

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA COBERTURA
VEGETAL DE LA SUBCUENCA SANTA EULALIA (LIMA-
PERÚ) EN EL PERÍODO 2003 - 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Pedro Oswaldo Rivera Aguilar

Asesor:

Mg. Lic. Haniel Josue Torres Joaquin

<https://orcid.org/0000-0001-9659-4250>

Lima - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Margeo Javier Chuman Lopez	45997406
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Irma GERALDA HORNÁ HERNÁNDEZ	40317442
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Napoleon Jauregui Mongrados	32853299
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme y enseñarme que las adversidades de la vida se inventaron para superarse. A mis padres y hermanos, expresar mi eterna gratitud por su amor infinito y confianza que aportaron en mí, para la realización de esta investigación, por su constante apoyo y motivación. A todos ustedes, una vez más, muchas gracias.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser: gracias a mi familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis

ÍNDICE

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
ÍNDICE DE ANEXOS	10
RESUMEN	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Antecedentes	14
1.3. Marco Teórico	19
1.3.1. Teledetección	19
1.3.2. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	25
1.3.3. Cobertura vegetal	26
1.4. Formulación del problema	27
1.4.1. Problema General	27
1.4.2. Problemas Específicos	27
1.5. Objetivos	28
1.5.1. Objetivo General	28
1.5.2. Objetivos Específicos	28
1.6. Hipótesis	28
1.6.1. Hipótesis General	28
1.6.2. Hipótesis Específicas	29
1.7. Justificación	29
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	31
2.1. Tipo de investigación	31
2.2. Población y muestra	31
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	31
2.4. Procedimiento	32
2.4.1. Área de estudio	32
2.4.2. Descarga de Imágenes Satelitales	33
2.4.4. Corrección de las Imágenes Landsat	34
2.4.5. Determinación de cobertura vegetal a partir del NDVI	34

2.5. Aspecto Ético	36
CAPÍTULO III: RESULTADOS	38
3.1. Variación temporal de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia	38
3.2. Tasa de cambio de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia	40
3.3. Variación espacial de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia	42
3.3. Resultados Estadísticos	43
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	45
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	50
REFERENCIAS	52
ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de NDVI para Santa Eulalia.....	33
Tabla 2. Rangos de NDVI para Santa Eulalia.....	35
Tabla 3. Datos temporales de las unidades superficiales de la Subcuenca Santa Eulalia	38
Tabla 4. Analisis de Tendencia Central y Dispersion	43
Tabla 5. Analisis de Normalidad Shapiro Willks	43
Tabla 6. Analisis de Correlacion de Pearson	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Elemento del sistema de teledetección</i>	21
Figura 2. Espectro de onda electromagnética	22
Figura 3. Reflectancia de la cobertura vegetal	23
Figura 4. Firmas espectrales	24
Figura 5. Ubicacion de la Subcuenca Santa Eulalia	33
Figura 6. Plataforma United States Geological Survey (USGS)	34
Figura 7. Diagrama de flujo de los procedimientos	37
Figura 8. Dinámicas temporales de la cobertura vegetal poco densa (A), cobertura vegetal densa (B), superficie de agua (C) y suelo desnudo (D).....	39
Figura 9. <i>Tasas de cambio de la cobertura vegetal poco densa (A), cobertura vegetal densa (B), superficie de agua (C) y suelo desnudo (D)</i>	41
Figura 10. <i>Variacion espacial de la cobertura vegetal</i>	42

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Calculo del NDVI	25
Ecuación 2: NDVI para LANDSAT 5	35
Ecuación 3: NDVI para LANDSAT 8	35

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo. 1 Ficha de recoleccion de datos	61
Anexo. 2 Matriz de operacionalizacion de variables	62
Anexo. 3 Matriz de consistencia	63

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar la variación espacio temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019. La metodología fue de tipo descriptivo univariable, esto indica como única variable a la cobertura vegetal. Para la medición de la cobertura dio uso del índice NDVI, quien muestra un estudio próximo a la subcuenca Santa Eulalia. Los resultados demostraron que la cobertura vegetal poco densa se redujo a 2.65 km²/año, pues la superficie varia de 150 km² (2003) a 136 km² (2019); del mismo modo la cobertura vegetal densa se redujo a 0.81 km²/año, de 19 km² (2003) a 10.6 km² (2019). Asimismo, el mapa cartográfico demostró que la cobertura vegetal densa se ubica en los valles altoandinos y la vegetación poco densa se ubica en toda la parte media de la subcuenca. Finalmente, se demostró que la variación superficial de los cuerpos de agua se relaciona significativamente con los cambios de la cobertura vegetal densa con un R inversa de -0.89. Del mismo modo, los cambios de superficie del suelo desnudo se relacionan significativamente con los cambios de la cobertura vegetal poco densa con un R inversa de -0.99.

PALABRAS CLAVES: Cobertura vegetal, teledetección, índice de vegetación de diferencia normalizada

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El cambio climático es un fenómeno ambiental muy preocupante para la humanidad, que afecta a los seres vivos en general y que en mayor cuantía altera a la vegetación, que a su vez constituye un importante recurso para el hombre (Sánchez-Díaz, 2018). En el planeta, “se pierden 13 millones de hectáreas de vegetación al año, estas cifras varían según su origen que puede ser las diversas actividades del ser humano y por acción de la naturaleza; así mismo la degradación de los bosques continúa a ritmos impresionantes, contribuyendo además a la pérdida de la biodiversidad (FAO & PNUMA, 2020).

El Perú cuenta con un 60% (73.3 millones de ha) de territorio cubierto por bosques, siendo el noveno país en el planeta con mayor superficie boscosa y ocupando el segundo lugar con mayor expansión forestal en América Latina (FAO, 2020); sin embargo, la deforestación vegetal sigue siendo un peligro frecuente en nuestro territorio peruano con un 90% de deforestación por la quema de superficie boscosa y apertura de chacras pequeñas que corresponde entre 5-9 hectáreas, siendo una amenaza para la conservación y el uso sostenible de la superficie boscosa (MINAM, 2021).

En nuestro país también, es evidente esta problemática; en un estudio de predicción de pérdida de cobertura vegetal, se observó que la pérdida de la vegetación se da por el aumento de la infraestructura y los campos agrícolas (Palacios et al., 2020). Además, se deja notar que hay presencia de un comportamiento cíclico o estacional de pérdida de la vegetación, existiendo fluctuaciones ascendentes y descendentes a lo largo del tiempo, las mismas que están influenciadas por el clima y los pisos altitudinales (Manchego, 2017). También, en otros lugares del territorio peruano se evidenció una pérdida irrecuperable de la vegetación,

que necesitará de varios años y grandes volúmenes de precipitación para poder recobrar su estado natural, también se observa que hay grandes extensiones desérticas que cada vez se están ampliando debido a la falta de agua y al calentamiento de la superficie (Alegre, 2017).

Así mismo, cabe mencionar que existe merma en la vegetación por aperturas de áreas menores a una hectárea, siendo la causa primordial las actividades agrícolas, urbanización y la erosión del suelo (SERFOR, 2015), dentro de estas áreas afectadas se puede mencionar a la subcuenca Santa Eulalia.

La subcuenca Santa Eulalia cuenta con un área de 1 094 km² de superficie, siendo su principal afluente el Río Rímac (MINAGRI, 2010), además su cobertura vegetal está compuesta por pajonales, matorrales arbustivos, especies propias de la agricultura andina, bosques, entre otros. Donde estas unidades vegetales también sufren pérdidas a través del tiempo generadas por distintos factores como la agricultura, turismo, variabilidad climática, urbanización y erosión de suelo (Charca, 2016). Asimismo, estas coberturas altoandinas de la subcuenca en estudio, son de alto valor ecosistémico, pues brindan provisión para los pobladores locales y para especies animales de la cadena trófica. Del mismo, regulan el equilibrio hídrico mediante procesos de infiltración y afloramiento de agua por manantiales (Mora-Vega et al., 2012)

Por lo proyectado, es fundamental el conocimiento de la variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia, para una adecuada toma de decisión en términos de conservación y sostenibilidad (Hassan, 2018). Para ello, es necesario la aplicación de la teledetección como herramienta que permita medir los cambios temporales de unidad territorial vegetal (Griffiths et al., 2019). Este estudio proyectará los cambios ocurridos de la cobertura vegetal en la subcuenca.

1.2. Antecedentes

Osuna et al. (2015), quien en su indagación desarrollada en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; en los años 1994-2010 realizó una evaluación del impacto de las actividades antropogénicas presentes en la cuenca en un periodo de 16 años mediante imágenes de satélite Landsat, haciendo uso de la clasificación no supervisada con los siguientes rangos de NDVI: -1 a 0 = urbanismo; 0 a 0.15 = vegetación perturbada; 0.15 a 0.25 = Pastizales y cultivos; 0.25 a 0.45 = matorrales y 0.45 a +1 = bosques. La zona de estudio comprende 7 446 km², realizando una clasificación supervisada se obtiene que en el año 2010, prevalecen los bosques (34.6%) y después áreas agrícolas y pastizales. En el año 1994 la superficie forestal cuenta con 333 866 ha y en el 2010 se redujo a 60 490 ha, teniendo una tasa de deforestación anual de -1.1% en bosques y selvas. En el lapso de 16 años se reveló que incremento la superficie destinada a actividades antropogénicas como agricultura y uso urbano, con un porcentaje de 28% y 67%. Concluyendo que las actividades antropogénicas en la cuenca es el principal factor de los cambios de la cobertura vegetal.

Alencar et al. (2019), quien realizo su investigación en la cuenca hidrográfica del río Moxotó, Pernambuco, Brasil; en los años 1984-2011 evaluó la pérdida de vegetación que se debe por la intensa variabilidad fluvial y principalmente por el consumo doméstico, industrial y agricultura. Donde se busca realizar un análisis del estado de la vegetación en el periodo de 1984 a 2011, utilizando los Índices de Vegetación por Diferencia Normalizada (NDVI) e Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI). La zona de estudio comprende 9752.71 km² donde se va a utilizar imágenes satelitales Landsat 5 (TM). Esta investigación presentó como resultados adquiridos para NDVI, logrando identificar tres categorías: baja densidad (0,20-0,50), mediana densidad (0,50-0,75) y alta densidad (0,75-1). Así mismo, la vegetación de baja densidad fue la más abundante en la zona de la cuenca durante los 27

años, con un incremento de 0,521%, luego continúa la vegetación mediana intensidad como la más abundante para el año 2002, con una tasa de variación de 7.1% y la vegetación de alta densidad cubren menos del 3% lo que indica que hay una pérdida con -4,91%. Concluyendo que la pérdida de la vegetación es causada por la humanidad, debido a que hacen uso doméstico para solventar su economía.

Guerrero y Campos (2017), en su investigación desarrollada en el Parque Nacional Cerros de Amotape y La Reserva Nacional de Tumbes, buscó evaluar la evolución de la cobertura vegetal mediante el análisis de una serie temporal del NDVI en el periodo 2000-2015. Se realizó con imágenes satelitales Landsat 7 y 8 con sensor ETM+, así mismo, se utilizó el software ArcGis 10.2. Según los datos obtenidos del NDVI se organizaron en cuatro tipos de cobertura vegetal, CV tipo 01 (sin cobertura vegetal o cuerpos de agua de rango “-1 a 0.15”), CV tipo 02 (cobertura vegetal mixta de rango “0.15 a 0.3”), CV tipo 03 (cobertura vegetal poco densa de rango “0.3 a 0.6”) y CV tipo 04 (cobertura vegetal densa de rango “0.6 a 1”). Como resultado indica una línea positiva para los datos del NDVI en la cobertura de la Reserva Nacional de Tumbes, pero el Parque Nacional Cerros de Amotape indica una línea negativa para los datos del NDVI, por lo que, la cobertura vegetal densa ha presentado una reducción total de 3906 ha, de igual manera predomina Parque Nacional Cerros de Amotape dando paso a cualquier tipo de cobertura vegetal con un NDVI bajo.

Manchego (2017), en su indagación se basó en imágenes satelitales de la cuenca Quilca-Chili, Arequipa. Planteándose evaluar la variabilidad espacio-temporal de la vegetación de la cuenca Quilca-Chili, mediante el uso del NDVI entre los años 2005-2015; el área de estudio comprende 13 500 km². El método utilizado consiste en extraer imágenes Landsat (5 y 7) con un menor porcentaje de nubosidad, procediendo a su corrección, empelando la herramienta “Calculadora Raster” con el fin de calcular el NDVI en el software

ArcGis, clasificándose por tipos de cobertura vegetal y rangos del NDVI los cuales son (-1 a 0.15 sin cobertura vegetal y 0.15 a 1 que son unidades con cobertura vegetal). Los datos revelados indican una tendencia cíclica, por lo que, asciende y desciende reiteradamente, por influencia de variables climáticas y pisos altitudinales. Se analizó, que la cobertura vegetal en el primer periodo (2005-2006) se registró un aumento de 843,35 km² al año, de igual forma en periodos de 2012-2014 donde se reduce en 300 km² al año. Concluyendo que en los años 2005 y 2015 es favorable la cobertura vegetal indicando un aumento de 6061, 39 km² a 7854,38 km².

Ugaz (2020), en su investigación se basó en imágenes satelitales en la microcuenca del río Porcón, Cajamarca. Busca determinar la variabilidad temporal y espacial de la vegetación en la microcuenca del río Porcón durante el periodo 2003 – 2019, mediante el NDVI; el área de estudio comprende 7438.59 ha, consiste en extraer imágenes satelitales Landsat 5 y 8, procediendo a su corrección y luego calcular el NDVI llegando a clasificar en tipos de vegetación como escasa, medianamente densa y densa y rangos que van del NDVI de -1 a 1. Estas clasificaciones se dividieron en -1 a 0.1 “sin vegetación”; 0.1 a 0.25 “vegetación escasa”; 0.25 a 0.4 “vegetación medianamente densa” y 0.4 a +1 “vegetación densa”. Obteniendo que la cobertura vegetal tuvo fluctuaciones constantes, la vegetación escasa desciende de 7.6% a 6.18% (2003 al 2019), de igual forma la vegetación medianamente densa desciende de 73.97% a 72.5% y la vegetación densa ocupa el 18.47% y 08% indicando un aumento en dicho rango. Concluyendo que ayuda a la preservación de nuestros recursos naturales.

Padilla (2014), realizó un estudio multitemporal de la cobertura vegetal natural en el páramo de la parroquia Mulaló. En cuanto a la metodología se aplicó el análisis de imágenes satelitales para medir las evoluciones de la cobertura vegetal y uso de suelo. Para ello, se

aplicó el índice NDVI con los siguientes rangos de clasificación: vegetación leve de 0.1 a 0.25; vegetación moderada 0.25 a 0.4 y vegetación densa de 0.45 a 1. Se determinó que la tasa anual de pérdida de la vegetación leve es de 3,96 %, pérdida de 0,82 % para vegetación densa y 0,6% para vegetación moderada. Asimismo, el estudio recomienda el uso del análisis multitemporal como indicador para la toma de decisiones y la aplicación de planes y programas que permitan la conservación biológica.

Aldas (2013), realizó un estudio sobre la variación de la cobertura vegetal y estado actual del Cerro Imbabura aplicando herramientas GIS, para ello se planteó como objetivo determinar la disminución de cobertura vegetal en los últimos 20 años, a través de imágenes satelitales. En cuanto a la metodología, se aplicó la teledetección para la medición de cobertura vegetal y la técnica de NDVI, índice que permite conocer las clases de unidades espaciales, los rangos oscilaron en dos partes, una referida a unidades sin vegetación/superficies hídricas que oscilan desde -1 hasta 0.4; y la segunda clase que son todas las coberturas leves y densas en conjunto que oscilan desde 0.4 hasta +1. Concluyéndose que, a partir de los resultados que el área de estudio perdió 153.6 ha de cobertura vegetal, con una tasa anual de deforestación de 11.1% equivalente a 84.6 ha/año, implicando que hubo un crecimiento en las actividades antrópicas, ligadas al consumo de los recursos que proporciona el área de estudio.

Sandoval et al. (2018), realizaron un estudio con el objetivo de evaluar los cambios de la cobertura vegetal en el Páramo Sumapaz durante el periodo 2002 a 2017 utilizando imágenes satelitales. Esta investigación busca obtener datos del porcentaje de cobertura vegetal, y los cambios espaciales ocurridos en ella, para ello, dieron uso del índice de vegetación NDVI aplicando los programas Envi y ArcGis, el índice estaba clasificado en 3 partes, suelo desnudo “-1 a 0”; vegetación leve “0.1 a 0.25”; vegetación densa “0.3 a +1”.

Se concluyó que para el año 2002 la cobertura vegetal de clase leve alcanzaba 266321 hectáreas y que para el año 2017 contaba únicamente con 314 hectáreas de esta, del mismo modo la cobertura vegetal densa en el año 2002 tenía un área 20379 y para el año 2017 presentaban un área de 23 hectáreas es decir aproximadamente se redujo a un 95%.

Requelme José (2019), estimó la pérdida de cobertura boscosa y los cambios detectados en el uso del suelo durante los años 2000-2018, empleando imágenes satelitales. Para dicho análisis, se aplicó el índice de vegetación NDVI categorizada en 3 rangos: -1 a 0.1 relacionados a suelos desnudos; 0.1 a 0.3 relacionados a pastizales y 0.3 a +1 relacionado a coberturas boscosas. Como resultados obtuvo un registro donde se observa que hubo un incremento de 470.94 ha de pastos y una reducción de 448.51 ha de suelos desnudos, concluyendo que la pérdida de cobertura boscosa fue de 323.53 ha, con una tasa promedio anual de deforestación de 17.97 ha.

Alegre (2017), realizó un estudio con el objetivo de evaluar y determinar los cambios que se han dado en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos durante el transcurso de los años de 1997 al 2017. Esta investigación se realiza con el fin de obtener conocimientos descriptivos de los cambios de la vegetación que se realizaron dentro de la provincia de Yauyos mediante un transcurso de tiempo. La metodología fue descriptivo, no experimental longitudinal, ya que se basa en la obtención de datos de fenómenos a través de periodos de tiempo. Se aplicó el índice de NDVI considerando dos rangos de cobertura vegetal 0.15 a 0.25 como vegetación temporal y 0.3 a +1 considerado como vegetación permanente. Al evaluar las imágenes satélites se concluyó que la cobertura vegetal permanente disminuyó 39492.3 ha, que viene hacer el 10.5% de la superficie total, lo cual se consideró área irrecuperable e infértil, así mismo la cobertura vegetal temporal ascendió en 41974.1ha, que es el 6% de la superficie total.

Bermúdez (2015) realizó dicho trabajo con el objetivo analizar multitemporal mente y cuantificar los cambios de la cobertura boscosa de la zona pacifico norte. Este estudio busca conseguir conocimientos acerca de la cuantificación y análisis de la cobertura boscosa tomando como insumo la información de la deforestación en los periodos de 1990, 2000, 2005, 2010, 2012, adquiridos por el IDEAM para toda Colombia. Se dieron uso de imágenes satelitales Landsat y el índice de NDVI en este caso solo se consideró a la vegetación boscosa con un rango de 0.45 a +1. Se concluyó una pérdida de cobertura boscosa del 22.76%, lo que equivale a una reducción de 196.6 ha.

1.3. Marco Teórico

1.3.1. Teledetección

La teledetección es una tecnología utilizada para identificar las características de objetos a interés, medir o analizar sin contacto directo (JARS, 1993). Para así recopilar información de la superficie terrestre a través de imágenes espaciales adquiridas vía satélite. Luego se utilizan diferentes técnicas para el procesamiento de imágenes digitales y satelitales (Landsat) (Ortiz y Ramírez, 2021).

Componentes de la teledetección:

Los componentes de la teledetección son los siguientes. Fuente de energía, refiriéndose a la fuente de radiación electromagnética que manifiesta el sensor. La cubierta terrestre, asumiendo diferentes tamaños de cobertura vegetal, rocas, cuerpo de agua, suelo, construcción, etc; que reflejan la señal al sensor. Sistema sensor, su misión es recoger la energía de la superficie de la tierra, codifica y finalmente envía al sistema receptor. Por otra parte, el sistema de recepción-comercialización, es el encargado de obtener la información del sensor, la guarda y dispone a los intérpretes. Interprete, facilita y convierte los datos en

información como agricultura, vegetación, medio ambiente, militar, etc; mediante técnicas visuales. Usuario final, analizar e interpreta la información (ver figura 1) (Chuvieco, 1996). Este último, es donde se obtiene las imágenes satelitales con sus múltiples análisis territoriales, estas imágenes guardan información espacial de un determinado tiempo en cada píxel que la compone (Bravo, 2017).

Usos de la teledetección:

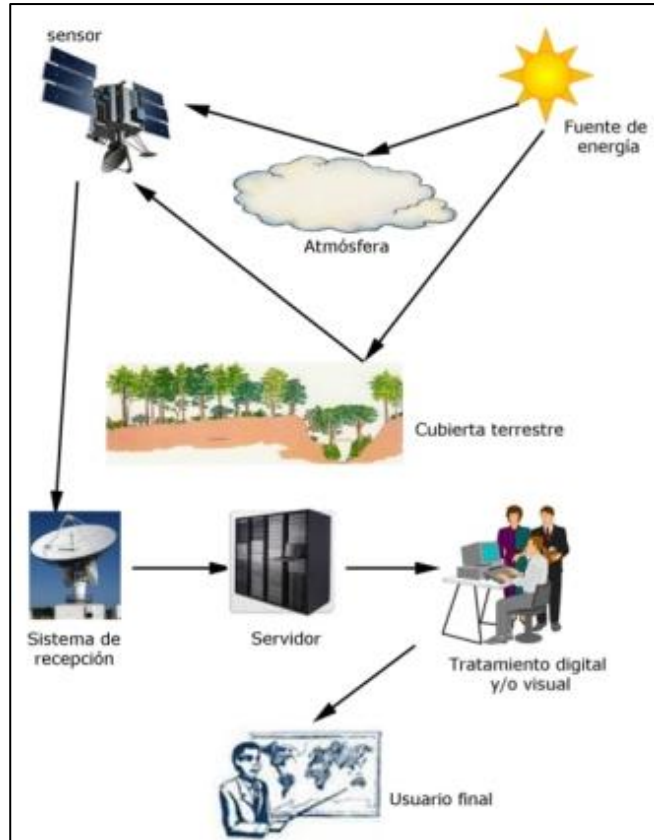
Es una técnica que nos permite adquirir información de la superficie terrestre a través de imágenes proporcionados por sensores que están a bordo de satélites espaciales, así mismo la aplicación de esta técnica se basa en la discriminación y estratificación de áreas para muestreos multietápicos necesarios para derivar tamaños y números de muestras (Chuvieco, 1995). Los resultados gráficos son el proceso de manipulación digital e interpolación de datos, que permite generar los resultados que se observarán a continuación, como son las coberturas del área en estudio, estas apoyados en un trabajo de software de georreferenciación, y coordenadas que facilitan la aproximación a una realidad del contexto que se presenta (Álvarez & Agredo, 2013).

Fundamentos físicos de la teledetección:

Desde el punto de vista físico, la teledetección parte de un principio de la existencia de una energía electromagnética que el sistema observado produce en el medio. Esta energía se transmite al sistema receptor que capta una señal que será registrada, almacenada y posteriormente interpretada. Desde el punto de vista práctico, la teledetección tiene por objeto el reconocimiento de las características de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella tiene lugar a partir de los datos registrados por el sensor. El principal reto con que se enfrentan quienes trabajan en el campo de la teledetección consiste en la transformación de

los datos registrados por el sensor en magnitudes físicas y, en consecuencia, en información útil al usuario (Sobrino 2000).

Figura 1: *Elemento del sistema de teledetección*

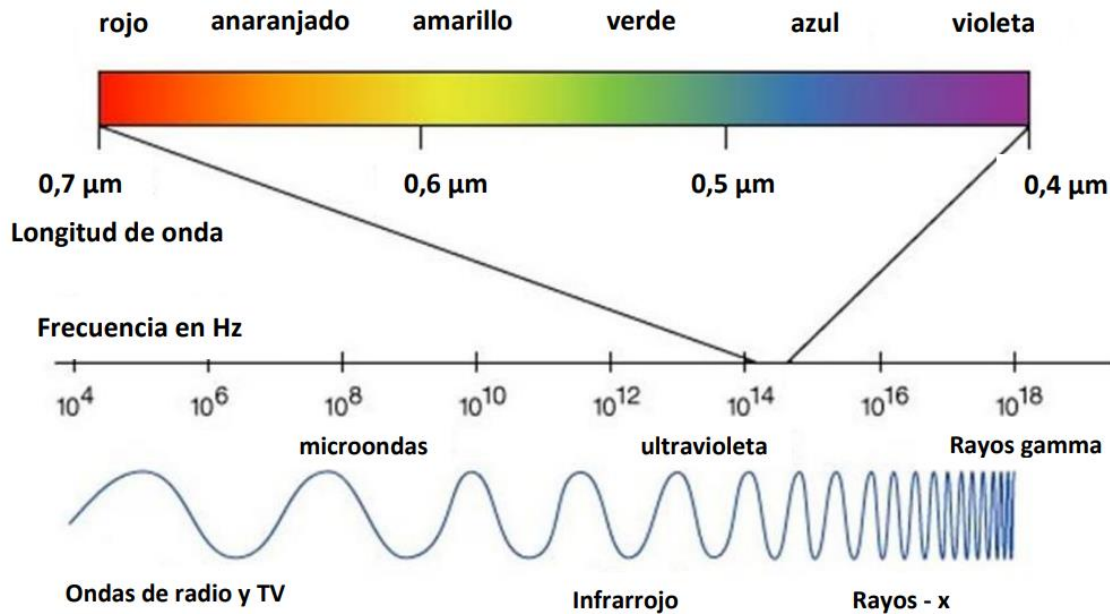


Espectro de Ondas Electromagnético:

El espectro electromagnético es la distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas emitidas o absorbidas por un cuerpo en función de su frecuencia. El espectro de las ondas electromagnéticas, comprende desde longitudes de onda muy largas (ondas de radio) hasta longitudes de onda muy cortas (rayos gamma). El espectro visible es aquel con el que estamos familiarizados; puede ser observado cuando la luz blanca es dispersada por gotas de agua en un arco iris. Todos los tipos de cobertura terrestre (tipos de roca, cuerpos de agua, tipos de vegetación, cascos urbanos, etc.), absorben una parte de la radiación electromagnética, dándole una firma distinguible de otra a lo largo del espectro.

Se puede analizar los datos de las imágenes provenientes de los sensores remotos y crear hipótesis bastantes precisas acerca de una cobertura gracias a su firma espectral (Slater 1980).

Figura 2. Espectro de onda electromagnética



Fuente: (Slater 1980)

Radiación electromagnética emitida por un cuerpo:

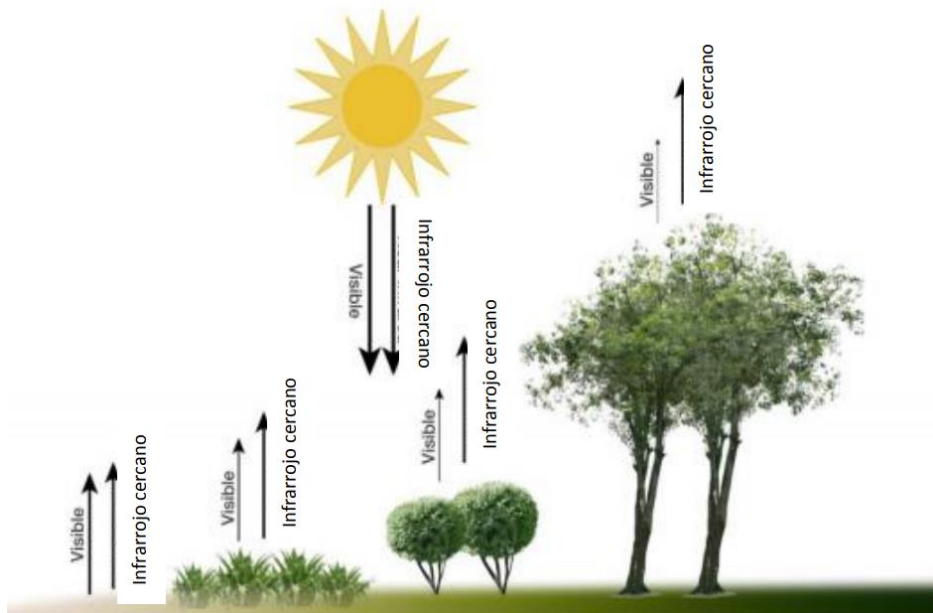
La radiación es la emisión continua de energía de la superficie de todos los cuerpos. La energía se propaga en las ondas electromagnéticas producidas por las vibraciones de las partículas cargadas que forman parte de los átomos y moléculas de la superficie del rojo anaranjado, amarillo, verde, azul, violeta 0,7 μm Longitud de onda 0,6 μm 0,5 μm 0,4 μm Frecuencia en Hz microondas ultravioleta Rayos gamma Ondas de radio y TV Infrarrojo Rayos - x 8 cuerpos. La radiación electromagnética que se produce a causa del movimiento de los átomos y moléculas de un cuerpo se denomina radiación térmica o de temperatura. Todos los cuerpos emiten radiación térmica por el hecho de estar a una temperatura distinta

de cero absoluto. A una temperatura aproximadamente menor de 600°C la radiación emitida es infrarroja. Sin embargo, a temperaturas superiores a 600°C la radiación emitida tiene longitudes de onda cada vez más corta e incluye al espectro visible. (Tipler y Llewellyn 2000).

Reflectancia de la superficie terrestre:

La reflectancia se le denomina también albedo desde el punto de vista geofísico. Se obtiene de la razón entre la radiación reflejada y el incidente, se consideran dos tipos de reflectancia de interés cuando se habla de correcciones atmosféricas, la reflectancia de la cima de la atmósfera, también llamada reflectancia planetaria y la reflectancia al nivel de la superficie (Rahman y Dedieu 1994). Áreas con mayor vegetación absorben más luz visible y el infrarrojo cercano refleja más luz hacia el espacio. Los satélites pueden detectar estas diferencias relativas, que se utilizan para crear índices de vegetación.

Figura 3. *Reflectancia de la cobertura vegetal*

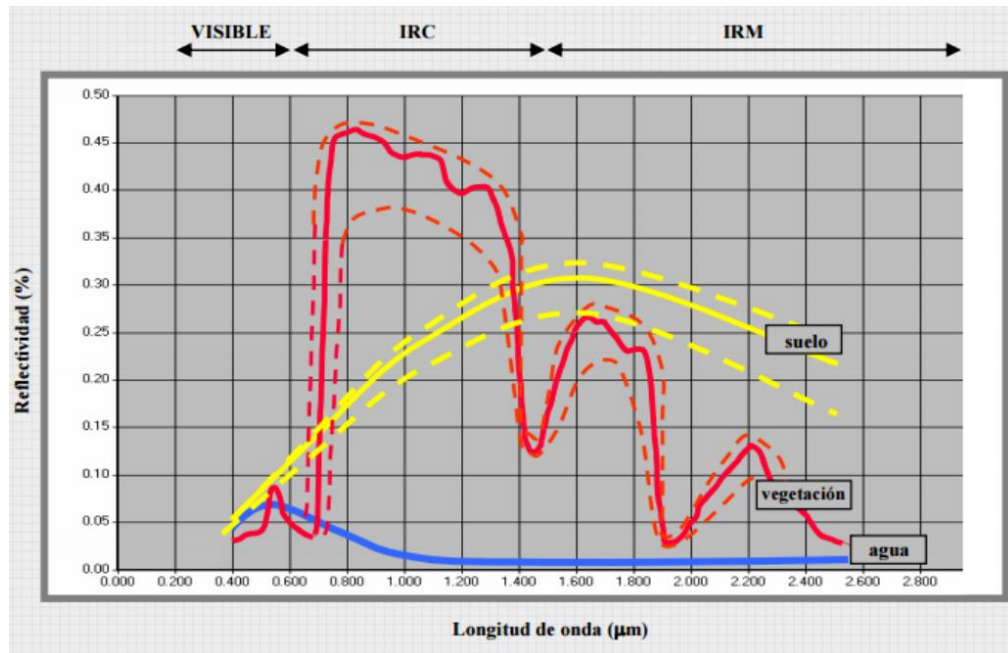


Fuente: NASA/NOAA

Firmas espectrales:

Los satélites miden la energía reflejada o emitida por los objetos de la superficie terrestre, según el poder de reflectividad y emisividad de cada uno, y también según la longitud de onda. Así, como los objetos reaccionan en forma diferente ante la energía solar recibida, cada objeto posee una reflectividad propia llamada “firma espectral”. Las propiedades de la superficie de los cultivos hacen posible el seguimiento de la dinámica de la vegetación y su variabilidad espacio temporal usando varias plataformas de sensores remotos. Los datos satelitales basados en la detección de la sanidad de la vegetación dependen de la relación fuerte entre simples transformaciones de reflectancia del rojo e infrarrojo y la absorción de la radiación fotosintéticamente activa de la superficie de la vegetación (Meer et al. 2002). La vegetación es un medio complejo que varía con el tiempo y por lo cual las propiedades espectrales cambian según la época del año y las fases de crecimiento.

Figura 4. Firmas espectrales



Fuente: (Bon y Rochon 1992)

1.3.2. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), es desarrollado por Rouse et al. (1974), desde ese tiempo ha sufrido algunas modificaciones para obtener una mejor exactitud. Por lo que, el NDVI es utilizado para determinar la diferencia normalizada entre la reflectancia roja e infrarroja cercano, teniendo una gran ventaja de gran sencillez de cálculo y facilitar la interpretación sobre la cantidad, calidad y desarrollo de la cobertura vegetal en áreas extensas (Guerrero y Campos, 2017). El NDVI es el índice de vegetación más utilizado para todo tipo de aplicaciones, además de ser un indicador de vigor fotosintético o salubridad vegetal. La razón fundamental es su sencillez de cálculo, y disponer de un rango de variación fijo (entre -1 y +1), lo que permite establecer umbrales y compartir imágenes, etc. Este índice da lugar a isolíneas de vegetación dependiente creciente y convergente en el origen (Sánchez et al. 2000). El índice de Vegetación de Diferencia Normalizada se calcula mediante la siguiente expresión:

Ecuación 1. Cálculo del NDVI

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$$

Fuente: (Sánchez et al. 2000)

ρ_{NIR} : Reflectancia correspondiente a la banda espectral infrarrojo cercano.

ρ_R : Reflectancia correspondiente a la banda espectral rojo.

Utilidad del NDVI

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), cuenta con distintas aplicaciones, que viene a ser por enfermedades de la vegetación con el uso de suelo, áreas verdes, porcentaje de cobertura vegetal, estrés hídrico y productividad de cultivo (Cecenque, 2013). Algunos ejemplos a continuación:

- Deforestación de bosques nativos
- Producción y vigorosidad de vegetación
- Áreas inundables
- Planificación de agricultura, urbanización
- Erosión de suelos

1.3.3. Cobertura vegetal

Es el ámbito que ocupa la vegetación en un ecosistema establecido, que posee características ambientales y fisonómicas con distintas funciones como refugio para la biodiversidad biológica, prevenir erosión de suelos, entre otros (Guadalupe, 2021). La superficie vegetal va desde pajonales hasta bosque naturales, también se incluye las actividades humanas que son las zonas de cultivo – agricultura (Castro, 2021). Así mismo, establece una dinámica actual del paisaje por su florística, cobertura del suelo, especies y distribución con un estado de conservación dentro de una cuenca, que comprende elementos naturales y elementos antrópicos (Siqueiros et al., 2016).

El cambio en la cobertura vegetal del suelo:

La cobertura de suelo, viene a ser la cubierta de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, la cual comprende una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que abarca desde pastizales hasta las áreas de revestimiento por bosques naturales (García, 2008). Del mismo modo, el cambio de la cobertura del suelo es explicada como la conversión, apropiación y utilización no natural de los suelos para usos distintos, generalmente atribuido a procesos de deforestación, degradación del suelo, producto de las actividades humanas y fenómenos naturales (Alegre, 2017). La urbanización involucra la transformación del suelo, las fusiones subdivisiones y

fraccionamientos de áreas y predios ya sean rurales o urbanos. Asimismo, implica el crecimiento de los centros de población: expansión espacial y demográfica, ya sea por extensión física territorial del tejido urbano, por el acrecentamiento en las densidades de construcción y población, o también por ambos aspectos. Este aumento puede darse de manera anárquica o equilibrada (Alonzo & Gónzales, 2010).

Factores de cambio de cobertura en la subcuenca Santa Eulalia:

La actividad del hombre y factores naturales está presente en las cuencas es una de las causas de la pérdida de superficie terrestre. Los factores humanos influyen en expansión de las áreas agrícolas, pastizales, recursos naturales, incendios, etc; (Ortiz y Ramírez, 2021). Por lo que, en la subcuenca Santa Eulalia presenta actividades antropogénicas que están afectando a la cobertura vegetal, por la producción ganadera, extracción de turba local, construcción de represas, minería, población rural y todo eso está conllevando a una destrucción en la cobertura vegetal (García y Peralta, 2021).

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema General

¿Cuál es la variación espacio temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019?

1.4.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la variación temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019?
- ¿Cuál es la tasa de cambio de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019?

- ¿Cuál es la variación espacial de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019?
- ¿Cuál es la relación entre las variables cobertura vegetal y superficie de agua?
- ¿Cuál es la relación entre las variables cobertura vegetal y suelo desnudo?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar la variación espacio temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la variación temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019.
- Determinar la tasa de cambio de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019.
- Determinar la variación espacial de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019.
- Determinar la relación estadística entre la cobertura vegetal y superficie de agua
- Determinar la relación estadística de la cobertura vegetal y suelo desnudo

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

La variación espacio temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia es amplia en el período 2003 – 2019.

1.6.2. Hipótesis Específicas

- La variación temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia es decreciente en el período 2003 – 2019.
- La tasa de cambio de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia es negativa en el período 2003 – 2019.
- La variación espacial de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia es significativa en el período 2003 – 2019.
- La relación entre las variables cobertura vegetal y superficie de agua es significativa
- La relación entre las variables cobertura vegetal y suelo desnudo es significativa

1.7. Justificación

La presente investigación se justifica en evaluar los cambios que se han venido dando en la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia, estos cambios en la cobertura altoandina provoca la alteración de especies vegetales endémicas. Para evaluar dichos cambios se aplicó una metodología basada en el análisis multitemporal de imágenes satelitales. El uso de imágenes satelitales es una de las formas más prácticas de visualizar y analizar el área que se pretende estudiar a gran escala lo cual anteriormente era muy difícil llevarse a cabo (Salinas, 2017).

La importancia de esta investigación radica en el análisis de la cobertura vegetal de la subcuenca mencionada, ya que es un territorio con alto potencial en servicios ecosistémicos con beneficio poblacional urbano y rural; así como también el beneficio a especies animales, es por ello que esta investigación es para demostrar cuanto eficiente es la teledetección para poder medir el grado de pérdida de la cobertura vegetal mediante el análisis espacio temporal y conocer la magnitud de los cambios en las coberturas. Por otro lado, se justifica el uso del

NDVI porque, el índice en mención es simple y cuenta con el mejor rango dinámico de cualquiera de los índices existentes y tiene la mejor sensibilidad a los cambios en la cubierta vegetal (Tarpley et al., 1984).

Finalmente, la información generada en el presente estudio será de utilidad para los planes de ordenamiento local de los distritos que conforman la subcuenca, como también los entes relacionados a la gestión hídrica mediante los proyectos MERESE (Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos) desarrollados por SEDAPAL, así como la evaluación de especies endémicas liderada por SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre).

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo descriptiva, porque se detalla el contexto de la variación de la superficie vegetal y se busca precisar las características asociadas a ello en un análisis temporal y espacial. Con un diseño de investigación no experimental y con un enfoque cuantitativo de corte longitudinal, porque se observó la cobertura vegetal en su ámbito natural para analizarla en distintos periodos del tiempo para argumentar la variación ocurrida en ella a través de un periodo de 2003 a 2019 (Hernández et al., 2014).

2.2. Población y muestra

La **población** del presente estudio está conformada por todas las subcuencas altoandinas ubicadas en la vertiente del pacifico del territorio peruano, ya que comparten las mismas características climáticas según su altitud. **La muestra** es determinada por un muestreo no probabilística por conveniencia, el cual resulto ser la subcuenca Santa Eulalia que abarca una extensión de 107736.86 ha.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La **técnica** utilizada para la recolección de la información fue la observación directa no experimental de imágenes satelitales mediante la que se estima el área de cobertura temporal, su posterior análisis de variación. El instrumento para dicha técnica en mención son fichas de registros de datos geoprocesados; asimismo, se consideró el uso de instrumentos digitales como los programas Arcgis, ENVI, entre otros. El **instrumento** fue tomado del estudio realizado por Vásquez (2021), que tiene por título “Determinación de la variación de cobertura vegetal mediante Imágenes Satelitales en el Caserío Shiracmaca

Huamachuco 2000 – 2021”. Dicho instrumento se encuentra validado por 3 expertos y una calificación alta del 95% en validación.

Para el geoprocesamiento se dio uso del programa Arcgis, con el fin de extraer los valores de cobertura vegetal durante el periodo de estudio. Mismo programa fue de utilidad para la elaboración cartográfica.

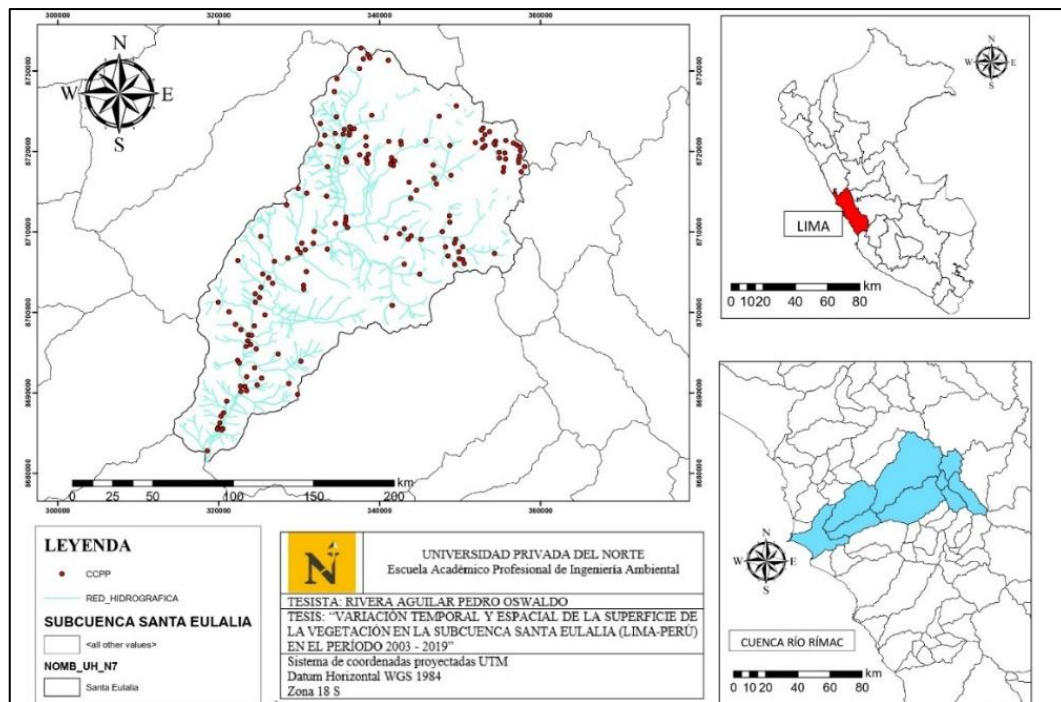
El análisis de datos aplicados fueron la prueba de normalidad de Shapiro-Willks, la estadística descriptiva (media, rango, máximo/mínimo, moda, entre otros), y la prueba de correlación. Estas fueron aplicadas a los distintos tipos de coberturas de la subcuenca Santa Eulalia (Cobertura vegetal densa, cobertura vegetal poco densa, suelo desnudo y superficies de agua). Estos estadísticos fueron llevados a cabo en el programa SPSS v.26.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Área de estudio

La subcuenca Santa Eulalia posee una extensión de 107736.86 hectáreas (ha), integra la provincia de Huarochirí, departamento Lima, ubicada entre la latitud 11°54'38" S y longitud 76°39'56" W (Figura 5). Así mismo la provincia de Huarochirí cuenta con una población de 58 145 habitantes y el distrito de Santa Eulalia con una población de 12 636 habitantes (INEI, 2017).

Figura 5. Ubicación de la Subcuenca Santa Eulalia



2.4.2. Descarga de Imágenes Satelitales

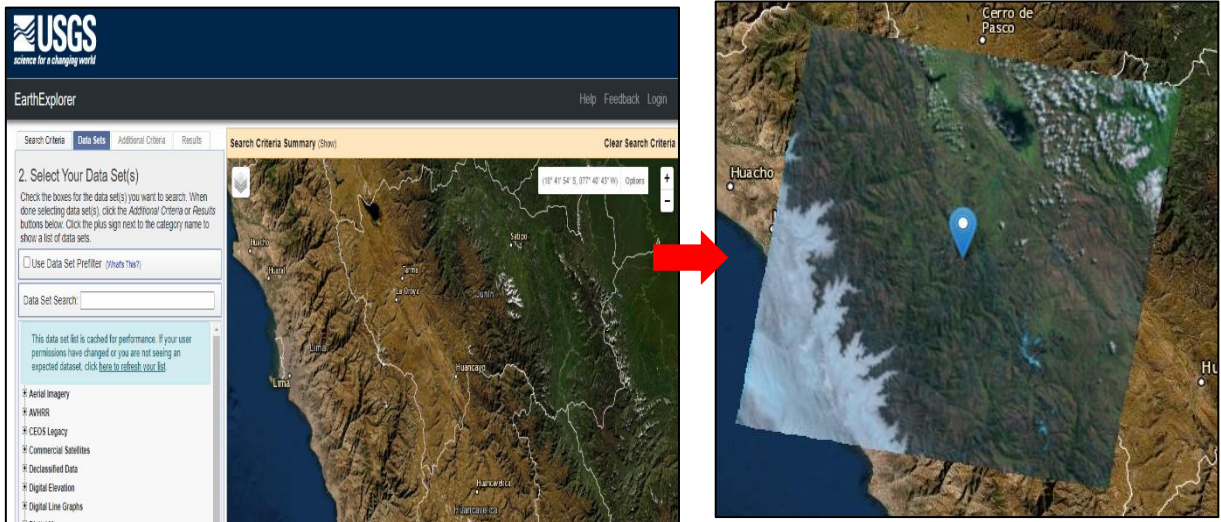
Para la recolección de datos se utilizó la fuente de información del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), que es muy importante para la adquisición de las distintas imágenes satelitales, tales como las misiones Landsat. En la tabla 1, se muestra las imágenes landsat de uso para este estudio, perteneciente a los años

Tabla 1. Rangos de NDVI para Santa Eulalia

Sensor Landsat	Bandas para NDVI	Longitud de Onda (um)	Resolución Espacial (m)	Resolución Radiométrica	Código de la imagen en uso
Landsat 5 - Sensor TM	Banda 3: RED y Banda 4: NIR	0.63-0.69	30 m	8 bit	LT05_L2SP_007068_20030707_20200904_02_T1
Landsat 5 - Sensor TM	Banda 3: RED y Banda 4: NIR	0.63-0.69	30 m	8 bit	LT05_L2SP_007068_20070702_20200830_02_T1
Landsat 5 - Sensor TM	Banda 3: RED y Banda 4: NIR	0.63-0.69	30 m	8 bit	LT05_L2SP_007068_20110526_20200822_02_T1
Landsat 8 - Sensor OL	Banda 4: RED y Banda 5: NIR	0.636-0.673	30 m	12 bit	LC08_L2SP_007068_20150708_20200909_02_T1
Landsat 8 - Sensor OL	Banda 4: RED y Banda 5: NIR	0.636-0.673	30 m	12 bit	LC08_L2SP_007068_20190703_20200827_02_T1

En la figura 6, se visualiza la forma de descarga de las imágenes Landsat de la plataforma USGS “Servicio Geológico de Estados Unidos”.

Figura 6. Plataforma United States Geological Survey (USGS)



2.4.4. Corrección de las Imágenes Landsat

En cuanto a las imágenes satelitales de LANDSAT 5 y LANDSAT 8 se procedió a las correcciones de nubosidad, así mismo, fueron proyectadas mediante el software ArcGis 10.3, identificando secciones con nubosidad para ser separadas haciendo uso de la herramienta Extract by Mask y formar una nueva imagen sin nubosidad utilizando la herramienta Mosaic to New Raster (Guerrero y Campos, 2017).

2.4.5. Determinación de cobertura vegetal a partir del NDVI

Para diagnosticar el NDVI se desarrolló mediante la imagen ráster (LANDSAT) conforme al año destacando entre LANDSAT 5 y LANDSAT 8. La evaluación se realizó con la siguiente fórmula:

Ecuación 2: NDVI para LANDSAT 5

$$NDVI = \frac{(Band4 - Band3)}{(Band4 + Band3)}$$

Ecuación 3: NDVI para LANDSAT 8

$$NDVI = \frac{(Band5 - Band4)}{(Band5 + Band4)}$$

Clasificación de la cobertura Vegetal:

Se aplico la siguiente clasificación recomendado por Bravo (2019), que fue utilizada en la cuenca altoandina del rio Chillón, que se encuentra próximo a la subcuenca en estudio.

Tabla 2. Rangos de NDVI para Santa Eulalia

Rangos	Clase
-1 a 0.02	Agua
0.02 a 0.16	Suelo desnudo
0.16 a 0.25	Vegetación poco densa
0.25 a +1	Vegetación densa

Fuente: Bravo, 2019

Luego de aplicar las clases mediante la clasificación del NDVI en el programa Arcgis, se procedió a vectorizar el raster obtenido. Seguido a ello se procedió a la determinación geométrica (superficie en kilómetros cuadrados), que luego fueron almacenados en Excel.

Tasa de Cambio de la Superficie Vegetal

La tasa de cambio va permitir conocer la magnitud y rapidez de las variaciones interanuales. Por consiguiente, FAO (1996) plantea la siguiente formula que expresa el cambio” en porcentaje:

$$TC = \left(\left(\frac{S2}{S1} \right)^{1/n} - 1 \right) * 100$$

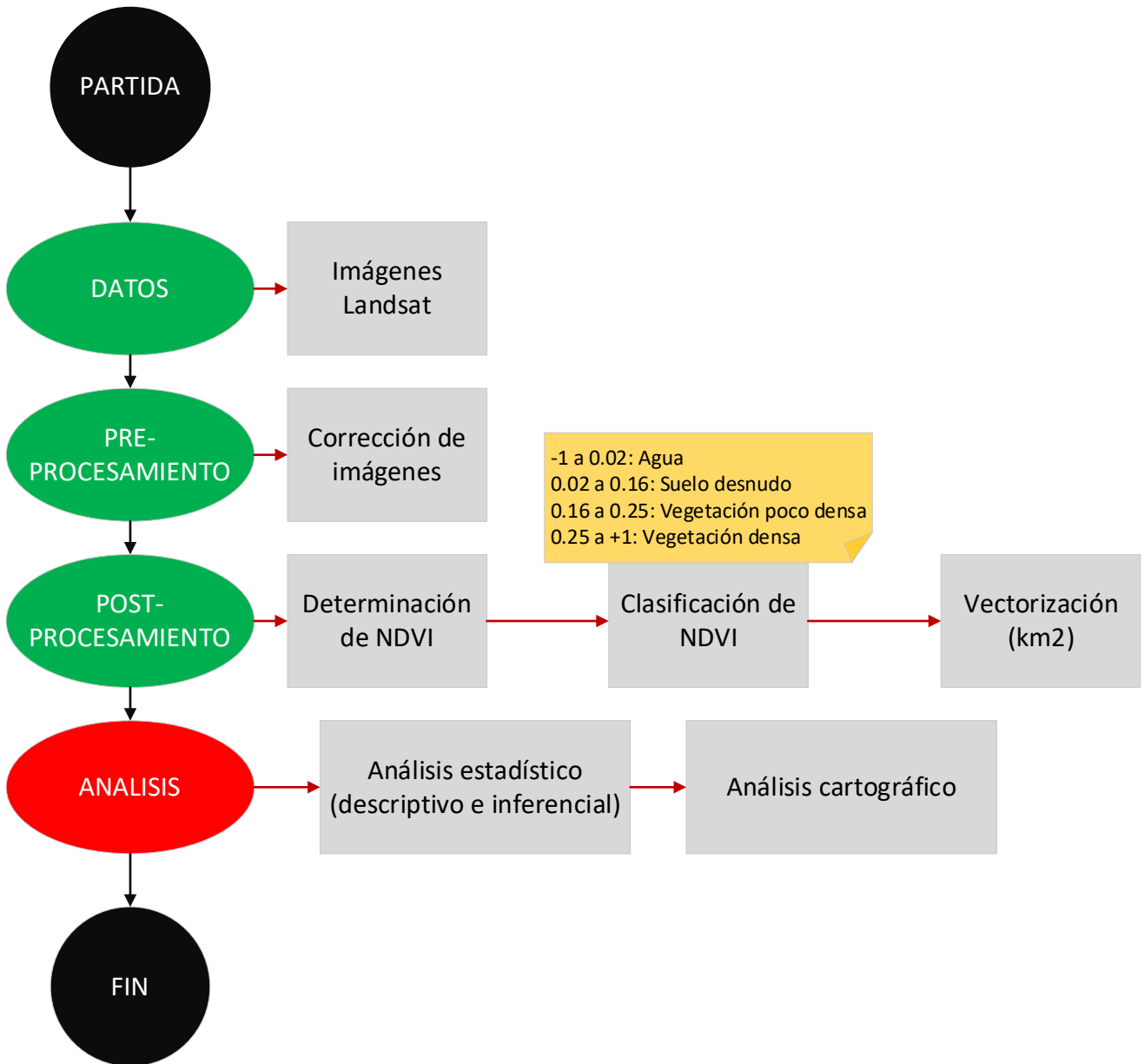
- Tc= tasa de cambio (en %)
S1= superficie en la fecha inicial
S2= superficie en la fecha final
n= diferencia de años entre fecha inicial y final

2.5. Aspecto Ético

En la presente indagación, se fundamenta de imágenes satelitales Landsat 5 que serán utilizados para los años 2003; 2007 y 2011 e imágenes satelitales Landsat 8 para los años 2015 a 2019, por cuál establece el programa de considerable trayectoria en obtención de imágenes satelitales de nuestro planeta, adquiridos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), una base de datos confiable que brinda las imágenes satelitales. Por otro lado, se hizo uso del software ArcGis 10.3 donde se aplicará el Índice de Vegetación Diferencia Normalizada (NDVI) que nos va a permitir distribuir la información geográfica. Así mismo, todos los procesos realizados para este estudio son desarrollados por mi persona, y las indagaciones obtenidas fueron de fuentes confiables y verídicas debidamente citadas en un formato APA.

En la figura 7, se visualiza el flujograma de procedimientos de la obtención de cobertura vegetal temporal expresados en km², y su posterior análisis estadístico/cartográfico.

Figura 7. Diagrama de flujo de los procedimientos



CAPÍTULO III: RESULTADOS

En este capítulo se proyectan los resultados relacionados a los cambios temporales de la cobertura vegetal, que son expresados en variaciones temporales y tasa de cambio anual. Y se visualiza los cambios espaciales mediante el análisis cartográfico. En la tabla 3, se proyecta los datos temporales de las unidades en estudio.

Tabla 3. Datos temporales de las unidades superficiales de la Subcuenca Santa Eulalia

Año	Agua (km ²)	Suelo Desnudo (km ²)	Vegetación poco densa (km ²)	Vegetación Densa (km ²)
2003	11.54	896.09	150.70	19.04
2007	11.35	800.91	240.44	24.68
2011	11.78	854.30	195.52	15.78
2015	12.05	891.34	163.37	10.61
2019	11.77	919.73	136.08	9.79

3.1. Variación temporal de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia

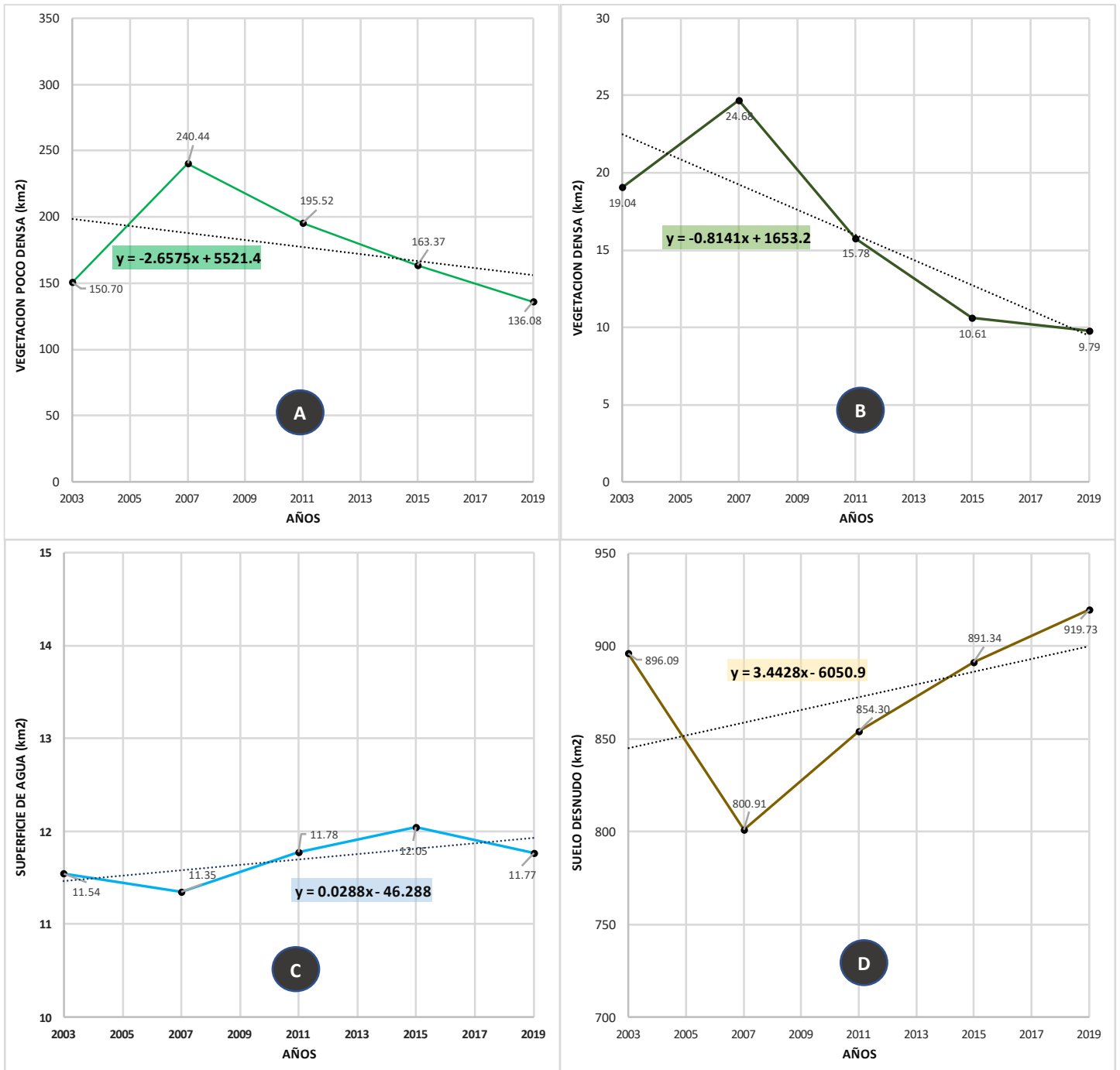
En la figura 8, se visualiza la dinámica temporal de la cobertura vegetal poco densa, cobertura vegetal densa, superficie hídrica y suelos desnudos. Estos cambios son reflejados por la pendiente (m) de la regresión lineal “ $y = mx+c$ ”, y explica el cambio promedio total entre el eje Y (superficie) y el eje X (tiempo). Por ello, las gráficas evidencian un descenso de la vegetación poco densa con una magnitud promedio de 2.65 km²/año. Descenso de la cobertura vegetal densa a una magnitud promedio de 0.81 km²/año. Un ligero incremento de la superficie de agua con magnitud promedio de 0.028 km²/año. Y el suelo desnudo muestra un incremento de 3.44 km²/año.

En cuanto al comportamiento temporal se visualiza una respuesta superficial anómala en el año 2007, pues las coberturas vegetales muestran un incremento atípico, mientras el suelo desnudo evidencia un descenso atípico.

El comportamiento temporal de la superficie hídrica muestra una dinámica homogénea

sin valores atípicos.

Figura 8. Dinámicas temporales de la cobertura vegetal poco densa (A), cobertura vegetal densa (B), superficie de agua (C) y suelo desnudo (D)



3.2. Tasa de cambio de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia

En la figura 9, se visualiza las tasas de cambio de la cobertura vegetal poco densa, cobertura vegetal densa, superficie de agua y suelo desnudo.

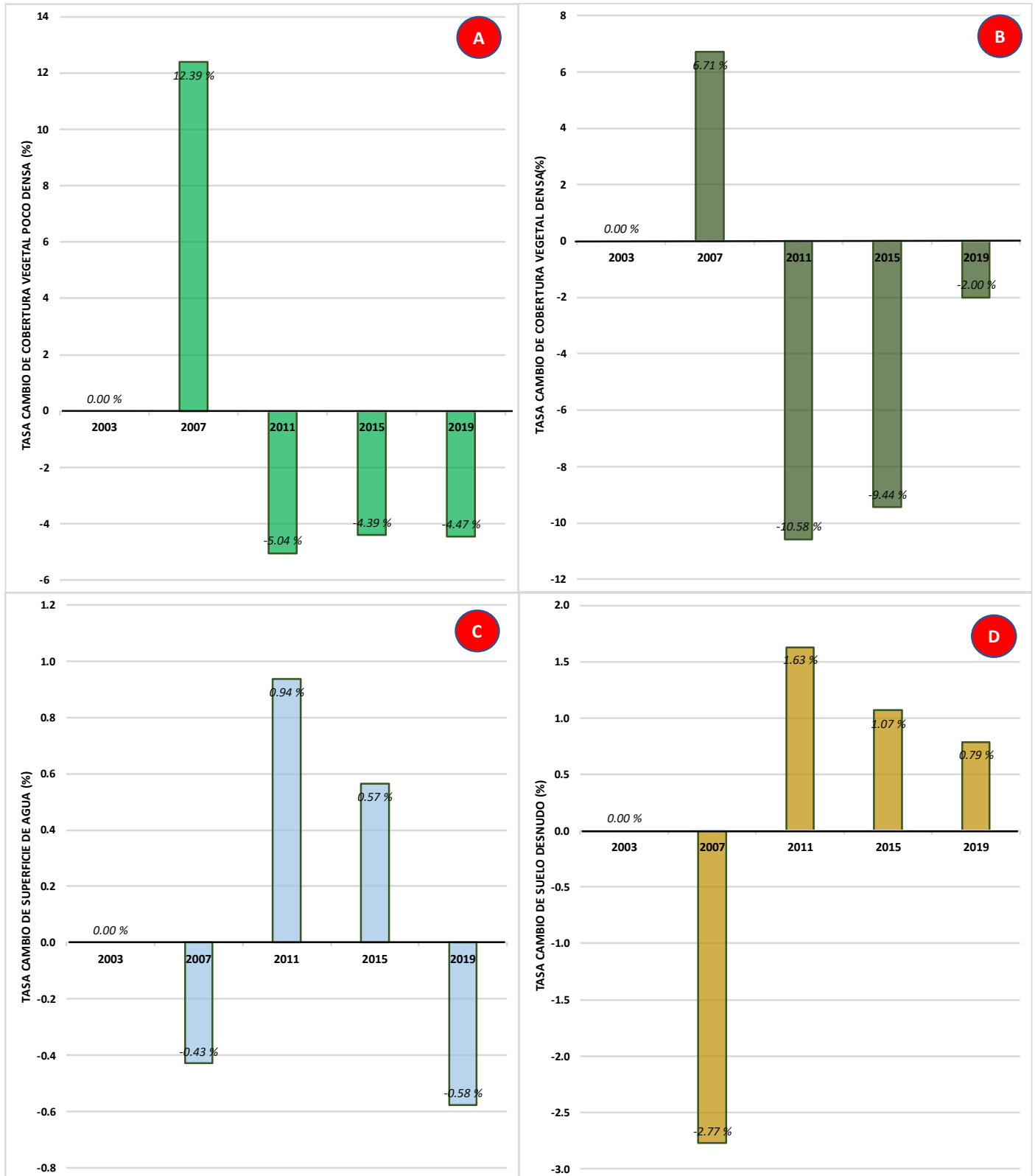
En ello, se evidencia que la cobertura vegetal poco densa en el año 2007 incremento en 12.4% en comparación al año 2003. En los años posteriores la cobertura vegetal poco densa tuvo descensos ligeros de 4% a 5%.

La cobertura vegetal densa al igual que la poco densa muestra un incremento en el año 2007 un incremento de 6.7%. Y a partir del año 2011 la cobertura densa presento una reducción de la cobertura vegetal desde 10.6% a 2%, indicando la reducción de la afectación hacia las coberturas vegetales de clase densa.

La superficie hídrica muestra un comportamiento de incremento y descenso, donde los valores de incrementos superan de forma ligera a los valores de descenso. Asimismo, se visualiza que la superficie tuvo incrementos continuos en los años 2011 y 2015.

El suelo desnudo muestra un descenso significativo en el año 2007 con una magnitud de 2.7%. Y a partir del año 2011 hasta el año 2019, se evidencia tasas de incremento con valores desde 1.6% a 0.79%.

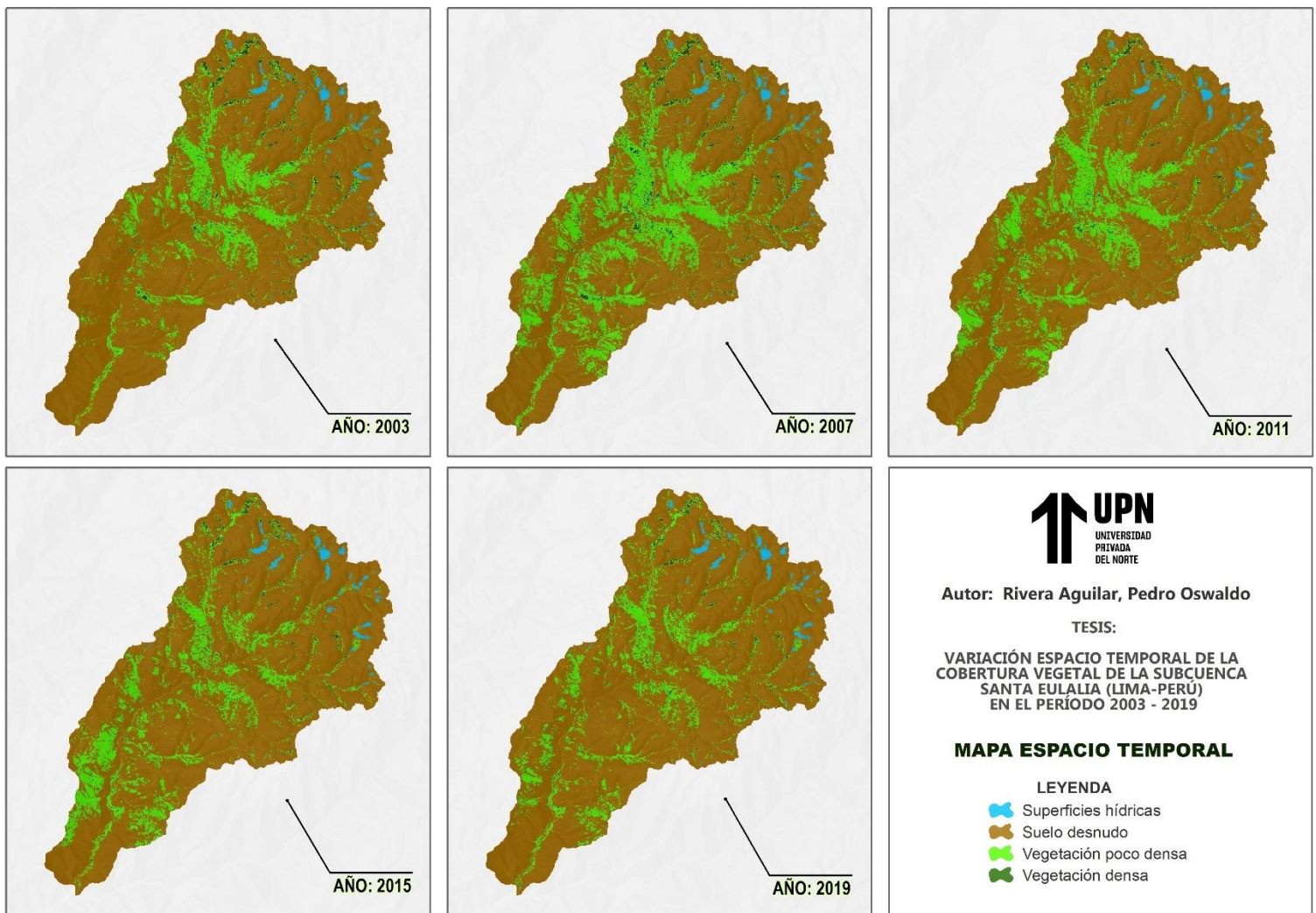
Figura 9. Tasas de cambio de la cobertura vegetal poco densa (A), cobertura vegetal densa (B), superficie de agua (C) y suelo desnudo (D)



3.3. Variación espacial de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia

En la figura 11, se visualiza la variación espacial de la cobertura vegetal, en ello se observa que las coberturas vegetales densas se ubican con mayor densidad en los valles altoandinos y que su reducción es significativa tanto en superficie como en pérdida por unidad. Asimismo, se visualiza que la cobertura vegetal poco densa muestra descenso que se localiza en las zonas medias y margen izquierdo de la subcuenca Santa Eulalia.

Figura 10. Variación espacial de la cobertura vegetal



3.3. Resultados Estadísticos

Análisis de Tendencia Central y Dispersión

En la tabla 3, se visualiza el análisis descriptivo de tendencia central y dispersión de la superficie de agua, suelo desnudo, vegetación poco densa y vegetación densa. La superficie con mayor promedio es el suelo desnudo y la superficie con menor promedio es el agua. Cabe resaltar que los cambios temporales de la superficie de agua son bajos (0.7), esto indica que no presenta muchas variaciones. Esta situación fue contraria al suelo desnudo, pues es la superficie con mayor rango de variación (118.82 km²).

Tabla 4. *Análisis de Tendencia Central y Dispersión*

ESTADÍSTICOS	AGUA	SUELO DESNUDO	VEGETACION POCO DENSA	VEGETACION DENSA
Media	11.70	872.47	177.22	15.98
Mediana	11.77	891.34	163.37	15.78
Moda	11.35 ^a	800.91 ^a	136.08 ^a	9.79 ^a
Rango	0.70	118.82	104.35	14.89
Mínimo	11.35	800.91	136.08	9.79
Máximo	12.05	919.73	240.44	24.68

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Análisis de Normalidad

El análisis de normalidad por Shapiro Willks permitió conocer la distribución de las variables, con relación a ello en la Tabla 4 se observa que las variables Vegetación, superficie de agua y suelo desnudo presentan p-values superiores a 0.05, lo que indica una distribución normal y por tanto el uso de estadísticos paramétricos.

Tabla 5. *Análisis de Normalidad Shapiro Willks*

Variabes	p-value	Regla	Resultado
SUPERFICIE DE AGUA	0.880	p-value > 0.05 (comportamiento normal)	Distribución Normal
SUELO DESNUDO	0.546		Distribución Normal
VEGETACIÓN POCO DENSA	0.590		Distribución Normal
VEGETACIÓN DENSA	0.631		Distribución Normal

Análisis de Correlación

El análisis paramétrico de correlación de Pearson realizado en el programa SPSS v.26, demuestra el R de correlación y la significancia bilateral, esta última permitirá conocer la significancia de la relación entre dos variables. Una significancia bilateral menor a 0.05, refleja una relación significativa.

Con base a ello, las relaciones significativas son las siguientes: “superficie de agua vs. vegetación densa” con una relación fuerte e inversa de -0.898; el cual significa que la variabilidad de las superficies de agua se relaciona con los cambios de las coberturas vegetales de tipo densa. La otra relación significativa fue “suelo desnudo vs. vegetación poco densa” con una relación fuerte e inversa de -0.997, el cual significa que las vegetaciones poco densas son alteradas al grado de cambiar a suelo desnudo.

Por otro lado, las relaciones no significativas se dieron entre superficie de agua/suelo desnudo; superficie de agua/vegetación poco densa; suelo desnudo/vegetación densa; y vegetación densa/vegetación poco densa.

Tabla 6. *Análisis de Correlación de Pearson*

Variables	Parámetros	SUPERFICIE DE AGUA	SUELO DESNUDO	VEGETACION POCO DENSA	VEGETACION DENSA
SUPERFICIE DE AGUA	Correlación de Pearson	-	0.612	-0.556	-0.898
	Sig. (bilateral)	-	0.272	0.331	0.039
SUELO DESNUDO	Correlación de Pearson	0.612	-	-0.997	-0.822
	Sig. (bilateral)	0.272	-	0.000	0.088
VEGETACION POCO DENSA	Correlación de Pearson	-0.556	-0.997	-	0.774
	Sig. (bilateral)	0.331	0.000	-	0.125
VEGETACION DENSA	Correlación de Pearson	-0.898	-0.822	0.774	-
	Sig. (bilateral)	0.039	0.088	0.125	-

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

En la **variación espacial de la cobertura vegetal** expresada por el mapa cartográfico (ver figura N°10), se pudo notar que las vegetaciones de clase densa se ubican en zonas de valle, sobre todo en las zonas altas de la subcuenca Santa Eulalia y su abarcamiento superficial promedio es de 15.9 km². Por otro lado, la cobertura vegetal de clase poco densa se ubica en toda la subcuenca y sobre todo en la parte media y valles de la zona baja de la subcuenca, asimismo, se evidencia que la superficie promedio que abarca es de 177.2 km², el cual es superior a la cobertura vegetal densa. Por otro lado, la localización de las superficies de agua se encuentra en la zona alta de la subcuenca. La vegetación densa en este estudio está asociada a los bofedales y bosques de relictos, esto debido, a que la subcuenca Santa Eulalia se ubica en los andes, lo que permite únicamente el desarrollo de vegetaciones de suelos húmedos (Ramos, 2015). Asimismo, Monobanda (2019), indica que las unidades boscosas de Santa Eulalia no supera los 6 km² de superficie, esto indica que la vegetación densa de Santa Eulalia está mayormente conformada por bofedales altoandinos. Por otro lado, las coberturas vegetales de clase poco densa, están asociados a vegetaciones agrícolas, matorrales y pastizales (Huaricallo, 2016). Pues Loayza et al. (2015), mencionan que los pastizales y matorrales son vegetaciones propias de relieves montañosas, pues crecen de manera natural en laderas y cumbres.

Como se pudo reflejar en el estudio, la vegetación de menor superficie fueron las coberturas vegetales de clase densa, esto se debe a su asociación con los bofedales y en fracciones mínimas los bosques. Pues Aduvire & Aduvire (2021) mencionan que los bofedales son vegetaciones dependientes de la napa freática y de las escorrentías superficiales, por tanto, la ausencia de estos factores en un territorio impiden el desarrollo de bofedales de forma natural. Situación opuesta a las vegetaciones leves, que están

asociados a pastizales, matorrales y agricultura; pues estas unidades se desarrollan de manera inmediata en presencia de humedad (Jurado-Guerra et al., 2021).

Con relación a la variación temporal, se pudo evidenciar que la cobertura vegetal con mayor descenso temporal es la clase poco densa, pues la vegetación poco densa se reduce a una magnitud temporal de 2.65 km²/año mientras que la densa se reduce a 0.81 km²/año. En cuanto a la superficie hídrica, se evidenció un incremento ligero y el suelo desnudo un incremento moderado. Estos resultados fueron similares al estudio realizado por Alegre (2017), quien demostró una reducción de cobertura vegetal densa de 0.5 km²/año, sin embargo, demostró un incremento de la cobertura vegetal leve que fue explicado por la intensificación de la agricultura. En esta investigación la subcuenca Santa Eulalia no presentó un incremento en ninguna clase de cobertura vegetal, debido a que, el desarrollo de la agricultura no es intensa, ni abarca grandes superficies, pues se localiza únicamente en los valles de la parte baja de la subcuenca, y en zonas rurales donde la población desarrolla una mínima actividad agrícola, pues la actividad de mayor desarrollo es la ganadera (Moreno, 2019).

Los descensos de cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia, se debe por muchos factores, pues al ser un territorio con relieve accidentado, la influencia de erosión generado por precipitaciones o por deslizamiento de masas, provocan la pérdida de cobertura vegetal. Asimismo, Segura et al. (2022) mencionan que el desarrollo alto de actividad ganadera en los centros poblados de Santa Eulalia provoca alteraciones de vegetaciones, ya sea por sobre pastoreo o por compactación de suelo (pisoteo de ganados). Por otro lado, la influencia de variabilidad climática tiene impactos en los cambios de las vegetaciones, pues un estrés hídrico provoca la alteración de las fenologías vegetales (Larrabure, 2019). Asimismo, se pudo evidenciar que la cobertura vegetal densa es la que representa mayores

cambios temporales expresadas en pérdidas, las mismas que pueden ser ocasionadas por la compactación de suelos, pues un estudio demostró el impacto de la ganadería en los bofedales de Santiago de Carampona, distrito localizado en la subcuenca Santa Eulalia, pues reflejaron que el sobrepastoreo de la población en los bofedales provocaron la erosión y pérdida permanente de los bofedales (Cordova, 2021).

Con relación a los cambios de la superficie de los cuerpos de agua, se pudo reflejar que no hubo cambio significativo, esto se debe a que está compuesto por lagunas de montaña, pues estos cuerpos por lo general no evidencian cambios significativos en superficie, debido a que consta de altos volúmenes de agua, y solo se podrá evidenciar cambios, cuando la salida de agua es significativo (Florez, 2022), y eso solo puede darse con altos grados de evapotranspiración o apertura de lagunas generada por hombre (Espinoza, 2015). Por tanto, cambios leves en superficie de agua de las lagunas, expresará pérdidas altas volumétricas del mismo recurso.

Con relación a la tasa de cambio temporal, se pudo reflejar que las coberturas vegetales, ya sea poco densa y la densa tuvieron un incremento significativo en el año 2007, con una tasa de cambio superficial de 12.4% y 6.7% respectivamente y los años siguientes tuvieron descensos con magnitudes de 2% a 10%. Asimismo, se evidenció que las pérdidas de cobertura vegetal comenzaron a reducir, indicando pérdidas leves de superficie. El bajo descenso de cobertura vegetal densa entre los años 2011, 2015 y 2019, se debe fundamentalmente a la implementación de proyectos relacionados a los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (Merese), pues estos mecanismos permiten recuperar los ecosistemas vegetales e hídricos en las cuencas hidrográficas (AquaFondo, 2017). Registros de estas acciones superan más de 40 proyectos dirigidas por Global Water Partnership, IDMA, The Nature Conservancy, AquaFondo – Fondo de Agua para Lima y

Callao, SUNASS, USAID, COSUDE, Sedapal, CONDESAN y las Mancomunidades de Lurín y Santa Eulalia, que son direccionados a nivel de microcuencas (ANA, 2018; Forest Trends, 2013; SADAPAL, 2022; Maturana, 2015; MINAM, 2022).

En efecto, la Autoridad Nacional del Agua, refleja acciones de retribución ecosistémica en la subcuenca Santa Eulalia con altas posibilidades de desarrollo de infraestructura verde como pastoreos rotativos, restauración de bofedales, forestación, recuperación de andenes y terrazas, entre otros (ANA, 2019). Justamente en el año 2010 se fortalece estas actividades mediante la tarifa mensual de la población limeña, que es beneficiada por las aguas superficiales de los ríos Chillón-Rímac-Lurín, por ello, estas retribuciones económicas son direccionadas a las partes altas de las cuencas mencionadas (Moheme, 2020). De igual modo, SEDAPAL en sinergia con las ONGs, también desarrollan acciones de infraestructura verde en la Subcuenca Santa Eulalia (Kometter, 2022).

Por otro lado, el análisis estadístico generado por la correlación de Pearson demostró que los cambios de superficie de las aguas tienen relación significativa sobre los cambios de la cobertura vegetal densa con un R de -0.89. Del mismo modo, hay relación significativa entre las superficies de suelo desnudo y las coberturas vegetales poco densas con un R de -0.55, ello indica que los cambios ocurridos en la superficie hídrica tienen respuesta inmediata en los cambios de cobertura vegetal densa. Según el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2016), menciona que la influencia de las superficies hídricas y la cobertura densa en la subcuenca Santa Eulalia de forma negativa, pues bofedales próximos a cuerpos de agua son afectados por inundación, generando alteraciones de los bofedales, ello explica la relación alta e inversa entre los bofedales y los cuerpos de agua (Floríndez, 2019). La relación significativa entre las superficies de suelo desnudo y las coberturas vegetales poco densas se debe a que las vegetaciones densas están compuestas por pastizal,

matorral, herbazales, unidades vegetales que son más vulnerables a la erosión y afectaciones antrópicas, es por ello, que estas unidades vegetales son cambiados de forma rápida a una superficie de suelo desnudo (Quiñonez, 2019).

Limitaciones:

- No se pudo tener información in situ de la subcuenca, con el fin de verificar el análisis cartográfico o la verificación de las superficies vegetales.
- No se pudo trabajar con imágenes satelitales de mayor resolución espacial debido a la temporalidad del presente estudio, pues abarca del año 2003.

Implicancias:

- Debemos resaltar que la vegetación es un buen indicador para conocer la vulnerabilidad ecológica de un territorio. Esto permitirá tomar medidas en ocupación ordenada y uso sostenible del territorio,
- Para estudios posteriores sería conveniente realizar investigaciones con otras metodologías, con el fin de comparar y mejorar el proceso.
- Los hallazgos mencionados indican la importancia y aplicabilidad de la teledetección para evaluar territorios.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- La cobertura vegetal de clase poco densa registró una variación temporal al descenso expresado en una tasa de tasa de reducción de 2.65 km²/año y la cobertura densa a una tasa de 0.81 km²/año. Esto indica que, al transcurrir de los años, el mayor descenso superficial se refleja en la cobertura vegetal poco densa. La vegetación densa que está asociado a bofedales y bosques, requieren de mayor entrada hídrica para su supervivencia, y la cobertura vegetal poco densa que está asociado a pastizales y matorrales, son vulnerables a los cambios en la entrada hídrica, sea por escorrentía o por precipitación..
- Con relación a la tasa de cambio temporal se concluye que las coberturas vegetales tuvieron incremento significativo de aproximadamente 6% a 12% en año 2007 y los años siguientes un continuo descenso con amortiguación, esto indica que las pérdidas de cobertura vegetal se amortiguaron a medida que avanzaba el tiempo. Este proceso de amortiguación se debe a los distintos proyectos de infraestructura verde focalizados en la subcuenca.
- En la variación espacial se determinó que la cobertura vegetal densa se ubican en zonas de valle y la cabecera de la subcuenca, con una superficie promedio de 15.9 km². No obstante, la cobertura vegetal de clase poco densa se ubican en laderas y valles de la zona media y baja de la subcuenca, con un promedio superficial de 177.2 km². La ubicación de las coberturas vegetales densas en cabecera se debe a que están compuesta por lo general por bofedales y las coberturas vegetales densas por agricultura, matorrales y pastizales.

- El análisis estadístico demostró que la superficie de agua se relaciona significativamente de manera inversa con los cambios superficiales de la cobertura vegetal densa.
- Del mismo modo, hay relación significativa inversa entre las superficies de suelo desnudo y las coberturas vegetales poco densas. Esto que las coberturas vegetales densas, son altamente sensibles a cambios en la dinámica hídrica de la subcuenca Santa Eulalia.

REFERENCIAS

- ALDAS, Jessika. (2013). Estudio de variación de la cobertura vegetal y estado actual del Cerro Imbabura aplicando herramientas GIS con fines de declaración de área protegida. Tesis (Magister de Sistemas de Información Geográfica). Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito. Disponible en:<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1726/1/106528.pdf>
- Alegre K. (2017). Cambios en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos, durante el transcurso de los años 1997 al 2017, a partir del comportamiento del desarrollo vegetal. Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima, Perú: Universidad César Vallejo – Facultad de Ingeniería. 77p. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/10803>
- Alegre, K. V. (2017). Cambios en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos, durante el transcurso de los años 1997 al 2017, a partir del comportamiento del desarrollo vegetal. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40115676001>
- Alencar, K., Parodi, M., Silva, R. y Opazo, A. (2019). Variabilidad Espacial y Temporal de la Cobertura Vegetal de los años 1984 a 2011 en la cuenca hidrográfica del río Moxotó, Pernambuco, Brasil. En *Dialogo Andino*, 58, pp. 139 – 150. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-26812019000100139
- Alonzo, L. A., & Gónzales, M. A. (2010). Pérdida de la cobertura vegetal como efecto de la urbanización en Chetumal, Quintana Roo. *Quivera*, 12(2), 1–19. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40115676001>
- Álvarez, J., & Agredo, G. A. (2013). Pérdida de la Cobertura Vegetal y de Oxígeno en la Media Montaña del Trópico Andino, Caso Cuenca Urbana San Luis (Manizales), (37), 30–48. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n37/n37a04.pdf>
- Aduvire, O., & Aduvire, H. (2021). Diagnóstico y rehabilitación de bofedales afectados por pasivos ambientales mineros. *Revista de Medio Ambiente Y*

Mineria, 6(1), 17–25.

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522021000100002

ANA. (2018). APORTES PARA LA CONSTRUCCION DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA LA GESTIÓN DE LAS INTERCONEXIONES ENTRE AGUA, ENERGÍA Y ALIMENTACIÓN.

https://www.kas.de/documents/273477/273526/7_file_storage_file_25836_4.pdf/379be2bf-3764-cc3e-0131-9da3abcb9dea?version=1.0&t=1539647487197

Bermúdez E. (2015). Análisis multitemporal en la cobertura boscosa de la zona norte del departamento de Chocó, 1990-2014. Tesis (Ingeniera en Información Geográfica). Manizales, Colombia: Universidad de Manizales – Facultad de Ciencias e Ingeniería. 51p. en: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2459/Palacios_Bermudez_Erika_2015.pdf?sequence=

Bravo, N. (2017). *Teledetección Espacial*. <https://acolita.com/descargar-libro-pdf-teledeteccion-espacial/>

Bravo, N. (2019). Teledetección Espacial y Procesamiento de Imágenes Satelitales de Acceso Gratuito con el Uso de Software Libres. Segunda Edición. Geomática Ambiental.

Caballero Vásquez, Julissa, & Espinal. (2021). Determinación de la variación de cobertura vegetal mediante Imágenes Satelitales en el Caserío Shiracmaca Huamachuco por la expansión minera 2000 - 2021. Ucv.edu.pe. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12692/81970>

Castellón, M. J., & De Paul, M. A. (2021). Variación Temporal y Espacial del NDVI en 30 años en la Cuenca del Río Reyes (Jujuy, Argentina). *Revista Científica FCA*, 14(2). Recuperado de: [researchgate.net](https://www.researchgate.net)

Castro Illesca, J. P. (2021). Variación de Cobertura Vegetal de los Bofedales en los Centros Poblados de Tinyaclla y Pueblo Libre en los años 2016-2018-Huancavelica. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3986>

Cecenque, R. 2013. Manual para el tratamiento de imágenes satelitales con índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Instituto de Investigaciones

Agropecuarias (INIA). <http://www.monitoreosatelital.cl/wp-content/uploads/2014/11/Manual-Tratamiento-de-Imagenes-NDVI.pdf>

Charca, M. (2016). "Caracterización Hidrológica de la Sub Cuenca Santa Eulalia - Cuenca del Río Rimac-Departamento de Lima- Laguna Piti Provincia de Huarochirí [Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET]. In *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico* — *INGEMMET*.
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1916>

Chuvienco, E. (1995). Fundamentos de la Teledetección Espacial. Retrieved from <http://pdfhumanidades.com/sites/default/files/apuntes/FUNDAMENTOS-DETELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>

Chuvienco, E. (1996). Teledetección Ambiental. La Observación de la Tierra Desde el Espacio Request PDF. 92
https://www.researchgate.net/publication/259011213_Teledeteccion_Ambiental_La_Observacion_de_la_Tierra_Desde_el_Espacio

Dagnino, J. (2014). Coeficiente de correlación lineal de pearson. Chil Anest, 43, 150-153.
http://www.sachile.cl/upfiles/revistas/54e63a1a778ff_15_correlacion-2-2014_edit.pdf

FAO, & PNUMA. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca8642es>

FAO. (2020). Global Forest Assessment 2020: Main Report. Roma: FAO.
<https://www.fao.org/documents/card/es/c/ca9825en/>

Flórez Lage, & Rios, K. (2022). Las lagunas de alta montaña. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 7(1), 25–49.

<https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6581696.pdf>

Floríndez. (2019). Revisión crítica de los alcances y límites de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH): el caso de la subcuenca Santa Eulalia. *Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, 4, 25–45.
<https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201902.002>

Forest Trends. (2013). MECANISMOS DE RETRIBUCIÓN POR SERVICIOS HÍDRICOS PARA LA CUENCA DEL RIMAC, DEPARTAMENTO DE LIMA, PERÚ. <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/imported/rimac->

mrsh_esp_4-16-14-pdf.pdf

- García & Celadita. (2021). Estado de conservación del agua y de la vegetación de bofedal en la subcuenca del Valle de Santa Eulalia - Cuenca Rímac Huarochirí, Lima. Upeu.edu.pe. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12840/4521>
- García, E. (2008). El proceso de expansión urbana y su impacto en el uso de suelo y vegetación del municipio de Juárez, Chihuahua. Retrieved from <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2009/10/TESIS-Garcia-EstarronErika-Julieta.pdf>
- García, W. (2015). *El Sistema Complejo de la Cuenca Hidrográfica*. https://www.medellin.unal.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-JuanDiego/Plnaifi_Cuencas_Pregrado/SistemaCuencaHidrogr%E1fica
- Griffiths, P., Nendel, C., y Hostert, P. (2019). Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping. *Remote Sensing of Environment*, 220, 135–151. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.031>
- Guadalupe, A. O. B. (2021). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y usos del suelo mediante herramientas SIG y Teledetección en la Reserva Ecológica Mache Chindul (REMACH), 1996-2019 (Doctoral dissertation, Ecuador-PUCESE-Escuela de Gestión Ambiental). <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/2511>
- Guerrero García, E., & Campos Flores, A. (2017). Evaluación de la evolución de la cobertura vegetal a través del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el Parque Nacional Cerros de Amotape y la Reserva Nacional de Tumbes en el periodo 2000–2015. <http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/UNITUMBES/353>
- Hassan, Mahmoud. Hojarasca de Bombax ceiba L.(2018). amenaza la cubierta vegetal y la diversidad florística en un nuevo ecosistema urbano. 60, 4-6
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (McGRAW-HILL (ed.); Sexta). <https://www.yumpu.com/es/document/view/62834439/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicioncompressed>
- Huaricallo, C. (2016). "CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA

SUBCUENCA SANTA EULALIA -CUENCA DEL RÍO RÍMAC -
DEPARTAMENTO DE LIMA” Laguna Piti Provincia de Huarochirí.
https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/1916/1/Charca-Conf-SGP-Caract.hidrogeol%C3%B3gica_Santa_Eulalia.pdf

JARS, 1993. Remote Sensing Note. Japan Association on Remote Sensing. Available at
http://www.jars1974.net/pdf/rsnote_e.html

Jurado-Guerra, P., Velázquez-Martínez, M., Sánchez-Gutiérrez, R. A., Álvarez-Holguín, A., Domínguez-Martínez, P. A., Gutiérrez-Luna, R., Garza-Cedillo, R. D., Luna-Luna, M., & Chávez-Ruiz, M. G. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12, 261–285. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875>

Kometter, R. (2022). IDEAS SOBRE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA CONSERVACIÓN, RESTAURACIÓN Y MANEJO DE LOS...
ResearchGate; unknown.
https://www.researchgate.net/publication/360630721_IDEAS_SOBRE_SOLUCIONES_BASADAS_EN_LA_NATURALEZA_PARA_LA_CONSERVACION_RESTAURACION_Y_MANEJO_DE_LOS_RECURSOS_NATURALES_EN_LA_CUENCA_DEL_RIO_RIMAC

Manchego, M. (2017). Variabilidad espacio-temporal de la vegetación en la cuenca Quilca-Chili durante el periodo 2005-2015 [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. In *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4043>

Manobanda Pilco, Ángel Vinicio. (2019). Estudio de factibilidad para la creación de una operadora turística en el barrio Santa Eulalia de la parroquia, Malchingui cantón Pedro Moncayo, provincia de Pichincha. Utn.edu.ec. <https://doi.org/02/ICA/1484>

Mapas digitales regionales de lluvias, índice estandarizado de precipitación e índice

Maturana, P. (2015). AquaFondo - Foro Retos y Desafíos de los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos. AquaFondo. <https://aquafondo.org.pe/foro-retos-y-desafios-de-los-mecanismos-de-retribucion-por-servicios-ecosistemicos/>

Meer, F.; Jong, S. 2002. Imaging Spectrometry. Remote Sensing and Digital

ImageProcessing. Kluwe Academic Publishers. 4: 111-197.

- Merg, C., Petri, D., Bodoira, F., Nini, M., Fernández, M., Schmindt, F., Blanco, F. (2011).
- MINAGRI. (2010). Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac. Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rímac. Volumen 1.
http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/ANA/Estudio_hidrologico_Cuenca_Rimac_volumen_I_texto_final_2010.pdf
- MINAM. (2021). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. Lima: MINAM. Ver en: bit.ly/3r94FC1
- MINAM. (2022). Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hidrológicos: estado de avance, cuellos de botella y aprendizajes de las iniciativas en el Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3124901/Documento%20de%20trabajo%20-%20MERESE%20hidrologicos.pdf>
- Moheme. (2020). La resurrección de los bofedales que necesita Lima. [Fundacionmohme.org. https://fundacionmohme.org/especiales/infraestructura-natural-recuperar-fuentes-agua/resurreccion-bofedales-necesita-lima/](https://fundacionmohme.org/especiales/infraestructura-natural-recuperar-fuentes-agua/resurreccion-bofedales-necesita-lima/)
- Mora-Vega, R., Saenz-Segura, F. & Le Coq, J.-F. (2012). Servicios ambientales y ecosistémicos: conceptos y aplicaciones en Costa Rica. Puentes entre el Comercio y el Desarrollo Sostenible, 20-23.
- Moreno Muñoz, D. (2019). Reseña de Santa Eulalia del Campo en los retos del siglo XXI. *Investigaciones Geográficas*, 71, 241.
<https://doi.org/10.14198/ingeo2019.71.12>
- Ortiz, B. & Ramírez, C. (2021). Análisis de los Efectos Causados por la Deforestación Mediante Teledetección en los Cantones Olmedo y Paján Provincia de Manabí (Doctoral dissertation, Universidad Agraria del Ecuador).
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/RAMIREZ%20MORA%20CARLOS%20LUIS.pdf>
- Osuna, A., Díaz, J., De Anda, J., Villegas, E., Gallardo, J., & Davila, G. (2015). Avaliação da mudança da vegetação e uso do solo na bacia do rio Tecolutla, Veracruz, México; no período de 1994-2010. *Revista Ambiente e Agua*, 10(2), 350–362.

<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1539>

- PADILLA Jácome, María. (2014). Estudio multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal natural en el páramo de la parroquia Mulaló. Tesis (Magister en Agroecología y Ambiente). Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Disponible en:<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7692/1/tesis027%20maestr%c3%ada%20en%20agroecolog%c3%ada%20y%20ambiente%20-%20cd%20257.pdf>
- Palacios, J., Zárate, R., Minaya, R., Martín, M., & Benavides, J. (2020). Predicción de la pérdida de la cobertura vegetal por aumento de áreas urbanas en Iquitos, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 7(1), 37–50. <https://doi.org/10.22386/ca.v7i1.263>
- Pérez-Peña, J. V., AlAwabdeh, M., Galve, J. P., Azañón, J. M., Notti, D., Giaconia, F., & Booth-Rea, G. (2015). R-Profiler: un complemento para ArcGis que permite la extracción de perfiles normalizados y parámetros asociados. In *Una Visión Global Del Cuaternario. El Hombre Como Condicionante de Procesos Geológicos. XIV Reunión Nacional de Cuaternario, Granada* (pp. 183-186) recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/278964913>
- Quiñonez, J. (2019). Estimación de la erosión hídrica potencial en la cuenca media y alta del río Rímac, aplicación del modelo Rusle. Unmsm.edu.pe. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12672/10762>
- Rahman, H., & Dedieu, G. (1994). SMAC: a simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 123-143.
- Ramos, D., Castro, V., & Sánchez, E. (2015). Caracterización de la vegetación a lo largo de una gradiente altitudinal en la comunidad de Cochahuayco, cuenca media del río Lurín, Lima. *Ecología Aplicada*, 14(1), 11–25. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162015000100002
- REQUELME, José. (2019). Análisis de la pérdida de cobertura boscosa y cambio de uso desuelo, mediante el análisis de imágenes satelitales, período 2000 al 2018; en el distrito de Chadín, Chota. Tesis (Ingeniero Forestal). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Perú. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3538>

- Sánchez-Díaz, B. (2018). La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión. *Revista Científica*, 3(33), 243–253. <https://doi.org/10.14483/23448350.13370>
- SANDOVAL, Eliana y GARCIA, Karen. (2018). Análisis multitemporal de la deforestación del páramo de Sumapaz, por medio de imágenes Landsat OLI/TIRS del año 2002 al 2017. Tesis (Ingeniería Catastral y Geodesia). Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 50 p. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7896/1/SandovalBayonaElianaCatherine2018.pdf>
- Sedapal. (2022). recupera bofedales de Milloc con emblemático proyecto ecosistémico. Sedapal.com.pe. <https://www.sedapal.com.pe/notas-de-prensa/sedapal-recupera-bofedales-de-milloc-con-emblematico-proyecto-ecosistemico>
- Segura, L. (2022). Análisis de la participación ciudadana en la conservación de los servicios ecosistémicos de los bofedales ubicados en la subcuenca Santa Eulalia en Lima. *Pucp.edu.pe*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12404/22206>
- Seoane, R. S. (2021) ¿Qué es una cuenca? Modelos matemáticos en una cuenca de drenaje. ESTRATEGIAS DE REMEDIACIÓN PARA LAS CUENCAS DE DOS RÍOS URBANOS DE LLANURA MATANZA-RIACHUELO Y RECONQUISTA, 10. [researchgate.net](https://www.researchgate.net)
- SERFOR. (2015). *Interpretación de la Dinámica de la Deforestación en el Perú y Lecciones Aprendidas para Reducirla*. <http://siar.minam.gob.pe/puno/documentos/interpretacion-dinamica-deforestacion-peru-lecciones-aprendidas>
- Siqueiros, M., Rodríguez, J., Martínez, J., & Sierra, J. (2016). Situación actual de la vegetación del estado de Aguascalientes, México. *Botanical Sciences*, 94(3), 455–470. <https://doi.org/10.17129/botsci.466>
- Slater, P.N. 1980. Remote Sensing: Optics and Optical Systems. Addison Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts. 575p.
- Sobrino, J. A. (Ed.). 2000. Teledetección. España: Servicios de publicaciones, Universidad de Valencia. 19p.
- TARPLEY, J. D., SCHNEIDER, S. R. & MONEY, R. L. (1984). Global vegetation indices

from the NOAA-7 meteorological satellite. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 23: 491-494.

Tipler, A. P. 2003. *Física para la Ciencia y la Tecnología*. Vol. 2. Ed. Reverte S.A. Cuarta Edición. España.

Ugaz Suárez, E. C. (2020). Variabilidad temporal y espacial de la vegetación en la microcuenca del río Porcón durante el periodo 2003-2019. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/11537/23922>

Velázquez, A., Mas, J. F., Gallegos, J. D., Saucedo, R. M., Alcántara, P. C., Castro, R., & Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica*, (62), 21-37. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906202>

verde. *Pilquen-Sección Agronomía*, (11), 5.

Yongjun Yang, Peter D. Erskine, Alex M. Lechner, David Mulligan, Shaoliang Zhang, Zhenyu Wang. (2018). Detecting the dynamics of vegetation disturbance and recovery in surface mining area via Landsat imagery and LandTrendr algorithm. *Journal of Cleaner Production*. Volume 178. Pages 353-362, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.050>.

ZOROGASTÚA, Percy, QUIROZ, Roberto y GARATUZA, Jaime. (2011). Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura – Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. Disponible en: http://www.lamolina.edu.pe/ecolapl/articulo_2_no_1_vol_10.pdf issn 1726-2216

ANEXOS

 Anexo. 1 *Ficha de recolección de datos*

UNIDAD DE ESTUDIO						
INVESTIGADOR						
UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO		DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO		
COORDENADAS			ALTITUD			
PERIODO DE ANALISIS			1986 A 2016			
AÑO	SATELITE	FECHA DE IMAGEN ADQUIRIDA	Superficie de agua	Suelo Desnudo	Vegetación poco densa	Vegetación Densa
			Kilómetros cuadrados	Kilómetros cuadrados	Kilómetros cuadrados	Kilómetros cuadrados
2003						
2007						
2011						
2015						
2019						

Fuente: (Vasquez, 2021)

Anexo. 2 Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
COBERTURA VEGETAL	Es toda superficie cubierta de unidades vegetales, estas pueden ser homogéneas o variadas (Morales, 2016)	La cobertura vegetal y otras superficies es medida mediante el procesamiento digital de las imágenes satelitales Landsat posteriormente mediante NDVI se podrá determinar la cobertura vegetal con ayuda de los softwares ENVI 5.3 Y ARC MAP 10.8		Análisis Espacial y Temporal	km ² y km ² /año
			Superficies de cobertura vegetal	Análisis cartográfico	cartografía
			Suelo desnudo		
			Superficies hídricas		
				Tasa de Cambio	%
				El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	Adimensional

Anexo. 3 *Matriz de consistencia*

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
GENERAL	GENERAL	GENERAL		TIPO	POBLACION
¿Cuál es la variación espacio temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019?	La variación espacio temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia es amplia en el período 2003 – 2019.	Determinar la variación espacio temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019.		Descriptivo	
ESPECIFICOS	ESPECIFICOS	ESPECIFICOS		DISEÑO	Subcuencas altoandinas ubicadas en la vertiente del pacifico del territorio peruano
¿Cuál es la variación temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019?	· La variación temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia es decreciente en el período 2003 – 2019.	· Determinar la variación temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019.		No experimental	
¿Cuál es la tasa de cambio de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019?	· La tasa de cambio de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia es negativa en el período 2003 – 2019.	· Determinar la tasa de cambio de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019.	UNIVARIABLE		
¿Cuál es la variación espacial de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019?	· La variación espacial de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia es significativa en el período 2003 – 2019.	· Determinar la variación espacial de la cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia en el período 2003 – 2019.	COBERTURA VEGETAL	ENFOQUE	MUESTRA
¿Cuál es la relación entre las variables cobertura vegetal y superficie de agua?	· La relación entre las variables cobertura vegetal y superficie de agua es significativa	· Definir la relación entre las variables cobertura vegetal y superficie de agua		Cuantitativo	
¿Cuál es la relación entre las variables cobertura vegetal y suelo desnudo?	· La relación entre las variables cobertura vegetal y suelo desnudo es significativa	· Definir la relación entre las variables cobertura vegetal y suelo desnudo		CORTE	Subcuenca Santa Eulalia
				Longitudinal	