

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“RELACIÓN DE LA EXPANSIÓN MINERA EL  
TORO Y LA COBERTURA VEGETAL DEL  
DISTRITO DE HUAMACHUCO- LA LIBERTAD, EN  
EL PERIODO DE 2011 A 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniera Ambiental**

**Autor:**

Maria de los Angeles Quispe Monroy

**Asesor:**

Mg. Ing. Margeo Javier Chumán Lopez

<https://orcid.org/0000-0002-4038-7591>

Lima - Perú

## JURADO EVALUADOR

|                           |                                    |                 |
|---------------------------|------------------------------------|-----------------|
| Jurado 1<br>Presidente(a) | <b>Carlos Alberto Alva Huapaya</b> | <b>06672420</b> |
|                           | Nombre y Apellidos                 | Nº DNI          |

|          |                                    |                 |
|----------|------------------------------------|-----------------|
| Jurado 2 | <b>Haniel Josue Torres Joaquin</b> | <b>45772010</b> |
|          | Nombre y Apellidos                 | Nº DNI          |

|          |   |                 |
|----------|---|-----------------|
| Jurado 3 | <b>Marieta Eliana Cervantes Peralta</b> | <b>29425048</b> |
|          | Nombre y Apellidos                      | Nº DNI          |

## **DEDICATORIA**

Dedicado principalmente a mis padres, Lorenza Quispe Laura y William Monroy Quispe por su apoyo incondicional y dedicación en toda mi etapa académica, asimismo a mis amistades cercanas por cada momento brindado.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestro Señor de Qoyllority,  
a mi familia y a mi gran amigo Javier  
Chumpe Avilez por su apoyo incondicional  
durante mi etapa académica.

A mi asesor Javier Chuman López por la  
paciencia y apoyo brindado en la ejecución  
de este estudio.

## TABLA DE CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| JURADO EVALUADOR  | 2         |
| DEDICATORIA   | 3         |
| AGRADECIMIENTO  | 4         |
| ÍNDICE DE TABLAS  | 7         |
| ÍNDICE DE FIGURAS   | 8         |
| RESUMEN   | 9         |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN                                    | 10        |
| <b>Realidad problemática</b>                                | <b>10</b> |
| <b>Antecedentes</b>   | <b>12</b> |
| <b>Bases teóricas</b>                                       | <b>15</b> |
| <b>Justificación</b>  | <b>24</b> |
| <b>Formulación del problema</b>                             | <b>25</b> |
| Problema General  | 25        |
| Problemas Específicos                                       | 25        |
| <b>Objetivos</b>  | <b>25</b> |
| Objetivo General  | 25        |
| Objetivos Específicos                                       | 25        |
| <b>Hipótesis</b>  | <b>26</b> |
| Hipótesis General   | 26        |
| Hipótesis Específicos                                       | 26        |
| CAPÍTULO II: METODOLOGÍA                                    | 27        |
| <b>2.1. Tipo de investigación</b>                           | <b>27</b> |
| <b>2.2. Población y Muestra</b>                             | <b>27</b> |
| <b>2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b> | <b>28</b> |
| <b>2.4. Procedimientos</b>                                  | <b>28</b> |
| Delimitación  | 28        |
| Adquisición de datos  | 28        |
| Preprocesamiento de imágenes                                | 28        |
| Procesamiento de imagen                                     | 29        |

|   |           |
|---|-----------|
| Análisis de datos   | 33        |
| Consideraciones éticas  | 33        |
| <b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b>   | <b>34</b> |
| <b>3.1. Caracterización geográfica y delimitación zona de estudio</b>             | <b>34</b> |
| <b>3.2. Análisis temporal de la expansión minera</b>                              | <b>35</b> |
| <b>3.3. Análisis temporal de la cobertura vegetal</b>                             | <b>37</b> |
| <b>3.4. Análisis de correlación de la expansión minera y la cobertura vegetal</b> | <b>41</b> |
| <b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>                                      | <b>43</b> |
| <b>CONCLUSIONES</b>   | <b>47</b> |
| <b>REFERENCIAS</b>  | <b>48</b> |
| <b>ANEXOS</b>   | <b>54</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Tipos de explotación minera.....                       | 15 |
| <b>Tabla 2.</b> Aplicaciones de las diferentes bandas espectrales..... | 19 |
| <b>Tabla 3.</b> Asignación de valor para las clases de coberturas..... | 31 |
| <b>Tabla 4.</b> Estimación del área de la actividad minera .....       | 35 |
| <b>Tabla 5.</b> Estimación de la cobertura vegetal. ....               | 38 |
| <b>Tabla 6.</b> Prueba de normalidad Shapiro Willk.....                | 41 |
| <b>Tabla 7.</b> Prueba de correlación de Spearman.....                 | 42 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Flujograma del procedimiento desarrollado en la presente investigación                                 | 32 |
| <b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica de la Mina El Toro .....   | 34 |
| <b>Figura 3.</b> Tasa de cambio de la expansión de la Mina El Toro .....   | 36 |
| <b>Figura 4.</b> Mapa de crecimiento superficial de la superficie de la Mina El Toro del periodo del 2011 a 2020. .... | 37 |
| <b>Figura 5.</b> Tasa de cambio de la cobertura vegetal del 2011 a 2020.....   | 39 |
| <b>Figura 6.</b> Tendencia temporal de la expansión minera y la cobertura vegetal .....                                | 39 |
| <b>Figura 7.</b> Mapa de detección de cambio de la cobertura vegetal y minería del 2011 y 2020 .....                   | 40 |
| <b>Figura 8.</b> Diagrama de dispersión de puntos .....  | 42 |

## RESUMEN

La minería a cielo abierto es una de las explotaciones con mayores impactos registrados sobre la cubierta vegetal debido a la remoción de suelos para la extracción de mineral, produciendo la fragmentación de la cubierta vegetal. La presente investigación tuvo como fin estimar la relación de la expansión de la mina El Toro y la cobertura vegetal de la ciudad de Huamachuco entre el periodo del 2011 a 2020. Se emplearon imágenes satelitales de los productos de Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI, con las cuales fueron procesados mediante el software ArcGIS 10.3 y ENVI 5.3, asimismo como método se empleó la clasificación supervisada para la identificación de cubiertas y el índice de vegetación normalizada (NDVI). Luego se procedió a cuantificar el área de expansión de la actividad minera y tasa de cambio correspondiente de la cobertura vegetal. Los resultados obtenidos muestran un incremento de la expansión minera a razón de 21.8 ha/año y un descenso de la cobertura vegetal de 31.5 ha/año, asimismo se observó una correlación estadística superficial de ( $Rho=-0.988$ ) entre la expansión de la mina el toro y la cobertura vegetal. Este tipo de estudios permitirá identificar y estimar los cambios en la superficie producto de la minería, asimismo el uso de imágenes satelitales es una herramienta rápida de libre acceso para el monitoreo de impactos generados por estas actividades.

**PALABRAS CLAVES:** teledetección, cobertura vegetal, Mina El Toro.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### Realidad problemática

La minería es una de las actividades extractivas con gran crecimiento y desarrollo en cualquier parte de mundo, asimismo constituye un soporte para la industria manufacturera (Agwa-Ejon, y Pradhan, 2018). En la actualidad los diversos impactos generados producto de la expansión de la actividad minera son de naturaleza geográfica, debido a la alteración en la cobertura superficial, por la presencia de tajos a cielo abierto, botaderos de estériles, presas de relaves, estanques de almacenamiento, creación de caminos de acceso e infraestructura de procesamiento (Werner, Bebbington y Gregory, 2019).

En el Perú la actividad minera se centra, principalmente en cobre, zinc, plomo, oro y plata, asimismo tomo un papel impórtate en el PBI y su comportamiento es esencial en la economía. Distintas regiones del país se ha desarrollado la minera a cielo abierto y en los últimos años se registra un gran incremento a esto se suma el impacto que ejerce sobre el medio ambiente las cuales dan como resultado: terrenos afectados , cuerpos de aguas alterados y calidad aire , entre otros (Rodriguez y Menacho, 2017). Asimismo, se suma los impactos generados en la población circunvecina a la zona de afluencia minera , llegando a situaciones de violencia que comprometen al orden mundial y nacional por la disputa de su propiedad y beneficios, los cuales afectan la economía local , salud y cultura (Ccama ,Jurado y Acero, 2018)

La ciudad de Huamachuco, capital de la provincia de Sánchez Carrión, región de la Libertad, se encuentra influenciada por la actividad minera debido a los depósitos presentes de cobre, zinc, oro, plata y plomo. Asimismo, es considerada un territorio funcional ya que responde a ciertas necesidades para las unidades mineras que se ubican próximos a la ciudad. Aproximadamente a 15 minutos de la ciudad se encuentra el Cerro El Toro donde se desarrolla el Proyecto Minero El Toro, operada por la Corporación del Centro S.A.C., hoy

en día renombrada como Summa Gold, empresa dedicada a la minería metálica a tajo abierto donde su único metal principal es el oro, asimismo a este proyecto están inscritas 9 concesiones.

En cuanto a la cobertura vegetal de la ciudad de Huamachuco está definida por criterios geográficos, fisonómicos, condición de humedad y excepcionalmente florísticos lo que permite que se desarrollen una cubierta vegetal las cuales corresponde a extensiones de pajonales y matorrales el cual constituyen la cobertura vegetal nativa de la zona, donde parte de su vegetación destacan las cactáceas, herbáceas y distintos tipos de matorrales como el chillco y la caña brava. Asimismo, existen extensiones vegetativas originadas por la mano del hombre las cuales corresponden a extensiones agrícolas y plantaciones forestales (Minam, 2013). Para estimar el grado de vegetación se hace uso del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) el cual facilita detectar el estado de crecimiento y calidad de la vegetación (Liu et al., 2019).

Los estragos desarrollados por la minería a cielo abierto en la ciudad de Huamachuco están relacionados con la explotación ya que requieren grandes extensiones de terreno, lo cual origina el desplazamiento de suelos y genera un paisaje fuertemente modificado (Gonzales, 2017). Del mismo modo se suma la pérdida de flora nativa de la zona, debido a la presencia de contaminantes en cultivos, del mismo modo la contaminación de cuerpos de agua superficiales – subterráneas, pérdida de espacio forestales y terrenos de cultivos (Fabre, Giménez, Elger y Rivière, 2020). En este sentido, las coberturas vegetales cumplen un rol importante en los servicios ecosistémicos ya que brindan un bienestar y una calidad de vida óptima a habitantes, lo cual representa un factor determinante en el desarrollo local y regional (Cortes & Rubio, 2016).

Son innumerables los problemas relacionados a los impactos generados por la actividad antrópica sobre el suelo, para estimar estas alteraciones a través del tiempo se

emplea la teledetección y el sistema de información geográfica, el cual nos permite detectar los cambios que han tenido en el tiempo; de igual manera, nos permite analizar la relación que tienen los sistemas productivos sobre dichas actividades, mediante el procesamiento de imágenes satelitales se ha demostrado que brindan la posibilidad de cuantificar y estimar extensiones territoriales ,cuerpos de agua , entre otros (Flores-Yepes et al., 2017).Pues la percepción remota ha mejorado continuamente, ya que permite monitorear la distintas cubiertas terrestres existentes (Cabello y Paruelo 2008), para este tipo de estudios el satélite con mayor análisis temporal es generado por las misiones LandSat 5, 7 y 8 y el multisatelite Sentinel.

### **Antecedentes**

*En las siguientes líneas, se da a conocer las referencias empleadas para el propósito de la investigación:*

Kamgan et.al., (2020) en su investigación que tuvo como fin monitorear la influencia de la extracción de oro sobre cobertura entre el periodo de 1987 a 2000 de los distritos de Bétaré-Oya, Ngoura y Batouri. Empleando una serie de imágenes Landsat y mediante la técnica de clasificación supervisada compuesta en 5 clases de cobertura. Como resultado se evidencio un descenso en la cobertura de 61.68 km<sup>2</sup> producto de la actividad minera.

Según Alata (2018), desarrollo un estudio con el fin de analizar la expansión minera en los distritos de Ananea y Cuyocuyo Puno. Para ello, se consideró el análisis multitemporal de las imágenes satelitales durante el periodo 1975-2017, asimismo, se tomó en cuenta el uso del índice de vegetación NDVI. Los resultados demuestran una reducción de cobertura vegetal de 1311 km<sup>2</sup> por año, lo que resulta ser una pérdida de 5.47%. Asimismo, se evidencia un incremento de la expansión minera acumulada de 8064.32 ha. Se concluye que, la aplicación de percepción remota permite cuantificar cambios en la cobertura del distrito de Ananea y Cuyocuyo.

Por otra parte, Nathalia et al. (2018) emplearon técnicas de teledetección cuantificar la variación de la cobertura durante las actividades mineras en la región de Aravalli Hill, entre 2002-2011, registraron un incremento de 1268.499 Ha en la zona de explotación, asimismo los cuerpos de agua y colinas se redujo a 31.97 Ha. Igualmente, Kumar y Pandey (2013), investigaron el cambio espacio temporales cobertura del suelo en la zona de mina de carbón y áreas circundantes en South Karanpura -India mediante imágenes satelitales, durante el período de 1992 a 2009, obteniendo una reducción de la cobertura vegetal en un 71.85%.

Del mismo modo Chunzhu *et al.* (2017), identifico los cambio temporales y espaciales del uso del suelo y paisaje en la zona minera de carbón en el prado Xilingol , mediante la asignación de siete clases de uso de suelo por el método de clasificación supervisada en imágenes satelitales del 2005,2009 y 2015 .Teniendo como resultado que la minería de carbón superficial alteró el ecosistema de pastizales redujeron en 8661,15 hm<sup>2</sup> en 2005-2015 , asimismo las precisiones generales de clasificación fueron 97,72 %, 98,43 % y 96,73 %, respectivamente y los coeficientes Kappa fueron 0,95, 0,97 y 0,95.

Gomez et al. (2017), desarrollo un estudio con el objetivo de evaluar los cambios de la cobertura del suelo influenciados por la minera aurífera en el municipio de Nechí:Una durante un periodo de análisis de 24 años (1986-2010). Para ello, se consideró el uso de las imágenes Landsat 5 y 7. De igual modo se complementó el uso del índice NDVI y la técnica de clasificación supervisada. Los resultados reflejaron una pérdida de la cobertura vegetal arbórea de 124,8 km<sup>2</sup>, evidencia contraria resulto para los cuerpos de agua, pues presentaron un incremento superficial de 66,3 km<sup>2</sup>. Por otro lado, se evidencia un incremento de la expansión minera a una razón del 33%, esto a causa de la explotación del oro en la región, ello indica su influencia en los cambios de la cobertura vegetal y un incremento del espejo de agua con el fin de beneficiar la actividad minera.

Lehmann et. al. (2016), estimaron los efectos de las actividades mineras en el uso del suelo y los cambios en la cobertura del suelo en el distrito minero de Gatumba en Ruanda entre 1958 - 2009. Los resultados fueron parte de la superficie forestal disminuyó en un 54%, asimismo mencionan la presencia de variaciones de la cobertura es principalmente por el Gobierno por no regular legalmente las actividades mineras el cual provoca la degradación de suelos.

Mientras Demirel, Düzgün y Emil (2011) analizaros los cambios del paisaje debido a las actividades de extracción de carbón de lignito en la superficie en Goynuk, Bolu, Turquía, entre el 2004 a 2008, identificando una reducción de 192.5 Ha debido al vertedero minero, asimismo 172 Ha de cobertura vegetal. asimismo, mencionan que la metodología empleada es eficaz para monitoreo cambios del uso de a tierra superficial y proporciona información para planificar la recuperación de zonas después del cierre de la mina.

Rojas (2017), su investigación tuvo como propósito estimar las áreas deforestadas a causa de la minería aurífera aluvial, en la Quebrada Guacamayo, ubicada en la región Madre de Dios, Perú. El cual empleo imágenes satelitales de los sensores TM, ETM+ y OLI y mediante el programa ENVI v5.2 se realizó las correcciones atmosféricas , asimismo se determinó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Los resultados obtenidos muestran que la deforestación por minería aurífera en la Quebrada Guacamayo, se reflejó una tasa de cambio entre el periodo 2006 – 2015 de 1260 ha/año, también se identificó que el mayor incremento anual de la deforestación por esta actividad, se dio entre los años 2010 – 2011, a causa de un incremento del precio del oro durante este periodo, con un área estimada de 1 746.45 ha. Finalmente, el análisis de correlación de Pearson de la deforestación y la expansión minera resulto de 0.95.

Miyasiro & Ortiz (2016), realizo un estudio con el fin de conocer la variación de la

cobertura vegetal del distrito de Villa María del Triunfo y su relación con la expansión urbana y minera durante el periodo 1986- 2014. Para ello se aplicó la teledetección y el índice de vegetación normalizada NDVI, este proceso permitió identificar las superficies cubiertas de cobertura vegetal y superficies mineras-urbanas. Los resultados demostraron un incremento de 26.3% de la superficie urbana y 3.4% en superficie minera durante el periodo mencionado, La cobertura vegetal se redujo de 4099.60 ha hasta 2221.30 ha. Se concluye que la expansión minera-urbano, tuvo influencia en la cobertura vegetal

## Bases teóricas

### Minería

La minería es la actividad antrópica con el fin de extraer minerales de la superficie terrestre (Fonseca, 2004). De igual manera Meza (2013), define a la minería como la obtención selectiva de los minerales con un fin de beneficio económico. De igual manera Meza (2013), menciona que las características de la actividad minera provocan cambios en los componentes ambientales, más aún, si estas no cumplen con normativas o procesos ambientales, que permiten la minimización de los impactos como la rehabilitación de terrenos, en la **Tabla 1**, se muestra los tipos de explotación minera.

**Tabla 1.**

*Tipos de explotación minera*

| Tipo de explotación minera | Características   |
|----------------------------|---|
| Subterránea                | Se desarrolla en el interior de la tierra, por tanto, hay remoción de la cobertura orgánica, se desarrolla mediante túneles horizontales o verticales.                                |
| Cielo Abierto              | Se desarrolla sobre la superficie de la tierra y consiste en la remoción de una gran cantidad de suelo y la pérdida de la cubierta orgánica, se realiza por capas, formando terrazas. |
| Aluvial                    | Actividad minera desarrollada en las riberas o cauces de ríos   |
| Submarina o dragado        | Se permite sacar materiales que se encuentren en el río u océano, gracias al dragado.   |

*Nota:* Fuente obtenida de Banco Central del Ecuador (2015)

## **La expansión minera**

Se entiende por expansión minera al crecimiento espacial horizontal de la minería, ello involucra sus componentes operativos y los componentes auxiliares, como los campamentos (Pérez et al., 2008)

## **Cobertura vegetal**

La cobertura vegetal es una característica biofísica de una superficie de suelo vegetal o restaurada, los beneficios de una cobertura vegetal se encuentran en los servicios ecosistémicos naturales. (Velázquez et al., 2010). Además, la vegetación como recurso vegetal cumple las funciones de refugio de vida silvestre, regulación del clima, secuestro de carbono y otros (Velázquez et al., 2010). Sin embargo, el desarrollo de diversas actividades económicas conduce a la pérdida de la cobertura vegetal o deforestación, que es la remoción de parte o la totalidad de la vegetación (Gonzales et al., 2010). En este sentido, una de las actividades de mayor impacto es la minería, pues la explotación requiere la remoción de grandes volúmenes de tierra. Los principales impactos incluyen: cambios del paisaje, erosión del suelo, fragmentación del hábitat, pérdida de corredores naturales y pérdida de biodiversidad (Millán et al., 2007).

## **Perdida de cobertura vegetal**

Quesada (2015), concluye que la minería se evalúa como una causa de la deforestación, especialmente en las coberturas endémicas, las remociones vegetación se dan para despejar caminos o establecer campamentos temporales. Asimismo, la recuperabilidad de la cobertura vegetal no logra ser complemente efectiva, debido a que ya se ha alterado las redes tróficas y los componentes químicos-orgánicos del suelo.

## **Sistemas de información geográfica**

Son herramientas de alta aplicación en temas de gestión geográfica, logra obtener información de buena resolución geográfica a través de imágenes satelitales, de calidad y bajo costo, funciona a través de una serie de procedimientos con herramientas de ajuste geográfico (Cure, 2012). Los SIG posibilitan el manejo de la información espacial, a través de datos que permitirán resolver problemas ambientales, para demostrar que es una alternativa para responder y remediar daños ambientales. Los principales componentes de los SIG son: ordenador; software: programa capacitado, para la obtención de mapas temáticos (Peña, 2007).

## **Teledetección**

La teledetección presenta los siguientes elementos: sensor, flujo corporal y energía, que es la responsable de la interacción entre los elementos territoriales, aquí hay tres formas de obtener información a mediante un sensor remoto: por reflexión, por emisión, por reflexión de emisión. (Chuvienco 1996; Rodriguez y Arredondo 2005; De la Mora 2011). El flujo de energía en la tierra y el sensor remoto constituyen los componentes principales de la teledetección (De la Mora 2011). Las aplicaciones de la teledetección son (Chuvienco, 1996) directamente direccionadas a las ciencias del medio ambiente.

## **Imágenes de satélite**

Es una representación visual de los de la información electromagnética de la superficie terrestre capturados por un sensor montado en un satélite (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014).

## Tratamiento de Imágenes

Las imágenes satelitales obtenidas de la captura de la superficie terrestre requieren de previo tratamiento antes de ser manipulado la obtención informática. La información remota se recopila a través de la detección remota, por tanto, detectan la luz visible y procesan los reflejos de cada objeto en diferentes cantidades de energía (CIG, 2012). A continuación, se muestra las correcciones más comunes:

- **Corrección Geométrica:** La información obtenida de los sensores remotos introduce constantemente errores derivados del sistema de captación, que se pueden corregir utilizando la información de la plataforma y el conocimiento de la deformación del sensor. Asimismo, para la corrección es indispensable el control en tierra. Entre las causas de los errores geométricos tenemos la velocidad de la base y la rotación de la Tierra. Por otro lado, las distorsiones de origen no uniforme incluyen errores debido a la altura y posición del sensor (Jensen 1996).
- **Calibración Radiométrica:** El flujo radiactivo recogido por un sensor remoto, en varios rangos, es una representación de las características de la superficie terrestre. Desafortunadamente, no es así, y los errores pueden ingresar mediante la medición de radiación en los datos del sensor cuando los detectores individuales funcionan inadecuadamente o calibración incorrectamente (Jensen 1996). Por otro lado, la interferencia atmosférica entre el terreno de interés y el sensor remoto puede generar tanto ruido (error) que la energía recibida por el sensor no coincide con la reflejada o emitida por el terreno (Jensen 1996; Chuvieco ,1996; Chuvieco ,2010). Mejorar las condiciones de calibración del sensor se ha convertido en un problema importante en la detección de cambios digitales, ya que la firma espectral cambia en píxeles (Chuvieco ,1996; Chuvieco ,2010).

- **Corrección atmosférica** Es un conjunto de procesos destinados a eliminar las influencias electromagnéticas reflejadas por la atmosfera, como el vapor de agua (humedad) y los aerosoles como el polvo (Carnegie Institution for Science, 2013).

## El Programa LANDSAT

A mediados de 1960, surge del departamento del interior de los Estados Unidos un satélite con finalidad de observación de la tierra, con el fin de vigilar los recursos naturales. El programa Landsat es actualmente administrado por la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y por la USGS (United States Geological Survey). El éxito del programa se debe a las múltiples bandas espectrales destinadas a la observación de la tierra, resolución espacial funcional y su gran cobertura (Chuvieco 2010; Rodriguez y Arredondo 2005). En la tabla 2, se muestra las distintas bandas espectrales de las imágenes landsat; así como también sus distintas aplicaciones.

**Tabla 2.**

*Aplicaciones de las diferentes bandas espectrales*

| Banda espectral                   | Aplicaciones  |
|-----------------------------------|---|
| Azul (0.45-0.5 um)                | Infiltración de agua, usos del suelo, características de la vegetación, sedimentos. |
| Verde (0.5-0.6 um)                | vegetación sana   |
| Rojo (0.6-0.7 um)                 | Discriminación de la vegetación por la absorción de la clorofila.                   |
| Pancromático (0.5-0.75)           | uso de la tierra  |
| Infrarrojo reflectivo (1.5-1.75)  | Biomasa, Determinación de cultivos, Límites de tierra y agua                        |
| Infrarrojo medio (1.5-1.75)       | Vegetación, zonas áridas, nubosidad, hielo, nieve.                                  |
| Infrarrojo medio (2-2.35)         | Geología  |
| Infrarrojo térmico (10-12.5)      | temperatura, clasificación de la vegetación   |
| Microonda de onda corta (0.1-5cm) | nieve, contenido de agua en la vegetación.  |
| Microonda de onda larga (5-24cm)  | Medidas del suelo, límites entre tierra y agua                                      |

*Nota:* Fuente obtenida de Chuvieco (2010); Rodriguez y Arredondo (2005)

Las imágenes Landsat se distinguen por la variedad de bandas espectrales que las componen. Las características fundamentales son una resolución de 30 metros, a excepción de una de 15m. Y en el caso de la banda térmica la resolución se incrementa de 120 a 60 metros. Cada escena cubre 180x175 km<sup>2</sup>. Las principales áreas de aplicación de las imágenes son la identificación y clasificación de las diversas capas del manto de la superficie terrestre, como la humedad del suelo, vegetación, el mapeo hidrotermal y los estudios multitemporales (Mendoza, 1999, p.85).

## **LANDSAT 8**

Landsat 8 orbita la Tierra en una rotación casi polar sincrónica con el Sol a una altitud de 705 km, inclinada a 98. 2°, y completa una órbita cada 99 minutos. El satélite tiene un ciclo repetitivo de 16 días. Landsat 8 registra alrededor de 740 escenas por día con una superposición de bordes del 7%. Los productos de datos creados a partir de escenas Landsat 8 OLI / TIRS se pueden descargar desde Earth Explorer, GloVis y LandLook Viewer (Jiménez, 2014).

### **Clasificación de imágenes supervisada**

Una de las herramientas es el análisis multi-tiempo. Este es un estudio comparativo que permite detectar y cuantificar los cambios en el uso del suelo de diferentes ecosistemas naturales en un rango de tiempo mediante las imágenes satelitales (Ruiz, Savé y Herrera, 2013). Por tanto, la clasificación supervisada es la agrupación espectral de conjuntos elementales con comportamientos similares, esto permite una mayor identificación de la superficie terrestre, además, es necesario el conocimiento apriori para la clasificación supervisada, ya que será introducido el conocimiento del territorio en estudio.

## Identificación de impactos sobre la cobertura vegetal

En la determinación de los impactos de la expansión minera sobre los cambios de la cobertura vegetal se determina la pérdida de cobertura vegetal, mediante el *Cálculo de pérdida de cobertura vegetal recomendado por Echeverría, et al. (2006)*.

### Ecuación 1. Determinación de pérdida de cobertura vegetal

$$P = \frac{100}{(t2 - t1)} \times \ln\left(\frac{A2}{A1}\right)$$

P: Tasa de pérdida de cobertura vegetal por año

t1: Año de inicio del período

t2: Año final del período

A1: Superficie de cobertura al inicio del período

A2: Superficie de cobertura al final del período

## Índices de Vegetación

Un índice de vegetación es una transformación que implica una combinación matemática entre capas digitales almacenadas en dos o más bandas espectrales de una misma imagen (Speranza y Zerda, 2002). El desarrollo de estos indicadores se debió a la observación de una respuesta constante a los reflejos rojos e infrarrojos de la vegetación verde. Cuanto mayor sea la cantidad de clorofila, mayor será la absorción de la luz roja incidente. Cuanto mayor sea el volumen de la hoja, mayor será el reflejo de la luz infrarroja cercana. Teniendo en cuenta que puede haber una cubierta con alta reflectancia en infrarrojo y una cubierta con alta reflectancia en rojo, usar una sola banda puede causar errores. Sin embargo, solo la vegetación viva provoca ambas reacciones sin excepción. Por lo tanto, al calcular la relación de reflectancia infrarroja a roja, la diferencia entre ellos, cuanto más vegetación haya, mayor será la relación (o diferencia). Esto se debe a que el primero siempre

aumenta y el segundo disminuye. Esto se debe al efecto aditivo. Se generó más vegetación (Towers, 2002; Gonzaga 2014).

## **NDVI**

El NDVI es un índice que permite estimar la cantidad y calidad de la vegetación midiendo la intensidad de la radiación de bandas específicas del espectro electromagnético que compone la vegetación (mediante un sensor remoto, generalmente instalado en una plataforma espacial) (Geoinnova, s.f.). Índice generado por valores de banda en los rangos espectrales rojo (0,6 0,7  $\mu\text{m}$ ) e infrarrojo cercano (0,7 1,3  $\mu\text{m}$ ). Los valores altos corresponden a áreas con mucha vegetación debido a su alta reflectancia del infrarrojo cercano y baja reflectancia del rojo visible. Los valores negativos se asocian con coberturas como agua, nubes y nieve. Esto se debe a que la luz visible tiene presenta alta reflectancia que la luz infrarroja. Los valores cercanos a 0 (cero) tienen referencia a áreas desnudas y rocosas ya que estas cubiertas tienen reflectancias similares al rojo visible y al infrarrojo cercano. (Edrosa, 2011, p.26)

## **Análisis multitemporal**

El primer aspecto es utilizar la dimensión temporal para mejorar la interpretación de la imagen proporcionando un valioso relato de la evolución biofenológica de las especies vegetales (Chuvieco, 1995). El análisis multitemporal permite el registro histórico de espacios específicos que muestran la dinámica del área de interés. De esta manera, puede comprender comportamientos como la cobertura vegetal, la expansión urbana y el clima. Tiene un registro histórico que le permite estimar y crear escenarios futuros.

## **ENVI**

Es el programa especializado en el procesamiento y disección de imágenes geoespaciales. Soporta imágenes obtenidas de numerosos tipos de satélites y sensores aerotransportados, incluyendo pancromáticos, multiespectrales, hiperespectrales, radar, térmico y más; proporciona herramientas de transformación mecánico que permiten alcanzar testimonio obediente y rápido, a través de sencillos flujos de trabajo (ESRI, 2016).

## **ArcGIS**

Es un sistema categórico que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, adjuntar y traspasar testimonio geográfico. Es la plataforma portaestandarte integral para ingeniar y disfrutar Sistemas de Información Geográfica (ESRI, 2016).

## **Mina El Toro**

Es un yacimiento aurífero de alta sulfuración emplazado en areniscas y cuarcitas procedentes de la Formación Chimú, se inició con la Empresa Minera San Antonio SRL., en 1995 mediante un contrato con las empresas Oromin y Barrick Gold Corporation, quienes exploran el depósito desde de 1995-1996. Posteriormente es transferida a North Compañía Minera SA., quienes continúan con la exploración de 1998 a 1999. luego por CAMBIOR hasta octubre 2003. Luego es operada por la Corporación del Centro S.A.C. (González ,2017).

## Justificación

La presente investigación es relevante para el distrito de Huamachuco ya que alberga a 72 264 habitantes (INEI, 2017) los cuales son afectados de forma directa por la pérdida de cobertura vegetal debido a que causa la reducción y fragmentación del ecosistema. Por otra parte, la expansión de la minería a cielo abierto permite generar ingresos económicos para la población lo cual mejora la mejor calidad de vida. No obstante, su crecimiento territorial genera la pérdida de cobertura vegetal tales como masa forestal, tierras de cultivos, asimismo contribuye al desplazamiento de especies nativas del lugar.

Por tanto, es de importancia dar a conocer la problemática que se genera por la pérdida de la cobertura vegetal debido a que toma un papel importante para la agronomía el cual influye en el desarrollo local, regional y nacional. Por lo cual, hoy en día se desarrolla distintas actividades con el fin de promover medios de recuperación e impulsar zonas de reforestación. De igual manera, este estudio busca cerrar la brecha en esta información sobre la variabilidad espaciotemporal de la vegetación y sirve como referencia para estudios posteriores. La información obtenida de estudios de cambios históricos en la vegetación en áreas afectadas por la minería se considera para proyectos de restauración financiados por ONG y agencias gubernamentales en beneficio de quienes los rodean.

Los resultados de este estudio generados por teledetección serán utilizados directamente por instituciones dedicadas a solucionar este problema. Se sabe que los sistemas de información geográfica se aplican de esta manera. Los vecinos pueden tomar decisiones en conjunto para crear conciencia sobre la mitigación de la superficie degradada del área debido a las actividades mineras.

## **Formulación del problema**

### **Problema General**

- ¿Qué relación existe entre la expansión minera El Toro y la variación de la cobertura vegetal de la ciudad de Huamachuco- ¿La Libertad, entre los años 2011 a 2020?

### **Problemas Específicos**

- ¿Como es la dinámica espacio temporal de la cobertura vegetal de la ciudad de Huamachuco – ¿La Libertad, entre los años 2011 a 2020?
- ¿Como es la dinámica espacio temporal de la expansión de la Mina El Toro de la ciudad de Huamachuco – ¿La Libertad, entre los años 2011 a 2020?
- ¿Qué correlación existe entre la expansión de la Mina El Toro y la cobertura vegetal de la ciudad de Huamachuco – ¿La Libertad, entre los años 2011 a 2020?

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Determinar la relación entre la expansión minera El Toro y la variación de la cobertura vegetal de la ciudad de Huamachuco – La Libertad, entre los años 2011 a 2020.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar la dinámica espacio temporal de la cobertura vegetal de la ciudad de Huamachuco – La Libertad, entre los años 2011 a 2020.
- Calcular la dinámica espacio temporal de la expansión de la Mina El Toro de la ciudad de Huamachuco – La Libertad, entre los años 2011 a 2020.

- Establecer la relación entre la expansión de la Mina El Toro y la cobertura vegetal de la ciudad de Huamachuco – La Libertad, entre los años 2011 a 2020.

## **Hipótesis**

### **Hipótesis General**

- Existe una relación significativa entre la expansión minera El Toro y la variación de la cobertura vegetal de la ciudad de Huamachuco – La Libertad, entre los años 2011 a 2020.

### **Hipótesis Específicos**

- La dinámica espacio temporal de la cobertura vegetal, muestra una reducción de la ciudad de Huamachuco – La Libertad, entre los años 2011 a 2020.
- La dinámica espacio temporal de la expansión de la Mina El Toro, muestra un comportamiento en aumento de la ciudad de Huamachuco – La Libertad, entre los años 2011 a 2020.
- Existe una relación inversa y significativa entre la expansión de la Mina El Toro y la cobertura vegetal de la ciudad de Huamachuco – La Libertad, entre los años 2011 a 2020.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

El presente estudio es de tipo cuantitativo con un diseño descriptivo - correlacional con corte longitudinal. (Sampieri,2010). El cual tiene como fin estimar la relación de la minería a tajo abierto y la cobertura vegetal mediante el estudio de imágenes satelitales en el distrito de Huamachuco durante el periodo del 2011 a 2020. El estudio se considera no experimental porque las variables no se pueden controlar directamente debido a que la expresión de las variables ya ocurrió. Se realizan inferencias sobre las relaciones entre variables, las cuales se basan esencialmente en la observación de lo que sucede después en situaciones naturales. análisis (Kerlinger 2002).

El enfoque empleado es el cuantitativo, ya que engloba un conjunto de procesos a seguir de manera secuencial, donde se llevará a cabo la recolección de datos con base numérica y su posterior análisis estadístico.

### 2.2. Población y Muestra

La **población** de estudio corresponde a la cobertura vegetal del distrito de Huamachuco el cual posee un área de 41641.01 Ha.

El **muestreo** es tipo no probabilístico por conveniencia, pues e busca el estudio de la superficie afectada por la expansión minera, por tanto, la **muestra** está conformada por la cobertura vegetal afectada producto de la expansión minera a tajo abierto, el cual es una superficie de estudio de 21 km<sup>2</sup> (área de influencia directa de la mina el Toro), el cual está representada mediante 10 imágenes satelitales. El periodo de estudio se estableció a partir del 2011 hasta 2020.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la ejecución de esta investigación se empleó como técnica la **observación no experimental**, también conocida en el campo geográfico como la fotointerpretación, ello consiste en el procesamiento de imágenes digitales el cual nos permitió cuantificar la extensión de la minería a cielo abierto y estimar la cobertura vegetal afectada. Como instrumento de recolección se presenta una ficha de recolección de datos geo-procesados, en este caso resulta ser la cobertura vegetal y la expansión minera expresados en hectáreas (ver anexo 1); en tanto las herramientas empleadas fueron el Software Envi 5.3., Argis 10.3 y SasPlanet 2019.

### 2.4. Procedimientos

#### Delimitación

En primera instancia se realizó la estimación de área de influencia, mediante los datos espacial de los límites políticos del país el cual se accedió por la plataforma del MINAM, seguidamente se procesó la información Software de información geográfica ArcMap obteniendo los límites departamentales, provinciales y distritales de la zona estudio mediante la herramienta Clip el cual se realizó el corte para la ciudad de Huamachuco.

#### Adquisición de datos

Las imágenes satelitales correspondieron a los productos de Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI/TIR mediante el portal web del United States Geological Survey (USGS) el cual cuenta con acceso libre y se procedió a su descarga. Para este tipo de análisis los datos deben corresponder a la época seca con el fin de evitar la influencia de nubes y precipitaciones estacionales (Zeballos et al., 2014).

#### Preprocesamiento de imágenes

Luego se procedió con la corrección de los productos digitales, debido a que el sensor proporciona una imagen cruda con presencia de perturbaciones, por lo cual es esencial

corregir y calibrar dicha imagen (Hadjimitsis et. al 2010). Para este proceso en primera instancia con la conversión de la radiancia el cual se ejecutó mediante el software ENVI 5.3 mediante la caja de herramienta Toolbox seguido al método FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis Spectral Hypercubes), y como resultado se obtiene una imagen con mayor visibilidad este proceso se efectuó para las imágenes Landsat 5 y Landsat 8 (Aguilar et al., 2014).

A continuación, se realizó la corrección geométrica, el cual consta en la modificación de la geometría de la imagen con respecto a la geometría de la superficie de estudio, ya que al momento de la adquisición de la imagen estas se ubican en hemisferio norte por lo cual se debe adecuar a la zona de trabajo mediante el proceso de georreferenciación mediante el programa ArcGIS (Danilova et al., 2018). Para este proceso se importa el ráster trabajado anterior, luego se ejecuta la caja de herramientas del Art Toolbox para ejecutar la herramienta Project\_raster y establecer la proyección a WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S el cual corresponde a la zona de estudio, finalmente se realizó el recorte de la imagen con el área de estudio con la herramienta Raster Processing

### **Procesamiento de imagen**

Para la identificación de la expansión minera y la cobertura vegetal se empleó el **índice de vegetación normaliza (NDVI)** aplicado a las bandas espectrales de la imagen Landsat de todo el periodo. Donde se aplicó la siguiente formula (Conae, 2016).

#### **Ecuación 2. Índice De Vegetación Normalizada**

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

Dónde:

NDVI = Índice de Vegetación Diferencial Normalizada

NIR = Reflectancia del Infrarrojo Cercano

RED = Reflectancia de la Banda roja

Este proceso se efectuó mediante el programa Arcgis 10.3 empleando la herramienta del ArcToolbox < Map Algebra, donde el resultado oscila entre -1 a 1, donde la tonalidad verde representa la vegetación densa cercano a 1 y la tonalidad roja es escasa o nula vegetación próximo a -1.

Luego se procedió a ejecutar la **combinación de bandas (RGB)** el cual consistió en establecer 3 bandas distintas con el fin de distinguir diferentes tipos de coberturas presentes sobre la superficie terrestre, para este estudio se estableció la combinación de bandas 3,4 y 7 para Landsat 5 y Landsat 8 con las bandas 7,4 y 3 ya que es diferenciar distintitas cubiertas vegetales y zona de afluencia minera, todo ello con el fin de coleccionar patrones para la clasificación supervisada:

Para diferenciar cada cubierta sobre la superficie se realizó el método **de clasificación supervisada** también conocido como el método paralelepípedo, se basa en el conocimiento del área del estudio producto de la información recolectada espacialmente en el cual permite delimitar sobre la imagen satelital áreas de interés presentes en la superficie terrestre y a través del agrupamiento de los píxeles de la imagen permitirá representarlos en categorías (Michalijos y Uboldi, 2013). Por lo cual se elaboró polígonos sobre la imagen satelital en función de la clase cobertura vegetal establecidas anteriormente con el fin de asignar categorías a la cobertura vegetal y la superficie minera (Guailas, 2015). La herramienta aplicada en este caso fue el Maximum Likelihood Classification del programa Arcgis 10.3. En la **Tabla 3**, se presencia la asignación propuesta para las coberturas en estudio: vegetal y minera.

**Tabla 3.**

*Asignación de valor para las clases de coberturas*

| Cobertura | Valor |
|-----------|-------|
| vegetal   | 1     |
| minera    | 2     |

Una vez obtenida la información de la cobertura vegetal del periodo de estudio se estima la tasa de cambio, mediante la ecuación de pérdida de cobertura vegetal.

**Ecuación 3.** *Determinación de pérdida de cobertura vegetal*

$$P = \frac{100}{(t2 - t1)} \times \ln \left( \frac{A2}{A1} \right)$$

P: Tasa de pérdida de cobertura vegetal por año

t1: Año de inicio del período

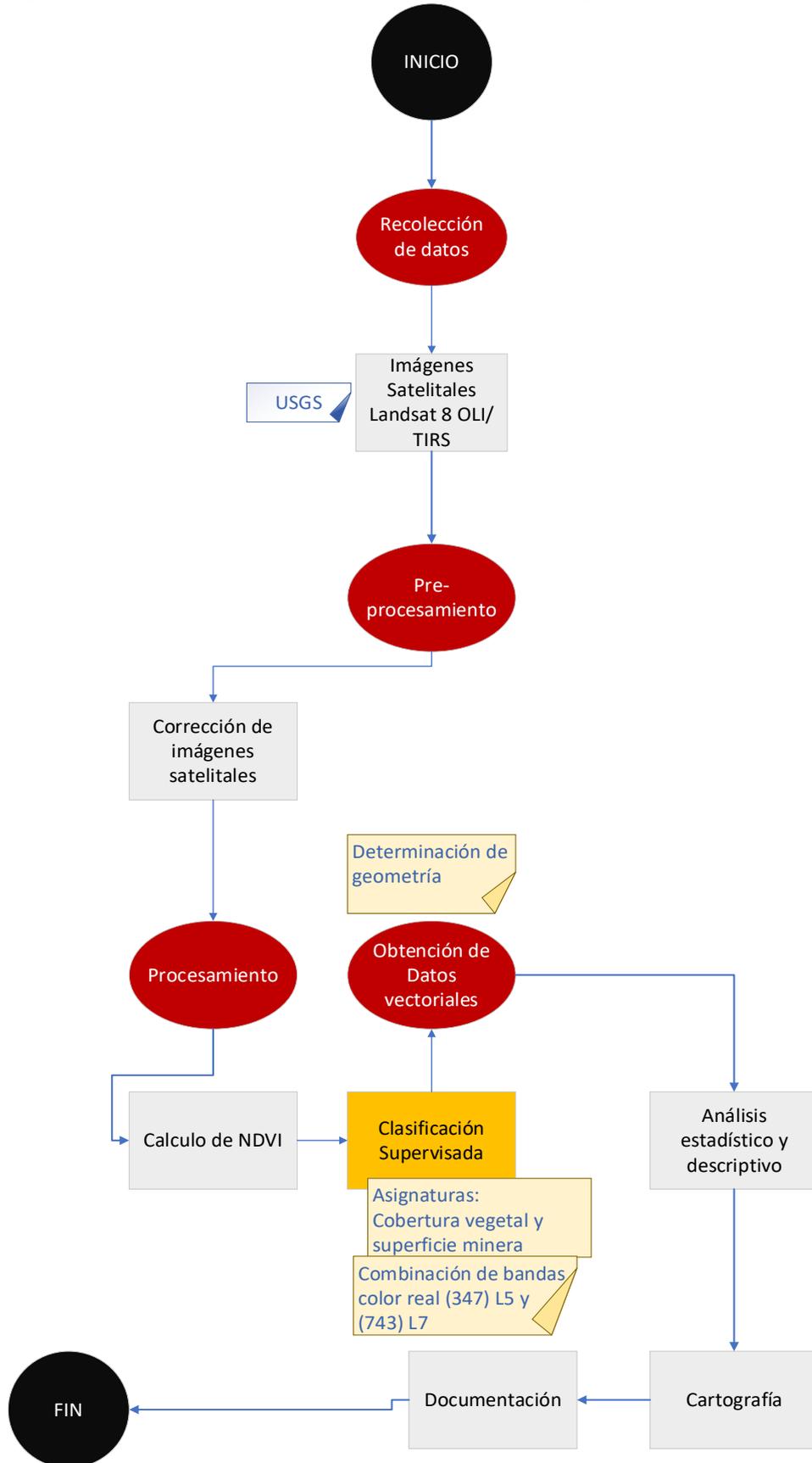
t2: Año final del período

A1: Superficie de cobertura al inicio del período

A2: Superficie de cobertura al final del período

En la **Figura 1** se representa gráficamente el procedimiento ejecutado en líneas anteriores.

**Figura 1**  
*Flujograma del procedimiento desarrollado en la presente investigación*



## **Análisis de datos**

Para ejecutar el análisis estadístico de las variables expansión de la minería a cielo abierto y cobertura vegetal, se empleó el software estadístico SPSS v.25 el cual se llevó a cabo la prueba de Normalidad de Shapiro Wills, para determinar el comportamiento normal y no normal de las variables. Seguido a ello se aplicó la prueba de correlación de Spearman con el fin de estimar el grado de asociación entre las dos variables a esto se suma el análisis de regresión el cual nos permite determinar eficacia de la línea de regresión (Caldera, 2003). Los valores de correlación están establecidos entre un rango de -1 a +1, donde los valores próximos a -1 indican la existencia de una correlación negativa perfecta, mientras los cercanos a 0 nos indican que no existe relación entre ambas variables y los valores próximos a +1 dan a conocer una correlación perfecta positiva.

Asimismo, se considero el análisis cartográfico como herramienta visual de cambios temporales de la superficie minera y la cobertura vegetal.

## **Consideraciones éticas**

La presente investigación que tiene como fin dar a conocer la relación de la minería a cielo abierto y la cobertura vegetal del distrito de Huamachuco, asimismo este documento posee consideraciones éticas ya que está orientada al cuidado del medio ambiente, asimismo acata el derecho de auditoria durante su ejecución. Por otro lado, se preserva el derecho de uso de la información satelital de la plataforma internación de Estados Unidos USGS, asimismo, se mantiene una ética en uso de los distintos programas de información geográfica.

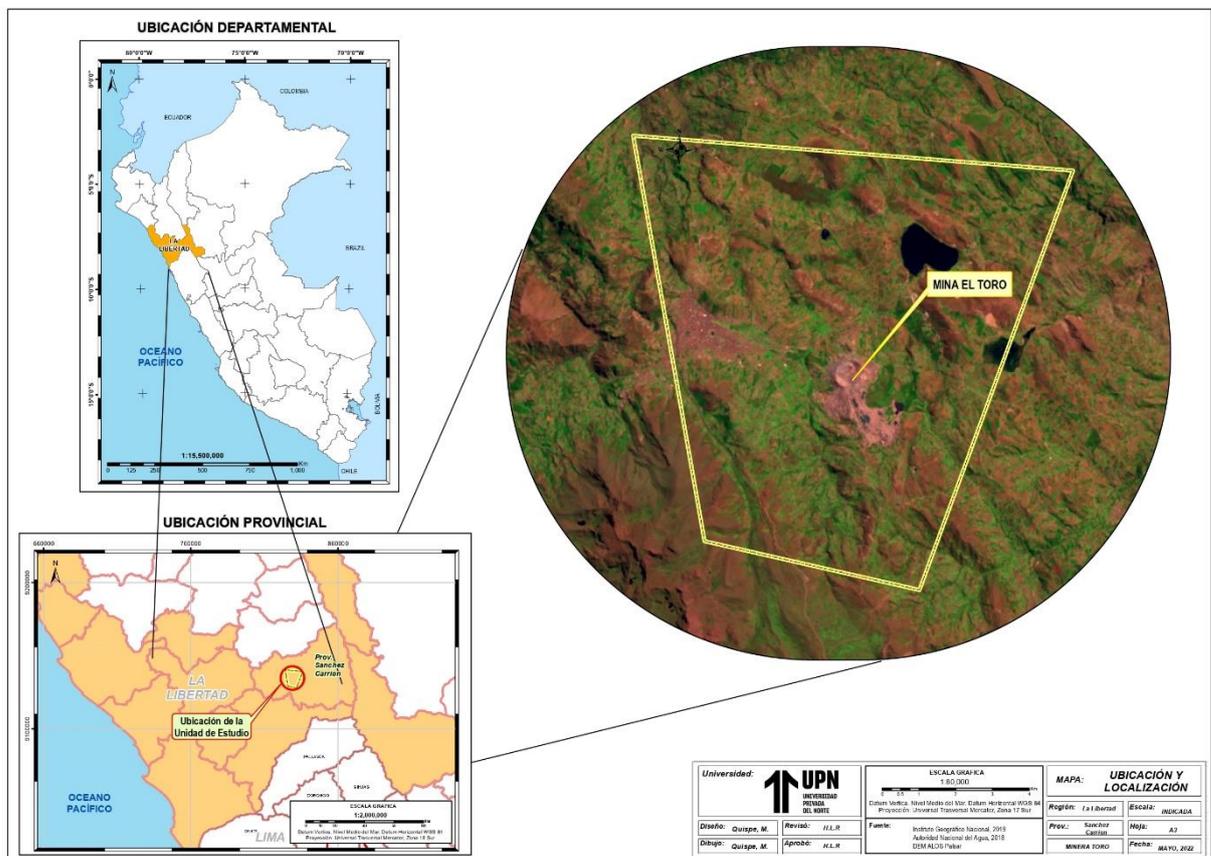
## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. Caracterización geográfica y delimitación zona de estudio

La ciudad de Huamachuco se encuentra a una altura de 3 169 m.s.n.m., su población haciende a 72 264 mil habitantes (INEI, 2017). Sus límites corresponden por el norte con el distrito de Marcabal, por el sur con los distritos de Sarín, por el este con los distritos de Chugay y Curgos y por el oeste con el distrito de Sanagorán. Su topografía es accidentada con pendientes de 18, 12 y 14 %, debido a la cordillera occidental de los andes, asimismo presentan suelos tales como: gravas, arenas, limas, arcillas, suelos fértiles y suelos húmedos debido a precipitaciones del lugar. Por otro lado, posee un clima templado frio con escasa humedad y lluvias. Sus principales cerros son El Huaylillas, El Sazón, El Toro, Markawamachuco y Choquizonguillo (Castro y Morales, 2018). **(Figura 2)**

**Figura 2.**

*Ubicación geográfica de la Mina El Toro*



*Nota:* La presente figura la localización de la zona de estudio datos MINAM (2007).

### 3.2. Análisis temporal de la expansión minera

Mediante el procesamiento espacial de las imágenes de imágenes satelitales, se ha digitalizado la variación de la superficie del área de la influencia de la actividad minera a cielo abierto en la ciudad de Huamachuco. En la **Tabla 4**, se evidencia los cambios temporales de la expansión minera expresado en hectáreas, de ello, se evidencia un claro incremento. Para el año 2011, la actividad minera a cielo abierto recién iniciaba operaciones, mientras para el periodo 2014 ya se reflejó un crecimiento territorial ocupando las laderas del cerro el toro generando una pérdida de la vegetación. Para el año 2018 ya se muestra un gran desarrollo de 226.1 Ha desde sus inicios y para el periodo 2020 el territorio minero ocupa 241 Ha.

**Tabla 4.**

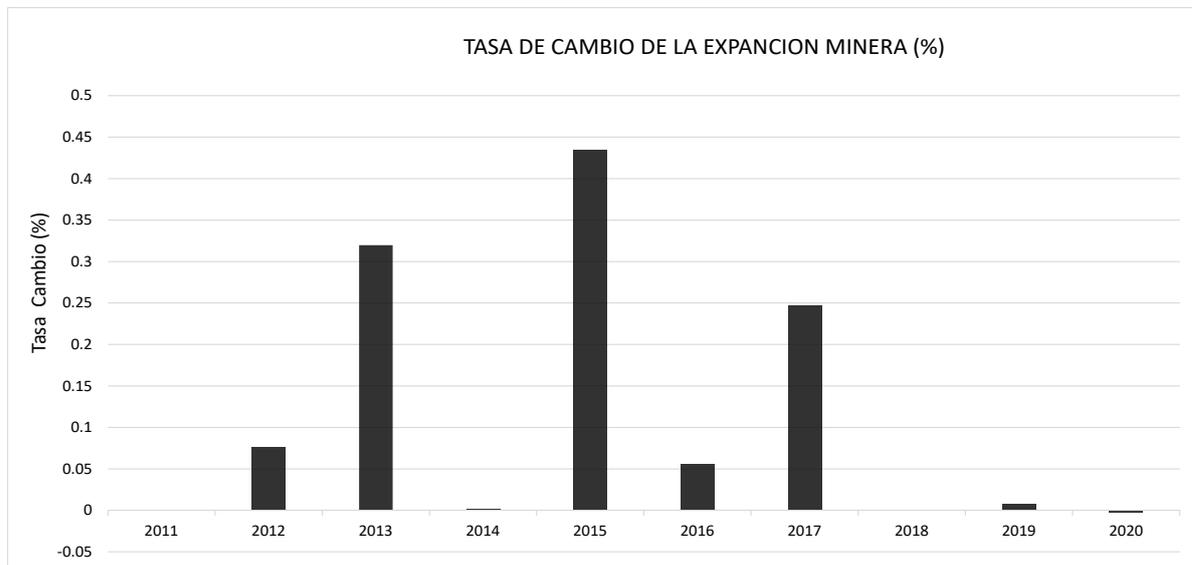
*Estimación del área de la actividad minera*

| Años | Área minera (Ha) |
|------|------------------|
| 2011 | 76.92            |
| 2012 | 83.05            |
| 2013 | 114.34           |
| 2014 | 114.6            |
| 2015 | 176.92           |
| 2016 | 187.04           |
| 2017 | 239.5            |
| 2018 | 239.8            |
| 2019 | 241.6            |
| 2020 | 241.9            |

*Nota:* Datos obtenidos mediante el procesamiento de las imágenes.

En la **Figura 3**, se evidencia la tasa de cambio de la expansión minera, en ella se observa un incremento acelerado de la expansión minera en los años 2013, 2015 y 2017; en relación con el año anterior, alcanzando tasas de 0.25% a 0.42%.

**Figura 3.**  
*Tasa de cambio de la expansión de la Mina El Toro*

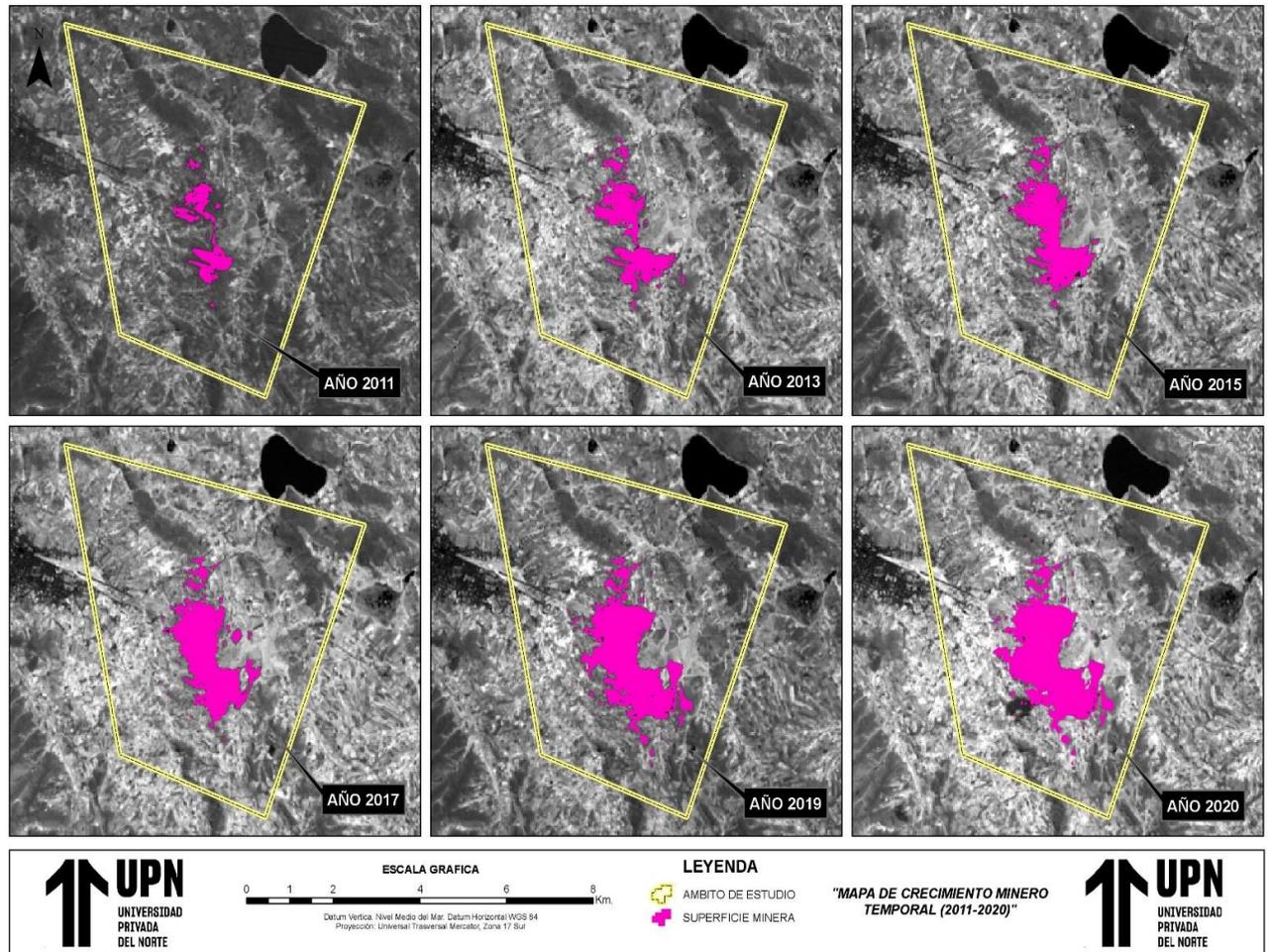


*Nota:* Figura representa la tasa de cambio de la minería.

En la **Figura 4**, se visualiza de manera espacial el crecimiento de la superficie minera; en ello, se aprecia desarrollo en sentido sur y norte, con mayor crecimiento en sentido sur

**Figura 4.**

Mapa de crecimiento superficial de la superficie de la Mina El Toro del periodo del 2011 a 2020.



*Nota:* La figura representa la evolución superficial de la mina el toro durante el periodo 2011-2020

### 3.3. Análisis temporal de la cobertura vegetal

En la **Tabla 5**, se evidencia los cambios temporales de la cobertura vegetal expresadas en hectáreas. Su evolución se tornó desfavorable ya que desde que se inició las operaciones hasta el periodo del 2020 se reflejó una pérdida de 264.04 Ha, asimismo la tasa de cambio tiene una tendencia negativa debido a que representa una pérdida anual de la cobertura.

**Tabla 5.**

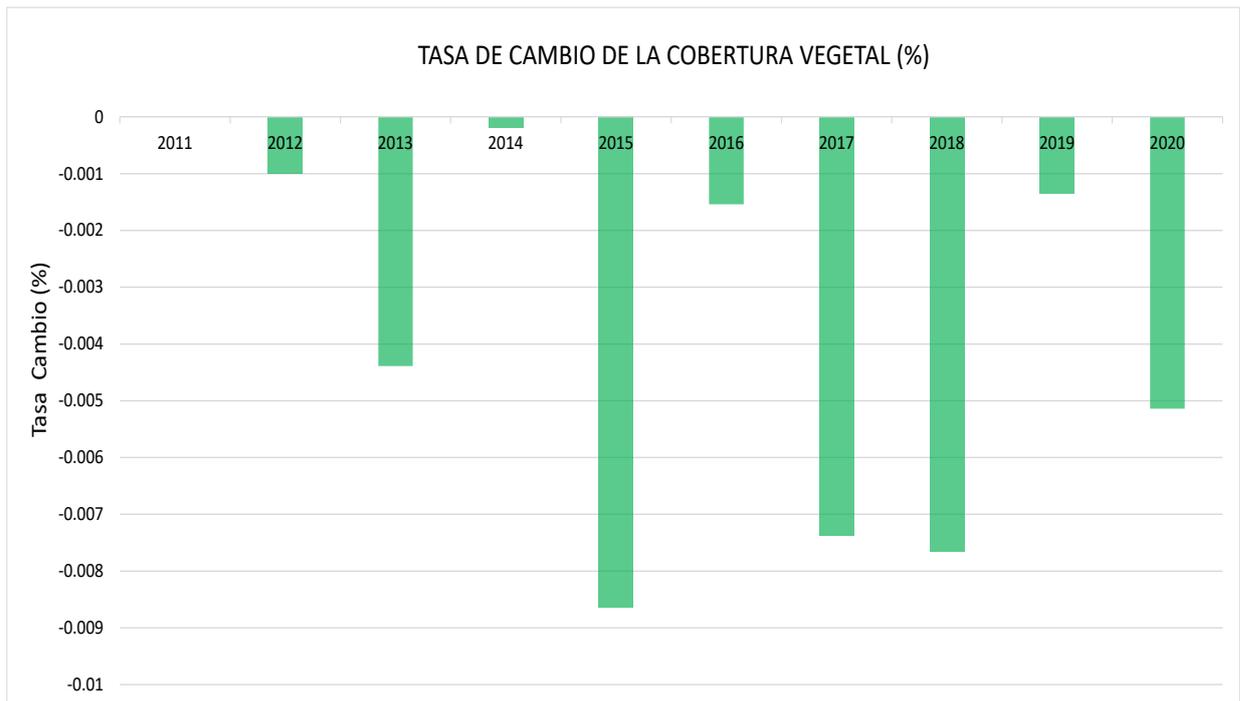
*Estimación de la cobertura vegetal.*

| Año  | Área de Cobertura vegetal (Ha) |
|------|--------------------------------|
| 2011 | 7217.47                        |
| 2012 | 7210.27                        |
| 2013 | 7178.7                         |
| 2014 | 7177.36                        |
| 2015 | 7115.56                        |
| 2016 | 7104.61                        |
| 2017 | 7052.41                        |
| 2018 | 6998.64                        |
| 2019 | 6989.26                        |
| 2020 | 6953.43                        |

*Nota:* Datos del área de la cobertura obtenidos del procesamiento de las imágenes.

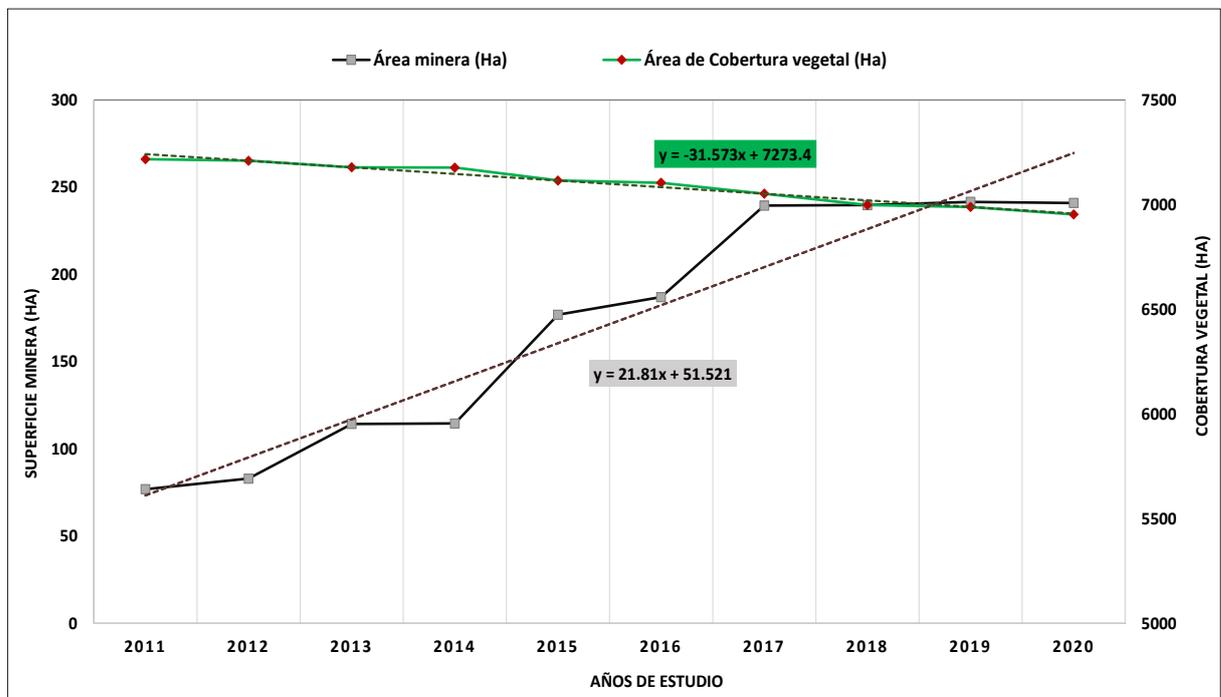
En la **Figura 5**, se evidencia la tasa de cambio de la expansión minera, en ella se observa un descenso acelerado de la cobertura vegetal en los años 2013, 2015, 2017 y 2018; en relación con el año anterior. Guardando semejanza con la expansión minera. En la **Figura 6**, muestra la tendencia de la cobertura vegetal y la expansión minera, de ello se puede observar que la superficie minera tuvo un incremento promedio anual de 21.81 ha/ año y la cobertura vegetal un descenso de 31.5 ha/año. Ambos muestran un comportamiento temporal uniforme.

**Figura 5.**  
*Tasa de cambio de la cobertura vegetal del 2011 a 2020.*



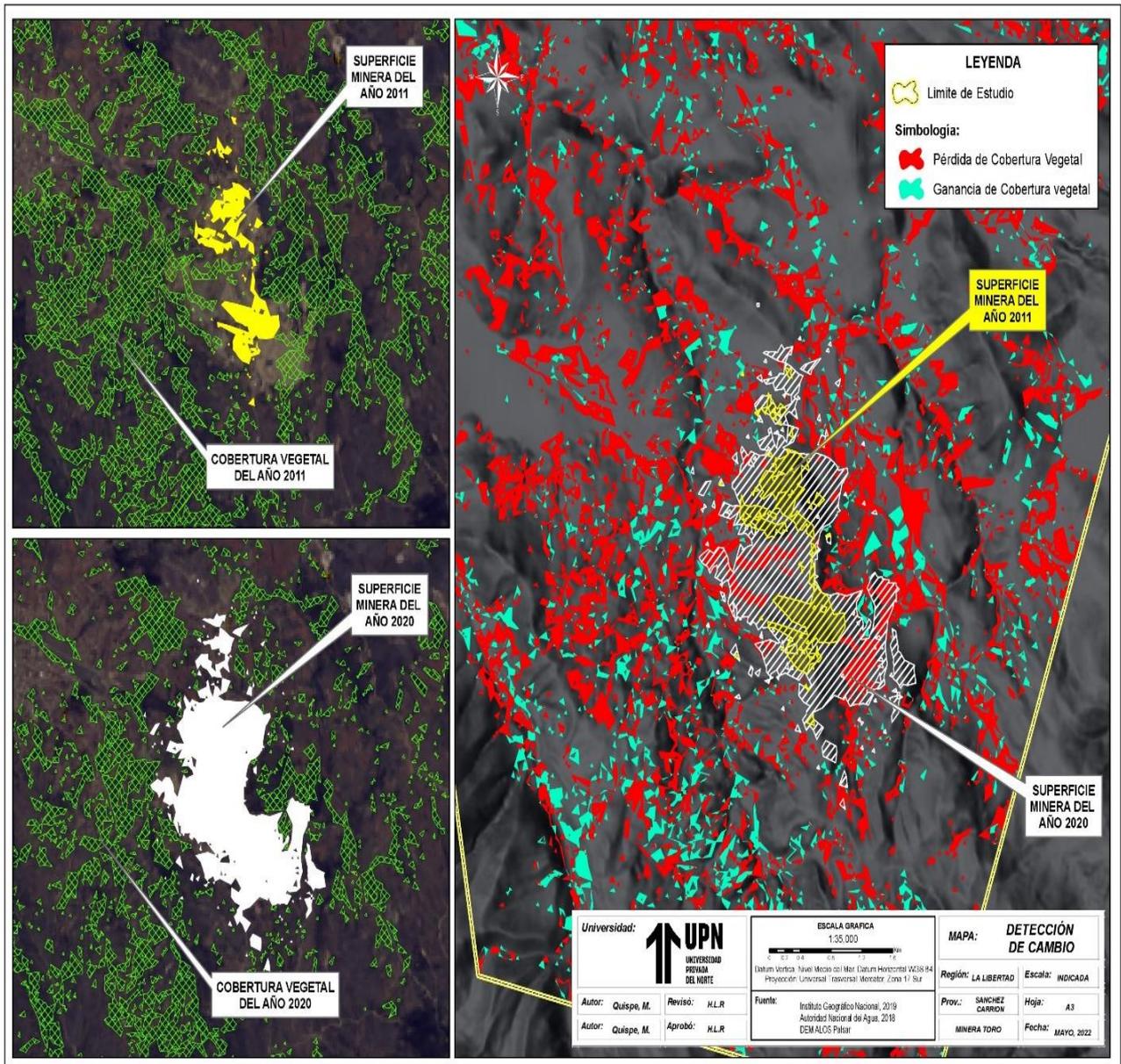
Nota: Representación grafica de la tasa de cambio de la cobertura vegetal.

**Figura 6.**  
*Tendencia temporal de la expansión minera y la cobertura vegetal*



Finalmente, en la **Figura 7** se puede apreciar la detección de cambio de la cobertura vegetal, donde las coberturas vegetales con pérdida muestran una tonalidad rojiza y el incremento ligero de cobertura con una tonalidad turquesa.

**Figura 7.**  
Mapa de detección de cambio de la cobertura vegetal y minería del 2011 y 2020



*Nota:* Tendencia de evolución de las variables de estudio.

### 3.4. Análisis de correlación de la expansión minera y la cobertura vegetal

Según la prueba de normalidad Shapiro Wilks, empleado para la determinación del comportamiento estadístico de las variables para datos estadísticos inferiores a 50 unidades. Como el p-value es mayor a 0.05 se indica que es una variable normal, caso contrario sería menor tendría un comportamiento no normal. Asimismo, un comportamiento normal indica el uso de pruebas paramétricas como la correlación de Spearman, por otro lado, comportamiento no normal indica uso de pruebas no paramétricas como la correlación de Spearman. Los datos de las variables cobertura vegetal y expansión minera consideradas en la presente investigación, muestra una distribución normal para la variable expansión minera y una distribución no normal para la variable cobertura vegetal, pues esta última muestra un p-value inferior a 0.05 (**Tabla 6**).

**Tabla 6.**

*Prueba de normalidad Shapiro Willk*

| Variables         | Prueba de normalidad Shapiro-Wilk |                        |
|-------------------|-----------------------------------|------------------------|
|                   | P-Value                           | Significado            |
| Cobertura Vegetal | 0.044                             | Distribución No Normal |
| Expansion minera  | 0.327                             | Distribución Normal    |

*Nota:* Normalidad de las variables de estudio.

En relación con la prueba de normalidad proyectado en líneas precedentes, se evidencia una variable (cobertura vegetal) con comportamiento no normal, por tanto, corresponde un análisis no paramétrico como la prueba de correlación de Spearman.

En la **Tabla 7** se evidencia la correlación de la cobertura vegetal y la expansión minera, de ello se observó una relación alta entre la cobertura vegetal y precipitación en zonas bajas; y baja relación significativa en zonas altas. Asimismo, se evidencio una significancia bilateral inferior a 0.05, lo que indica la aceptación de la hipótesis planteada

“*existen una relación significativa entre la cobertura vegetal y la expansión minera*”. En la **Figura 8**, se evidencia el diagrama de dispersión de puntos con una tendencia lineal negativa,

lo que indica una correlación inversa, esto significa que, a mayor expansión minera, menor es la cobertura vegetal.

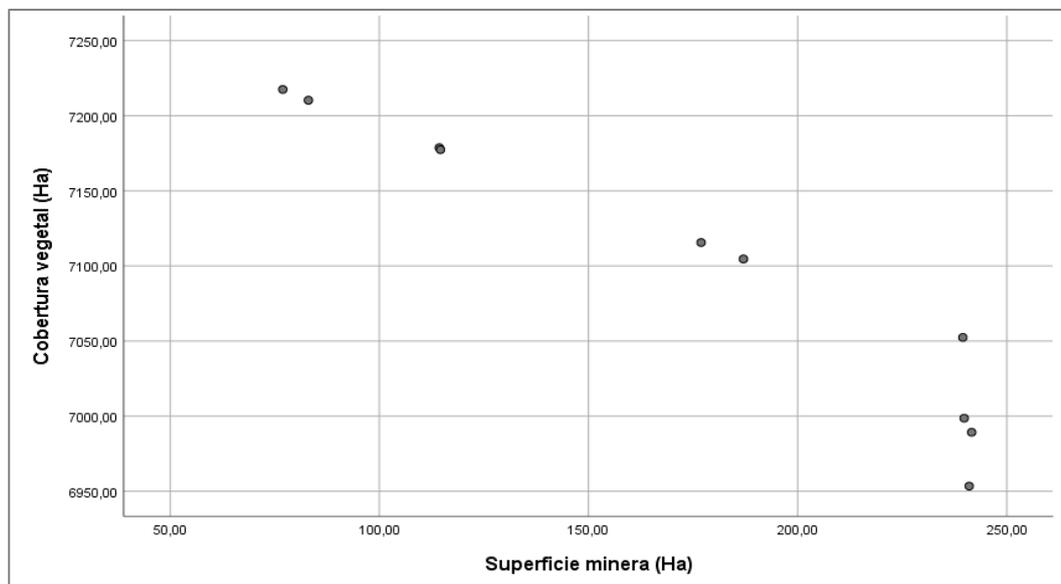
**Tabla 7.**

*Prueba de correlación de Spearman*

| Variables        | Cobertura Vegetal           |                         |
|------------------|-----------------------------|-------------------------|
|                  | Coefficiente de Correlación | Sig.Bilateral (p-value) |
| Expansión minera | Rho= 0.988                  | 0.0                     |

**Figura 8.**

*Diagrama de dispersión de puntos*



*Nota:* Figura de dispersión de las variables de estudio.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Evidenciándose en los resultados, se puede afirmar que la expansión minera a cielo abierto genera una gran pérdida de la cobertura vegetal. Entre el periodo del 2011 a 2016 el área minera aumento de 76.92 Ha a 187.04 Ha. mientras que la cobertura vegetal descendió en 112.06 Ha, asimismo para el año 2018 el área minera ascendió a 302.08 Ha, coincidiendo con el estudio de Lehmann, et al. (2016) en el cual menciona estimo que durante los primero años de explotación se intensifica la remoción de la superficie con finalidad de acaparar más zonas de extracción , generando la perdida de la vegetación del lugar que se encuentra al límite con la mina .

Se pudo reflejar que la expansión minera alcanzo un promedio anual de incremento superficial de 21.8 ha/año y la cobertura vegetal un descenso de 31.5 ha/año, pues esto se debe en primer lugar al cambio de uso de suelo generado por la explotación minera, pues con lleva a la degradación del suelo (Gonzales, 2017), asimismo, las distintas vías de acceso generados provocan mayor deterioro de las coberturas lejanas a los cambios de uso de suelo, esto se debe a la emanación de polvo y sin control medioambiental de los transportes (Gonzales, 2017), más aun si se trata de una explotación minera informal (Salazar, 2021).

Por otro lado, los cambios de la cobertura vegetal fuera del cambio de uso de suelo se debe al impacto de los contaminantes ambientales, pues según Casanova y Gutiérrez (2010) encontraron elevadas concentraciones de cobre, hierro, plomo, arsénico, cianuro y mercurio, tanto en suelo como en las fuentes hídricas aledañas al cerro "El Toro"; asimismo, debido a la continuidad de la actividad minera, estos elementos pueden acumularse en la superficie del suelo y, por encima de ciertos umbrales, pueden ser elementos muy peligrosos ya que no se pueden minar y su remoción es lenta y difícil depuración. Pues una alteración,

por metales pesados provocan una inhibición de la cobertura vegetal, y alteración en los componentes biológicos y físicos del suelo que los mantiene (Jara et al., 2017)

Asimismo, se pudo identificar que, en los años 2013, 2015 y 2017, presentaron altas pérdidas de cobertura vegetal e incremento de la tasa anual de la expansión minera. Pues según Castilla (2018), esto se debe al auge del mercado de los metales, pues una elevada demanda en los metales requiere de mayor explotación del minera y por tanto mayor agravio en los ecosistemas. Asimismo, DAR- Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (2020), indican que alrededor de dos mil familias aledañas explotan oro de manera informal y lo procesan mediante pozas de cianuro. Ello ha llevado a la contaminación de decenas de hectáreas de cobertura vegetal de la zona en estudio.

En cuanto al grado de correlación estadística, se pudo observar una asociación del 98.8 %. Esta alta correlación se debe a la gran influencia de la explotación minera de forma descontrolada y sin los instrumentos ambientales de protección ecosistémica, lo que conlleva a mayor cambio de uso de suelo y la discriminada emanación de productos químicos perjudiciales para el medio ambiente (Alarcón, 2019). Pues un estudio reveló que existe alto contenido de metales pesados en el suelo, especialmente de Pb y As, superando los estándares de Calidad Ambiental para suelo (Peralta, 2012).

Por otro lado, para la identificación de distintas cubiertas sobre la superficie terrestre se empleó el método de clasificación supervisada donde se da mediante la creación de polígonos con el fin de asignar a cada polígono una asignatura en el cual la diferencia y la permita acoplar a polígonos con la misma unidad. Por lo contrario, Uddin y Kumar (2021) menciona que la técnica de clasificación ISODATA proporciona resultados inmediatos ya que es el algoritmo más adecuado para delimitar los grupos con valores homogéneos en un reducido tiempo si no que permite tener resultados con una alta confiabilidad, pero esto

depende de la calidad de la imagen satelital. No obstante cabe recalcar que existen diversos métodos para la identificación de cubierta superficial, pero esto depende de la finalidad del estudio.

De igual forma los resultados de la variación de la cobertura vegetal fueron representados por el índice de vegetación normalizada indica que la calidad de vegetación tomando un papel muy importante en estudios relacionados a la cobertura. No obstante Madasa , Orimoloy y Ololade (2021) menciona que no solo permite estimar la vegetación, si no permite diferenciar tipos de cobertura mediante la combinación de otros índices geoespaciales tales como el Índice de Monitoreo Ambiental Global (GEMI), el Índice de Diferencia Normalizada Construida (NDBI) ,el Índice de diferencia de suelo normalizado (NDSI) y el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) .

Entre las principales limitaciones para la ejecución de este trabajo fue la resolución de la imagen satelital y las perturbaciones que estas presentan lo que ocasione que identificados falsas coberturas tales como suelo erosionado, obras de construcción por áreas de explotación minera.

La problemática que se centra en la ciudad de Huamachuco es la situación de los mineros informarles que parte de sus actividades se desarrolla en paralelo con la minería formal el cual genera espacios de conflicto. La minería en el cerro El Toro existe desde tiempos remotos, pero se ha intensificado durante estos últimos años, generando un cambio notorio el cambio físico del cerro, cuyo volumen disminuye cada año. Para Zhang, Wang y Feng (2019) ,mencionan que el gobierno local y las concesiones mineras del lugar deben tomar medidas con el fin de mejorar el uso del suelo, del mismo modo la cubierta vegetal nativa ,haciendo énfasis en el ahorro de tierras durante los procesos mineros, protección de tierras agrícolas y el fortalecimiento a los proyectos de reforestación .

**Las limitaciones** involucradas en la investigación están referidas a la resolución espacial de las imágenes landsat, pues no permite identificar con claridad superficie mineras en desarrollo con dimensiones inferiores a una hectárea. Asimismo, no permite la identificación de unidades mineras puntuales. Por otro lado, no se pudo caracterizar la cobertura vegetal del área de estudio debido a la factibilidad y tiempo para la verificación de campo.

**Las implicancias** de la investigación, con relación a los resultados, pues son favorables para la comunidad, pues el conocimiento de la alteración de las coberturas vegetales, permite tomar medidas de conservación o restauración. Asimismo, para futuras investigaciones se recomienda la visita precampo y postcampo, para el análisis y verificación de los resultados, así como también un levantamiento de información social.

## CONCLUSIONES

- A partir del análisis efectuado para los años 2011 al 2020 de la mina El Toro, se pudo identificar un crecimiento superficial ascendente de 164.98 Ha, con un promedio anual de 21.81 ha/año.
- La cobertura vegetal muestra una tendencia decadente, con un promedio anual de 31.5 ha/año. Este descenso se evidencia en zona de impacto directo, así como las zonas de influencia indirecta, las que resulta ser zonas sin cambio de uso de suelo generada por la expansión minera. Asimismo, se evidencio que, en los años 2013, 2015 y 2017, hay una elevada tasa de cambio de la cobertura vegetal y de expansión minera, esto se debe al alto grado de explotación del mineral.
- Finalmente, se determinó una asociación estadística de 98.8% según análisis de Spearman, con una significancia bilateral inferior a 0.05, lo que indica una correlación significativa. Lo que refleja que la expansión minera se asocia altamente con los cambios de la cobertura vegetal.

## REFERENCIAS

- Alata Mollo, A. (2018). análisis multitemporal de la explotación minera con aplicación de percepción remota y sig en los distritos de ananea y cuyocuyo - puno , entre 1975-2017. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- 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>
- 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>
- Arcos, F. & Calderón, C. (2017), *Actividad minera artesanal en las regiones de Apurímac y La Libertad*. INGEMMET, Boletín, Serie E: Minería, 12, 110, Recuperado de <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1010>
- Astudillo Jara, S. I. (2020). Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo e identificación de la fragmentación del paisaje mediante técnicas de percepción remota en el peri-urbano de la ciudad Cuenca [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34957>
- AVERY, T.E., BERLIN, G.L. y AVERY, T.E., 1992. Fundamentals of remotesensing and airphoto interpretation. S.l.: Macmillan. ISBN 0023050357.
- Banco Central del Ecuador. (2015). Cartilla Informativa del Sector Minero. Quito.
- Caballero Espejo, J., Messinger, M., Román-Dañobeytia, F., Ascorra, C., Fernandez, L. y Silman, M. (2018). *Deforestación y degradación forestal debido a la minería de oro en la Amazonía peruana: una perspectiva de 34 años. Teledetección* , 10 (12), 1903. MDPI AG. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3390/rs10121903>
- CABELLO, J. y PARUELO, J.M., 2008. La teledetección en estudios ecológicos. *Ecosistemas*, vol. 17, no. 3, pp. 1-3.
- Carnegie Institution for Science. (2013). tecnología para el monitoreo de bosques. Stanford, USA
- Castro J. y Morales R. (2018). *Diseño para el mejoramiento de la carretera tramo: La Arena- ChungalHuacchacchac, distritos Huamachuco-Sanagorán, provincia Sánchez Carrión, departamento la Libertad*. (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú.
- Ccama F., Jurado J. y Acero S. (2019) *CONFLICTOS SOCIALES EN LA MINERÍA PERUANA: UN ANÁLISIS TEÓRICO DE SU ORIGEN*. *Semestre Económico*, 08(1):7-39, DOI: 10.26867/se.2019.v08i1.83

- Centro de Investigaciones Geoespaciales, CIG. (2012). *Introducción a las Imágenes Satelitales*. República Dominicana.
- Charou, E., Stefouli, M., Dimitrakopoulos, D., Vasiliou, E. y Mavrantza, O. (2010). *Uso de la teledetección para evaluar el impacto de las actividades mineras en los recursos terrestres y hídricos*. *Mine Water and the Environment*, 29 (1), 45–52. doi: 10.1007 / s10230-010-0098-0
- Chávez, A. (2013). *Dinámica del paisaje de la deforestación amazónica entre 1986 y 2007 en el sureste de Perú: impulsores de políticas e implicaciones viales*. *Journal of Land Use Science*, 9 (4), 414–437. doi: 10.1080 / 1747423x.2013.807310
- Chunzhu G., Baolin Z., Jiannan L. & Junling Z. (2017). Cambios temporales y espaciales de uso del suelo y paisaje en una zona minera de carbón en el prado Xilingol. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 52 012052. DOI 10.1088/1742-6596/52/1/012052
- CHUVIECO SALINERO, E., 1996. Empleo de imágenes de satélite para medir la estructura del paisaje: Análisis cuantitativo y representación cartográfica. *serie geográfica*, vol. 6, pp. 131-147.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial*. Ediciones RIALP, S.A., Segunda edición.
- CHUVIECO, E., 2010. *Teledetección ambiental : la observación de la Tierra desde el espacio*. S.l.: Ariel. ISBN 8434434989.
- Cortes, J. C., & Rubio, D. M. (2016). Comportamiento espacial de la cobertura vegetal del Municipio de Chía, Cundinamarca entre los años 1980-2012 y su relación con la conectividad ecológica del territorio. Retrieved from <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1548>
- Cure, L. (2012). *Determinación de la influencia del cambio de uso del suelo en la localidad ambiental de la cuenca del Río Déleg*. Cuenca
- DE LA MORA COVARRUBIAS, A. y REYES VILLEGAS, N., 2011. *Manual de prácticas de teledetección y sistemas de información geográfica*. 2011. Ciudad de Juárez: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Demirel, N., Düzgün, S. y Emil, M. (2011). *Detección de cambios en el uso del suelo en un área de una mina de carbón superficial mediante imágenes satelitales multitemporales de alta resolución*. *Revista Internacional de Minería, Recuperación y Medio Ambiente*, 25 (4), 342–349. doi: 10.1080 / 17480930.2011.608889
- Echeverría, C., Coomes, D., Salas, J., Benayas, J., Lara, A., y Newton, A. (2006) *Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests*, *Biological Conservation*, 130 (4), 481–494.
- Edrosa, M. R. (2011). *Aplicación de teledetección para el monitoreo de eventos hídricos superficiales mediante imágenes Cosmo Sky Med*.

- Elmes, A., Yarlequé J., Rogan, J., Cuba, N. y Bebbington, A. (2014). *Mapeo de la actividad minera lícita e ilícita en la región de Madre de Dios en Perú. Cartas de percepción remota*, 5 (10), 882–891. doi: 10.1080 / 2150704x.2014.973080
- ESRI. (2016). Environmental Systems Research Institute. [En línea] <http://www.sigs.info/productos/envi>.
- Fonseca, H. (2004). *Minería impactos sociales y ambientales*. Montevideo, Uruguay: Rosgal S.A.
- Gálvez Paredes, D. M. (2019). Impacto de la expansión urbana sobre las lomas costeras del Perú. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1198>
- 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/wpcontent/uploads/2009/10/TESIS-Garcia-Estarron-Erika-Julieta.pdf>
- Geoinnova. (s.f.). El NDVI o Índice de vegetación de diferencia normalizada. Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/ndvi-indice-vegetacion/>
- Glinskis, E. y Gutiérrez-Vélez V. (2019). *Cuantificar y comprender los cambios en la cobertura del suelo por regímenes de expansión de palma aceitera grandes y pequeños en la Amazonía peruana. Política de uso de la tierra*, 80, 95-106. doi: 10.1016 / j. landusepol.2018.09.032
- GOMEZ, F. (2017). Cambios de la cobertura del suelo en el municipio de Nechí: Una aproximación al impacto ambiental de la minería 1986-2010. *Revista Facultad de Ingeniería*, Vol. Vol.26.
- GONZAGA AGUILAR, C., 2014. Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador. S.l.: Universidad Nacional de La Plata.
- Gonzales A. (2017), *Minería, formas de urbanización y transformación del espacio en Huamachuco, La Libertad, Perú*, p. 509-527. doi: doi.org/10.4000/bifea.8968
- Gonzales, N., Bojórquez, S., Cifuentes, L., & Flores, S. (2010). Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa. *Biociencia*, 19-29
- Hayduk, Daniel. (2015). Los suelos ayudan a combatir y adaptarse al cambio climático. Italia Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). Imágenes de alta resolución. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/elementos.aspx>
- JENSEN, J.R., 1996. *Introductory digital image processing : a remote sensing perspective*. S.l.: Prentice Hall. ISBN 0132058405.
- Jimenez. (2014). *Hidraulica Facil*. Obtenido de <https://www.blogger.com/profile/17588654307645733248>

- Kamga M., Nguemhe S., Ayodele M., Olatubara C., Nzali S., Adenikinju A. & Khalifa M.(2020) Evaluación de los cambios en el uso de la tierra/cobertura de la tierra debido a las actividades de extracción de oro de 1987 a 2017 utilizando imágenes Landsat, este de Camerún. *GeoJournal* 85(1097–1114) [DOI: 10.1007/s10708-019-10002-8](https://doi.org/10.1007/s10708-019-10002-8)
- Kumar A. y Pandey A. (2013) *Evaluación de impacto y análisis de cambios del uso del suelo / suelo Portada debido a la actividad minera de carbón a cielo abierto: un estudio de caso del área del campo de carbón de Raniganj. Revista Internacional de Percepción Remota Avanzada y SIG*. Volume 2, Issue 1, pp. 183-197, Article ID Tech-110 ISSN 2320 - 0243
- Lehmann, D., Brinkmann, K., Diogo, R.y Buerkert, A. (2016). *Cambios temporales y espaciales del uso de la tierra en áreas de minería de metales raros de Ruanda. Revista Internacional de Minería, Recuperación y Medio Ambiente*, 31 (8), 519–529. doi: 10.1080 / 17480930.2016.1160490
- Liu, S., Li, W., Qiao, W., Wang, Q., Hu, Y. e Wang, Z. (2019). Effect of natural conditions and mining activities on vegetation variations in arid and semiarid mining regions. *Ecological Indicators*, 103, 331–345. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.04.034
- Mendoza Chichipe, M. E., Salas López, R., & Barboza Castillo, E. (1999). Análisis multitemporal de la deforestación usando la clasificación basada en objetos, distrito de Leymebamba (Perú). *INDES Revista de Investigación Para El Desarrollo Sustentable*, 3(2), 67. <https://doi.org/10.25127/indes.201502.008>
- Meza, A. (2013). Estudio de Impacto Ambiental Expost y Elaboracion del plan demanejo para la obtencion de la licencia ambiental del proyecto minero RioHuimbí. (Tesis de pregrado), Universidad Central del Ecuador .Quito,Ecuador.
- Mi, J., Yang, Y., Zhang, S., An, S., Hou, H., Hua, Y. y Chen, F. (2019). *Seguimiento del cambio de uso / cobertura del suelo en un área con minería subterránea y reforestación mediante la clasificación continua de Landsat. Percepción remota*, 11 (14), 1719. doi: 10.3390 / rs11141719
- Millán, R., Carpena, R., Schmid, T., Sierra, M., Moreno, E., Peñalosa, J...Esteban,E. (2007). Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: estrategias aplicables en el área de Almadén. *Ecosistemas*. 2007/2.
- Miyasiro López, M. G., & Ortiz Huamaní, M. A. (2016). Estimación mediante lateledetección de la variación de la cobertura vegetal en las lomas del distrito de Villa María del Triunfo por la expansión urbana y minera (1986-2014)[Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. In Repositorio de Tesis -UNMSM. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/5281>
- Nathalia D., Suresh A. y Singh N.(2018) *Monitoreo de cambios en el uso / cobertura de la tierra durante el actividades mineras en Aravalli Hill Region* *International Journal*

of Advanced Scientific Research and Management, Volume 3 Issue 6 ISSN 2455-6378

- Orjuela López, D. L. (2016). Estudio multitemporal por perdida de la cobertura vegetal debido a la expansión urbana en la localidad de Engativá occidente de Bogotá mediante imágenes de satélite 1998-2014. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/15476>
- Peña, J. (2007). Efectos ecológicos de los cambios de cobertura y uso del suelo en la marina Baixa . Alicante.
- Pérez y Carrera, A. y Moscuza, C.H. y Fernández-Cirelli, A. (2008). Efectos socioeconómicos y ambientales de la expansión agropecuaria. Estudio de caso: Santiago del Estero, Argentina. Argentina. Ecosistemas. 1697-2473.
- Puyravaud, J.P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, (177), 593-596.
- Quesada, J. (2015). Revisión del Impacto Socio Ambiental por la minería en el Departamento del Choco Caso Región de San Juan. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. Colombia.
- Raval, S. y Shamsoddini, A. (2014). *Un marco de monitoreo para el uso de la tierra alrededor de las áreas mineras de caolín a través de imágenes Landsat TM. Informática de Ciencias de la Tierra*, 7 (3), 153–163. doi: 10.1007 / s12145-014-0169-z
- RODRIGUEZ CHAVEZ, oscar eduardo y ARREDONDO BAUTISTA, haroldalberto, 2005. Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la NASA, aplicado en estudios de Ingeniería Civil. . S.I.:
- Rodríguez, N. Y. (2018). Determinación de la deforestación entre los años 1986 y 2016 mediante técnicas de teledetección y SIG, distrito Sauce – Perú. Retrieved from <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1548>
- ROJAS FLORES, J.E., 2017. Estimación de la variabilidad espacial y temporal de la deforestación por minería aurífera aluvial en la Quebrada Guacamayo, utilizando el método de segmentación por umbrales a partir de imágenes de satélite. Universidad Nacional Mayor de San Marcos
- Ruiz, V., Savé, R., y Herrera, A. (2013). Análisis Multitemporal de cambios de uso del suelo, en el paisaje terrestre protegido Miraflores Moropoteniente Nicaragua, 1993 - 2011. *Ecosistema*, 117-123.
- Sánchez-Cuervo, A., de Lima, L., Dallmeier, F., Garate, P., Bravo, A. y Vanthomme, H. (2020). *Veinte años de cambios en la cobertura terrestre en el sureste de la Amazonía peruana: implicaciones para la conservación de la biodiversidad. Cambio ambiental regional*, 20 (1). doi: 10.1007 / s10113-020-01603-y
- Scullion, J., Vogt, K., Sienkiewicz, A., Gmur, SJ y Trujillo, C. (2014). *Evaluación de la influencia del cambio de cobertura del suelo y autorizaciones de uso de suelo en*

- conflicto en la conversión de ecosistemas en la frontera forestal de Madre de Dios, Perú. Conservación biológica, 171, 247–258. doi: 10.1016 / j.biocon.2014.01.036*
- Secretaría General de la Comunidad Andina. (2012). Gestión Ambiental en los países de la Comunidad Andina. Revista de la Integración (Vol. 9). Retrieved from <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/gestion-ambiental-paises-comunidadandina>
- SPERANZA, F. y ZERDA, H.R., 2002. POTENCIALIDAD DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN PARA LA DISCRIMINACIÓN DE COBERTURAS FORESTALES. ,
- Stefani, A., Dusfour, I., Corrêa, A., Cruz, M., Dessay, N., Galardo, A., Roux, E. (2013). *Cobertura de la tierra, uso de la tierra y malaria en la Amazonía: una revisión sistemática de la literatura de estudios que utilizan datos de teledetección. Malaria Journal, 12 (1), 192. doi: 10.1186 / 1475-2875-12-192*
- Tassri N., Danoedoro P. y Widayani P. (2019) *Análisis multitemporal de los cambios en la cobertura vegetal relacionados con la actividad minera de estaño en Bangka Regency utilizando imágenes Landsat. Sexta Geoinformación Simposio de ciencia Volumen 11311. doi: 10.1117/12.2548887*
- Tovar, C., Seijmonsbergen, A. y Duivenvoorden, J. (2013). *Monitoreo del cambio de uso y cobertura del suelo en regiones montañosas: un ejemplo en los pastizales Jalca de los Andes peruanos. Paisaje y planificación urbana, 112, 40–49. doi: 10.1016 / j.landurbplan.2012.12.003*
- TOWERS, P.C., 2002. Conceptos Iniciales sobre Teledetección y su Aplicación Agro. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/68699412/Conceptos-Iniciales-sobre-Teledeteccion-y-su-Aplicacion-al-Agro>.
- Uddin A. y Kumar M.(2021) *Análisis de cambios en la cobertura del suelo del uso de la tierra debido a la minería a cielo abierto en la cuenca carbonífera de Jharia a través de datos de series de tiempo de Landsat. Materialstoday Proceedings.doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.277*
- Velázquez, A., Duran, E., Larrazábal, A., López, F., & Medina, C. (2010). *Lacobertura vegetal y los cambios de uso del suelo. Tecaltapec, 28-32.*
- Zhang, H., Qi, Z., Ye, X., Cai, Y., Ma, W. y Chen, M. (2013). *Análisis del uso del suelo / cambio de cobertura del suelo, cambio de población y sus efectos sobre los patrones espacio-temporales de las islas de calor urbanas en la zona metropolitana de Shanghai, China. Geografía aplicada, 44, 121-133. doi: 10.1016 / j.apgeog.2013.07.021*
- Zhang, M., Wang, J., & Feng, Y. (2019). *Temporal and spatial change of land use in a large-scale opencast coal mine area: A complex network approach. Land Use Policy, 86, 375–386. doi: 10.1016/j.landusepol.2019.05.020.*

## ANEXOS

### Anexo 1. Información de las imágenes Satelitales

| Satélite sensor   | Identificador de escena                  | Fecha de adquisición |
|-------------------|--|----------------------|
| Landsat 5 TM      | LT05_L1TP_009065_20110812_20161007_01_T1 | 12/08/2011           |
|                   | LE07_L1TP_009065_20090915_20161217_01_T1 | 15/09/2009           |
| Landsat 7 ETM+    | LE07_L1TP_009065_20100801_20161213_01_T1 | 01/08/2010           |
|                   | LE07_L1TP_009065_20120721_20161201_01_T1 | 21/07/2012           |
| Landsat 8 OLI/TIR | LC08_L1TP_009065_20130716_20170503_01_T1 | 16/07/2013           |
|                   | LC08_L1TP_008066_20140712_20170421_01_T1 | 12/07/2014           |
|                   | LC08_L1TP_008066_20150613_20170407_01_T1 | 13/06/2015           |
|                   | LC08_L1TP_008066_20160701_20170323_01_T1 | 01/07/2016           |
|                   | LC08_L1TP_009065_20170625_20170713_01_T1 | 25/06/2017           |
|                   | LC08_L1TP_009065_20180103_20180118_01_T1 | 03/01/2018           |

Fuente: (USGS, 2020)

**Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables**

| VARIABLES              | DEFINICIÓN CONCEPTUAL  | DEFINICIÓN OPERACIONAL   | DIMENSIONES              | INDICADORES                         | ESCALA DE MEDICIÓN |
|------------------------|--|--|--------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| COBERTURA VEGETAL      | Es toda superficie cubierta de unidades vegetales forestal, estas pueden ser homogéneas o variadas (Morales, 2016)                     | La cobertura vegetal es medida mediante el procesamiento digital de las imágenes satelitales Landsat y la técnica de NDVI. Asimismo, los complementos informáticos como ENVI 5.3, Y ARC MAP 10.3 | Análisis espaciotemporal | tendencia                           | pendiente (ha/año) |
|                        |  |  |                          | perdida de cobertura vegetal        | %                  |
| Expansión Mina El Toro | Es la superficie asociada a la extensión de una actividad exploratoria o de explotación para extraer un mineral. (Finer y Mamani,2020) | Es la superficie minera estimada mediante la teledetección de imágenes satelitales procesadas en ArcGIS 10.3. Esta superficie será medida en hectáreas.  | Análisis espaciotemporal | tendencia                           | pendiente (ha/año) |
|                        |  |  |                          | Crecimiento superficial de la mina  | %                  |
|                        |  |  |                          | teledetección de cambio superficial | cartografía        |

**Anexo 2.** Matriz de consistencia

| PROBLEMA   | HIPOTESIS  | OBJETIVOS   | VARIABLES  | METODOLOGIA  | POBLACION Y MUESTRA   |
|--|--|---|--|--|---|
| <b>PROBLEMA GENERAL</b>  | <b>HIPOTESIS GENERAL</b>   | <b>OBJETIVO GENERAL</b>   |  | Tipo de investigación:<br>No experimental -<br>Descriptivo –<br>Correlacional -<br>longitudinal  |   |
| ¿Qué relación existe entre la expansión de la mina El Toro y la cobertura vegetal del distrito de Huamachuco en el periodo 2011 a 2020?  | Existe una relación significativa entre la expansión de la mina El Toro y la cobertura vegetal del distrito de Huamachuco en el periodo 2011 a 2020.   | Determinar la relación entre la expansión de la mina El Toro y la cobertura vegetal del distrito de Huamachuco en el periodo 2011 a 2020.   |  |  |   |
| problemas específicos  | hipótesis específicas  | objetivos específicos   |  | Técnica:<br>Observación directa y procesamiento de imágenes digitales  | Población:<br><br>Distrito Huamachuco   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Como es la dinámica temporal de la cobertura vegetal del distrito de Huamachuco en el periodo 2011 a 2020?</li> <li>¿Como es la dinámica temporal de la expansión de la mina El Toro del distrito de Huamachuco en el periodo 2011 a 2020?</li> <li>¿Qué relación existe entre la expansión de la Mina El Toro y la cobertura vegetal del distrito de Huamachuco en el periodo 2011 a 2020?</li> </ul> | <p>La dinámica temporal de la cobertura vegetal muestra un comportamiento diminutivo en el periodo 2011 a 2020. La dinámica temporal de la expansión de la mina el Toro muestra un comportamiento en aumento en el periodo 2011 a 2020.</p> <p>Existe una relación inversa y significativa entre la expansión de la Mina El Toro y la cobertura vegetal en el periodo 2011 a 2020.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la dinámica temporal de la cobertura vegetal del distrito de Huamachuco en el periodo 2013 a 2020.</li> <li>Calcular la dinámica temporal de la expansión de la Mina del Toro del distrito de Huamachuco en el periodo 2011 a 2020.</li> <li>Establecer la relación entre la expansión de la Mina El Toro y la cobertura vegetal del distrito de Huamachuco en el periodo 2011 a 2020.</li> </ul> | En la investigación la variable dependiente es la cobertura vegetal y la variable independiente es la expansión de la Mina el TORO | <p>Instrumento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ficha de observación</li> <li>Ficha de registro de datos geo procesados</li> </ul> <p>Método de análisis de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis correlacional</li> <li>Análisis descriptivo (gráficos lineales)</li> <li>Tasa de cambio anual Cartografía</li> </ul> | <p>Tipo de Muestreo:<br/>No probabilístico o por conveniencia</p> <p>Muestra:<br/>Superficie afectada por la actividad minera</p> |