmula se utiliza la fórmula, pero esta vez para EVI optimizar la señal verde de la vegetación.

Cálculo del Índice de Diferencia Normalizada de Agua (NDWI) en Google Earth Engine (GEE), se utiliza una fórmula similar a la de NDVI, pero adaptada para resaltar cuerpos de agua y reducir la influencia de la vegetación y el suelo. La fórmula es: $(\text{Green} - \text{NIR}) / (\text{Green} + \text{NIR})$, donde Green representa la reflectancia en la banda verde, y NIR la reflectancia en la banda del infrarrojo cercano. Al aplicar esta fórmula en GEE, se logró generar un mapa de NDWI, que permitió identificar y analizar la extensión de las áreas con presencia de agua en el Humedal Santa Rosa, y su variación a lo largo del tiempo.

Se tendrá valores de NDVI, EVI y NDWI a lo largo de un periodo, donde se analizó las tendencias temporales y las variaciones espaciales, Se podrá identificar las anomalías que puedan estar ocasionando los cambios en la vegetación y en el agua.

Procedimiento para el objetivo específico 3 procedimiento para la determinación la influencia del cambio del uso de suelo en el estrés hídrico en el humedal Santa Rosa

Para determinar la influencia del cambio de uso de suelo en el Humedal Santa Rosa, se empleó la correlación de Pearson, una técnica estadística que mide la relación lineal entre dos variables. En este caso, se analizaron las correlaciones entre los índices espectrales NDVI, EVI y NDWI, que son indicadores clave para monitorear la vegetación y la presencia de agua. Se generaron tres correlaciones principales: NDVI con EVI, EVI con NDWI, y NDVI con NDWI.

Estas correlaciones permitieron identificar cómo las variaciones en la vegetación, medida por NDVI y EVI, están relacionadas con los cambios en la presencia de agua, capturada por NDWI. El análisis se llevará a cabo utilizando el lenguaje de programación R. Validación de los resultados se verá si es posible encontrar hallazgos importantes. Se genero los gráficos correspondientes.

3.7 Análisis de datos

En este estudio, el análisis de datos se llevará a cabo mediante los programas ArcGIS y la plataforma Google Earth Engine donde se desarrolló y se mostraron las principales características, de la misma forma se usa el lenguaje de programación R studio el cual se evaluará. Determine las dos variables que quieras las que investigar la relación. Para el análisis de correlación de Pearson, de correlación ambas variables, ambas variables debe ser continuo y cuantitativo. Para calcular el coeficiente de correlación de Pearson entre dos entre las dos variables seleccionadas, utilice una función específica en R.

IV. RESULTADOS

4.1 Caracterización del área de estudio

Tabla 7

Ubicación geográfica de la zona de estudio

Categoría	Ubicación
Distrito	Chancay
Provincia	Huaral
Región	Lima
País	Perú

4.1.1. Resolución de Inscripción

La inscripción oficial de los Humedales de Santa Rosa de Chancay en el marco legal ambiental del Perú suele hacerse mediante una ordenanza municipal N° 009-2020-MDCH con fecha 27.02.2020, ya que su importancia para la biodiversidad y el ecosistema local ha sido reconocida en varios niveles.

4.1.2 Características Generales

Altitud: Los humedales de Santa Rosa de Chancay están localizados a una altitud promedio de 5 a 10 metros sobre el nivel del mar, dada su cercanía a la costa.

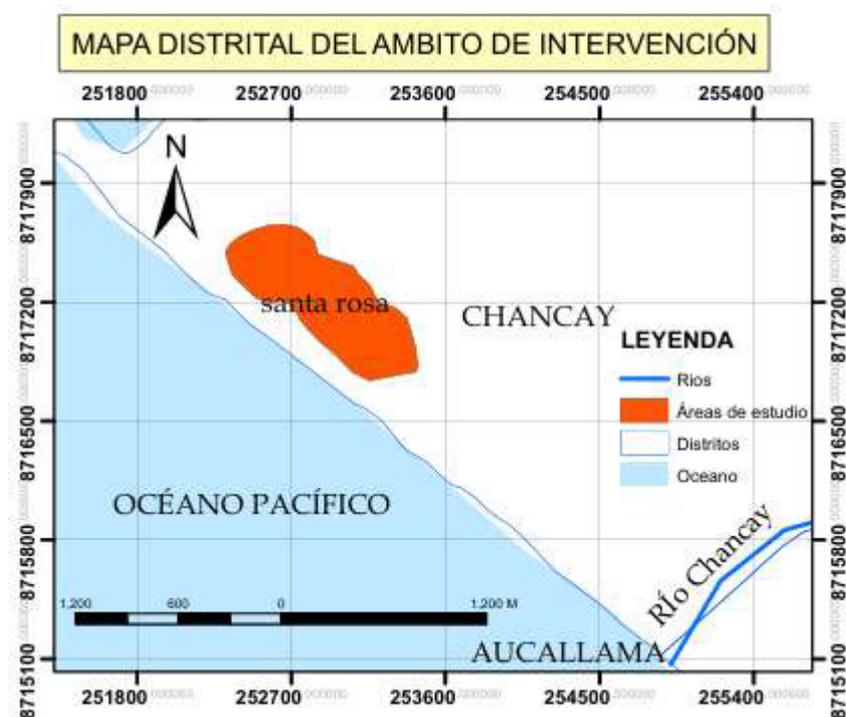
Coordenadas Geográficas

- Latitud: 11°33' Sur

- Longitud: 77°16' Oeste

4.1.3 Acceso y Clima

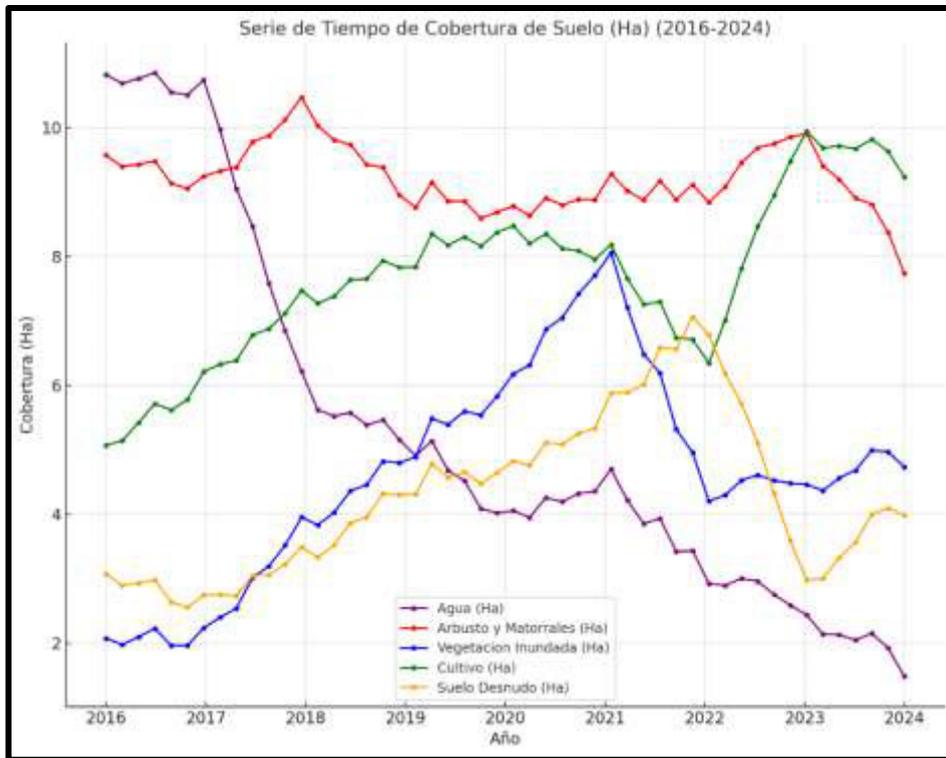
El acceso a los humedales de Santa Rosa de Chancay es posible mediante vías locales desde la ciudad de Chancay. El clima es árido y cálido, con temperaturas que fluctúan entre los 16°C en invierno y hasta los 28°C en verano.

Figura 4*Mapa de Ubicación del Proyecto*

4.2. Resultado de Variación de los usos de suelos

De acuerdo con la información obtenida, evaluada y procesada en gabinete, se obtuvieron los siguientes resultados las categorías. Uso Actual de la Tierra de acuerdo con la Unión Geográfica Internacional (UGI):

La gráfica presenta la serie de tiempo de la cobertura de suelo en hectáreas para varias categorías (agua, arbustos y matorrales, vegetación inundada, cultivos y suelo desnudo) entre 2016 y 2024. A continuación, se realiza una interpretación preliminar de las principales tendencias observadas. En general, la gráfica refleja dinámicas complejas en la cobertura de suelo, con diferentes usos del suelo fluctuando significativamente, lo que podría estar relacionado con cambios en las condiciones ambientales, políticas de manejo de la tierra o actividades humanas específicas.

Figura 5*Serie de Tiempo de Cobertura de Suelo*

4.2.1 Cobertura agua

Figura 6*Serie de tiempo de la cobertura del Agua*

Interpretación

La gráfica muestra la cobertura de agua en hectáreas (Ha) de un humedal entre los años 2016 y 2024, donde se observa una clara tendencia descendente en la cantidad de agua disponible en el ecosistema. Esta reducción progresiva de la cobertura de agua podría estar vinculada a la invasión de plantas exóticas, que suelen ser altamente competitivas y capaces de desplazar a las especies nativas.

La disminución de agua visible en la gráfica es un indicio de la capacidad de estas plantas exóticas para ocupar espacios que antes estaban dominados por cuerpos de agua. Las plantas exóticas invasoras, en muchos casos, tienen un alto consumo de agua y pueden afectar negativamente la hidrología del humedal, causando desecación o disminución de los espejos de agua. A medida que la vegetación invasora se expande, puede generar un cambio en la estructura del ecosistema, afectando la biodiversidad y la funcionalidad de los servicios ambientales que ofrece el humedal, como la retención de agua, la filtración de contaminantes y el hábitat para la fauna. un cuerpo de agua donde gran parte de la superficie está cubierta por *Pistia stratiotes* (lechuga de agua) y *Salvinia spp.* (salvinia). La *Pistia stratiotes* se distingue por sus rosetas flotantes de hojas verde claro con una textura suave y esponjosa, mientras que la *Salvinia spp.* es un helecho acuático que forma alfombras de pequeñas hojas redondeadas y peludas. Ambas especies son altamente invasoras y tienden a cubrir extensas áreas de cuerpos de agua estancados o de lento movimiento, bloqueando la luz solar y afectando los niveles de oxígeno, lo que genera un impacto negativo en la biodiversidad acuática y el ecosistema.

4.2.2 Cobertura de vegetación inundada

Figura 7

Serie de tiempo de Vegetación inundada



Interpretación

La gráfica muestra la serie de tiempo de la cobertura de vegetación inundada (en hectáreas) entre los años 2016 y 2024, con un claro aumento hasta alcanzar un pico en 2021, seguido de una fuerte disminución. La vegetación mencionada es exótica, lo que sugiere que su crecimiento tiende a ser invasivo, cubriendo grandes áreas del agua. Desde 2016, la vegetación creció paulatinamente, alcanzando su máximo en 2021 con una cobertura cercana a las 8 hectáreas. Posteriormente, entre 2021 y 2022, se observa una reducción drástica en la cobertura, lo cual puede ser explicado por acciones de control o retiro de esta vegetación exótica. Tras esa intervención, el nivel se mantiene más estable, aunque ligeramente fluctuante, alrededor de 4 a 5 hectáreas. Esto indica que, si bien la vegetación fue retirada en cierta medida, aún persiste en una cantidad considerable, lo que requiere un monitoreo constante para evitar su expansión descontrolada.

4.2.3 Cobertura de cultivos

Figura 8

Serie de tiempo de la cobertura de cultivo



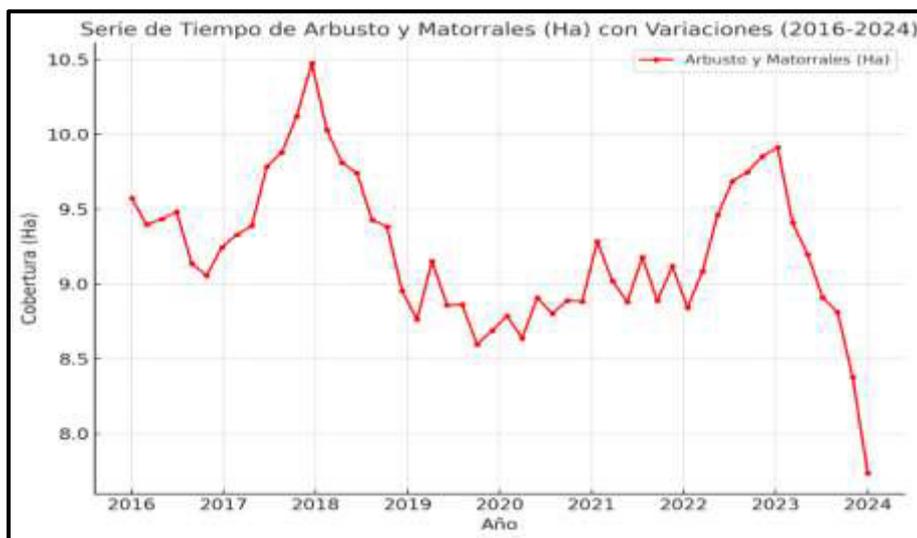
Interpretación

La gráfica muestra la serie de tiempo de la cobertura de áreas de cultivo en hectáreas dentro de los humedales entre los años 2016 y 2024. Se observa un crecimiento sostenido de las áreas de cultivo desde 2016, que pasa de aproximadamente 5.5 hectáreas hasta alcanzar un pico cercano a las 9 hectáreas en 2020. Posteriormente, entre 2021 y 2022, hay una disminución drástica en la cobertura de cultivos, alcanzando un mínimo en torno a las 6 hectáreas. Esta reducción podría estar asociada a factores como cambios en las condiciones ambientales, restricciones legales, o el abandono de las tierras de cultivo. Sin embargo, a partir de 2022, se observa una rápida recuperación, con un repunte de la cobertura agrícola, alcanzando nuevamente cerca de 9 hectáreas en 2023, aunque con una ligera tendencia a la baja en 2024. Este comportamiento sugiere fluctuaciones en el uso del suelo para cultivos dentro de los humedales, posiblemente debido a la interacción entre actividades agrícolas y la gestión de los humedales, que podrían estar sometidos a presión por el desarrollo agrícola.

4.2.4. Cobertura de arbusto y matorrales

Figura 9

Serie de tiempo de la cobertura de cultivo



Interpretación

La gráfica muestra la serie de tiempo de la cobertura de arbustos y matorrales (en hectáreas) en los humedales entre 2016 y 2024. Se observa una tendencia con picos y caídas a lo largo de este período. Al inicio, en 2016, la cobertura de arbustos y matorrales era de aproximadamente 9.5 hectáreas, con un aumento considerable que alcanzó su punto máximo en 2018 con más de 10.5 hectáreas. Sin embargo, después de ese año, la cobertura disminuyó abruptamente en 2019, tocando niveles cercanos a las 9 hectáreas. En los años siguientes, entre 2019 y 2021, la cobertura de arbustos y matorrales se mantuvo relativamente estable, oscilando en torno a las 9 hectáreas. No obstante, en 2022 y 2023, se observó un aumento, con un nuevo pico en 2023 de alrededor de 10.5 hectáreas. Finalmente, en 2024, la cobertura de arbustos y matorrales experimenta una caída drástica, reduciéndose a menos de 8.5 hectáreas.

Esta tendencia refleja fluctuaciones significativas en la vegetación de arbustos y matorrales, posiblemente influenciadas por factores como cambios climáticos, intervención humana, incendios o actividades de manejo del ecosistema en los humedales. La fuerte caída en 2024 podría estar relacionada con la eliminación de vegetación o alteraciones en las

prácticas de conservación.

4.2.5 Cobertura de suelo desnudo

Figura 10

Serie de tiempo de la cobertura de suelo desnudo



Interpretación

La gráfica muestra la serie de tiempo de la cobertura de suelo desnudo (en hectáreas) entre 2016 y 2024. Al inicio, en 2016, la cobertura de suelo desnudo era de aproximadamente 3 hectáreas, manteniéndose estable hasta 2017. A partir de 2018, se observa un aumento sostenido en la cobertura de suelo desnudo, alcanzando su máximo en 2022 con casi 7 hectáreas. Esta tendencia ascendente podría estar asociada con la disminución de vegetación o la intensificación de actividades humanas que causan la pérdida de cobertura vegetal.

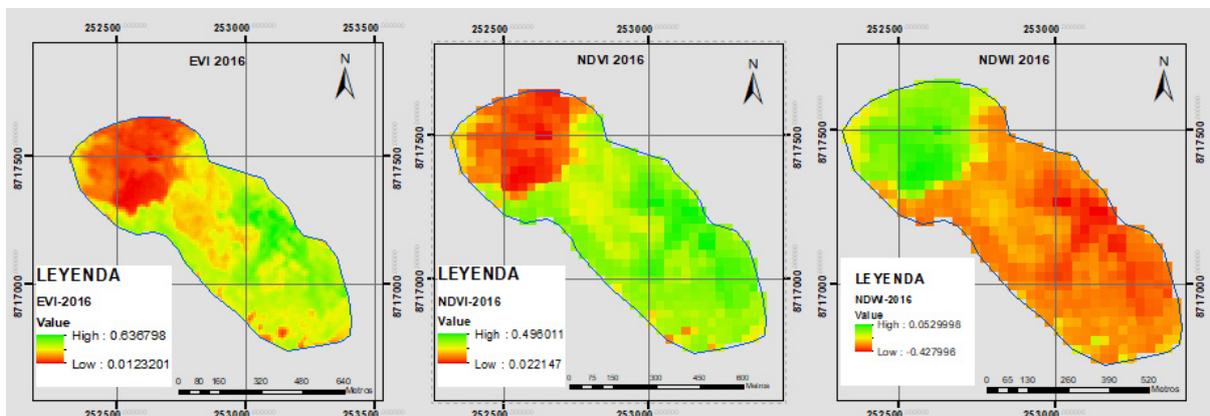
Sin embargo, a partir de 2022, hay una caída abrupta y significativa en la cobertura de suelo desnudo, descendiendo a alrededor de 3 hectáreas, lo que podría indicar procesos de recuperación natural, reforestación o la implementación de medidas de manejo ambiental. Posteriormente, en 2023, se aprecia una ligera recuperación en la extensión de suelo desnudo, alcanzando aproximadamente 4 hectáreas, pero sigue sin llegar a los niveles máximos de 2022. Para 2024, la cobertura muestra una tendencia de estabilización.

Este comportamiento sugiere que el suelo desnudo ha estado fluctuando debido a factores como la degradación del suelo, la pérdida de vegetación o la intervención humana, y que las medidas recientes pueden haber ayudado a recuperar parte de la vegetación en los últimos años.

4.3 Resultado de variación de índice de EVI, NDVI Y NDWI

Figura 11

Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2016



4.3.1 Resultado de variación de índice del Año 2016

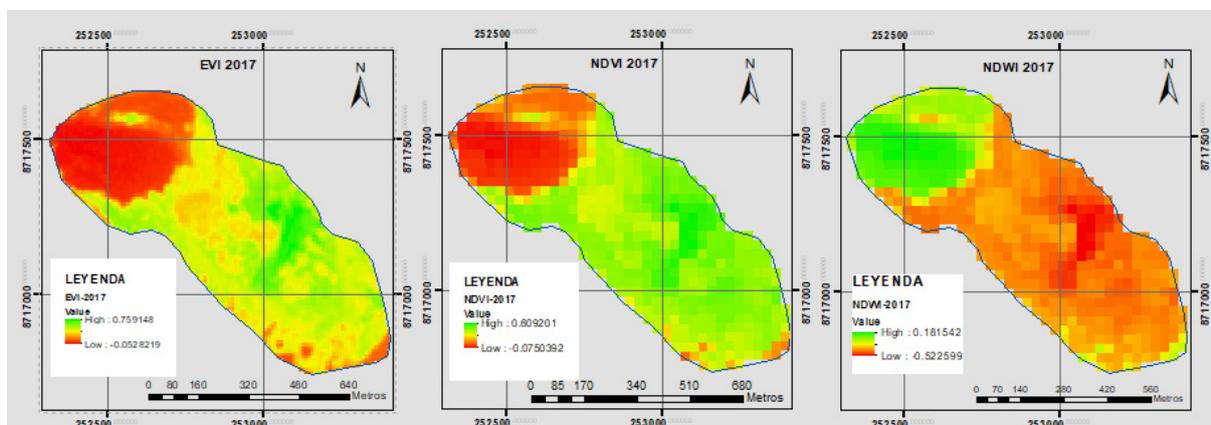
4.3.1.1 EVI (Índice de Vegetación Mejorado - 2016). En la imagen del EVI de 2016, las áreas en rojo indican una alta actividad de vegetación, con valores máximos cercanos a 0.836798. Esto sugiere que esas áreas tienen una mayor densidad de vegetación o un estado más saludable de las plantas. Las áreas en verde, con valores más bajos (0.0123201), indican una menor actividad de vegetación o zonas con vegetación menos densa.

4.3.1.2 NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - 2016). En la imagen del NDVI para 2016, los valores altos (en rojo) llegan hasta 0.499011, lo que indica vegetación moderadamente activa. Las áreas en verde, con un valor mínimo de 0.022147, representan zonas con poca o ninguna vegetación, posiblemente suelo desnudo o áreas construidas.

4.3.1.3 NDWI (Índice de Diferencia Normalizada de Agua - 2016). En la imagen del NDWI de 2016, los valores más altos (0.529998 en verde) indican áreas con mayor contenido de humedad, ya sea por la presencia de agua en la vegetación o en el suelo. Las zonas en rojo, con valores bajos (-0.427996), corresponden a áreas más secas, probablemente con poca vegetación o vegetación estresada debido a la falta de agua.

Figura 12

Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2017



4.3.2 Resultado de variación de índice del Año 2017

4.3.2.1 EVI (Índice de Vegetación Mejorado - 2017). El índice EVI para 2017 presenta valores altos de hasta 0.759148 en las áreas rojas, lo que indica una alta actividad de vegetación en esas zonas, probablemente con plantas más saludables o densa cobertura vegetal. Las áreas en verde, con valores más bajos (-0.0528219), representan zonas con menor actividad vegetativa o menor densidad de vegetación, lo que podría indicar áreas degradadas o sin vegetación significativa.

4.3.2.2 NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - 2017). El NDVI de 2017 muestra valores máximos de hasta 0.690201 en áreas rojas, lo que indica vegetación activa y saludable en esas zonas. Este valor más alto en comparación con 2016 sugiere una posible mejoría en la cobertura vegetal en algunas partes del área estudiada. Las zonas con valores bajos de NDVI (-0.0750392 en verde) sugieren áreas con escasa vegetación o suelos

desnudos, lo cual coincide con las áreas de menor EVI.

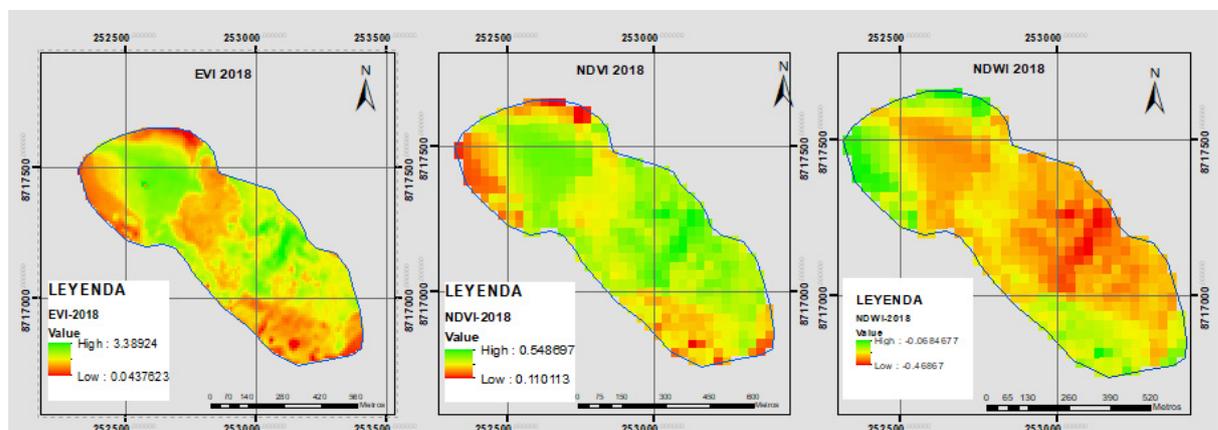
4.3.2.3 NDWI (Índice de Diferencia Normalizada de Agua - 2017). El NDWI de 2017 muestra un valor máximo relativamente bajo de 0.181542 en las áreas verdes, lo que indica que hay zonas con algo de humedad, aunque no parecen ser tan significativas como en 2016. Las áreas rojas con valores negativos (-0.522599) representan zonas secas, con poca o ninguna agua en la vegetación o en el suelo, lo que podría estar vinculado con áreas de estrés hídrico o mayor aridez en comparación con otros años.

4.3.2.4 Comparación con 2016. En general, los valores de EVI y NDVI para 2017 muestran un ligero incremento en las áreas de vegetación activa en comparación con 2016, lo que sugiere una mejora en el vigor o la densidad de la vegetación en ciertos sectores. Por otro lado, el NDWI en 2017 muestra una reducción notable en comparación con 2016, con valores máximos más bajos y áreas secas más extendidas. Esto podría indicar que, aunque la vegetación ha mejorado en ciertas áreas, el contenido de humedad ha disminuido, posiblemente como resultado de un periodo más seco o condiciones climáticas menos favorables.

4.3.3 Resultado de variación de índice del Año 2018

Figura 13

Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2018



4.3.3.1 EVI (Índice de Vegetación Mejorado - 2018). En 2018, los valores de EVI alcanzan un máximo de 3.33924, lo que sugiere una alta actividad de vegetación en las áreas marcadas en rojo, representando vegetación saludable y densa. Las zonas en verde y amarillo, con valores bajos de EVI (0.0437623), indican una menor actividad vegetativa, lo que puede deberse a una cobertura de vegetación más escasa o a estrés en las plantas.

4.3.3.2 NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - 2018). El NDVI para 2018 muestra un valor máximo de 0.548697 en las zonas rojas, lo que indica la presencia de vegetación activa, pero este valor es menor en comparación con el EVI. Esto puede reflejar áreas de vegetación moderadamente activa o con crecimiento limitado. Las áreas con valores bajos de NDVI (0.110113 en verde) representan zonas con poca o ninguna vegetación, posiblemente afectadas por degradación del suelo o intervención humana.

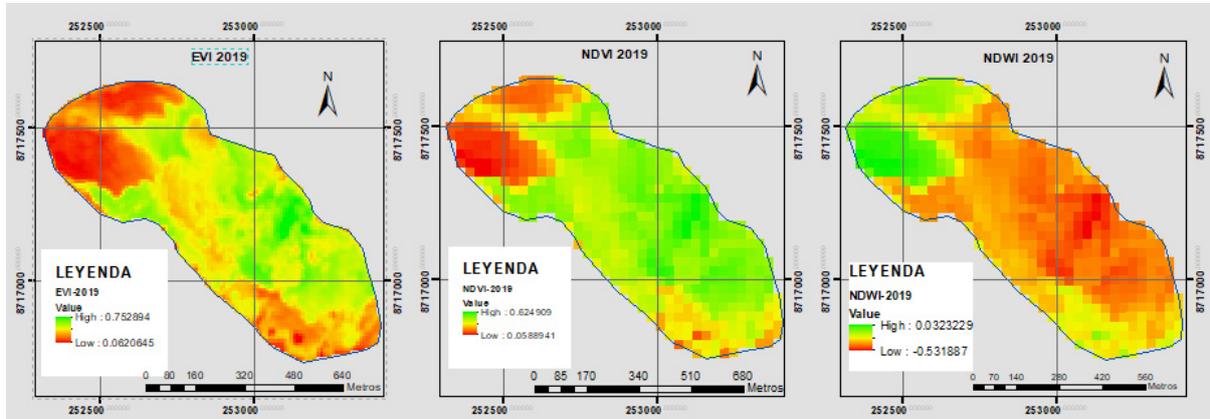
4.3.3.3 NDWI (Índice de Diferencia Normalizada de Agua - 2018). En 2018, los valores de NDWI muestran un máximo de 0.0684677 en las zonas verdes, lo que indica que hay áreas con cierta humedad, aunque no tan significativas como en años anteriores. Las áreas con valores más bajos (-0.6687 en rojo) indican un fuerte déficit de agua, lo que sugiere condiciones secas o estrés hídrico en estas regiones.

4.3.3.4 Comparación con 2017. El EVI en 2018 muestra una mayor variabilidad en los valores, con un rango más amplio y áreas que alcanzan mayores valores que en 2017. Esto podría indicar una mejora en la vegetación en algunas áreas, pero también puede reflejar zonas con mayor degradación en otras. El NDVI en 2018 sigue una tendencia similar a la de 2017, con áreas de vegetación activa, pero no hay un aumento significativo en comparación con el año anterior. Esto sugiere que la situación de la vegetación puede estar estabilizándose. El NDWI en 2018 presenta una disminución considerable en los valores máximos y mínimos en comparación con 2017, lo que sugiere un aumento en las áreas afectadas por la sequía o la falta de agua. Este cambio podría ser preocupante para la salud a largo plazo de la vegetación.

4.3.4 Resultado de variación de índice del Año 2019

Figura 14

Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2019



4.3.4.1 EVI (Índice de Vegetación Mejorado - 2019). El EVI para 2019 alcanza un valor máximo de 0.752894 en las áreas rojas, lo que indica una actividad vegetativa relativamente alta. Aunque no se alcanzan los niveles altos observados en 2018, la vegetación sigue mostrando cierta vitalidad. Las zonas con valores bajos de EVI (0.0620645 en verde) sugieren áreas con menor cobertura vegetal o vegetación estresada, lo que puede deberse a factores como la sequía o la intervención humana.

4.3.4.2 NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - 2019). El NDVI muestra un valor máximo de 0.624909 en las áreas rojas, lo que indica la presencia de vegetación activa, aunque no alcanza los valores observados en años anteriores. Esto sugiere una cobertura vegetal moderada. Las áreas con valores bajos de NDVI (0.0588941 en verde) representan zonas con poca o ninguna vegetación, coincidiendo con áreas de menor actividad de vegetación según el EVI.

4.3.4.3 NDWI (Índice de Diferencia Normalizada de Agua - 2019). El NDWI para 2019 tiene un valor máximo de 0.0323229 en las áreas verdes, lo que indica que hay pocas zonas con suficiente contenido de agua. Este es un valor relativamente bajo, lo que sugiere condiciones secas en la mayoría de la región. Las áreas en rojo, con valores bajos (-0.531887),

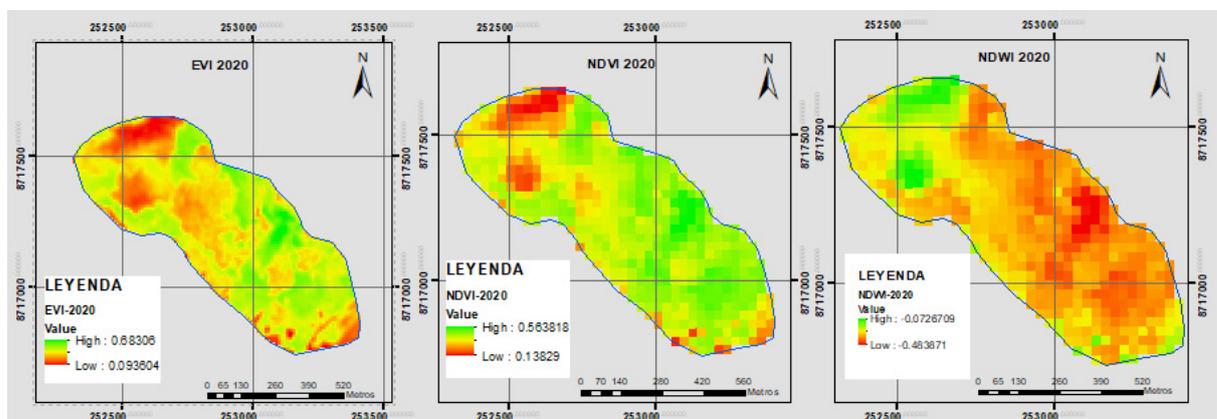
muestran zonas secas o con poca agua en la vegetación o el suelo, lo que podría estar asociado con un estrés hídrico considerable.

4.3.4.4 Comparación con años 2018 y 2019. EVI y NDVI en 2019 presentan valores ligeramente menores en comparación con los valores máximos de 2018, lo que sugiere que, aunque la vegetación sigue activa, puede haber disminuido en densidad o salud en algunas áreas. El NDWI de 2019 muestra un decremento significativo en comparación con 2018, lo que indica un aumento en las condiciones secas. Las áreas con contenido de humedad han disminuido, lo cual es preocupante si se considera la necesidad de agua para mantener la vegetación saludable a largo plazo.

4.3.5 Resultado de variación de índice del Año 2020

Figura 15

Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2020



4.3.5.1 EVI (Índice de Vegetación Mejorado - 2020). El EVI para 2020 muestra un valor máximo de 0.88308 en las áreas rojas, lo que indica que en estas zonas hay una vegetación activa y saludable, con buena cobertura vegetal. Las áreas verdes, con valores bajos de EVI (0.093804), representan zonas con vegetación menos activa o más degradada, lo que podría estar asociado con factores como sequía o degradación del suelo.

4.3.5.2 NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - 2020). El NDVI para 2020 alcanza un valor máximo de 0.583818, lo que indica una cobertura vegetal moderada,

aunque no tan alta como el EVI. Las áreas en rojo muestran vegetación activa, mientras que las zonas verdes con valores más bajos (0.13829) representan áreas con escasa vegetación o vegetación estresada.

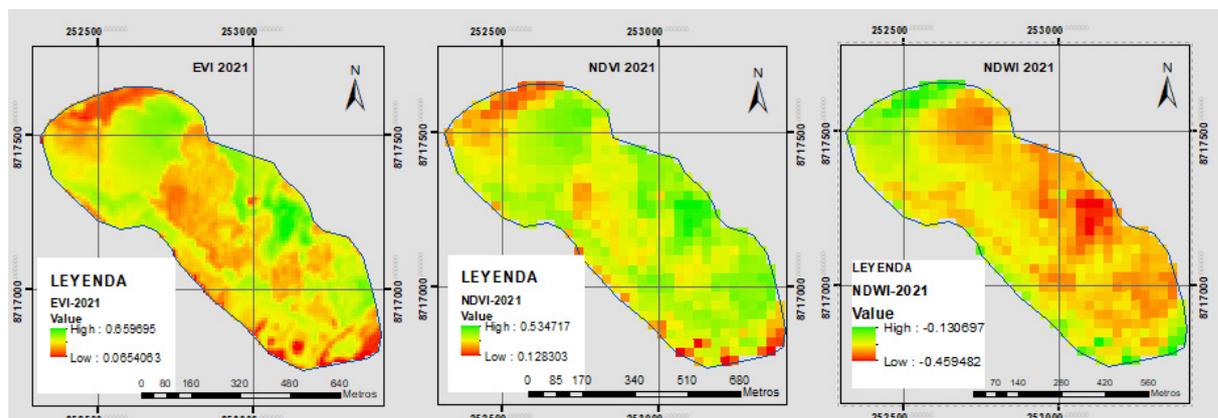
4.3.5.3 NDWI (Índice de Diferencia Normalizada de Agua - 2020). El NDWI muestra un valor máximo de -0.0726709, lo que sugiere que, a pesar de la presencia de vegetación, la cantidad de agua en la región es limitada. Las áreas rojas, con valores mínimos de -0.483871, indican zonas secas o con muy poca agua disponible en el suelo o la vegetación.

4.3.5.4 Comparación con el año 2020. EVI y NDVI en 2020 presentan valores relativamente similares a los observados en años anteriores, con vegetación activa en ciertas áreas, pero la cobertura vegetal no parece haber mejorado significativamente en términos de densidad o vigor. El NDWI en 2020 indica que las condiciones hídricas siguen siendo desfavorables, con valores negativos que sugieren una escasez de agua en la vegetación y el suelo. Esto podría indicar un periodo prolongado de sequía o condiciones climáticas adversas que afectan la disponibilidad de agua en la región.

4.3.6 Resultado de variación de índice del Año 2021

Figura 16

Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2021



4.3.6.1 EVI (Índice de Vegetación Mejorado - 2021). El EVI en 2021 alcanza un valor máximo de 0.859895, lo que sugiere una buena actividad de la vegetación en las áreas

rojas, donde la vegetación parece estar saludable y densa. Las áreas en verde, con un valor bajo de 0.0854083, indican vegetación menos densa o suelos con poca o ninguna cobertura vegetal. Esto puede señalar estrés en la vegetación o zonas más degradadas.

4.3.6.2 NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - 2021). El NDVI para 2021 tiene un valor máximo de 0.534717, indicando vegetación activa en las áreas rojas, pero con menor intensidad que el EVI. Las áreas verdes con valores bajos de 0.128303 reflejan la presencia de vegetación menos activa o incluso suelos desnudos. Los valores de NDVI muestran que, aunque sigue habiendo vegetación, su densidad y vigor no son tan altos como en años anteriores.

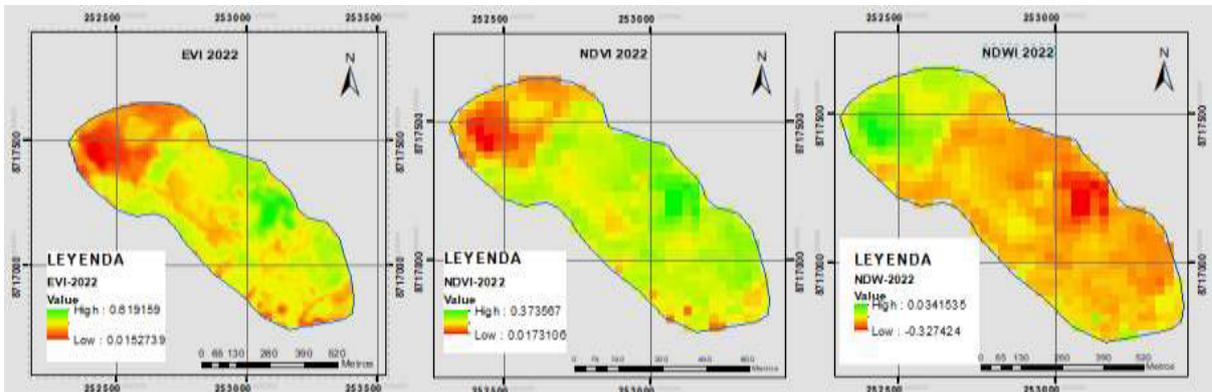
4.3.6.3 NDWI (Índice de Diferencia Normalizada de Agua - 2021). El NDWI muestra un valor máximo de -0.130697, lo que indica que las condiciones de humedad siguen siendo bajas en la región. Las áreas rojas, con un valor mínimo de -0.459482, reflejan un importante déficit de agua, lo que podría estar afectando la salud de la vegetación y la disponibilidad de agua en el suelo. Este NDWI negativo sugiere que el área ha experimentado condiciones secas, lo que puede haber contribuido a una disminución en la actividad de la vegetación en algunas áreas.

4.3.6.4 Comparación con años anteriores. El EVI de 2021 sigue mostrando vegetación activa, aunque los valores máximos son ligeramente más bajos que en 2020, lo que sugiere una ligera disminución en la salud o densidad de la vegetación. El NDVI en 2021 muestra una tendencia similar, con vegetación activa pero no tan densa como en años anteriores. Esto podría reflejar un deterioro gradual en algunas áreas debido a condiciones hídricas adversas. El NDWI en 2021 muestra valores negativos significativos, lo que indica que las condiciones de sequía o falta de agua han persistido, afectando la capacidad de la vegetación para mantenerse saludable.

4.3.7 Resultado de variación de índice del Año 2022

Figura 17

Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2022



4.3.7.1 EVI (Índice de Vegetación Mejorado - 2022). El valor máximo del EVI en 2022 es de 0.819159 en las áreas rojas, lo que indica una vegetación densa y activa. La vegetación parece estar en un buen estado de salud en estas zonas.

Las áreas con valores bajos de EVI (0.152739 en verde) reflejan una cobertura vegetal menos densa o vegetación en un estado de mayor estrés. Esto puede ser resultado de factores como degradación del suelo o falta de recursos hídricos.

4.3.7.2 NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - 2022). El NDVI tiene un valor máximo de 0.373567 en las áreas rojas, lo que sugiere una vegetación activa, pero con menor intensidad que el EVI. Esto puede reflejar que aunque la vegetación está presente, su densidad o vigor no es tan elevado. Las áreas verdes con valores más bajos (0.0173106) indican zonas con escasa vegetación o suelo desnudo, probablemente afectadas por condiciones desfavorables como sequías.

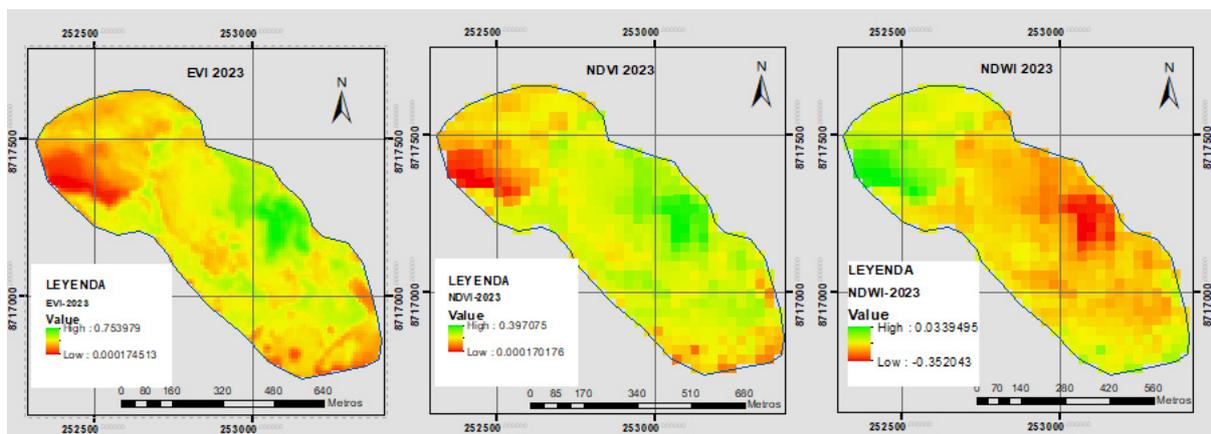
4.3.7.3 NDWI (Índice de Diferencia Normalizada de Agua - 2022): El NDWI muestra un valor máximo de 0.0341535 en algunas áreas verdes, lo que indica la presencia de humedad en algunas zonas, aunque no de forma predominante. Las áreas con valores negativos, que alcanzan hasta -0.327424, reflejan una escasez de agua significativa, lo que sugiere que estas zonas podrían estar experimentando estrés hídrico, afectando la salud de la vegetación.

4.3.7.4 Comparación con años 2022 y 2021. El EVI en 2022 sigue mostrando vegetación activa, con valores similares a los observados en 2021. Esto indica que, a pesar de algunas limitaciones, las áreas con vegetación densa han mantenido su actividad. El NDVI en 2022 tiene valores relativamente bajos en comparación con años anteriores, lo que sugiere una disminución en la cobertura vegetal o una menor densidad de vegetación en algunas áreas. El NDWI en 2022 también muestra valores bajos, lo que indica que las condiciones de humedad siguen siendo limitadas en muchas áreas. Aunque algunas zonas tienen un ligero aumento de humedad, la tendencia general sigue siendo de sequía.

4.3.8 Resultado de variación de índice del Año 2023

Figura 18

Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2023



4.3.8.1 EVI (Índice de Vegetación Mejorado - 2023). El valor máximo del EVI en 2023 es de 0.753979, lo que indica una actividad vegetativa relativamente alta en algunas áreas, especialmente las que están marcadas en rojo. Las zonas verdes, con valores bajos de 0.000174513, indican áreas con menor densidad de vegetación o una vegetación menos activa, posiblemente debido a factores como degradación del suelo o sequía.

4.3.8.2 NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - 2023). El NDVI para 2023 tiene un valor máximo de 0.397075, lo que sugiere una cobertura vegetal moderada, aunque no tan alta como el EVI. Las áreas con valores más bajos (0.000170176) en verde

indican zonas con escasa vegetación o suelo desnudo. Estos valores más bajos de NDVI pueden indicar que, aunque hay vegetación activa, su densidad o vigor no es tan elevada como en años anteriores.

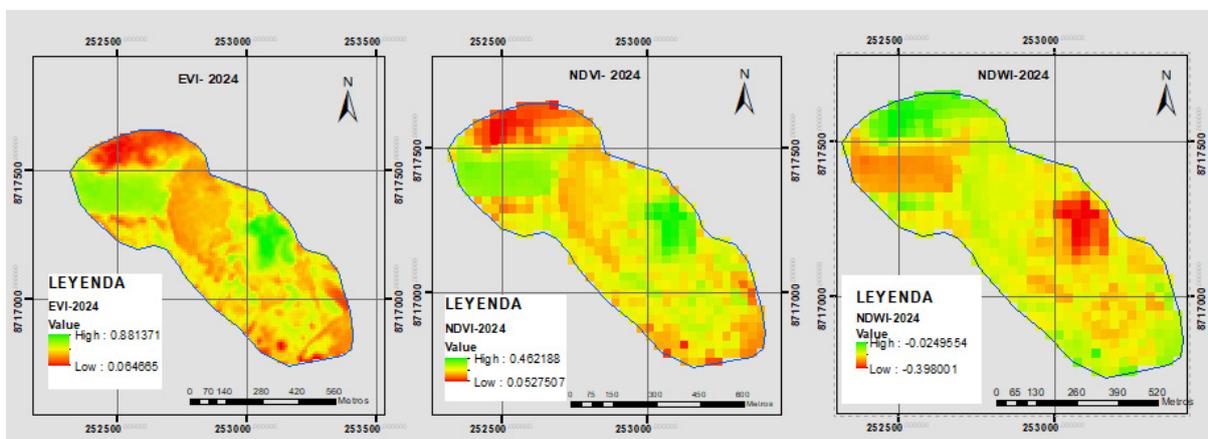
4.3.8.3 NDWI (Índice de Diferencia Normalizada de Agua - 2023). El NDWI muestra un valor máximo de 0.0339495, lo que indica que hay algo de humedad presente en algunas zonas, pero de manera muy limitada. Las áreas con valores negativos, hasta -0.352043, sugieren que muchas zonas aún enfrentan condiciones secas y falta de agua, lo que podría estar afectando negativamente la vegetación.

4.3.8.4 Comparación con años anteriores. El EVI en 2023 sigue mostrando vegetación activa, pero los valores son más bajos que los observados en 2022. Esto sugiere una ligera disminución en la densidad o salud de la vegetación. El NDVI en 2023 también muestra una tendencia hacia valores más bajos, lo que podría reflejar una cobertura vegetal menos densa o más estresada en comparación con años anteriores. El NDWI en 2023 indica que las condiciones de humedad siguen siendo limitadas, aunque hay un ligero aumento en algunas zonas, lo que podría ser un signo positivo en comparación con años anteriores.

4.3.9 Resultado de variación de índice del Año 2024

Figura 19

Mapas de los índices EVI, NDVI y NDWI para el año 2024



4.3.9.1 EVI (Índice de Vegetación Mejorado - 2024). El Valor máximo 0.881371. Este valor alto indica una vegetación vigorosa y densa en las áreas rojas, lo que sugiere una buena salud vegetal en estas zonas. Como el valor mínimo fue 0.04865. Las áreas verdes indican una menor actividad vegetativa o vegetación menos densa, probablemente asociada a zonas con estrés o degradación.

4.3.9.2 NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - 2024). El Valor máximo 0.462188. Un NDVI moderado indica una vegetación activa, pero no tan vigorosa como el EVI sugiere. Esto puede deberse a diferencias en la densidad del follaje o a la presencia de vegetación menos frondosa. Y el valor mínimo -0.527507. Las zonas verdes reflejan áreas con escasa o ninguna vegetación, lo que podría estar relacionado con factores como suelo desnudo o estrés ambiental.

4.3.9.3 NDWI (Índice de Diferencia Normalizada de Agua - 2024). El Valor máximo -0.024954. El NDWI negativo refleja que el contenido de agua en el suelo o la vegetación sigue siendo limitado. Aunque el valor no es tan negativo como en otros años, sigue indicando que la región está lidiando con condiciones secas. Y el valor mínimo -0.398001. Las áreas con valores más bajos en rojo sugieren un déficit hídrico significativo en estas zonas, lo que podría estar afectando la capacidad de la vegetación para mantenerse saludable.

4.4 Resultados de la correlación entre los índices EVI, NDVI Y NDWI

Tabla 8

Correlación entre los índices EVI, NDVI y NDWI

	Correlación EVI-NDVI	Correlación_EVI- NDWI	Correlación_NDVI- NDWI
Correlación	0.356462928	-0.415944083	-0.776616168
R-squared	0.127065819	0.17300948	0.603132672
Error	0.093636141	0.071607605	0.187081042

4.4.1 Correlación (Correlation)

EVI-NDVI (0.3565): Existe una correlación positiva moderada entre EVI y NDVI.

Esto indica que, en general, cuando el valor de uno de los índices aumenta, el otro también tiende a aumentar, pero la relación no es completamente fuerte.

EVI-NDWI (-0.4159): La correlación es negativa moderada entre EVI y NDWI, lo que sugiere que un aumento en EVI (indicador de la vegetación) tiende a corresponder con una disminución en NDWI (indicador de contenido de agua en la vegetación).

NDVI-NDWI (-0.7766): Hay una correlación negativa fuerte entre NDVI y NDWI. Esto implica que, cuando el índice NDVI (vegetación) aumenta, el NDWI (agua) disminuye significativamente, lo cual es consistente con la relación inversa entre vegetación y contenido de agua.

4.4.2 Coeficiente de determinación (*R-squared*).

EVI-NDVI (0.1271): Solo el 12.7% de la variabilidad en NDVI puede explicarse por los cambios en EVI, lo que indica una relación relativamente baja.

EVI-NDWI (0.1731): Un 17.3% de la variabilidad en NDWI se explica por el EVI, indicando una relación también baja.

NDVI-NDWI (0.6031): El 60.3% de la variabilidad en NDWI puede explicarse por NDVI, lo que muestra una relación mucho más significativa entre estos índices.

4.4.3 Error estándar (*Std Error*).

EVI-NDVI (0.0936): El error estándar es relativamente bajo, lo que indica que las estimaciones de correlación entre EVI y NDVI tienen una precisión razonable.

EVI-NDWI (0.0716): Similarmente, el error estándar es bajo, lo que respalda la precisión de la correlación entre EVI y NDWI.

NDVI-NDWI (0.1871): El error estándar es más alto aquí, lo que sugiere que hay más incertidumbre en la estimación de la correlación entre NDVI y NDWI.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Propósito principal de esta sección es poder interpretar, analizar y contextualizar los hallazgos obtenidos durante el proceso de investigación.

La cobertura de agua en el humedal ha presentado una disminución entre los años 2016 y 2024, reduciéndose de 10 hectáreas a menos de 2 hectáreas. Esta reducción puede estar relacionada con factores como especies exóticas y las intervenciones humanas, tal como mencionan (Medina., 2023) y (Campos-Macedo et al., 2023). Señalan que, en las últimas décadas, ambos factores han contribuido a la reducción de las áreas inundables. Además, el uso del agua con fines agrícolas ha afectado la disponibilidad hídrica en el humedal. Los cambios en el uso del suelo han alterado los procesos hidrológicos, incrementando la escorrentía y disminuyendo tanto la recarga hídrica como la humedad del suelo (Pinilla, 2023) En este contexto, la vegetación inundada alcanzó su máximo de 8 hectáreas, pero en 2022 se observó una reducción. Desde entonces, la cobertura de vegetación se ha estabilizado entre 4 y 5 hectáreas, aunque esta cifra sigue siendo considerablemente menor en comparación con el inicio del periodo.

En lo que respecta a las áreas de cultivo, estas aumentaron progresivamente desde 2016 hasta alcanzar un máximo de 9 hectáreas en 2020. Sin embargo, entre 2021 y 2022, se produjo una caída significativa, reduciéndose a 6 hectáreas, posiblemente debido a factores ambientales o al abandono de tierras. A partir de 2022, las áreas de cultivo mostraron una rápida recuperación, acercándose nuevamente a las 9 hectáreas en 2023, aunque se observa una leve disminución en 2024, como señala Benítez (2023). Las prácticas agrícolas intensivas también han exacerbado este efecto, contribuyendo a la degradación continua del ecosistema. Benítez menciona que entre los años 2000 y 2016, las áreas de cultivo aumentaron del 27% al 37% de la superficie distrital, lo que también impactó en la dinámica de uso del suelo.

Entre 2016 y 2024, los índices espectrales (EVI, NDVI y NDWI) muestran fluctuaciones en la cobertura y el estado de la vegetación en los humedales. El EVI refleja una actividad vegetativa alta en 2018 y 2024, con un notable descenso en 2019 y una ligera recuperación en los últimos años, sugiriendo fluctuaciones en la salud de la vegetación. El NDVI presenta una tendencia similar, con picos en 2017 y descensos posteriores, lo que indica áreas con vegetación activa pero con menor densidad en ciertos años y el índice NDVI mostró una disminución en 2023, con un valor de 0.132 entre los meses de junio y octubre. La vegetación del humedal, representada por especies como la lenteja de agua menciona (Martínez-Cabrera et al., 2023)

El NDWI destaca una reducción en el contenido de agua desde 2017, con valores negativos que reflejan condiciones de sequía persistente, afectando la vegetación. Estos resultados sugieren que, aunque la vegetación ha mostrado cierta recuperación en términos de vigor en algunos años, el déficit hídrico sigue siendo un factor limitante clave.

Ambos estudios resaltan la importancia de los índices espectrales para evaluar el estado de los ecosistemas de humedales. En mi investigación, las fluctuaciones en el NDVI y el EVI reflejan la variabilidad en la salud de la vegetación, con ciertos periodos de recuperación y otros de deterioro, muy similares a lo observado en el estudio del (Leyva, 2014), donde el NDVI también mostró patrones de alta vegetación en algunos años y disminuciones en otros.

El NDWI en ambos estudios subraya la influencia crucial de la disponibilidad de agua en la vegetación de los humedales. En mi investigación, la persistente disminución en los valores de NDWI desde 2017 indica una sequía que ha limitado la recuperación de la vegetación, un hallazgo que coincide con los resultados del (Leyva, 2014), donde también se menciona la importancia del contenido hídrico para mantener el vigor vegetal.

Comparación de Correlaciones: En el análisis, se observa correlación negativa entre NDVI y NDWI (-0.77). investigaciones en áreas semiáridas también han reportado

correlaciones negativas similares entre NDVI y NDWI, que a medida que aumenta la humedad del suelo, la vegetación disminuye debido a la saturación del agua en el área de estudio (Huang, 2020).

Sensibilidad de los Índices: los valores de EVI y NDVI presentan una correlación baja. Posiblemente se deba a la sensibilidad de EVI a las condiciones topográficas. EVI es más sensible a los cambios en el relieve del terreno y a las sombras, mientras que NDVI tiende a ser más estable frente a estas variaciones (Garroue, 2016) y (Huang, 2020). Esta diferencia podría explicar por qué mis resultados muestran una mayor variabilidad en la relación entre EVI y los demás índices.

Resultados de R-cuadrado: El valor de R-cuadrado más alto en tu análisis (0.60 para NDVI y NDWI) respalda que la relación entre estos índices puede explicar una proporción significativa de la variabilidad en la vegetación en relación con la humedad del suelo. Otros estudios también han encontrado que los modelos lineales que utilizan NDVI tienden a explicar mejor la variabilidad de la biomasa y calidad de la vegetación que los basados en EVI (Garroue, 2016).

Errores Estándar y Precisión: El error estándar más bajo entre EVI y NDWI en tu análisis (0.07) indica una mayor precisión en la predicción de la relación entre estos índices. Sin embargo, debes considerar que la precisión de estos modelos puede variar según las características de la región de estudio, como la pendiente y el tipo de vegetación, algo que también ha sido señalado en estudios previos (Garroue, 2016).

VI. CONCLUSIONES

- Entre 2016 y 2024, se registró una disminución severa de la cobertura de agua, pasando de aproximadamente 10 hectáreas a menos de 2 hectáreas. Esta pérdida progresiva se asocia principalmente a la invasión de especies exóticas acuáticas, como *Pistia stratiotes* y *Salvinia spp.*
- La cobertura de vegetación inundada mostró un crecimiento hasta 2021 (con cerca de 8 ha), pero luego disminuyó drásticamente, estabilizándose en torno a 4-5 ha, lo que refleja tanto la presión biótica como las intervenciones de control.
- Se identificó un incremento sostenido de áreas agrícolas, con picos de hasta 9 ha en 2020 y 2023, confirmando la intensificación del uso agrícola del entorno del humedal.
- El NDVI mostró valores máximos que oscilaron entre 0.46 (2024) y 0.49 (2016), lo que refleja una vegetación activa pero no vigorosa, con presencia de zonas degradadas o con estrés ambiental.
- El EVI presentó valores superiores, llegando a 0.88 en 2024, evidenciando alta densidad de vegetación en algunas zonas, posiblemente ligada al crecimiento de vegetación invasora o cultivos intensivos.
- El NDWI mostró una caída sostenida desde 2016 (máx. 0.53) hasta valores negativos en 2024 (máx. -0.02), confirmando un déficit hídrico prolongado que afecta la humedad del suelo y la salud de la vegetación.
- El análisis estadístico evidenció una fuerte correlación negativa entre NDVI y NDWI (-0.77), con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.60$. Esto indica que a medida que aumenta la vegetación, disminuye la humedad, lo que puede interpretarse como un síntoma de competencia hídrica o saturación vegetal sin adecuada recarga acuática.

VII. RECOMENDACIÓN

- Control y manejo de especies invasoras: Implementar programas de control para especies exóticas invasoras como *Pistia stratiotes* y *Salvinia* spp. que afectan negativamente la hidrología y biodiversidad del humedal. Estos programas podrían incluir la remoción manual o el uso de control biológico para evitar que estas especies dominen los cuerpos de agua.
- Monitoreo continuo del cambio de uso de suelo: Establecer un sistema de monitoreo continuo que utilice imágenes satelitales y análisis de índices espectrales (NDVI, EVI, NDWI) para detectar cambios en el uso del suelo y su impacto en el estrés hídrico del humedal. Esto permitirá la toma de decisiones oportuna para mitigar impactos negativos en la salud del ecosistema.
- Promoción de prácticas agrícolas sostenibles: Incentivar prácticas agrícolas sostenibles en las áreas cercanas al humedal, para reducir la presión sobre los recursos hídricos y minimizar la conversión de tierras naturales en áreas de cultivo. Esto podría incluir la rotación de cultivos y el uso eficiente del agua de riego.

VIII REFERENCIAS

- Aponte Ubillús, H., & Ramírez Huaroto, D. W. (2011). Humedales De La Costa Central Del Perú: Estructura Y Amenazas De Sus Comunidades Vegetales Wetlands of the Central Coast of Peru: Structure and Menaces of Its Vegetal Communities. *Ecología Aplicada*, 10(1), 2011. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v10n1/a04v10n1>.
- Benítez Navío, A. (2022). *Metodología para la toma de decisiones estratégicas en la asignación sostenible de recursos para la recuperación hidrológica de humedales en situación de estrés hídrico. Aplicación al caso de las Tablas de Daimiel*. [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València.
- Campos-Macedo, J., Huachaca, J., & Morales, P. (2022). Evolución espacio-temporal de relictos de humedal: el caso del sector de Villa Baja del Sitio Ramsar Los Pantanos de Villa (2003-2019). *South Sustainability*, 2(2), e037. <https://doi.org/10.21142/SS-0202-2021-ac001>.
- Carlson, T. N., & Ripley, D. A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62(3), 241-252. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1)
- Chuvieco, E. (1990). Fundamentos de teledetección espacial. In RIALP (Ed.), (*Fundamentals of remote sensing from space* (2a ed.)).
- Contreras Silva, A. I. (2014). *análisis de cambios en los humedales del sistema lagunar de Catazaja* (p. 30).
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257-266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of*

- Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Hernández, J., & Montaner, D. (2009). Patrones De Respuesta Espectral. *Universidad de Chile*, 14. [https://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Hernández %26 Montaner 2009 SAF.pdf](https://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Hernández%20Montaner2009SAF.pdf)
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 195-213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).
- Innovatione AgroFood Design. (2019). *Teledetección Espacial*. 16–25. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/inedita/introduccion2.pdf.
- Jiang, Z. (2020). *Geographical Information System In Web Applica-Tion Developing Web Application to Serve Spatial Data to Users*. January.
- Justice, C. O., Townshend, J. R., Vermote, E. F., Masuoka, E., Wolfe, R. E., Saleous, N., Roy, D. P., & Morisette, J. T. (1998). The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4), 1228-1249. <https://doi.org/10.1109/36.701075>
- Kozak, M., Krzanowski, W., & Tartanus, M. (2012). Use of the correlation coefficient in agricultural sciences: Problems, pitfalls and how to deal with them. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 84(4), 1147–1156. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652012000400029>
- Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10), 1–15. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- Leticia, M. G. C. (2011). Dinámica del cambio de uso de la tierra en el parque nacional humedales del Ozama. 107–132.

- Liu, H. Q., & Huete, A. (1995). A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2), 457-465. <https://doi.org/10.1109/36.377946>
- Loza-Del-Carpio, A., & Taype-Huamán, I. (2021). Análisis multitemporal de asociaciones vegetales y cambios de uso del suelo en una localidad altoandina, Puno-Perú. *Uniciencia*, 35(2), 1–19. <https://doi.org/10.15359/ru.35-2.3>
- Malvárez, A. I. (1999). Topicos sobre Humedales subtropiucales y templados en Sudamerica. In *Universidad de Buenos Aires*.
- Medina García, M. A., Scott-Morales, L. M., Vela Coiffier, P., Cotera Correa, M., & Estrada Castellón, E. (2023). Análisis temporal de uso del suelo en un sitio Ramsar (Núm. 1981) en el centro de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(79), 79-107. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1356>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Ministerio del Ambiente [MINAM] (2015). Estrategia Nacional de Humedales. In *Ministerio del Ambiente*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/01/Anexo-Decreto-Supremo-Nº-004-2015-MINAM2.pdf>
- Ministerios de Transporte, M. y A. U. (2018). *El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial Fundamentos de teledetección aplicada Proyecto cofinanciado por la Comisión Europea*. https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/2_Fundamentos_teledeteccion_aplicada.pdf
- Mutanga, O. & Kumar, L. (2019). Google earth engine applications. In *Remote Sensing* (Vol. 11, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/rs11050591>

- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9), 503-510. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>
- RAMSAR. (1971). Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitad de Aves Acuáticas.
- RAMSAR. (2006). Manual de la Convención de. *Secretaría de La Convención de Ramsar*, 4a. ed., 124.
- RAMSAR. (2016). *La Convención*. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1_5ed_introductiontoconvention_s_final.pdf
- RAMSAR. (2018). Perspectiva Mundial Sobre los Humedales: Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas 2018. *Secretaría de La Convención de Ramsar*, 88. https://www.ramsar.org/sites/default/files/flipbooks/ramsar_gwo_spanish_web.pdf
- Rojas Jordán, A. (2018). *Evaluación de los efectos del cambio de uso de suelo sobre las tasas de sedimentación en Laguna Grande de San Pedro de la Paz (Chile) durante los últimos 30 años*. 2018.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). Inventario de humedales: Marco de Ramsar para el inventario y la descripción de las características ecológicas de los humedales. *Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales*, 4ª edición, vol. 15. Secretaría de la Convención de Ramsar.
- Schomwandt, D. (2015). Teledetección aplicada a las ciencias agronómicas y recursos naturales. *Sistema Integrado de Información Agropecuaria*.
- Quishpe Paucar, J. E. (2023). *Análisis multitemporal del cambio del recurso hídrico (2013-*

2023) en los páramos de la parroquia Isinliví, provincia de Cotopaxi [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi].

- Tempfli, K., Kerle, N., Huurneman, G. C., Janssen, L. L. F., Bakker, W. H., Feringa, W., Gieske, A. S. M., Gorte, B. G. H., Grabmaier, K. A., Hecker, C. A., Horn, J. A., Huurneman, G. C., Janssen, L. L. F., Kerle, N., Meer, F. D. Van Der, Parodi, G. N., Pohl, C., Reeves, C. V, Ruitenbeek, F. J. Van, ... Woldai, T. (2009). Principles of Remote Sensing. In *AGERE! 2013 - Proceedings of the 2013 ACM Workshop on Programming Based on Actors, Agents, and Decentralized Control* (Fourth edi). The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC),
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
- Zaida Sanches, L. M. y J. O. (2021). Evaluación del cambio de uso de suelo en un humedal relicto de la costa peruana. *South Sustainability*, 2, 1–6. <https://doi.org/10.21142/ss-0201-2021-e02>.

IX. ANEXOS**Figura 20**

Agricultura en los margenes del humedal



Fuente: Fotografía de Llerena Rosales

Figura 21

Vegetacion exotica que cubre el cuerpo de agua del humedal



Fuente: Fotografía de Llerena Rosales

Figura 22

Arbusto en el humedal Santa Rosa



Fuente: Fotografía de Llerena Rosales

Figura 23

Suelos desnudo en el Humedal Santa Rosa



Fuente: Fotografía de Llerena Rosales