



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Técnicas de teledetección para identificar el impacto de la pérdida de  
la cobertura vegetal sobre la calidad del aire - Chiclayo

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniera Ambiental

**AUTORA:**

Silva Romero, Maria Elena ([orcid.org/0000-0002-1494-5385](https://orcid.org/0000-0002-1494-5385))

**ASESOR:**

Dr. Ponce Ayala, José Elías ([orcid.org/0000-0002-0190-3143](https://orcid.org/0000-0002-0190-3143))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO - PERÚ

2022

## **DEDICATORIA**

Todo sacrificio tiene su soporte en el núcleo familiar, la familia es el eje que marca la pauta en una sociedad, este corto y la vez extenso trabajo está dedicado a mi familia; a mi madre por ser la roca que todo lo soporta, a mi padre que a pesar de su aparente indiferencia está pendiente de sus hijos y nietos, a mi hermana que siempre fue un refugio para mí; y a mis hijos que son mi motor que me impiden pensar en límites, todo es posible gracias a ellos.

***María Elena***

## **AGRADECIMIENTO**

A la universidad Cesar Vallejo por su empeño en hacer de nosotros mejores alumnos y a posteriori mejores profesionales.

A mis asesores Cesar Augusto Monteza Arbulú y José Elías Ponce Ayala por el apoyo, guía y motivación al emprender este proyecto de investigación.

***María Elena***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	11
3.1. Tipo y diseño de la investigación	11
3.2. Variables y operacionalización	11
3.3. Población, muestra y muestreo	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección	14
3.5. Técnicas de recolección de datos	16
3.6. Método de análisis de datos	23
3.7. Aspectos éticos	24
IV. RESULTADOS	25
V. DISCUSIÓN	28
VI. CONCLUSIONES	31
VII. RECOMENDACIONES	33
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Inventario de emisiones anuales</i>	3
Tabla 2. <i>Análisis multicriterio para determinar la muestra</i>	12
Tabla 3. <i>Distribución de las bandas en OLI y TIRS</i>	15
Tabla 4. <i>Parámetros de calibración radiométrica Landsat 8</i>	17
Tabla 5. <i>Criterios de selección imágenes satelitales Landsat 8</i>	23
Tabla 6. <i>Resultados con índice de vegetación SAVI</i>	25
Tabla 7. <i>Resultados con índice de vegetación EVI</i>	26
Tabla 8. <i>Resultados con índice de vegetación ARVI</i>	27
Tabla 9. <i>Resumen del estudio a nivel de análisis espacial</i>	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Muestreo de la zona de estudio	13
<i>Figura 2.</i> Mapa de la zona de estudio y su entorno	14
<i>Figura 3.</i> Plataforma USGS para descargo de imágenes satelitales	16
<i>Figura 4.</i> Corrección radiométrica de imágenes satelitales. ENVI	18
<i>Figura 5.</i> Corrección atmosférica de imágenes satelitales. ENVI	18
<i>Figura 6.</i> Evaluación de la vegetación con IV SAVI	20
<i>Figura 7.</i> Evaluación de la vegetación con EVI	21
<i>Figura 8.</i> Evaluación de la vegetación con ARVI	22
<i>Figura 9.</i> Color para lectura de resultados	23

## RESUMEN

La pérdida de la cobertura vegetal y su relación con la calidad del aire se determinan a partir de la aplicación de técnicas de teledetección con el uso de imágenes satelitales, información a partir de la cual se define el área de estudio con un análisis multicriterio, a su vez que se estima el índice de la pérdida de la cobertura vegetal aplicando tres índices de vegetación SAVI, EVI y ARVI; en una línea temporal que abarca los años 2014, 2017 y 2021. Los resultados más cercanos a lo esperado se dan con el índice de vegetación (IV) EVI, con una disminución de cobertura vegetal a medida que persiste la contaminación y un ligero aumento de la cobertura vegetal cuando cesan sus emisiones las fuentes contaminantes (periodo de pandemia), existen aspectos externos al estudio como las características propias del suelo y otros relacionados a la atmósfera que deben analizarse minuciosamente para evitar errores o sesgos al obtener resultados.

**Palabras clave:** imágenes satelitales, índice de vegetación, resolución espacial, Landsat.

## ABSTRACT

The loss of the vegetation cover and its relationship with the air quality are determined from the application of remote sensing techniques with the use of satellite images, information from which the study area is defined with a multicriteria analysis, in turn estimating the rate of loss of vegetation cover by applying three vegetation indices SAVI, EVI and ARVI; in a timeline that covers the years 2014, 2017 and 2021. The results closest to what was expected are found with the EVI vegetation index (VI), with a decrease in vegetation cover as contamination persists and a slight increase in vegetation cover when the polluting sources cease their emissions (pandemic period), there are aspects external to the study such as the characteristics of the soil and other aspects related to the atmosphere that must be carefully analyzed to avoid errors or biases when obtaining results.

**Keywords:** satellite images, vegetation index, spatial resolution, Landsat.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica de los conglomerados urbanos, se suscita como un problema global progresivo, teniendo como una de sus probables causas la reducción de las áreas verdes en las zonas urbanas, la Agencia Europea del Medio Ambiente (Fenosa, 2018), señala 400 000 muertes tempranas cuyo origen se atribuyen a la contaminación ambiental.

Para centrarse en la problemática debemos entender cómo es que el vertiginoso crecimiento de la población en las zonas urbanas ha alterado la organización espacial y el uso del suelo de las ciudades, viéndose reflejado en una reducción progresiva de sus áreas verdes lo que, a su vez, repercute en la calidad de vida de la población, en su salud, en el estado de conservación del patrimonio cultural y el ornato de la ciudad; Marino refiere que América latina ha experimentado un proceso de urbanización intenso en 50 años, modificando por completo el espacio urbano impactando severamente el medio (Santana, et al., 2010).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), advierte que la contaminación del aire implica un riesgo constante para la salud en América e identificó a las partículas como el contaminante más significativo; aquellas con diámetro menor o igual a 10 micras que pueden penetrar la masa pulmonar, indicando que en su mayoría son el resultado de la quema de combustibles fósiles; sugiere una exposición de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para aquellas de diámetro menor a 10 micras y 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para aquellas menores a 2.5 micras (OPS, 2021).

Romero et al, ilustran el problema analizando México, Cuba y Estados Unidos; indica que actualmente un cielo nublado es una constante en México debiéndose a un proceso de polución con una temporalidad de 40 años originado por una explosión demográfica sin planificación con una variedad de sustancias contaminantes producto de las actividades antrópicas. En Cuba prevalecen los problemas de salud pública relacionadas con el problema atmosférico; como enfermedades respiratorias agudas (IRA), prevaleciendo la concentración de partículas totales suspendidas. En Estados Unidos se identificó una relación directa entre la incidencia de enfermedades bronquiales en escolares, con la concentración media anual de las partículas suspendidas (Romero, et al., Mayo, 2006). Si bien es

cierto que la revisión bibliográfica se centra en el impacto de la contaminación de aire sobre la salud; se identifica que la exposición a los contaminantes atmosféricos genera problemas ambientales y de salud.

En el ámbito local no es diferente, la ciudad de Chiclayo presenta características similares a otras que tienen altos niveles de concentración de contaminantes debido a la complejidad de actividades que se realizan, considerando que Chiclayo por su ubicación es considerada una ciudad satélite de intercambio comercial que concentra los servicios y equipamientos urbanos propios de una metrópoli.

El distrito de Chiclayo cuenta con una población proyectada al año 2020 de 288,360 habitantes (INEI, 2020), es la cuarta ciudad más importante a nivel nacional. Espacialmente la ciudad está limitada por el norte con los distritos de José Leonardo Ortiz y Picsi; por el este con Pomalca; por el sur con La Victoria y Monsefú; por el oeste con Pimentel. Actualmente la ciudad se configura como una metrópoli conturbándose con La Victoria, José Leonardo Ortiz y Lambayeque.

Chiclayo es la ciudad con mayor índice de partículas contaminantes en la atmósfera lo cual repercute en la calidad del aire que se respira (ANDINA, 2014), su gran dinamismo y crecimiento acelerado implican actividades como transporte motorizado deficiente, producción de pequeñas industrias artesanales o al margen de la ley, quema de basura y de caña de azúcar, malas políticas a nivel de obras públicas para el ornato de la ciudad, concentración de equipamiento urbano y servicios, deficiente gestión ambiental que son los principales responsables del deterioro ambiental.

DIGESA, determina, de acuerdo a un estudio realizado, que al año se emiten 3093 Ton de partículas totales en suspensión (PTS), como consecuencia de las fuentes aéreas con un aporte del 96.91%; las emisiones de MP10 asciende a 559 Ton representando el 15%, provenientes de fuentes puntuales; seguido de los COVs con un total de 360 Ton, siendo el mayor emisor los grifos que son fuentes aéreas con el 68% de aporte, finalmente otro contaminante significativo es el monóxido de carbono con 190.31 Ton emitidas por fuentes aéreas, con un 98% de aporte (2005 pp. 12-14).

**Tabla 1.** *Inventario de emisiones anuales*

<b>Sector</b>	<b>Emisiones (Ton/año)</b>						
	<b>PTS</b>	<b>PM-10</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>	<b>COV</b>	<b>Pb</b>
Fuentes puntuales	10.27	6.33	70.75	16.97	2.41	5.38	0.00
Fuentes de área	3838.44	585.75	2.79	5.47	187.90	355.24	0.00
<b>Total</b>	<b>3848.71</b>	<b>592.08</b>	<b>73.24</b>	<b>22.44</b>	<b>190.31</b>	<b>360.63</b>	<b>0.00</b>

Fuente: Inventario de emisiones de fuentes fijas. Cuenca atmosférica de la ciudad de Chiclayo. DIGESA. 2005.

En el mismo documento se advierte que las PTS se generan a partir de las operaciones de los molinos de arroz, se observa también que en su mayoría las emisiones corresponden a fuentes de área, a excepción de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, que corresponden a fuentes puntuales (2005 p. 16).

El objetivo general de la investigación se centró en identificar el impacto que produce la pérdida de la cobertura vegetal en la calidad del aire en la ciudad de Chiclayo mediante la aplicación de técnicas de teledetección, asimismo tuvo como objetivos específicos identificar la zona de estudio, estimar el índice de pérdida de la cobertura vegetal con el uso de datos espectrales, estudiar la dispersión del material particulado en relación a la pérdida de la cobertura vegetal, realizar un análisis multitemporal para identificar pérdidas de vegetación, determinar la relación entre la pérdida de la cobertura vegetal y la calidad del aire.

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, se tiene que la aplicación de técnicas de teledetección viene incorporándose día a día en el estudio de la problemática ambiental, en tal sentido, la hipótesis de la presente investigación se planteó a partir de la necesidad de aplicar nuevas técnicas que ayuden a identificar el impacto de la pérdida de la cobertura vegetal sobre la calidad del aire en el cuadrante noroeste de la Ciudad de Chiclayo.

La justificación e importancia del trabajo nacen de un proceso de observación directa; lo cual nos ha permitido identificar un aumento en la velocidad y densidad del aire; el polvo atmosférico en forma de partículas gruesas arrastradas por el

viento se mantienen en la atmósfera por más tiempo debido a su baja capacidad de sedimentación (IDEAM pág. 20 CAP II), situación intrínsecamente relacionada con las actividades antrópicas como son transporte motorizado deficiente, producción de pequeñas industrias artesanales o al margen de la ley, quema de basura y de caña de azúcar, malas políticas a nivel de obras públicas para el ornato de la ciudad, deficiente gestión ambiental que están deteriorando progresivamente las zonas urbanas de la ciudad de Chiclayo, evidenciándose en el deterioro de la infraestructura urbana, sin dejar de mencionar sus efectos sobre la salud, siendo las partículas más finas las más peligrosas.

## II. MARCO TEÓRICO

Las variables dentro de este proceso de investigación contemplan, no solo un marco teórico enfocado en los procesos naturales alterados en cierta forma por la mano del hombre que derivan en la problemática observada; sino también la búsqueda de nuevas metodologías para la caracterización, el análisis y los resultados aplicando la metodología tradicional y las nuevas prácticas en materia de teledetección.

El avance de la tecnología con la aplicación de sensores remotos, nos permite el acceso a abundante información del mundo real, ampliando la posibilidad de solucionar problemas ambientales y de otra índole ligados a procesos naturales; en ese sentido el presente estudio, por su problemática implica el uso de herramientas de percepción remota que nos proporcionan las imágenes satelitales para la caracterización de la pérdida de la cobertura vegetal y su relación con la calidad del aire en la ciudad de Chiclayo.

Oyarzabal et al (2013) y Ceceña et al (2015), plantean en su investigación el uso de sensores remotos para caracterizar la cobertura vegetal relacionándola con índices de vegetación como el NDVI (índice de vegetación normalizado) valorando en alta precisión y mínimo sesgo una variable directamente ligada a la cobertura vegetal. Además, aclara que con el uso de la teledetección se dispone de una cobertura completa del territorio. Utiliza la data de NDVI del satélite MODIS para valorar el ICV de los cultivos ganaderos en la zona de Pastizales (Río de la Plata), el resultado se da en tablas con una valoración de la ICV de cada área de cultivo de la campaña ganadera entre julio de 2011 y junio de 2012 (pp. 75-79). Por su parte, Ceceña utiliza imágenes multispectrales con una resolución espacial superior de los satélites comerciales Quick Bird y World View-2, resolución que varía entre 2.4 m y 2 m, para definir la cobertura vegetal en base a la densidad y vigor vegetal; detectó cambios temporales a partir de los índices de vegetación NDVI y SAVI utilizando las bandas rojas (banda 3) e infrarrojo cercano (banda 4) con la aplicación del software ERDAS Imagine 2014, luego aplica el software QGIS; calculó porcentaje y diferencia en la cubierta en los años 2004 y 2013, teniendo como sustento los valores resultados de cada índice realizando la prueba estadística no paramétrica de Wilcoxon (1945) para establecer si existe variabilidad

estadísticamente significativa entre los resultados de los índices para cada asociación vegetal, tal como la valoración de la tasa de cambio en estas coberturas de 2004 a 2013.

Los autores citados plantean una secuencia en el proceso de análisis y la determinación de resultados, donde a lo largo de un periodo de tiempo se observa el cambio aplicando la tecnología de los sensores remotos, los cuales forman parte de los satélites como componentes capaces de captar la energía reflejada de la superficie de la tierra. Pero ¿Cómo sucede? Martínez y Vega refieren que estos datos captados por los sensores son enviados periódicamente a estaciones receptoras, llamadas en nuestro ámbito territorial estaciones de rastreo permanente, grabándose allí los datos siendo distribuidas como imágenes, luego de pasar por varios procesos (2010 p. 197); estos datos vienen en forma de “flujo radiante” definido como energía radiante (reflejada, absorbida y transmitida) por unidad de tiempo que interaccionan con la superficie de la tierra dependiendo básicamente de la composición, de la estructura y del emplazamiento de los materiales en la superficie terrestre; así tenemos que la reflectancia de la vegetación tiene zonas típicas de absorción de energía representando menor reflectancia debido a la absorción de la clorofila y absorción por el agua (Arozamena, 2016 pp. 44-46).

Algo importante que describe Arozamena es que el máximo de reflectancia de la cobertura vegetal se encuentra entre  $0.7 \mu\text{m}$  y  $1.4 \mu\text{m}$ , debido a la estructura celular interna de la hoja, lo cual, representa un indicador del vigor vegetativo y de su morfología, cabe resaltar la mención a cerca de la zona de infrarrojo térmico cuya utilidad práctica es la de detectar cambios de temperatura en las superficies cubiertas de vegetación, lo cual indica características importantes como procesos de pérdida de temperatura, mayor o menor reflectancia a partir del accionar de la clorofila y el balance energético de la planta (2016, pp 47).

Consultando a Álvarez y Padilla (2019), también centra su estudio en precisar si los índices ambientales (NDVI, NSI, TB, SAVI y LWCI) resultantes de las imágenes satelitales y los datos de campo adaptados a modelos de regresión son justificados para la evaluación de la polución en la ciudad de Quito. Utiliza datos de estaciones de monitoreo con información de  $MP_{10}$ , sensores remotos de los satélites Landsat

ETM+, con una superficie de 900Km<sup>2</sup> de alcance (seleccionando aquellas imágenes de los años 2005, 2008 y 2011); para el modelado se efectuaron las correcciones y cálculos de los índices respectivos. En sus conclusiones identifica que el PM<sub>10</sub> altera los valores de reflectancia de las imágenes satelitales con coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) superiores al 90% al momento de modelar el prototipo, en consecuencia, los índices ambientales se calcularon y determinaron de forma correcta (pp. 144). Entonces podemos discernir que el uso de imágenes satelitales en el análisis de partículas que afectan a una ciudad resulta ser una alternativa que no requiere de un número considerable de datos, teniendo la capacidad de replicarse a otras realidades.

En relación a la contaminación ambiental, Tello & Díaz (2021), propuso un método de análisis para la configuración espacial de la contaminación ambiental en el centro urbano de Medellín, aplicando técnicas de percepción remota con imágenes Landsat 7 y 8; y observación de datos estadísticos, obteniendo una cartografía de calidad ambiental enfocada en la contaminación atmosférica aplicando variables de calidad del aire como partículas de diámetro menor a 10 µm, partículas de diámetro menor a 2.5 µm, dióxido de nitrógeno y ozono; con componentes de 90% de variación de la información ubicando sectores con calidad ambiental deficiente. Propone una metodología de 4 etapas iniciadas en el procesamiento preliminar de imágenes satelitales, seguido del procesamiento y análisis de imágenes para el cálculo del indicador de la temperatura de la cobertura, vegetación normalizada, vegetación ajustada al suelo transformado, diferencia normalizada del agua e índice normalizado del suelo; interpolación de variables de calidad de aire; y el estudio de los componentes principales. Permite identificar que los focos de contaminación se presentan en sectores con poca cobertura vegetal, gran cantidad de construcciones y gran flujo vehicular. Las variables de la calidad del aire se recolectaron de la red de monitoreo SIATA, son de la misma fecha de la toma de imágenes utilizándose el método *kriging* para interpolar, para cada una de las fechas de estudio (pp. 3, 15). El método aplicado por Tello & Díaz permite, mediante un proceso estructurado hacer un análisis a partir de las variables de la calidad del aire; el producto final se plasma en una cartografía la cual es multipropósito, ya que

bien se puede utilizar en la planificación de una ciudad, así como también, en el análisis ambiental convirtiéndose en una herramienta de trabajo en planificación.

Siguiendo con el tema de la calidad del aire, Rojano et al, en su estudio identificaron una relación entre la concentración de partículas  $PM_{10}$  y partículas totales suspendidas (PTS) con procesos regulares del suelo y procesos de origen antropogénico; basados en datos que resultaron de una espectrometría de absorción atómica. Advierten que los compuestos presentes en las partículas finas ( $PM_{10}$  Y PTS) como plomo y cadmio resultan contraproducentes para la salud; en ese sentido, cita a Muránszky et al (2011) y a Ravindra et al (2004); quienes en sus investigaciones demuestran su poder cancerígeno y alérgico. Se tomó como zona de estudio la ciudad de Riohacha ubicada al norte de Colombia, considerando el alto flujo vehicular, cercanía al mar, comercio, vías pavimentadas entre otros; se fijaron dos puntos de monitoreo. En la investigación se identificó la influencia del clima en el proceder de los contaminantes; los resultados arrojaron concentraciones de plomo en el  $PM_{10}$  que no sobrepasan el estándar internacional para 24 horas de monitoreo. El estudio aplica el Factor de Enriquecimiento (FE) con el fin de discernir entre la actividad antropogénica y los procesos regulares del suelo como fuente de los elementos presentes en los contaminantes, revelando que el zinc, cobalto y cobre tienen su origen en la actividad antropogénica y el cromo, magnesio, manganeso, cadmio, calcio y potasio proceden de los procesos regulares del suelo (Rojano, et al., 2014). Más allá de la técnica de la espectrometría de absorción atómica, los datos se pueden analizar aplicando la tecnología GIS; y su relación implícita con el clima permite aplicar la tecnología de sensores remotos.

Nisperuza et al, habla de la teledetección como una herramienta de trabajo para estudios atmosféricos, dejando de lado el método tradicional, que exigía tomar muestras en el lugar de la observación. Los sensores remotos permiten obtener la data sin entrar en contactos con las superficies, basándose en las ondas electromagnéticas como flujo radiante que se emite, se refleja y se absorbe en las superficies de la tierra, sensores y objetos; citan a Kovalev & Eichiger (2004) para diferenciar entre sensores activos y pasivos; los primeros con una fuente de luz propia, y los segundos valiéndose de otros sistemas de luz para procesar

información. Dentro de la teledetección define a la tecnología LIDAR como una opción de trabajo para el estudio de desplazamiento de nubes, aerosoles, cuerpos de agua, cobertura vegetal y otros fenómenos naturales (2020 p. 243).

Nisperuza et al, identifica a LIDAR como un sistema activo que arroja hacia la atmósfera flujos de radiación laser, difundiéndose y propagándose en los distintos estratos de la atmósfera, finalmente parte de esa energía retorna a su origen con información codificada de la atmósfera; la porción de los componentes inmersos en ella como dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, ácido hipocloroso, formaldehidos, bromo y ozono; a su vez posibilita la caracterización del polvo y otros aerosoles. En el estudio se mencionan dos tipos de LIDAR, Raman para aplicaciones de gases traza y temperatura; y Fluorescencia para gases traza y cultivos.

El MINAM define como contaminantes de la atmósfera a los siguientes compuestos: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), partículas con diámetro menor o igual a 10 µm (PM<sub>10</sub>), partículas con diámetro menor o igual a 2.5 µm (PM<sub>2.5</sub>), Plomo (Pb), benceno, hidrocarburos totales (HT), e hidrógeno sulfurado (H<sub>2</sub>S). De estos, precisa que las denominadas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, son una mezcla de partículas sólidas microscópicas y gotas líquidas suspendidas en el aire (aerosoles), que provienen en su mayoría del uso de combustibles fósiles que contienen azufre y de los oxidantes fotoquímicos formados en la atmósfera por reacciones químicas complejas entre los HC, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y CO, todos relacionados con las emisiones vehiculares. Las fuentes móviles contribuyen con un 50% o más en las concentraciones de material particulado en las áreas urbanas (2013 pp. 16-17).

SENAMHI, delimita la cuenca atmosférica de Chiclayo abarcando un área de 600 Km<sup>2</sup>, comprendidos en ella los distritos de José Leonardo Ortiz, Chiclayo, La Victoria, Reque, Monsefú, Santa Rosa, Pimentel, San José, Lambayeque, Pisci y Pomalca. Más allá de eso, define el ámbito geográfico de la cuenca atmosférica de la ciudad metropolitana Chiclayo ubicada a orillas del Océano Pacífico en un relieve costero de 25 Km de ancho en promedio; entre los ríos Lambayeque al norte y Reque al sur; con coordenadas geográficas son 06°46'19" de latitud Sur y 79°50'45" de longitud Oeste de 0 a 70 msnm (Gesta-Chiclayo, 2006).

En su Plan “A Limpiar el Aire” de la cuenca atmosférica de Chiclayo, Gesta Chiclayo (2006), identifica y diferencia fuentes contaminantes móviles y fijas o puntuales. En relación a las fuentes móviles identifica al parque automotor, caracterizándolo como abundante y antiguo, donde el mayor porcentaje representa el parque automotor menor con casi el 50% (14 945 motocarros y motos lineales), seguido de automóvil con el 36,4% (10 883), camioneta rural con 11,4% (3 406) y ómnibus con 2,3% (673) del total del parque automotor de Chiclayo. Por su parte identifica a la industria como protagonista de las fuentes fijas con fábricas de prendas de vestir (21%), elaboración de productos de panadería (14,31%), impresiones (18,43%), fábricas de muebles de madera (11,46%), fábricas de productos metálicos para uso estructural (8,27%) y elaboración de productos de molinería (2,44%).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de la investigación**

##### **Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada con enfoque descriptivo. Vargas C., cita a Murillo (2008), indica que “la investigación aplicada se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en sistematización” (2009 pág. 159).

##### **Diseño de la investigación**

La presente investigación se plantea como una investigación no experimental de tendencia, con un análisis multitemporal.

Hernández C., cita a Kerlinger; quien define la investigación no experimental como aquella investigación que se limita a observar el fenómeno tal y como se da en su contexto natural, para luego analizarlo (1991 pág. 245).

Huaire I, identifica la investigación de tendencia como no experimental de enfoque longitudinal (2019).

#### **3.2. Variables y operacionalización**

##### **Variables**

##### **A. Variable independiente**

Técnicas de teledetección para identificar el impacto de la pérdida de la cobertura vegetal.

##### **B. Variable dependiente**

Calidad del aire en la ciudad de Chiclayo.

##### **Operacionalización de las variables**

(Ver anexo 1).

### 3.3. Población, muestra y muestreo

#### Población

La población se conformó por las áreas verdes (parques, jardines, terrenos de cultivo, vegetación invasiva), del conglomerado urbano metropolitana de Chiclayo, en un área de 3372.0238 Ha que abarca desde los 6°45'00" hasta los 6°48'00" de latitud sur.

#### Muestra

La muestra se determinó haciendo un análisis multicriterio con una escala de valoración del 1 al 3 (ver anexo 02), considerándose los siguientes criterios Zona urbana, Ciudad de Chiclayo y Casos de IRAS (ver anexo 03); la población a analizar se dividió en tres bandas o estratos, de las cuales la banda central corresponde a la zona urbana de Chiclayo, conurbado hacia el norte con el distrito de José Leonardo Ortiz y hacia el sur con el distrito de la Victoria, caracterizándose como zona urbana consolidada, presentando las condiciones para una muestra que permita la integridad, la correcta gráfica de los datos.

**Tabla 2.** *Análisis multicriterio para determinar la muestra*

ÍTEMS	Zona urbana consolidada	Distrito de Chiclayo	Casos de IRAS <sup>(1)</sup>	Valores (1-3)
BANDA SUPERIO	80 %	10%	Medio	2
<b>BANDA MEDIA</b>	<b>90%</b>	<b>80%</b>	<b>Mayor</b>	<b>3</b>
BANDA INFERIOR	70%	10%	Menor	1

Fuente: elaboración propia.

(1) Ver Anexo 02

## Muestreo

El presente trabajo comprende un muestreo no probabilístico, estratificado por conveniencia ya que, de un análisis multicriterio elaborado por el tesista, se determinó como muestra la banda central del área conurbada de la ciudad de Chiclayo, que cubre un área de 1956.3478 Ha, que abarca desde los 6°46'00" hasta los 6°47'00" de latitud sur.

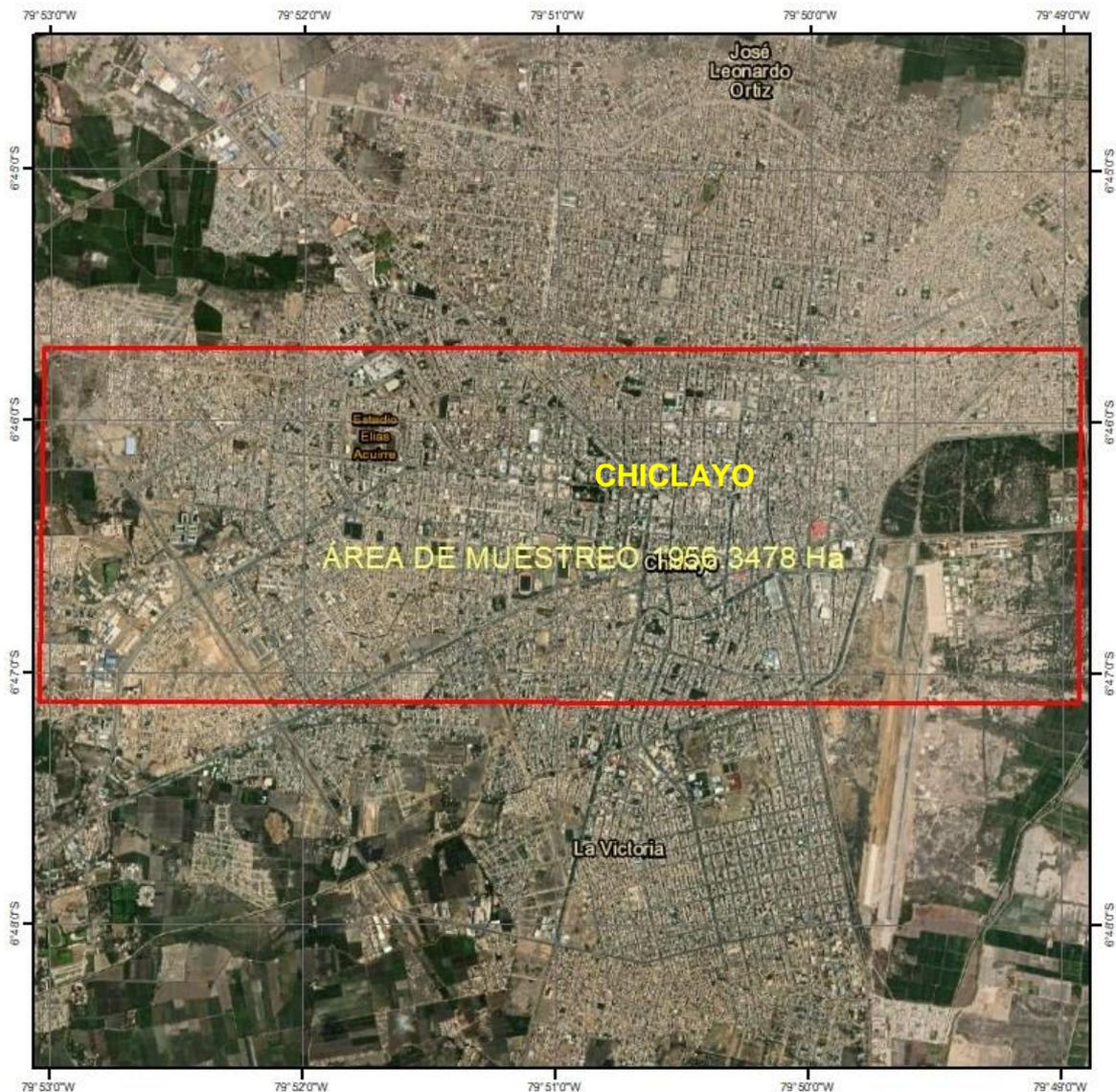


Figura 1. Muestreo de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección

#### Zona de estudio

La ciudad de Chiclayo se ubica entre la latitud  $06^{\circ}46'19''$  y la longitud  $79^{\circ}50'45''$ , a 24 m.s.n.m.; actualmente conurbada con las urbes de los distritos de José Leonardo Ortiz y La Victoria. Pertenece a la Unidad Geoeconómica Chiclayo – Lambayeque que está vinculada a los valles Chancay, Lambayeque y La Leche (INDECI, 2003).

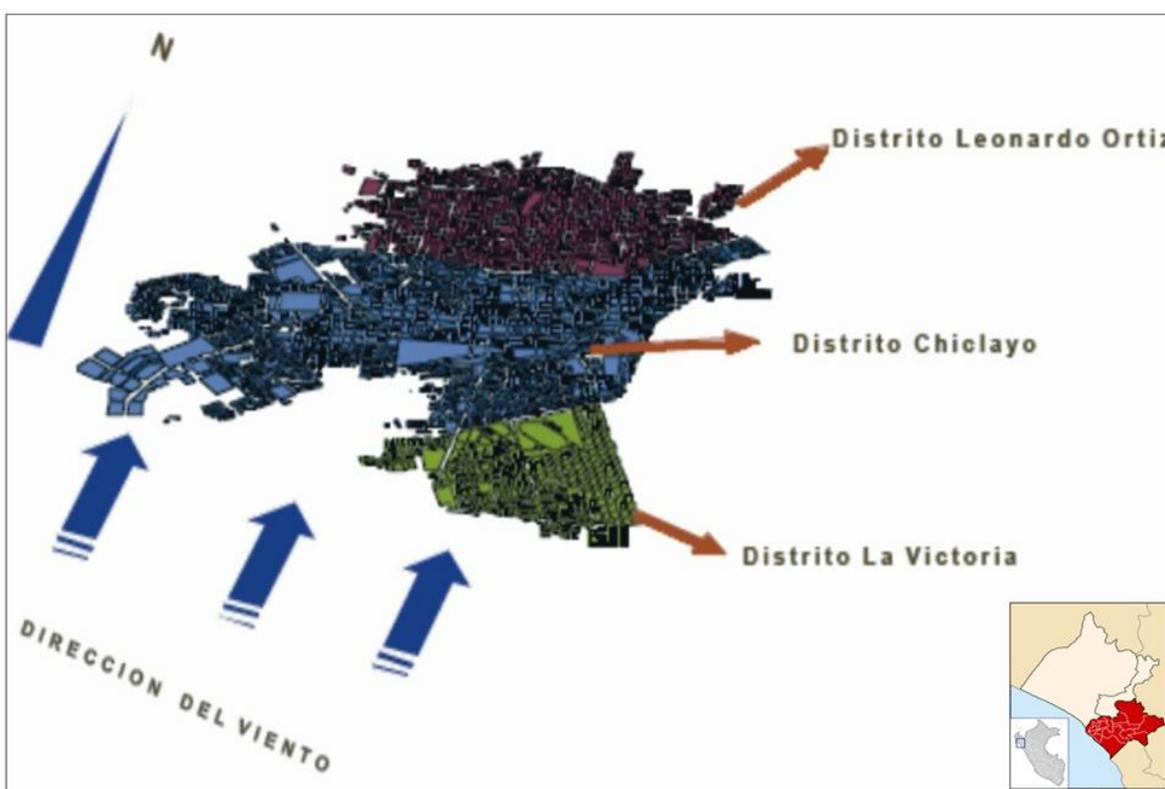


Figura 2. Mapa de la zona de estudio y su entorno

Fuente: GESTA del aire. 2006

#### Materiales para geoprocesamiento

- Cartografía base de la zona de estudio, se consideró apropiada la escala 1:50 000, trabajándose en el *Datum WGS84 UTM zona 17s*.
- Base de datos (ZEE) Zonificación Ecológica Económica de la región Lambayeque, obtenidos por el Gobierno Regional de Lambayeque.
- Imágenes Satelitales Landsat 8 de la colección 1 nivel 1 con resolución espacial de 30 m correspondientes a los años 2014, 2017 y 2021; obtenidas

desde el portal de Earth Explorer, del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), de EOSDIS Earthdata (ver anexo 04)

### Herramientas para geoprocesamiento

- Equipo navegador GARMIN 750 (ver anexo 05), compatible con sistema GPS y GLONASS.
- Plataformas especializadas en análisis espacial georreferenciado QGIS y Envi 5.3 software especializado en imágenes satelitales.
- Aplicación de la tecnología para teledetección del satélite Landsat 8 que incorpora dos sensores (ver anexo 06) el Operational Land Imager (OLI), y el sensor térmico infrarrojo denominado Thermal Infrared Sensor (TIRS) que brinda información estacional de la masa de la tierra (NASA, 2013); con la siguiente configuración de bandas para Landsat 8 y Landsat 9:

**Tabla 3.** *Distribución de las bandas en OLI y TIRS*

<b>Bandas</b>	<b>Longitud de onda (micrómetros)</b>	<b>Resolución (metros)</b>
Banda 1 - Aerosol costero	0,43-0,45	30
Banda 2 - Azul	0,45-0,51	30
Banda 3 - Verde	0,53-0,59	30
Banda 4 - Rojo	0,64-0,67	30
Banda 5 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0,85-0,88	30
Banda 6 - Infrarrojos de onda corta (SWIR) 1	1,57-1,65	30
Banda 7 - Infrarrojos de onda corta (SWIR) 2	2.11-2.29	30
Banda 8 - Pancromática	0,50-0,68	15
Banda 9 - Cirro	1,36-1,38	30
Banda 10 - Infrarrojo Térmico (TIRS) 1	10.6-11.19	100
Banda 11 - Infrarrojo Térmico (TIRS) 2	11.50-12.51	100

Fuente: Science for a changing world. (2019).

### 3.5. Técnicas de recolección de datos

#### Procesamiento de información cartográfica

Elaboración de cartografía base a partir de la observación directa tomando datos con dispositivo GPS navegador, a partir de la cual y con apoyo de cartografía del estudio para la Zonificación Ecológica Económica de la región Lambayeque (Gobierno Regional de Lambayeque 2014), se procedió a la compilación, análisis y transformación de datos, para la determinación de la muestra.

#### Procesamiento de información satelital

Se obtuvo información del portal de Earth Explorer – USGS (ver anexo 04), el cual nos permitió obtener información de imágenes satelitales correspondientes a los años 2014, 2017 y 2021. Para ello se asignaron ciertos parámetros como porcentaje de nubosidad con un máximo de 20% y productos con un nivel de procesamiento en orto rectificación, de la colección 1 nivel 1.

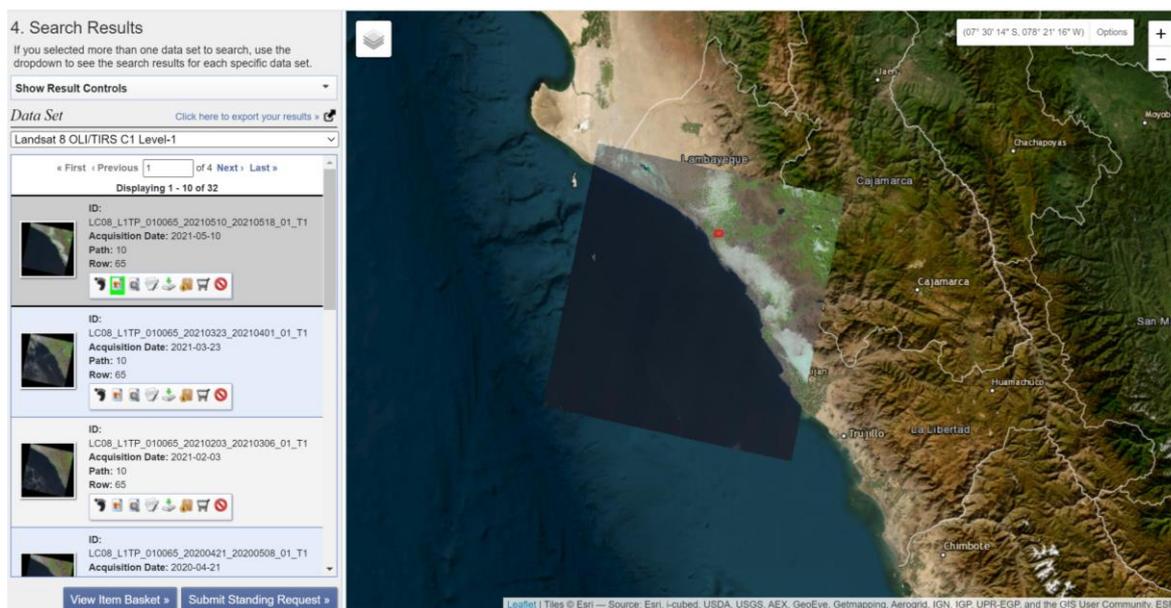


Figura 3. Plataforma USGS para descarga de imágenes satelitales

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron las correcciones radiométricas y atmosféricas de las imágenes satelitales descargadas de los años 2014, 2017 y 2021. En el caso de la corrección radiométrica las imágenes se presentan como una serie cuantificada, calibrada y escalada de niveles digitales ND (Números Digitales), las cuales representan los datos adquiridos por los sensores OLI y TIRS (Ariaza, A., 2013); para ello se aplicó la herramienta radiometric calibration del software ENVI, que permite corregir valores erróneamente registrados o ruido presente en las imágenes satelitales, entre otras alteraciones; de esta forma se obtuvieron imágenes píxeles con posibles imperfecciones corregidas y valores de intensidad homogéneos.

**Tabla 4.** *Parámetros de calibración radiométrica Landsat 8*

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
Tipo de calibración	Radiancia
Intervalo de salida	BIL
Tipo de dato de salida	Flotante
Factor de escala	0.10
Directorio de salida	Nombre y directorio de salida

Fuente: Tomado de CIAF (Ariaza, A., 2013).

De acuerdo a Aguilar, al finalizar se obtiene una imagen con el cambio de valores de ND a valores de radiancia, además el tipo de formato de imagen en el archivo de salida es “.dat”. Esta imagen de datos conserva la información que viene del metadato en formato BIL (2014).

La corrección atmosférica es un proceso que se aplica a las imágenes digitales, con el propósito de eliminar el efecto de los aerosoles y la radiancia intrínseca que se introduce en el sensor y se ve reflejado en la imagen, como producto de la interacción del sensor con la atmósfera (Aguilar, 2014).

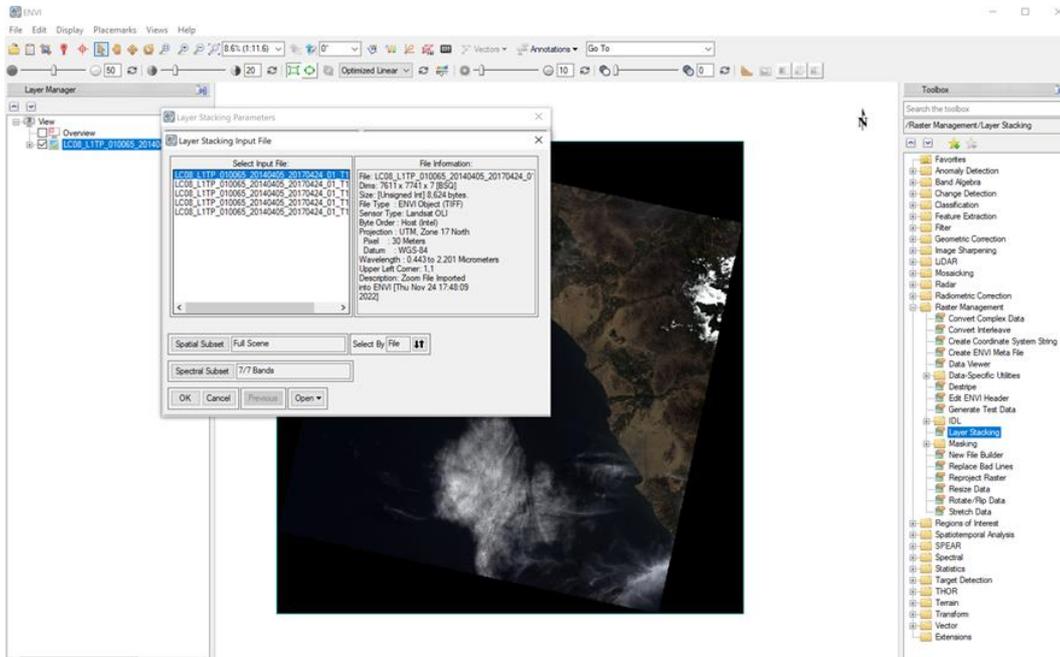


Figura 4. Corrección radiométrica de imágenes satelitales. ENVI

Fuente: Elaboración propia

Para el presente estudio se realizó el proceso con la aplicación ENVI usando la herramienta IAR reflectance correction. La radiancia con valores ND se transforma a valores de reflectividad en el techo de la atmósfera “Top of Atmosphere” (TOA), finalmente obtuvimos la conversión a valores de reflectancia.

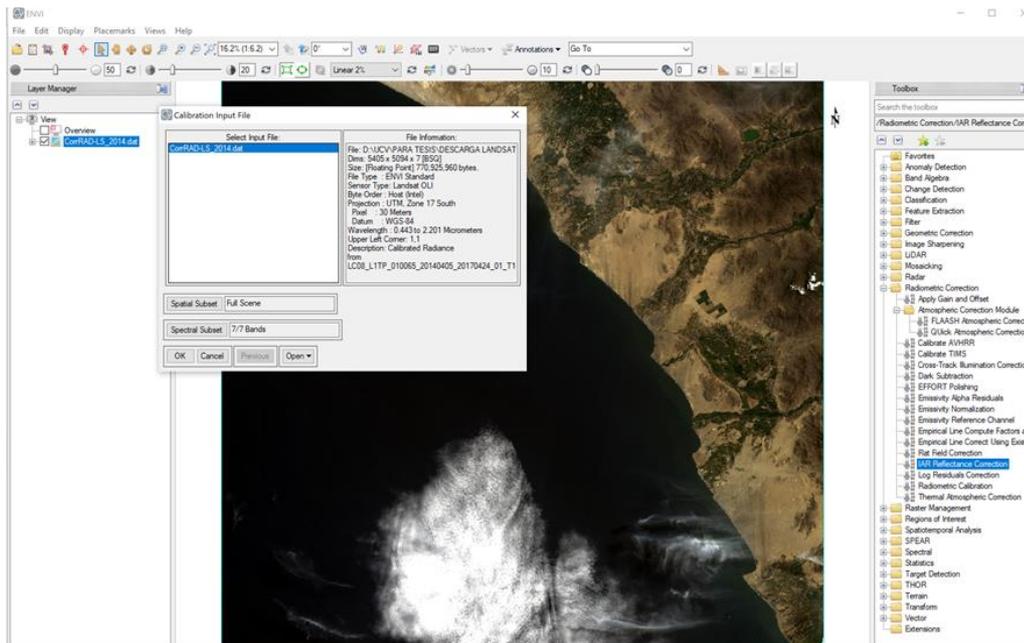


Figura 5. Corrección atmosférica de imágenes satelitales. ENVI

Fuente: Elaboración propia

## Determinar el índice de vegetación para la evaluación

En el estudio y análisis de la identificación del impacto de la pérdida de la cobertura vegetal sobre la calidad del aire – Chiclayo, se consideró evaluar en base a tres índices de vegetación SAVI, EVI y ARVI; con aplicación de las bandas roja, NIR y azul. Tomado del estudio comparativo realizado por Carvacho (2010), se presenta para el cálculo las siguientes ecuaciones:

- a. **SAVI** (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo), indicado para zonas semiáridas, donde la contribución del suelo es muy importante, permite minimizar el brillo del suelo ajustando la línea vegetación – suelo, correspondiendo al valor L de la ecuación (Perez, 2006).

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} \times (1 + L)$$

**Donde:**

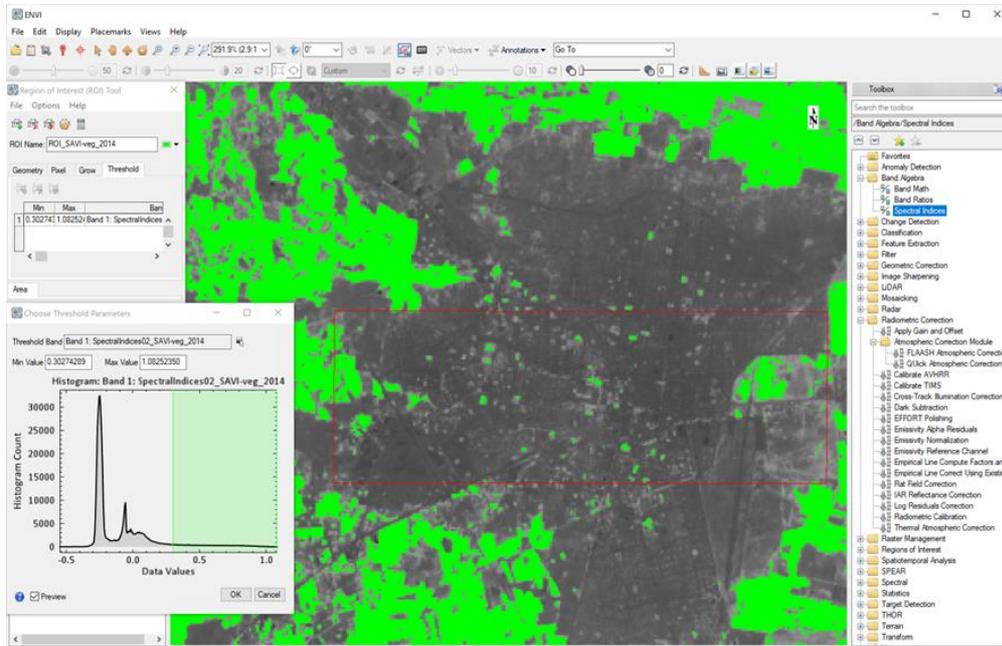
**NIR** : reflectividad en la banda del infrarrojo cercano.

**R** : reflectividad en la banda del rojo.

**L** : parámetro (varía según la densidad de la vegetación, se considera 0.5).

L varía entre -1 y +1, dependiendo de la densidad de vegetación verde de la zona en cuestión. En las zonas con mucha vegetación verde, se usa L= 0; por el contrario, se usa L = 1 para las zonas de vegetación verde baja. Lo habitual es L = 0,5 para ajustarse a la mayoría de suelos (EOSDA, 2022).

Se consideró este índice porque permite el seguimiento de las condiciones de la cobertura vegetal en la superficie terrestre, evaluación de procesos de deforestación, caracterización de biomasa a escala continental, se puede aplicar a evaluación de vegetación en zonas urbanas.



**Figura 6.** Evaluación de la vegetación con IV SAVI

Fuente: Elaboración propia

- b. **EVI** (Índice de Vegetación Mejorado), intenta expresar los efectos atmosféricos calculando la diferencia de radiancia entre las bandas del Azul y Rojo y nos permite monitorizar el estado de la vegetación en caso de altas densidades de biomasa en terrenos relativamente llanos.

$$EVI = 2,5 \times \frac{(NIR - R)}{(NIR + C1 \times R - C2 \times B + L)}$$

**Donde:**

**NIR** : reflectividad en la banda del infrarrojo cercano.

**R** : reflectividad en la banda del rojo.

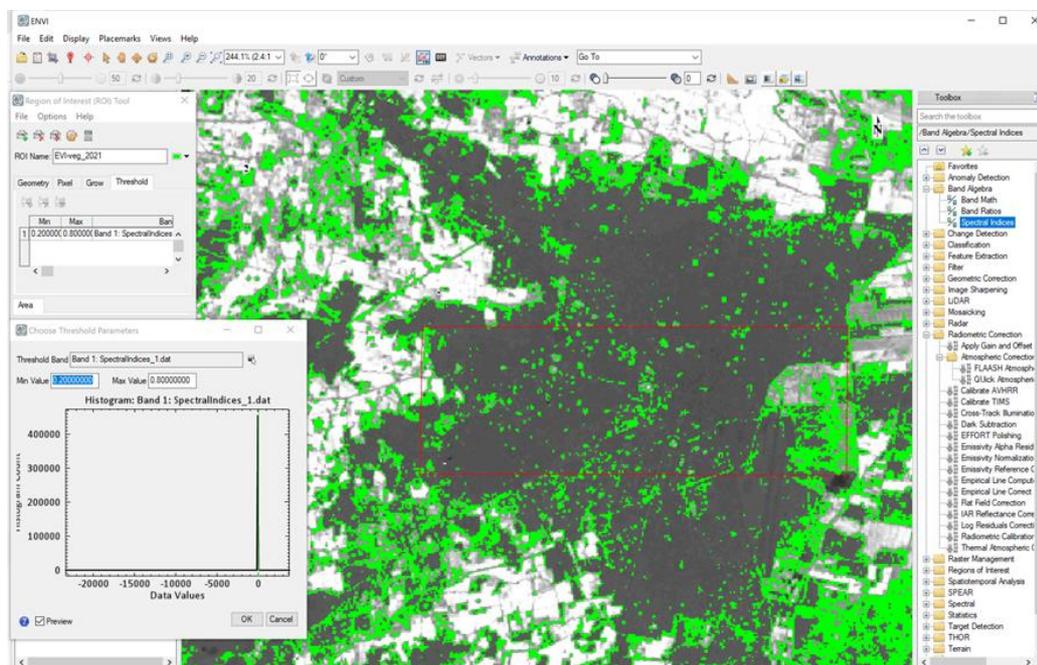
**B** : reflectividad en la banda del azul

**L** : parámetro (varía según la densidad de la vegetación, se considera 0.5).

**C1 C2** : coeficientes de corrección atmosférica.

Como se muestra en la fórmula EVI contiene los coeficientes C1 y C2 para corregir la dispersión de los aerosoles presentes en la atmósfera y L para ajustar el fondo del suelo y la cubierta de la vegetación.

Liu y Huete, introdujeron el índice de vegetación EVI para ajustar los resultados del NDVI a los ruidos atmosféricos y del suelo, especialmente en las zonas de vegetación densa, así como para mitigar la saturación en la mayoría de los casos. El rango de valores del EVI es de -1 a +1, y para la vegetación sana, varía entre 0,2 y 0,8. El proceso resulta ser similar al cálculo del NDVI salvo que, en esta ocasión requerimos, además, la banda correspondiente al Azul del espectro visible (EOSDA, 2022).



**Figura 7.** Evaluación de la vegetación con EVI

*Fuente: Elaboración propia*

Se consideró este índice porque permite el análisis en zonas con mínimos efectos topográficos (regiones no montañosas), además de enfocarse en biomasa foliar propia de árboles y arbustos.

- c. **ARVI o VARI** (Índice De Resistencia Atmosféricamente Visible); Alvarado, C., et al; lo referencia como un índice de vegetación resistente a la atmosfera corrige los efectos de la dispersión atmosférica, combinando las bandas roja y azul, las cuales cuentan con las propiedades de autocorrección del efecto atmosférico (2019).

$$ARVI = \frac{NIR - (R - 1 \times (R - B))}{NIR + (R - 1 \times (R - B))}$$

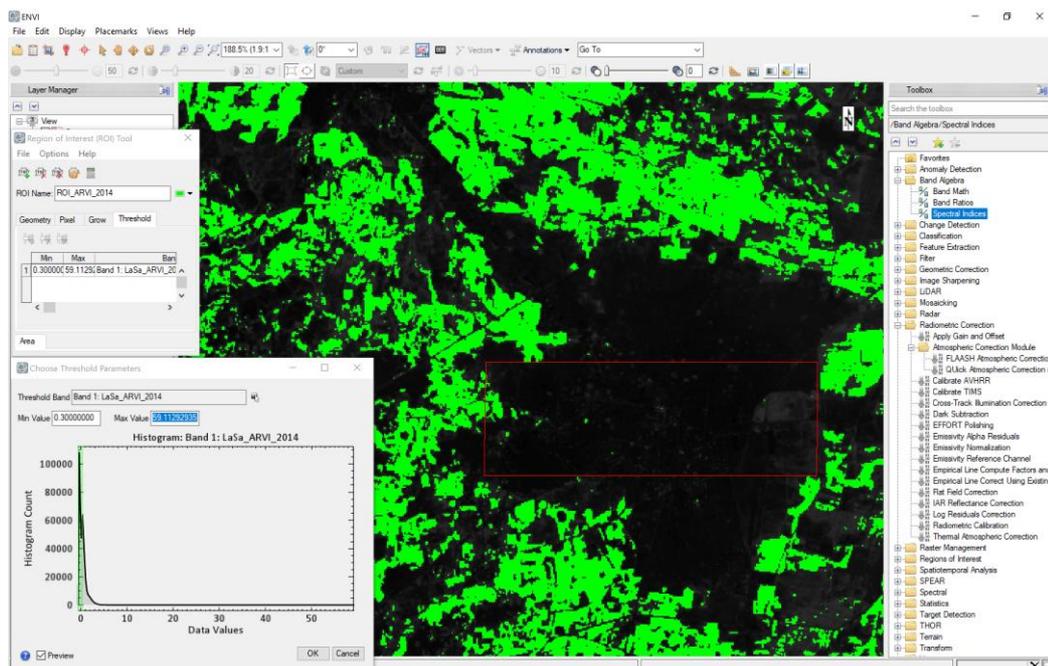
**Donde:**

**NIR** : reflectividad en la banda del infrarrojo cercano.

**R** : reflectividad en la banda del rojo.

**B** : reflectividad en la banda del azul

Se consideró por ser apropiado para regiones con alto contenido de aerosol atmosférico y contaminación del aire, como en las ciudades.



**Figura 8.** Evaluación de la vegetación con ARVI

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. Método de análisis de datos

El método es deductivo a partir del procesamiento y corrección de imágenes satelitales, para la aplicación de los índices de vegetación en una dimensión multitemporal.

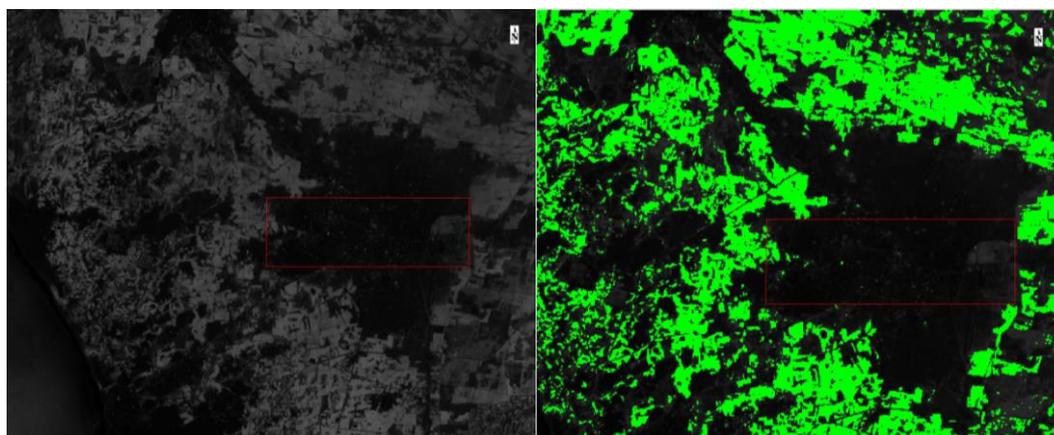
Se analizaron los datos por cada una de las imágenes satelitales correspondientes a distintos periodos de tiempo, contemplando para todas ellas los siguientes criterios:

**Tabla 5.** *Criterios de selección imágenes satelitales Landsat 8*

IMAGEN	CÓDIGO DE DESCARGA	FECHA DE CAPTURA	COLECCIÓN NIVEL	NUBOSIDAD
LaSa_2014	LC08_L1TP_010065_20140405_20170424_01_T1	2014/04/05	01_01	20%
LaSa_2017	LC08_L1TP_010065_20170413_20170501_01_T1	2017/04/13	01_01	20%
LaSa_2021	LC08_L1TP_010065_20210323_20210401_01_T1	2021/03/23	01_01	20%

Fuente: elaboración propia

Para todos los casos las imágenes resultantes que se generaron adoptaron escala de grises, para una mejor observación se trabajó en el mapeo el color verde, identificándose los tonos más brillantes con colores más claros, el polígono rojo corresponde al área de estudio.



**Figura 9.** *Color para lectura de resultados*

Fuente: Elaboración propia

El principio indica que los colores más brillantes responden mejor al índice de vegetación (IV), definido por EOS como un indicador de vegetación (2018), presente en el área de estudio identificada árboles y arbustos.

### **3.7. Aspectos éticos**

El presente trabajo está orientado a la identificación de un problema ambiental puntual, sobre el componente aire y su relación con la cobertura vegetal; investigación que implica un bajo costo y una mínima, por no decir inexistente, intervención en la biomasa vegetal con lo cual impera el respeto y responsabilidad para con el ambiente y sus componentes, ya que el uso de la tecnología de sensores remotos resulta inocuo y de bajo impacto negativo a los ecosistemas y elementos en estudio, ya que no entran en contacto directo con las superficies de los mismos.

## IV. RESULTADOS

**Tabla 6.** Resultados con índice de vegetación SAVI

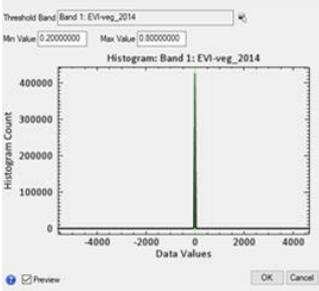
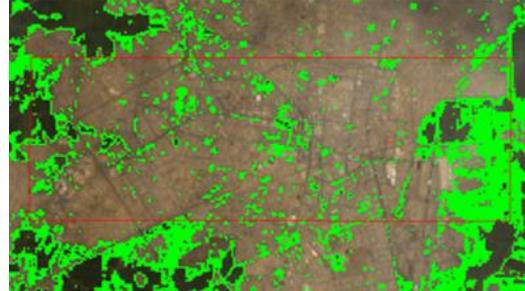
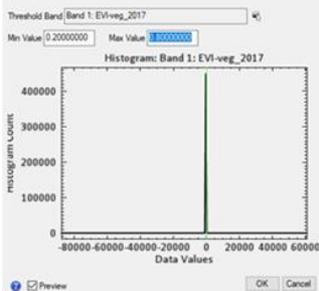
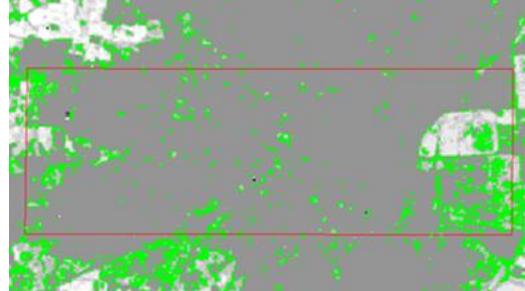
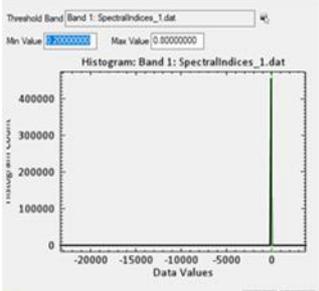
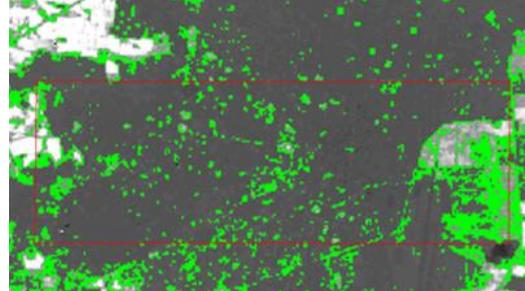
RESULTADOS	HISTOGRAMA	MAPEO ROI
<p><b>SAVI_LaSa_2014</b></p> <p>Se genera una región de interés que muestra un histograma valores máximos y mínimos del índice 0.30 a 1.08</p>		
<p><b>SAVI_LaSa_2017</b></p> <p>Se genera una región de interés que muestra un histograma valores máximos y mínimos del índice 0.30 a 1.13</p>		
<p><b>SAVI_LaSa_2021</b></p> <p>Se genera una región de interés que muestra un histograma valores máximos y mínimos del índice 0.30 a 1.06</p>		

Para los tres casos los valores están entre  $0.30 < iv \leq 1.13$ , los valores entre -1 y 0.3 identifican un suelo desnudo de vegetación (colores opacos); y los valores de 1 a 1.13 identifican la cobertura vegetal; para L se considera 1. Es apropiado para el análisis en zonas de baja densidad de vegetación (umbral apropiado 15%), en regiones generalmente áridas o suelos expuestos (Muñoz, 2013). Los colores en tono verde intenso (los de valores más altos), son los que más se asocian a la vegetación del área de estudio donde intervienen las bandas asociadas al NIR y al color rojo.

Las imágenes muestran un contraste entre la cobertura vegetal (verde brillante), respecto a la cobertura suelo artificial (opaco gris). Respecto al IV SAVI se observa un ligero aumento entre 2014 y los dos años posteriores analizados, percibiéndose una ligera disminución entre los años 2017 y 2021.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7. Resultados con índice de vegetación EVI**

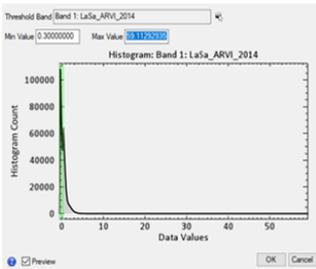
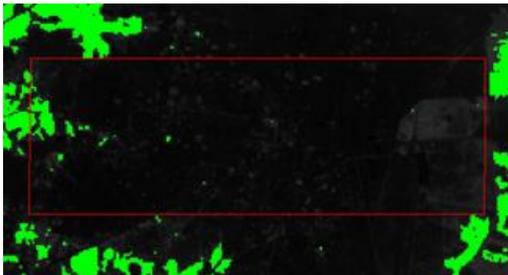
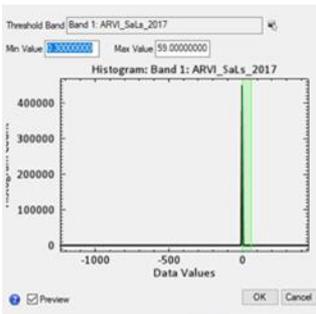
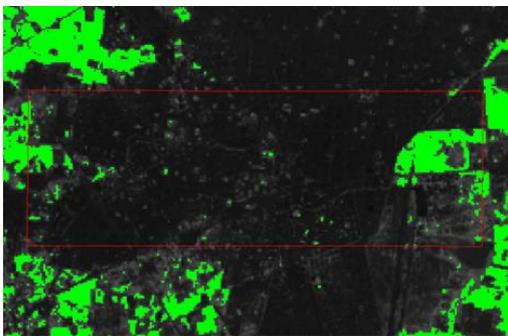
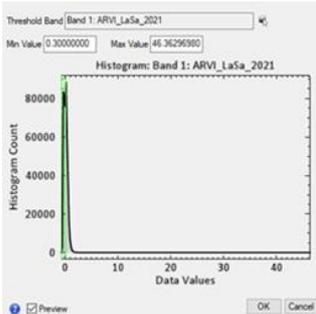
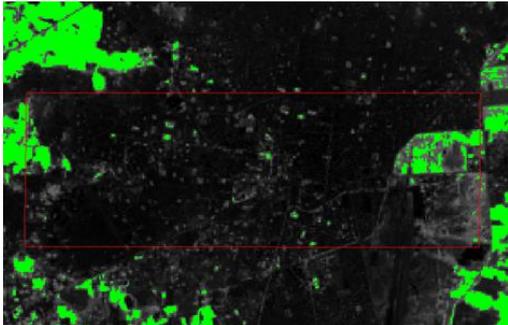
RESULTADOS	HISTOGRAMA	MAPEO ROI
<p><b>EVI_LaSa_2014</b></p> <p>Se genera una región de interés que muestra un histograma valores máximos y mínimos del índice 0.20 a 0.80</p>		
<p><b>EVI_LaSa_2017</b></p> <p>Se genera una región de interés que muestra un histograma valores máximos y mínimos del índice 0.20 a 0.80</p>		
<p><b>EVI_LaSa_2021</b></p> <p>Se genera una región de interés que muestra un histograma valores máximos y mínimos del índice 0.20 a 0.80</p>		

El rango de valores para EVI, va de -1 a +1, varía entre 0.2 y 0.8 para vegetación sana; los valores comprendidos entre -1 y 0.2 se observan en la imagen como opacos y los valores comprendidos entre 0.2 y 0.8 se observan en tono verde brillante. Para efectos del cálculo se considera  $C1 = 6$  y  $C2 = 7.5$ , con un factor de corrección del suelo de  $L=1$ ; y un factor de ganancia de 2.5 (Dominguez, 2020). Si bien es cierto sirva para identificar biomasa vegetal de alta densidad, es ideal para vegetación arborea y arbustiva en terreno llano.

Respecto al IV EVI, en una lectura de las tres imágenes se observa una evidente reducción en la masa vegetal entre 2014 y 2017 y un ligero aumento de la masa vegetal entre 2017 y 2021.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8. Resultados con índice de vegetación ARVI**

RESULTADOS	HISTOGRAMA	MAPEO ROI
<p><b>ARVI_LaSa_2014</b></p> <p>Se genera una región de interés que muestra un histograma valores máximos y mínimos del índice 0.30 a 59.11</p>		
<p><b>ARVI_LaSa_2017</b></p> <p>Se genera una región de interés que muestra un histograma valores máximos y mínimos del índice 0.30 a 59.00</p>		
<p><b>ARVI_LaSa_2021</b></p> <p>Se genera una región de interés que muestra un histograma valores máximos y mínimos del índice 0.30 a 46.36</p>		

En los tres casos, de acuerdo a los histogramas se muestran valores de entre  $0.3 < iv \leq 1$ ; el IV trata de corregir efectos de la dispersión atmosférica con una variable que caracteriza el tipo de aerosol que se pretende eliminar y la reflectancia del azul para corregir efectos relacionados con la dispersión atmosférica. El resultado del índice oscila entre -1 y 1, con rango de valores de vegetación vigorosa que va de 0.2 a 0.9 (Dominguez, 2020).

En relación al IV ARVI, de acuerdo a las imágenes hay un aumento de la tonalidad gris respecto al negro entre 2014 y los dos años posteriores, lo que dificulta la lectura respecto al análisis de la vegetación. Se aprecia un ligero aumento de la brillantez (verde) en la imagen de 2014, con un ligero aumento entre 2017 y 2021, más allá del Parque Provincial de la FAP (con evidentes cambios).

Fuente: Elaboración propia

## V. DISCUSIÓN

La difusión de la tecnología satelital permite, en la actualidad, métodos y procedimientos para el estudio del ambiente, sin contacto directo, impensable en otras épocas; el estudio de parámetros ambientales con apoyo en las imágenes satelitales abre un abanico de posibilidades para la ingeniería ambiental y específicamente para el estudio de la cobertura vegetal y su relación intrínseca con la actividad antrópica.

El presente estudio centra su interés en el uso de imágenes satelitales para determinar la relación entre la pérdida de la cobertura vegetal y la calidad del aire en la ciudad de Chiclayo; partiendo de una revisión bibliográfica, donde se hace referencia al uso de esta tecnología para la caracterización y estudio de la cobertura vegetal con la aplicación de los denominados índices de vegetación, donde el más usado es el IV NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada), el cual se relaciona con los cambios de vegetación a largo plazo o también, con cambios en el uso del suelo (Gallardo, 2019).

Haciendo una lectura más allá del marco teórico se identifican otros índices de vegetación que corrigen las posibles deficiencias de NDVI, Alvarado et al, clasifica a los IV en aquellos que contemplan el efecto del suelo, aquellos que contemplan el efecto de la atmósfera y aquellos que contemplan ambos parámetros (suelo – atmósfera) que permiten corregir el efecto combinado (2019); los mencionados, de utilidad para el presente estudio, derivan de las imágenes satelitales del satélite Landsat 8 que incorpora dos sensores OLI y TIRS de naturaleza multiespectral con una mayor facilidad para el cálculo de los IV en las bandas de infrarrojo y rojo visible. En ese sentido se ha optado por el uso del IV SAVI (índice de vegetación ajustado al suelo), con un ajuste de corrección al suelo que minimiza la influencia del brillo del suelo; el IV EVI (índice de vegetación mejorado) que reduce los efectos adversos atmosféricos y topográficos; y el IV ARVI (índice de resistencia atmosférica visible), que corrige efectos de la dispersión atmosférica (Dominguez, 2020).

**Tabla 9. Resumen del estudio a nivel de análisis espacial**

INDICE DE VEGETACIÓN	SAVI	EVI	ARVI
<b>PARÁMETROS DE CÁLCULOS (ALGEBRA DE BANDAS)</b>	Para los tres casos los valores están entre $0.30 < iv \leq 1.13$ , los valores entre -1 y 0.3 identifican un suelo desnudo de vegetación (colores opacos); y los valores de 1 a 1.13 identifican la cobertura vegetal; para L se considera 1. Es apropiado para el análisis en zonas de baja densidad de vegetación (umbral apropiado 15%), en regiones generalmente áridas o suelos expuestos (Muñoz, 2013).	El rango de valores para EVI, va de -1 a +1, varía entre 0.2 y 0.8 para vegetación sana; los valores comprendidos entre -1 y 0.2 se observan en la imagen como opacos y los valores comprendidos entre 0.2 y 0.8 se observan en tono verde brillante. Para efectos del cálculo se considera $C1 = 6$ y $C2 = 7.5$ , con un factor de corrección del suelo de $L=1$ ; y un factor de ganancia de 2.5 (Dominguez, 2020).	En los tres casos, de acuerdo a los histogramas se muestran valores de entre $0.3 < iv \leq 1$ ; el IV trata de corregir efectos de la dispersión atmosférica con una variable que caracteriza el tipo de aerosol que se pretende eliminar y la reflectancia del azul para corregir efectos relacionados con la dispersión atmosférica. El resultado del índice oscila entre -1 y 1, con rango de valores de vegetación vigorosa que va de 0.2 a 0.9 (Dominguez, 2020).
<b>RESULTADOS</b>	Las imágenes muestran un contraste entre la cobertura vegetal (verde brillante), respecto a la cobertura suelo artificial (opaco gris). Respecto al IV SAVI se observa un ligero aumento entre 2014 y los dos años posteriores analizados, percibiéndose una ligera disminución entre los años 2017 y 2021.	Respecto al IV EVI, en una lectura de las tres imágenes se observa una evidente reducción en la masa vegetal entre 2014 y 2017 y un ligero aumento de la masa vegetal entre 2017 y 2021.	En relación al IV ARVI, de acuerdo a las imágenes hay un aumento de la tonalidad gris respecto al negro entre 2014 y los dos años posteriores, lo que dificulta la lectura respecto al análisis de la vegetación. Se aprecia un ligero aumento de la brillantez (verde) en la imagen de 2014, con un ligero aumento entre 2017 y 2021, más allá del Parque Provincial de la FAP (con evidentes cambios).
<b>BANDAS</b>	NIR, Red y Blue	NIR, Red y Blue	Red, Blue y green
<b>CREADOR</b>	Huete, 1988	Huete, Justice, & van Leeuwen, 1999	Kaufman & Tanré, 1992

Fuente: elaboración propia

La metodología utilizada parte de una revisión bibliográfica con una posterior determinación del área de estudio, que nace de un análisis multicriterio para definir el área de la muestra sobre la cual se centra el análisis a nivel de imágenes satelitales y que comprende un área de 1956.3478 Ha, que abarca desde los  $6^{\circ}46'00''$  hasta los  $6^{\circ}47'00''$  de latitud sur, definida el tamaño de la muestra se procedió al análisis comparativo y multitemporal teniendo como base la información recogida de la plataforma USGS, con las siguientes características: colección 1, nivel 1 Landsat 8, que proporciona un archivo consistente de calidad de datos

conocidos, como respaldo al análisis de series temporales y el "apilamiento" de datos, (USGSS, 2019).

A raíz de los resultados podemos inferir que era necesario tomar información con un nivel de resolución mayor, como la información que brinda Sentinel que cuenta con imágenes satelitales con resolución espacial de 10 m; o sensores como Aster o del mismo Landsat que permiten resoluciones espaciales de 15 m.

La resolución espacial de trabajo fue de 30 m por pixel, lo cual nos obliga a cuestionarnos, ¿es fiable la teledetección como herramienta de análisis urbano ambiental para estudios ambientales en zonas urbanas? En ese sentido, a medida que avanza la tecnología las herramientas se vuelven más exactas, la resolución espacial y temporal de los distintos satélites aumenta a medida que mejora la tecnología.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se identificó mediante un análisis multicriterio del área de trabajo establecido en una banda entre los 6°46'00" hasta los 6°47'00" de latitud sur, determinado como tamaño de la muestra la banda central del área conurbada de la ciudad de Chiclayo, que cubre un área de 1956.3478 Ha.
2. Se estimó la pérdida de la cobertura vegetal aplicando los siguientes índices: SAVI, EVI y ARVI, con imágenes satelitales de un 20% de nubosidad limitando nuestra línea temporal a los años 2014, 2017 y 2021. Se entiende cada índice como una fórmula aplicada de propiedades de la reflectancia medidas mediante un sensor en dos o más longitudes de onda que revelan distintas características particulares de la vegetación.
3. Se realizó un análisis comparativo entre los distintos índices identificando anomalías respecto a lo esperado, posiblemente por el periodo de pandemia que se dio entre 2019 y 2021, con la posible alteración de datos:
  - Respecto al IV SAVI se observa un ligero aumento entre 2014 y los dos años posteriores analizados, percibiéndose una ligera disminución entre los años 2017 y 2021. posiblemente influenciada por las medidas impuestas "quédate en casa".
  - Respecto al IV EVI, en una lectura de las tres imágenes se observa una evidente reducción en la masa vegetal entre 2014 y 2017 y un ligero aumento de la masa vegetal entre 2017 y 2021.
  - En relación al IV ARVI, de acuerdo a las imágenes hay un aumento de la tonalidad gris respecto al negro entre 2014 y los dos años posteriores, lo que dificulta la lectura respecto al análisis de la vegetación. Se aprecia un ligero aumento de la brillantez (verde) en la imagen de 2014, con un ligero aumento entre 2017 y 2021, más allá del Parque Provincial de la FAP (con evidentes cambios).

En relación al estudio de la dispersión del material particulado la mayor evidencia de la hipótesis se observa aplicando el IV EVI; con el cual se observa una disminución de la cobertura vegetal entre 2014 y 2017, considerando la persistencia de elementos contaminantes del aire; y un ligero aumento de la cobertura vegetal entre 2017 y 2021 alteración debida

al periodo de pandemia vivido, que refuerza la hipótesis, el periodo de pandemia paralizó la movilidad vehicular y la industria (dos factores causantes del aumento del material particulado en la zona de estudio); situación sin precedente alguno, que derivó en una recuperación de los ecosistemas en el mundo.

4. Se realizó un análisis multitemporal en un periodo entre 2014 y 2021, donde se observan cambios en la cobertura vegetal con fluctuaciones que tienen su punto de quiebre en el año 2021 con un evidente aumento de la cobertura vegetal, en relación a la paralización del desplazamiento vehicular y la industria.
5. En caso de los IV EVI y ARVI se observa una relación entre la disminución del material particulado y el aumento de la cobertura vegetal.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Es necesario contar con un presupuesto para este tipo de investigaciones que implican trabajo de campo, o un mayor apoyo por parte de la universidad para obtener mejores resultados y una delimitación del área de estudio más ajustada a los requerimientos de la investigación.
2. Existen imágenes satelitales con una mayor resolución espacial, de 15 m a menos, pero tienen un costo, lejano al alcance de la economía de tesista, pero importantes debido al nivel de detalle que permiten al momento de valorar los índices de vegetación.
3. Se debe tener un mayor conocimiento del manejo de los programas que impliquen un análisis multiespectral más detallado, cursos que deberían incorporarse en dos o tres niveles o semestres en el currículo de la universidad.
4. Es imperativo tomar como punto de quiebre el periodo de pandemia, ya que evidencia un antes y un después, con claros cambios en los ecosistemas urbanos.
5. Es importante validar el estudio con otras herramientas y métodos.

## REFERENCIAS

- Aguilar, A. 2014. Atmospheric correction methodology for Aster, Rapideye, Spot 2 and Landsat 8 images with ENVI Flaash module software. *Revista Geográfica de América Central* N. 53. Vol. 2 No 53. [En línea] 25 de septiembre de 2014. [Citado el: 16 de noviembre de 2022.] <https://www.revistas.una.ac.cr/index>. ISSN 1011-48X.
- Alvarado, C., Leandro, A., & Sarango, D. 2019. Comparación de Índices de Vegetación con imágenes Landsat usando la computación en la nube: zona Pampa de Majes-Siguas, Arequipa Perú (Periodo Jun 1984 a Nov 2018):. *Revista de investigación de física*. Vol. 22 Núm. 1. [Online] agosto 05, 2019. [Cited: mayo 06, 2022.] <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/fisica/article/view/20280>. ISSN: 1728-2977.
- Álvarez M. y Padilla, O. 2019. Estimación de la contaminación del aire por PM10 en Quito a través de índices ambientales con imágenes LANDSAT ETM+. [Online] 2019. [Cited: mayo 15, 2022.] <https://revistasipgh.org/index.php/rcar/article/view/441>. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i92.441>.
- ANDINA. 2014. *andina.pe*. [Online] noviembre 23, 2014. [Cited: mayo 14, 2022.] <https://andina.pe/agencia/nosotros>.
- Ariaza, A. 2013. Centro de investigación y desarrollo - CIAF. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8. [Online] 2013. [Cited: octubre 10, 2022.] <https://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>. ISSN 1011-48X.
- Arozamena, A., and et al. 2016. Sistemas de captura de la información: Fotogrametría y Teledetección. [Online] junio 2016. [Cited: abril 20, 2022.] [http://ocw.upm.es/pluginfile.php/1068/mod\\_label/intro/sist\\_capturay\\_analisis\\_inform.pdf](http://ocw.upm.es/pluginfile.php/1068/mod_label/intro/sist_capturay_analisis_inform.pdf). ISBN: 9788416277858.
- Carvacho, B. 2010. Comparación de índices de vegetación a partir de imágenes modis en la región Del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile, en el período 2001-2005. [icarvach@uc.cl](mailto:icarvach@uc.cl). [Online] Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de

Geografía, 2010. [Cited: noviembre 2, 2022.] <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/66614/CARVACHO.PDF;jsessionid=5F4D822311E493CBFE6EA3E9D409C26E?sequence=1&isAllowed=y>. ISBN 978-84-472-1294-1.

Ceceña M., Eaton A., Delgadillo J., Luna L. y Ortega A. 2015. Evaluación de cambios en la cobertura vegetal. [Online] junio 2015. [Cited: abril 23, 2022.] <https://www.redalyc.org/pdf/928/92838238011.pdf>. ISSN 1980-993X – doi:10.4136/1980-993X.

DIGESA. 2005. Dirección General de Salud Ambiental. Chiclayo, Inventario de emisiones de fuentes fijas. digesa.minsa.gob.pe. [Online] 2005. [Cited: 09 10, 2022.] [http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/inventario\\_aire/fuentes\\_fijas/Informe%20Chiclayo-Final.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/inventario_aire/fuentes_fijas/Informe%20Chiclayo-Final.pdf).

Domínguez, C. 2020. Estimación del estado de salud de la vegetación en ecosistemas vulnerables mediante imágenes hiperespectrales de teledetección. accedacris.ulpgc.es. [Online] 2020. [Cited: 2022 4, noviembre.] <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/75760/4/TFG%20Manuel%20Dominguez%20Calvo.pdf>.

EOS Data Analytics. 2018. What Is A VI, Or Vegetation Index? EOS.com. [Online] 2018. [Cited: mayo 20, 2022.] <https://eos.com/es/blog/ndvi-preguntas-frecuentes/>.

EOSDA. 2022. Space solutions for Earth problems. EOS DATA ANALYTICS. [Online] EOS SAT, 2022. [Cited: NOVIEMBRE 20, 2022.] <https://eos.com/es/blog/indices-de-vegetacion/>.

Fenosa, Fundación Gas Natural. 2018. La calidad del aire en las ciudades. Madrid. España.: Fundación Gas Natural, 2018. pp. ISBN: 978-84-09-01905-2.

Gallardo, Gómez. 2019. Centro de Investigación Biológica del Noroeste SC. Variación espacial y temporal de la vegetación en Baja California Sur, con énfasis en Áreas Naturales Protegidas. [Online] 2019. [Cited: octubre 3, 2022.] <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/2890>.

Gesta-Chiclayo. 2006. Plan "A Limpiar el Aire" de la cuenca atmosférica de Chiclayo. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe>. [Online] marzo 30, 2006. [Cited: octubre 12, 2022.] <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/276/BVI00059.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Hernández, C. 1991. Metodología de la investigación. [www.uv.mx](http://www.uv.mx). [Online] 1991. [Cited: septiembre 10, 2022.] [https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Methodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n\\_Sampieri.pdf](https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Methodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf). ISBN 968-422-931-3.

IDEAM. (s.f.). Contaminantes del aire y sus efectos. <http://documentacion.ideam.gov.co/>. [Online] (s.f.). [Cited: 10 5, 2022.] [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co).

Inacio, Huairé. 2019. Método de investigación. <https://www.aacademica.org>. [Online] 2019. [Cited: junio 3, 2022.] <https://www.aacademica.org/edson.jorge.huairé.inacio/35>.

INDECI. 2003. Plan de prevención ante desastres: usos del suelo y medidas de mitigación ciudad de Chiclayo. [bvpad.indeci.gob.pe](http://bvpad.indeci.gob.pe). [Online] 2003. [Cited: septiembre 4, 2022.] [http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios\\_CS/Region\\_lambayeque/chiclayo/chiclayo.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_lambayeque/chiclayo/chiclayo.pdf).

INEI. 2020. Proyecciones, Perú: estimaciones y proyecciones de población por departamento, provincia y distrito. Lima, Jesús María, Perú: s.n., enero 2020.

Lambayeque, Gobierno Regional. 2016. Plan Regional de Acción Ambiental. Chiclayo, Chiclayo, Perú: s.n., 2016.

M. Oyarzabal, M. Bustamante y M. Paruelo. 2013. Estimación del Índice de Cobertura Vegetal (ICV) en el marco del Índice de Conservación de los Pastizales Naturales (ICP) en campos ganaderos de los Pastizales del Cono Sur. Río de la Plata: s.n., 2013. p. 75. [https://pastizalesdelsur.files.wordpress.com/2014/03/libro-icp\\_final-parte-2.pdf](https://pastizalesdelsur.files.wordpress.com/2014/03/libro-icp_final-parte-2.pdf).

Martínez, J. y Martín, I. 2010. Guía didáctica de teledetección y medio ambiente. [Online] 2010. [Cited: marzo 20, 2022.] <http://www.aet.org.es/?q=guia-didactica>.

MINAM. 2013. Ministerio del Ambiente [www.minam.gob.pe](http://www.minam.gob.pe). Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013 - 2014. [Online] 2013. [Cited: 04 21, 2022.] <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>.

Muñoz, A. 2013. Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación. [Online] abril 2013. [Cited: noviembre 5, 2022.] <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/26389>.

NASA. 2013. Landsat: data continuity mission. [Online] 2013. [Cited: mayo 05, 2022.] <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>.

Nisperuza, D., et al. 2020. Teledetección: una herramienta para estudios de calidad del aire en la zona urbana del Valle de Aburrá. CL Montecinos - [researchgate.net](https://www.researchgate.net). [Online] diciembre 04, 2020. [Cited: mayo 06, 2022.] [https://www.researchgate.net/profile/Cristian-Lopez-Montecinos/publication/343295557\\_Fundamentos\\_Basicos\\_para\\_la\\_Teledetecci](https://www.researchgate.net/profile/Cristian-Lopez-Montecinos/publication/343295557_Fundamentos_Basicos_para_la_Teledetecci).

OPS. 2021. Organización Panamericana de la Salud. Calidad del aire. [Online] septiembre 22, 2021. [Cited: 10 9, 2022.] <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>.

Pérez, G. 2006. Teledetección, nociones y aplicaciones. Salamanca: Universidad de Salamanca, 2006. ISBN-10: 84-611-1613-5.

Porta, A. 2018. Calidad del Aire: Monitoreo y modelado de contaminantes atmosféricos. Buenos Aires. Argentina: Editorial de Universidad de la Plata, 2018. ISBN 978-950-34-1682-2.

Rojano, R., Arregoces, H. and Restrepo, G. 2014. Composición Elemental y Fuentes de Origen de Partículas Respirables (PM10) y Partículas Suspensas Totales (PST) en el Área Urbana de la Ciudad de Riohacha, Colombia. [Online] 2014.

Romero, P., Diego, O. and Álvarez, T. Mayo, 2006. Contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Habana: Revista cubana de higiene y epidemiología, mayo, 2006. pp. ISSN: 0253-1751. ISSN 0253-1751.

Rosas, P., et al. 2006. La percepción sobre la conservación de la cobertura vegetal. [book auth.] S. Urbina and F. (compiladores) Martínez., más allá del cambio climático. Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global. México: Instituto nacional de Ecología, 2006, pp. ISBN: 968-817-808-X.

Santana, M. and Escobar, A. & Capote, A. 2010. Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite. Santiago: Revista de Geografía Norte Grande, 45: 77-95, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022010000100006>, 2010. p. 15. ISSN 0718-3402.

Tello-Cifuentes, L., & Díaz-Paz, J., 2021. Analysis of Environmental Pollution Using Remote Sensing Techniques and Principal Component Analysis. [Online] enero 30, 2021. [Cited: mayo 02, 2022.] <https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/1710>. ISSN 0123-7799, ISSN-e 2256-5337 DOI: <https://doi.org/10.22430/22565337.1710>.

USGS. 2019. Science for a changing world. [Online] 2019. [Cited: mayo 13, 2022.] <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites>.

USGSS. 2019. Landsat collection 1 Level 1 product definition. [Online] abril 2019. [Cited: noviembre 2, 2022.] [https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1656\\_%20Landsat\\_Collection1\\_L1\\_Product\\_Definition-v2.pdf](https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1656_%20Landsat_Collection1_L1_Product_Definition-v2.pdf). LSDS-1656. Version 2.0.

Vargas, C. 2009. La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica <https://www.redalyc.org>. [Online] 2009. [Cited: septiembre 25, 2022.] <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>. ISSN: 0379-7082.

## ANEXOS

### Anexo 01.- Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
VI: Pérdida de la cobertura vegetal	Evento de alto impacto a nivel global con consecuencias en el ciclo hidrológico y en la capacidad de soporte del suelo. (Rosas, et al., 2006).	Reducción de las áreas verdes en zonas urbanas y periurbanas. Se mide con el índice de vegetación.	Espectral	Porcentaje del índice de cobertura vegetal  Reflectancia espectral de la vegetación	Razón
VD: Calidad del aire	La calidad del aire trata de la composición del aire y de la idoneidad del éste para determinadas aplicaciones (OEFA); en una determinada región e influenciada por parámetros meteorológicos (Porta, 2018)	Composición del aire:  el ozono (O3);  el dióxido de nitrógeno NO2); y  el dióxido de azufre (SO2).	Física	Contaminación del aire (indicadores físicos, químicos).  El índice de calidad del aire (ICA)  Índice Metropolitano de la Calidad del Aire	

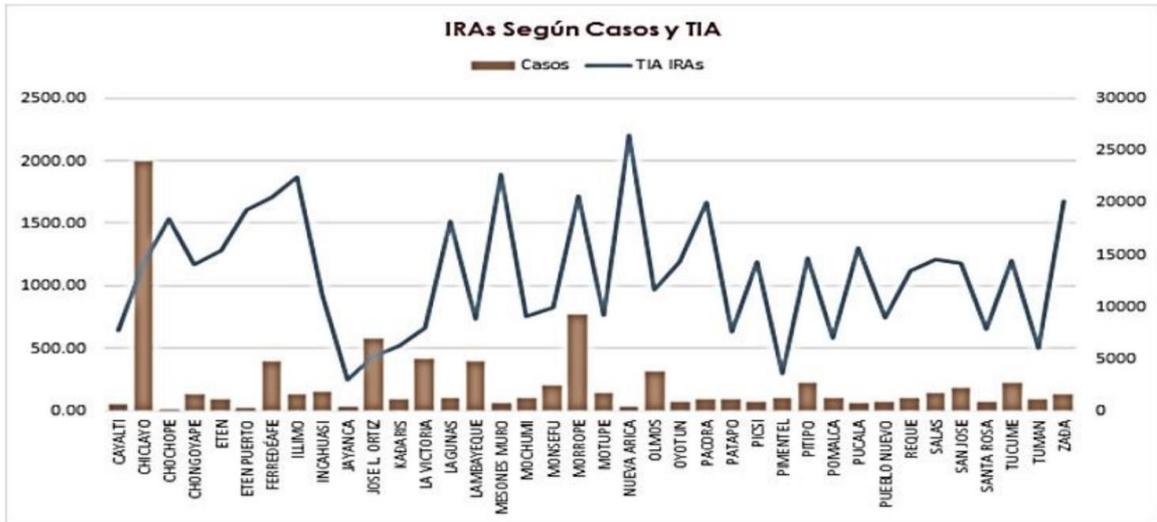
Fuente: elaboración propia.

### Anexo N°02.- Análisis multicriterio para determinar la muestra

TÉCNICA	: Observación.			
INSTRUMENTO	: Guía de análisis multicriterio.			
Sujeto de la evaluación	Criterio a evaluar			Valoración
Área de estudio	Información cartográfica	Información satelital	Índice de vegetación	(1-3)

Fuente: elaboración propia.

### Anexo 03.- Casos de IRAS distritos de Chiclayo



**Nota:** Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica, (GERESAL, 2019).

Fuente: “Polución ambiental por aerosoles atmosféricos que alteran la composición atmosférica que afecta la salud humana y favorecen el cambio climático en la ciudad de Chiclayo” (Gamara & Chávez, 2021)

### Anexo 04.- Adquisición de imágenes satelitales Landsat 8

4/12/22, 12:11 Correo: Maria Elena Silva Romero - Outlook

Welcome to EOSDIS Earthdata Login User Registration  
 urs-noreply@urs.eosdis.nasa.gov <urs-noreply@urs.eosdis.nasa.gov>  
 June 24/11/2022 08:39  
 Para: melena05@hotmail.com <melena05@hotmail.com>

**Welcome to EOSDIS Earthdata Login User Registration**

Hello, maria elena SILVA ROMERO.

Welcome to NASA's Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS)!

You have been registered as an EOSDIS data user in the Earthdata Login user registration system with the username silvaromero and the email address, melena05@hotmail.com. NASA thanks you for registering and helping us improve EOSDIS data access and other services. If you did not make this request, please contact [support@earthdata.nasa.gov](mailto:support@earthdata.nasa.gov).

Earthdata Login provides free and immediate access to thousands of EOSDIS data products covering all Earth science disciplines and topic areas for researchers, applied science users, application developers, and the general public. For more information about Earthdata Login benefits, features, and terms of service, go to [What do I need to know about Earthdata Login](#)

To log into Earthdata Login, go to <https://urs.earthdata.nasa.gov/>.

**GETTING STARTED**

Begin by verifying your email address. You can verify by following this link:  
[https://urs.earthdata.nasa.gov/email\\_verifications/klU6S\\_F2C49DhLoY3k6zQ](https://urs.earthdata.nasa.gov/email_verifications/klU6S_F2C49DhLoY3k6zQ)

Start searching for and downloading Earth science data using [Earthdata Search](#):  
<https://search.earthdata.nasa.gov>

Start viewing the latest Earth science imagery using [Worldview](#):  
<https://worldview.earthdata.nasa.gov>

To learn more about NASA's Earth science data, the science discipline-oriented Distributed Active Archive Centers (DAACs), NASA Earth science missions, and other information, visit [Earthdata](#):  
<https://earthdata.nasa.gov>

<https://outlook.live.com/mail/0/inbox/id/AQMADAAeATN2znYAZC3MjNLTy1ODAMDAcL1aWcPgBAAADpK78QeYx02I7UealyAaA3L4odm...> 1/2

4/12/22, 12:11 Correo: Maria Elena Silva Romero - Outlook

Please visit the Earthdata Forum at <https://forum.earthdata.nasa.gov>, where you can interact with other users and NASA subject matter experts on a variety of Earth science research and applications topics.

**TRAINING**

NASA's Applied Remote Sensing Training Program (ARSET) empowers the global community through remote sensing training. With online and in-person training, participants learn to use NASA Earth data and models for environmental management and decision support. Trainings are intended primarily for policymakers, NGOs, and other applied science professionals. To learn more, visit <http://arset.gsfc.nasa.gov>

**GETTING HELP**

Send an email to [support@earthdata.nasa.gov](mailto:support@earthdata.nasa.gov) for help, or if you have questions or comments, please let us know.

Thanks,  
 The EOSDIS Earthdata Login Team

<https://outlook.live.com/mail/0/inbox/id/AQMADAAeATN2znYAZC3MjNLTy1ODAMDAcL1aWcPgBAAADpK78QeYx02I7UealyAaA3L4odm...> 2/2

## Anexo 05.- - Equipo navegador GARMIN 750

### ESPECIFICACIONES



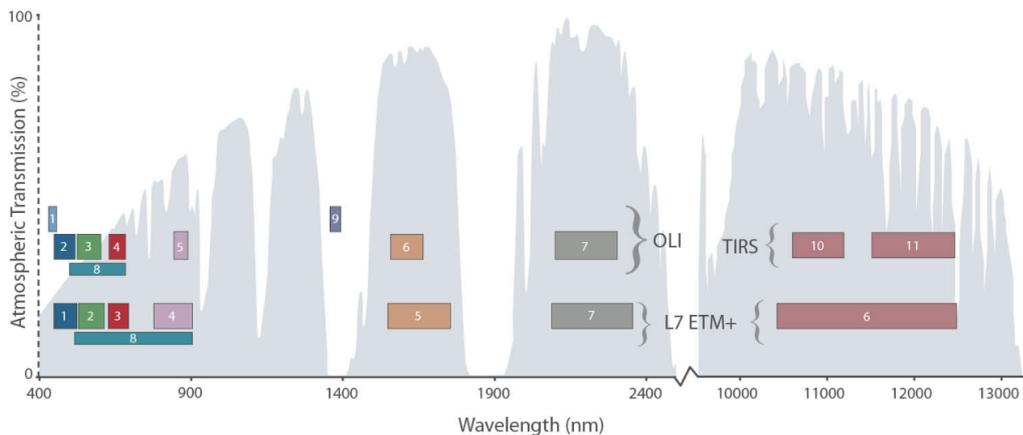
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE RENDIMIENTO	
Dimensiones de la unidad (Ancho/Alto/Profundidad)	6,1 x 11,4 x 3,3 cm
Peso	209,8 g con baterías
Resistencia al agua	IPX7
Batería	Batería NIMH recargable (incluida) o 2 pilas AA (no incluidas); se recomienda NIMH o litio
Pantalla táctil	Si
Tipo de pantalla	Pantalla táctil TFT en color transactiva
Tamaño de la pantalla (Ancho/Alto)	3,8 x 6,3 cm; 7,8 cm diagonal (3")
Resolución de pantalla (Ancho/Alto)	240 x 400 píxeles
Autonomía de la pila/batería	Hasta 16 horas
Memoria/historial	4 GB
Receptor de alta sensibilidad	Si
Interfaz del equipo	Compatible con USB de alta velocidad y NMEA 0183
MAPAS Y MEMORIA	
Posibilidad de agregar mapas	Si
Mapa base	Si
Admite tarjetas de datos	Tarjeta microSD™ de hasta 32 GB (no incluida)
Waypoints	10.000
Rutas	250
Tracks	20.000 puntos, 250 tracks guardados
Mapas preinstalados	No
SENSORES	
Altimetro barométrico	Si
Bújula	Si (tres ejes con inclinación compensada)

FUNCIONES DE OCIO AL AIRE LIBRE	
Cálculo de áreas	Si
Creación automática de rutas (giro a giro en carretera)	Si (con mapas opcionales con información detallada de las carreteras)
Modo geocaching	Si (paperless)
Compatible con los mapas personalizados	Si
Calendario de caza y pesca	Si
Información astronómica	Si
Camera	Si (8 megapíxeles con enfoque automático; zoom digital)
Visor de imágenes	Si
GARMIN CONNECT™	
Compatible con Garmin Connect™ (comunidad online en la que puedes analizar, clasificar y compartir datos)	Si
ADICIONAL	
Compatibilidad inalámbrica: si (Wi-Fi, Bluetooth y ANT+)	
Segmentos de mapas: 15.000	
Tiempo activo: si	
Compatible con Connect IQ: si (widgets, aplicaciones y campos de datos)	
Linterna: si	



Fuente: <https://aydtopografia.com.pe/portal/productos/gps/gps-navegadores/78-gps-navegadores/garmin/229-gps-garmin-oregon-750>

## Anexo 06.- sensores OLI y TIRS para Landsat 8



The OLI collects data for two new bands, a coastal/aerosol band (band 1) and a cirrus band (band 9), as well as the heritage Landsat multispectral bands. Additionally, the bandwidth has been refined for six of the heritage bands. The Thermal Instrument (TIRS) carries two additional thermal infrared bands. Note: atmospheric transmission values for this graphic were calculated using MODTRAN for a summertime mid-latitude hazy atmosphere (circa 5 km visibility). Graphic created by L.Rocchio & J.Barsi.

Fuente: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, PONCE AYALA JOSE ELIAS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Técnicas de teledetección para identificar el impacto de la pérdida de la cobertura vegetal sobre la calidad del aire - Chiclayo.", cuyo autor es SILVA ROMERO MARIA ELENA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 23.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 14 de Noviembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
PONCE AYALA JOSE ELIAS <b>DNI:</b> 16491942 <b>ORCID:</b> 0000-0002-0190-3143	Firmado electrónicamente por: PAYALAJE el 12-12- 2022 09:43:17

Código documento Trilce: TRI - 0439895