ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.908

TEMPORAL ANALYSIS OF THE YANACOCHA MINING EXPANSION ON THE PLANT COVER DURING THE PERIOD 1990 – 2023 OF THE CAJAMARCA PROVINCE, PERU

Evelin Yesenia Rojas Avila[1]; Enoc Timoteo Reyes Guzman[2]; Carlos Alberto Alva Huapaya[3]
[1,2,3] Universidad Privada del Norte, Av. Alfredo Mendiola 6062, Los Olivos 15306, Lima, Perú
[1]evelin022025@gmail.com, [2] erg76601663@gmail.com, [3]car.alva@gmail.com

Abstract*– The growth of the mining industry is an essential part of the development of the world economy and in Peru. However, it has negative consequences for biodiversity, modifying soil quality and loss of highly valuable plant cover if sustainable management is not carried out. Therefore, the objective was set to determine the temporal analysis of the Yanacocha mining expansion on the vegetation cover during the period 1990 - 2023 of the Cajamarca province, Peru. For this, satellite images from LANDSAT 5, LANDSAT 7 and LANDSAT 8 were used. Likewise, Google Earth Pro, shapefiles and after that, the NDVI vegetation index (Normalized Difference Vegetation Index) was used for the vegetation cover analysis. and the combination of bands for analysis of mining surfaces, these were processed in ArcGIS 10.8 software. The results show us the loss of vegetation cover is 6,740.30 (Ha) in the 33 years of study. Likewise, mining expansion grows at an accelerated pace, increasing by 6737.61 (Ha) in the period of analysis. It is concluded that most of the loss of vegetation cover was due to the growth of mining.

Keywords: temporal analysis, loss of vegetation cover, mining expansion.

.

ANÁLISIS TEMPORAL DE LA EXPANSIÓN MINERA YANACOCHA SOBRE LA COBERTURA VEGETAL DURANTE EL PERIODO 1990 – 2023 DE LA PROVINCIA CAJAMARCA, PERÚ

Evelin Yesenia Rojas Avila[1]; Enoc Timoteo Reyes Guzman[2]; Carlos Alberto Alva Huapaya[3]
[1,2,3] Universidad Privada del Norte, Av. Alfredo Mendiola 6062, Los Olivos 15306, Lima, Perú
[1]evelin022025@gmail.com, [2] erg76601663@gmail.com, [3]car.alva@gmail.com

Resumen

El crecimiento de la minera es una parte esencial en el desarrollo en la economía mundial y en el Perú. Sin embargo, trae consecuencias negativas para la biodiversidad, modificando la calidad del suelo y pérdida de coberturas vegetales de gran valor si no se hace un manejo sostenible. Por ello, se planteó como objetivo, Determinar el análisis temporal de la expansión minera Yanacocha sobre la cobertura vegetal durante el período 1990 – 2023 de la provincia Cajamarca, Perú. Para ello se utilizaron imágenes satelitales de LANDSAT 5, LANDSAT 7 y LANDSAT 8. Asimismo, Google Earth Pro, shapefiles y posterior a ello, se utilizó el índice de vegetación NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) para el análisis de cobertura vegetal, y la combinación de bandas para análisis de superficies mineras, estos fueron procesados en el software ArcGIS 10.8. Los resultados nos muestran la perdida de la cobertura vegetal es de 6,740.30 (Ha) en los 33 años de estudio. Asimismo, la expansión minera crece en un ritmo acelerado aumento en 6737.61 (Ha) en el periodo de análisis. se concluye que la gran parte de la perdida de la cobertura vegetal fue por el crecimiento de la minería.

Palabras claves: Análisis temporal, perdida cobertura vegetal, expansión minera.

I. INTRODUCCIÓN

El mundo gira al orden económico capitalista de producción a gran escala, en ese sentido a la extracción masiva de minerales en distintos partes del mundo. Sin embargo, la consecuencias ambientales, sociales, culturales y de salud son altas debido a la falta normativa o ausencia del estado. Es más, los pobladores son los más afectados siendo despojados de sus tierras y alteran sus cuencas hídricas, no son informados adecuadamente sobre los impactos negativos que estas puedan generar [1].

Asimismo, la minería en América latina es una de las actividades que general mayor inversión extranjera, pero a su vez es tiene un gran impacto negativo al ambiente. Además, el porcentaje de conflictos sobre aspectos ambientales mineros se dan en su mayoría en Chile, Colombia y Perú tienen la necesidad de mejorar el comportamiento socioambiental de la actividad minera, es primordial fortalecer los estándares socioambientales de la minería, como un mecanismo para legitimar el desarrollo de esta actividad, que disminuya la conflictividad con las comunidades y los territorios [2].

La industria minera en el Perú en su mayoría es de tajo abierto. Es aquella que se realiza en la superficie con maquinaria moderna, removiendo grandes cantidades de tierra y dejando un pozo inmenso que se llama tajo, utilizan explosivos para remover gran cantidad de rocas generando polvos los cuales contaminan el aire, los lagos, los ríos o aguas subterráneas. Como ejemplo de este tipo de explotación están las áreas de las Empresa Mineras: Yanacocha, Cerro de Pasco, Cuajone, etc. Es más, esto es el causante de la desaparición de la biodiversidad uno de los casos más grave que se conoce en el Perú es el tajo abierto de Cerro de Pasco, que es un martirio para la población al encontrarse en el centro de la ciudad [3].

La zona en la que se asienta la Minera Yanacocha en Cajamarca es un área de gran biodiversidad. El estudio, hace referencia a la existencia en 1994 de 250 especies de plantas y aproximadamente 50 especies de vertebrados en los 20 kilómetros cuadrados del área de estudio. El estudio de biodiversidad de la zona denominado: “La Jalca de Oro” estas especies se encuentra extintas, un impacto ambiental que podría calificarse como “aceptable” o “manejable” aún estamos muy lejos. Tal vez, porque el carácter mismo de las operaciones mineras así lo requiere de manera inevitable: remover más de 15 toneladas de suelo y rocas, utilizar 02 grs. de cianuro de sodio para extraer 01 gramos de oro, afectado exponencialmente al cambio de suelo [4].

Ref. [5], realizo una investigación titulada, *Análisis multitemporal de perdida cobertura vegetal y su relación con los movimientos en masa a partir de la evidencia de ocurrencias conocidas (inventario de procesos morfodinámicos) del municipio de Cartago, Valle del Cauca*, tesis para obtener el título de especialistas en prevención, reducción y atención de desastres en Colombia. Por la universidad católica de Manizales, el objetivo de la investigación fue cuantificar la perdida de cobertura vegetal y su relación con el movimiento de masas mediante un análisis multitemporal durante el periodo 2010 - 2020. Para, ello el autor utilizo la técnica de recolección de datos, el programa de ArcGIS en el procesamiento de las imágenes satelitales, la cual permite describir, caracterizar y pudo cuantificar usando tablas donde registro los datos obtenidos y con ello analizar sobre la perdida de la cobertura vegetal y relacionar con el movimiento de masa. En sus resultados pudo obtener los años en que se perdió más la cobertura vegetal y el movimiento de

masa, por el cual el autor concluye que existe una relación en el periodo de estudio.

Ref. [6], realizo una investigación titulada, *Análisis multitemporal de la dinámica de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del Río Illangama,* tesis para obtener el grado Académico de Magíster en Gestión Ambiental Mención Planificación Ambiental en Ecuador. Por la universidad técnica de Ambato, el objetivo de la investigación fue hacer un análisis multitemporal del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal periodo de la microcuenca del Río Illangama 1996-2021. La metodología utilizada fue no experimental, tuvo un enfoque de estudio cualitativo con alcance descriptivo. Asimismo, utilizaron la búsqueda clasificada de imágenes satelitales Landsat de seis clases, se desarrolló mapas de coberturas vegetales con el programa de ArcGIS, como resultado el autor determino que Durante el lapso de 25 años se ha perdido en la microcuenca el tipo de vegetación densa y poco densa. Por último, el estudio identifica la incidencia que ha tenido el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en la parte social y ambiental. Determinando que, en la zona de estudio la población mayormente se dedicaba a la agricultura, expandiendo sus cultivos y viviendas hacia la cuenca alta.

Ref. [7], realizó una investigación titulada *Influencia De La Expansión Minera Constancia Sobre La Cobertura Vegetal Durante El Periodo 2010 – 2021 Cusco – Perú*, tesis para obtener el título profesional en la universidad privada del norte, con el objetivo de conocer el grado de influencia de la expansión minera Constancia sobre la variabilidad de la cobertura vegetal en Chumbivilcas Cusco, durante el periodo 2010-2021. La investigación es de tipo aplicada con nivel descriptivo correlacional, con técnicas de observación no experimental (fotointerpretación), lo cual es definida como una técnica que permite seleccionar datos de cobertura vegetal y superficie minera, mediante el geoprocesamiento digital para su posterior cuantificación; concluyendo que la expansión minera tuvo un ascenso temporal promedio de 168,8 ha/año, donde los años con mayor crecimiento significativo fueron el 2013 y 2014, el cual guarda relación con la exportación acelerada de los metales en el mercado (equilibrio de oferta y demanda). Se demostró un descenso de la cobertura vegetal ligera a una razón promedio de 52,4 ha/año y un descenso de 28,27 ha/año en la cobertura vegetal densa. Asimismo, en el transcurso del tiempo la recuperabilidad de la vegetación iba en descenso, así lo demostró la tasa de cambio anual.

Ref. [8], realizó una investigación titulada *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 obtener el título profesional en la universidad privada del norte, con el objetivo de 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. La investigación es de tipo cuantitativo con un diseño descriptivo - correlacional con corte longitudinal, con técnicas de 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; concluyendo que 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.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo correlacional y de corte longitudinal, [9]. Por ello este estudio tiene este enfoque, el cual tiene como fin analizar la relación de la expansión minera y la cobertura vegetal por medio del estudio de imágenes satelitales en los distritos de Cajamarca, Encañada y Baños del inca durante el periodo del 1990 a 2023.

El estudio se considera no experimental, El propósito de esta investigación es analizar la situación presente y pasado de la expansión minera sobre la cobertura vegetal con la exploración retrospectiva [10].

El enfoque aplicado en esta investigación es el cuantitativo, [11]. Debido que se analiza datos numéricos de áreas superficiales en unidades de Hectáreas, las cuales fueron obtenidas a base de imágenes satelitales para el análisis temporal de la expansión minera Yanacocha sobre la cobertura vegetal durante el período 1990 – 2023 de la provincia Cajamarca, Perú.

El presente estudio tiene como población a la variación de cobertura vegetal y el avance de la expansión minera dentro del polígono trazado como área de estudio que están entre los distritos de Cajamarca, Baños del inca y Encañada que corresponde a un área de 11085 ha.

La muestra de la presente investigación es igual que la población; ya que, se analizará la perdida de la cobertura vegetal y el crecimiento de la expansión minera dentro del polígono trazado con el área de 11085 ha. en el cual se podrá cuantificar las variables de estudio. Asimismo, determinar la relación que existen entre ellas.

En la presente investigación se realiza con la técnica de observación no experimental, [12]. Se tomó en cuenta la elección de información confiable de fuentes bibliográficas electrónicas (libros, artículos científicos, revistas y papers) publicadas por instituciones internacionales, nacionales y a nivel local. Además, se utiliza el sistema GIS para la delimitación del área de estudio el cambio de la cobertura vegetal y la expansión minera con el análisis de las imágenes satelitales (Fotointerpretación, fotogrametría y teledetección) en los años 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2023. comparando las alteraciones geográficas y analizar la cobertura vegetal y la expansión minera con el uso de programas y entornos digitales.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó plataformas satelitales del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), SasPlanet 2019, se utilizaron imágenes satelitales obtenidos de LANDSAT 5, LANDSAT 7 y LANDSAT 8. Asimismo, software ArcGIS 10.8, QGIS, Google Earth Pro, shapefiles el cual se utilizaron para delimitar el área de estudio y su análisis relacionadas con el estudio de la extracción que realiza la mina Yanacocha.

Delimitación del área de estudio

La minera Yanacocha se encuentra ubicado en el departamento de Cajamarca, en la provincia de Cajamarca que abarca los distritos de Cajamarca, La encañada, y baños del inca, en la provincia de San pablo abarca en menor medida el distrito de Tumbadén.

Con la ayuda Google Earth Pro, con este instrumento se eligió 07 años de forma ascendentes las cuales fueron: 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2023. (Ver Fig. 1).

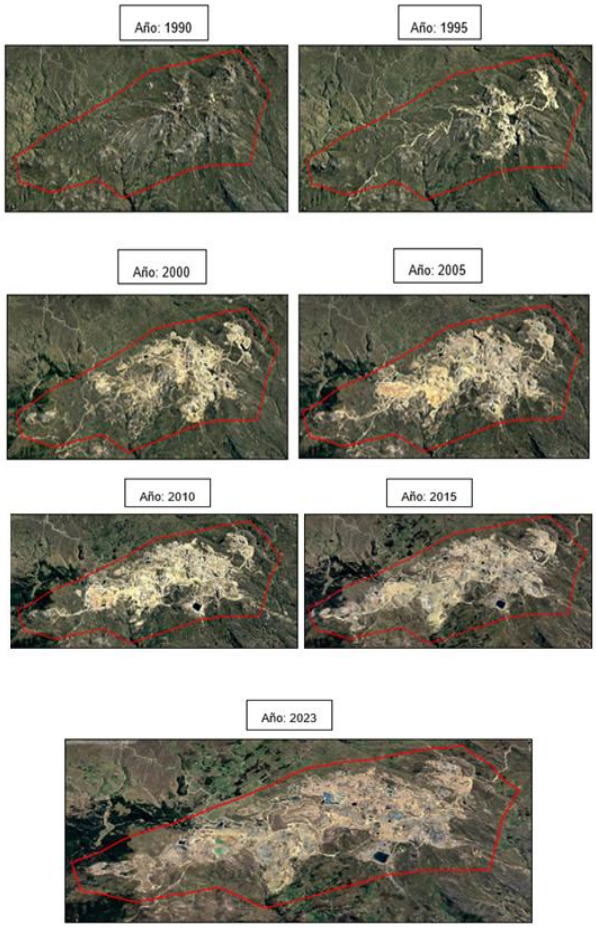


Fig. 1: Delimitación del área de estudio por años.
Nota: 07 años de estudio de forma ascendentes las cuales fueron: 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2023.

Para la extracción de la expansión minera y la cobertura vegetal se usa las herramientas de índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI), a partir de las imágenes satelital Landsat 5, 7 y 8. (Ver tabla 1).

TABLA 1
FÓRMULAS DE COMBINACIÓN DE BANDAS (RGB)

IMAGEN SATELITAL	BANDAS	FORMULA
LANDSAT 5	B4, B3	$NDVI = \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)}$
LANDSAT 7	B4, B3	$NDVI = \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)}$
LANDSAT 8	B5, B4	$NDVI = \frac{(B5 - B4)}{(B5 + B4)}$

Nota: Formulas de índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI) de LANDSAT 5, 7 y 8.
Ref. *[13].*

III. RESULTADOS

EVALUACIÓN LA REDUCCIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DURANTE EL PERÍODO 1990 – 2023 DE LA PROVINCIA CAJAMARCA, PERÚ.

Para el análisis de la cobertura vegetal se utilizaron las imágenes satélites y procesadas en ArcGis obteniendo áreas en unidades de hectáreas (ha) (Ver tabla 2). Por ello, la estimación de la cobertura vegetal se tiene el punto de partida en el año 1990 antes del inicio de la actividad minera Yanacocha, en el polígono de esta investigación se tiene un área inicial de 10,775.50 (Ha) y al año 2023 se obtiene un área de 4,035.20. (Ha). Es decir que hubo una reducción de 6,740.30 (Ha) en los 33 años que se toma para esta investigación.

TABLA 2
ESTIMACIÓN DEL ÁREA DE COBERTURA VEGETAL

año	Área cobertura vegetal (Ha)
1990	10,775.50
1995	8,360.30
2000	7,532.50
2005	7,625.10
2010	5,738.40
2015	4,161.20
2023	4,035.20

Nota: *Datos obtenidos Mediante el procesamiento de las imágenes satelitales.*

En la tabla (Tabla 2) se aprecia que la cobertura vegetal está decreciendo en cada periodo de estudio. Asimismo, esto se verifica gráficamente en las imágenes satelitales obtenidas y que están plasmadas en los años 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2023, donde el color verde en el mapa se va reduciendo cada vez más.

De la Fig. 2, su análisis del periodo que se está estudiando se pudo notar 2 años en particular el año 2005 con un incremento de 92.6 ha de cobertura vegetal y el siguiente año 2023 con una disminución muy baja a los demás años ya visto, durante 7 años solo se redujo 126 ha. El primer año mencionado, se debe a que el día 2 de junio del año 2000, se produjo un derrame de mercurio metálico de 151 kg en un trayecto de 27 km, atravesando 3 distritos de la provincia de Cajamarca generando daños ambientales y a la salud de las personas, por la cual la minera Yanacocha optó por la implementación de un plan de gestión ambiental, la cual consta de medidas de prevención, mitigación, corrección y rehabilitación en las áreas ambientales afectadas, durante los años 2000 al 2005 se ejecutó lo mencionado y por ello, en la cobertura vegetal se observa un aumento y no una reducción. El segundo año mencionado, se debe a que la minera Yanacocha efectuó el cumplimiento del plan medio ambiental desde el año 2015 al año 2023 que se observa una diferencia en la reducción vegetal ya que a comparación de los demás años esta es mucho menor con una reducción de 126 ha y se estima que en los años anteriores a este no se cumplía con la responsabilidad ambiental y las remediaciones que se comprometió la minera Yanacocha.

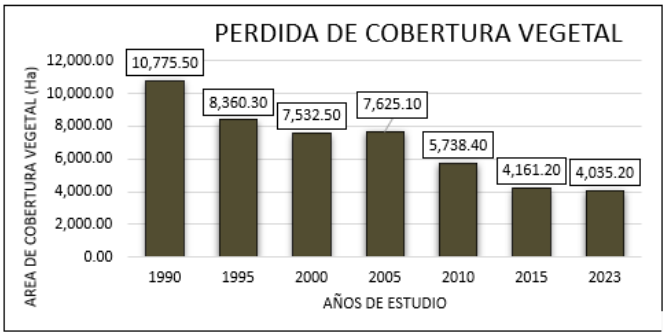


Fig. 2: Variación de la cobertura vegetal
Nota: Representa la variación de la cobertura vegetal por cada periodo.

EVALUACIÓN LA REDUCCIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DURANTE EL PERÍODO 1990 – 2023 DE LA PROVINCIA CAJAMARCA, PERÚ.

El análisis temporal se desarrolló del periodo 1990 a 2023 (Ver tabla 3), este análisis permitió tener la estimación de área de la actividad minera la tendencia de crecimiento por cada periodo. En el año 1990 se tiene un área de 273.99 (Ha) es el punto de partida para el análisis. Asimismo, en el año 1995 se tiene el área de 2,688.80 (Ha) teniendo un incremento de 2,414.81(Ha) por los inicios de las actividades mineras. Por último, se aprecia que para el año 2023 se tiene un área de actividad minera 7,011.60 (Ha) siendo un crecimiento notable.

TABLA 3
ESTIMACIÓN DEL ÁREA DE LA EXPANSIÓN MINERA

años	Área Minera (Ha)
1990	273.99
1995	2,688.80
2000	3,516.20
2005	3,424.40
2010	5,309.40
2015	6,885.10
2023	7,011.60

Nota: Datos obtenidos Mediante el procesamiento de las imágenes satelitales.

En la tabla 3, se puede ver que el área de la expansión minera está incrementando en cada periodo de análisis que se tomó, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2023. Asimismo, esto se puede ver en el mapa grafica de expansión minera en el cual el color rojo está expandiéndose dentro del polígono de estudio.

Durante el análisis de la Fig. 3, de los años que se está estudiando se pudo notar 1 año en particular el año 2005, la expansión minera redujo 91.80 ha, debido a que en el año 2000 se produjo un derrame de mercurio metálico de 151 kg en un trayecto de 27 km, atravesando 3 distritos de la provincia de Cajamarca generando daños ambientales y en la salud de las personas, en consecuencia, hubo una paralización de actividades de 1 mes. Así mismo, la empresa se comprometió a reparar los daños causados e implementar un plan de manejo medio ambiental, que se cumplieron durante los años siguientes por ende se muestra una reducción a la explanación.

Fig. 3: Variación porcentual de la actividad minera

Nota: Representa la variación porcentual por cada periodo

ANÁLISIS TEMPORAL DE LA EXPANSIÓN MINERA YANACOCHA SOBRE LA COBERTURA VEGETAL DURANTE EL PERÍODO 1990 – 2023 DE LA PROVINCIA CAJAMARCA, PERÚ.

Se realizó en análisis mediante la detección espacial, se utilizó el ArcGIS 10.8 car como herramienta para cuantificar el área geográfica donde se aprecian los datos obtenidos (Ver tabla 4).

TABLA 4

ESTIMACIÓN DEL ÁREA DE LA EXPANSIÓN MINERA Y COBERTURA VEGETAL

Años	Área de expansión Minera (Ha)	Área de cobertura vegetación (Ha)
1990	273.99	10,775.50
1995	2,688.80	8,360.30
2000	3,516.20	7,532.50
2005	3,424.40	7,625.10
2010	5,309.40	5,738.40
2015	6,885.10	4,161.20
2023	7,011.60	4,035.20

Nota: Datos obtenidos Mediante el procesamiento de las imágenes satelitales.

En la tabla 4 se observa los datos de la cobertura vegetal y la expansión minera en los distintos periodos 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2023. Estos cambios se aprecian de manera significativa si se compara en el año 1990 y 2023 en cada variable de estudio.

En la fig. 4, se observa la tendencia temporal de la expansión de la actividad minera y la cobertura vegetal, de ello se puede observar que la actividad minera se incrementa por cada periodo, en cambio la cobertura vegetal decrece. Es decir, que estas dos variables están relacionadas. Sin embargo, no varían en el mismo porcentaje dado que la minera crece en un promedio de 10% anual, y la perdida de cobertura vegetal decrece en un promedio de 3% anual. Esto, nos muestra que la perdida de cobertura vegetal está siendo mitigada por otros factores como el clima que ayuda a la reforestación y que la propia minera cuenta con un plan de mitigación y remediaciones.

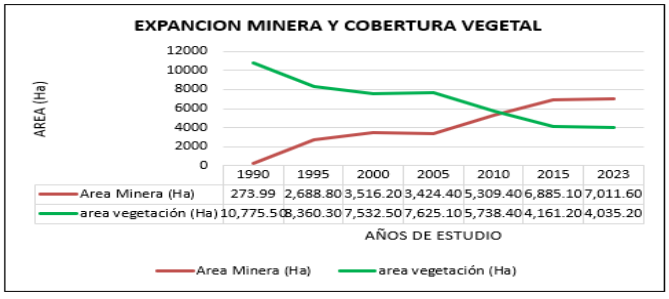


Fig. 4: Tendencia temporal de la expansión minera y la cobertura vegetal

Nota: Muestra la relación que existe entre el crecimiento de la actividad minera y la cobertura vegetal

En la Fig. 5, se aprecia el grafico del pronóstico de la perdida de la cobertura vegetal posterior a los años de estudio. Es decir, tomando los años 2030,2035,2040,2045,2050, donde abarca el plan de cierre de la minera Yanacocha que es 2040, comparando con el inicio de la actividad minera 1990 se intuye que podría tener una pérdida de 85.37. por otra parte, si siguiera la actividad minera hasta el 2050 se te podría tener una pérdida de un 98.8% de cobertura vegetal.

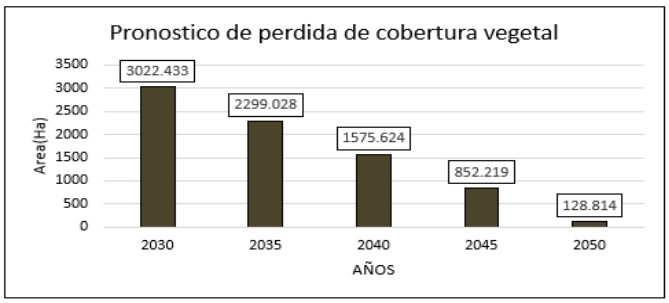


Fig. 5: Pronóstico de la tendencia de la cobertura vegetal
Nota: Muestra el pronóstico de la tendencia de la perdida de la cobertura vegetal.

Se aprecia en la Fig. 6, la predicción de la tendencia de crecimiento de la minería posterior a los años de estudio de esta investigación tomando los años 2030, 2035, 2040, 2045 y 2050. Del cual en el 2040 que es año de cierre de la minería se estima que puede crecer en un 64387.24(ha) tomando como referencia el año 1990. Si el plan de cierre no fuera efectuado para el año 2050 se tendría un incremento de 98298.7922(Ha)

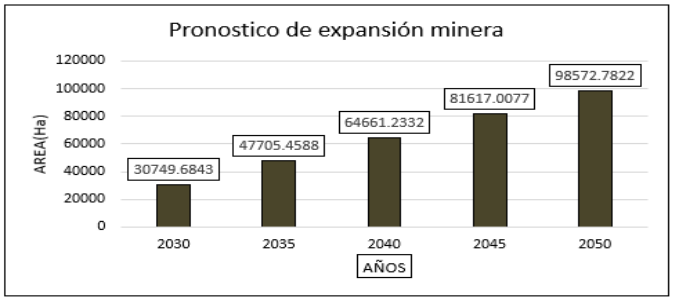


Fig. 6: Pronóstico de la tendencia de la expansión minera.
Nota: Muestra el pronóstico de la tendencia de la expansión minera.

IV. DISCUSIÓN

Se pudo realizar el análisis temporal de la expansión minera Yanacocha sobre la cobertura vegetal durante el periodo 1990 – 2023 de la provincia Cajamarca, Perú. En los resultados se evidencio la variación de las variables siendo dependientes. El cual se pudo determinar con el procesamiento de imágenes satelitales. El cual coincide con la metodología usada por [6]. En su Análisis multitemporal de la dinámica de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del Río Illangama, el autor utilizó para el cálculo el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado NDVI, para ello se utilizaron las bandas 5 y 4 tanto para la imagen satelital Landsat 5, Landsat 7, obteniendo como resultado, el

incremento de los páramos en 2,5%; el bosque 1,9%; e agropecuario en 4,1% y la vegetación arbustiva y herbácea en un 1,8%. Mientras que, ha disminuido el área sin cobertura vegetal en 2,3% y el área poblada en 8,1%. Ref. [14]. En su estudio Determinación de la pérdida de cobertura vegetal a través de un análisis multitemporal en la finca la esperanza ubicada en el municipio de Carcasí, para obtener los resultados se utilizaron imágenes satelitales de alta resolución de Landsat, procesadas con Software ArcGIS Desktop 10.5. pudo determinar en sus resultados que se ha perdido un 17,03% de bosque en los últimos 7 años. Además, para el cálculo de datos, [15]. Utilizó la metodología, índice espectral denominado índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI), para su estudio Análisis Multitemporal de la Cobertura Vegetal de la Subcuenca del Río Chambo Durante el Periodo 2015 A 2020, del cual en sus resultados pudo determinar cambios en zonas agrícolas y pastizales, un incremento de 6,56% ha. Mas aun, [16], nos muestra que con esta metodología logro determinar 4 categorías las cuales fueron: denso, semi denso, ralo, cobertura mínima y cuerpos no vegetales y con ello obtuvo en sus resultados la pérdida de cobertura vegetal boscosa de 30 % en 7 años.

En relación con el primer objetivo específico se logró Evaluar la reducción de la cobertura vegetal durante el período 1990 – 2023 de la provincia Cajamarca, Perú, con la metodología de procesamiento de imágenes satelitales, cuando se toma los 33 años de estudio que se realizó, se obtiene una pérdida de 6,740.30 (Ha), el cual representa una disminución de 62.55% de área inicial estos resultados coinciden con la metodología usada por, [17]. Realizó una investigación titulada Evaluación temporal de la cobertura vegetal mediante teledetección en la provincia de Huanta - Ayacucho, 2017-2021, cuyos resultados obtenidos con NDVI fueron, 2017 con 0,6375; el 2018 con 0,6321 y 2019 con 0,6688; el del 2020 con 0,6802 y el 2021 de 0,6082. Es decir, se logró cuantificar la variación de la cobertura. Asimismo, [18]. En su estudio Análisis multitemporal del cambio en la cobertura del suelo en la Mixteca Alta Oaxaqueña, sus resultados mostraron un incremento positivo de 6.6 % durante el período de 1995 al 2016 en la cobertura forestal. Sin embargo, los autores muestran que hay una mejor capacidad pronosticar en los modelos con datos de *Sentinel*-2 en comparación con *Landsat* 8, como respuesta a la resolución espacial y las bandas de borde rojo adicionales, lo que permite mejorar la información. Por otra parte, [5]. Nos menciona que la perdida de cobertura vegetal favorece a la susceptibilidad del movimiento de masas pudiendo producir erosiones a gran escala, encontrando en sus resultados de su investigación la relación de perdida de cobertura con el movimiento de masas en 2014.

Respondiendo al segundo objetivo, Evaluar la expansión minera Yanacocha durante el período 1990 – 2023 de la provincia Cajamarca, Perú. En los resultados obtenidos la minería crece abruptamente del año 1990 que es de 273.99 (Ha) a 7,011.60 (Ha) para el 2023, estos datos fueron obtenidos con el procesamiento de imágenes satelitales. El análisis se desarrolló con una clasificación no supervisada y validación en campo. Ref. [8], en su investigación Relación De La Expansión Minera El Toro Y La Cobertura Vegetal Del Distrito De Huamachuco- La Libertad, En El Periodo De 2011 A 2020. 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%. Estos resultados se asemejan a los datos obtenidos en este estudio. Asimismo, [7], en su estudio Influencia De La Expansión Minera Constancia Sobre La Cobertura Vegetal Durante El Periodo 2010 – 2021 Cusco – Perú, nos indica que en sus resultados la minería creció en un promedio anual de 115.5 ha/año, para el cálculo de sus datos utilizo el procesamiento de imágenes satelitales. Por ello, la metodología que se usó en esta investigación tiene mayor sustento.

En cuanto a la biodiversidad de la zona de estudio, se ha identificado que numerosas especies animales y vegetales han desaparecido como resultado de la expansión de la minería Yanacocha. De acuerdo con el estudio titulado "Impacto ambiental en Yanacocha" [4], esta área en Cajamarca es reconocida por su rica biodiversidad. El análisis indica que en 1994 existían 250 especies de plantas y aproximadamente 50 especies de vertebrados en los 20 kilómetros cuadrados de la zona de estudio. Entre estas, se registraron cinco especies de ranas y sapos, así como trucha arco iris. Los habitantes de las comunidades de Porcón, Tual, Huambocancha y Huacataz, que se encuentran en las partes bajas de la explotación minera, han denunciado la extinción de estas especies en los ríos y fuentes de agua cercanas. Sin embargo, la Minera Yanacocha no ha reconocido su responsabilidad directa en esta extinción, e incluso algunos funcionarios de la empresa han llegado a negar que estas especies hayan existido en la región. La falta de un estudio de línea base sobre la biodiversidad, así como la calidad del agua, los suelos y el aire, es utilizada por los funcionarios mineros como argumento para eludir su responsabilidad en los daños ambientales. Se evidencia que la pérdida de cobertura vegetal y la expansión de la actividad minera constituyen los principales factores que contribuyen a las consecuencias mencionadas anteriormente. La remoción de más de 15 toneladas de suelo y rocas, así como el uso de 2 gramos de cianuro de sodio para extraer 1 gramo de oro, están afectando de manera exponencial la biodiversidad de la zona, con la contaminación de los suelos, aires y aguas, donde la población es la que está saliendo más afectada.

Por último, se realizó una tendencia de que pasaría si sigue con esa línea el desarrollo de la minera, lo que se puede aprecias es que para el año 2040 se podría tener una pérdida de cobertura vegetal de 98.8%. Siendo así una problemática para la biodiversidad ya que en la mayoría de los casos la minería es de tajo abierto produciendo polvos que causan erosiones, contaminación de especies y perdidas, [3].

V. CONCLUSIONES

Mediante el análisis de esta investigación se llegó a determinar, que se tiene una relación entre la cobertura vegetal y la expansión minera Yanacocha en el departamento de Cajamarca, como se muestra en los resultados ambos son dependientes, si la cobertura vegetal disminuye, la expansión de la minería aumenta. Con ello, se confirma la hipótesis planteada, donde el análisis temporal desarrollada de la expansión minera Yanacocha va a visualizar la reducción de la cobertura vegetal durante el período 1990 – 2023 de la provincia Cajamarca, Perú.

La cobertura vegetal presentó una reducción de 6,720.30 ha desde el año 1990 al año 2023, de la provincia Cajamarca, Perú, teniendo la mayor pérdida de cobertura vegetal en el año 1990 a 1995 con un total de 2,415.20 ha.

La expansión minera Yanacocha que se encuentra en el departamento de Cajamarca, durante el período 1990 al 2023 incrementó un total de 6,737.61 ha, teniendo mayor crecimiento minero en el año 1990 a 1995 cuando la minera tuvo sus primeros 5 años de iniciar actividades, con un total de 2,414.81 ha.

Se concluye que la minera Yanacocha en el año 2015 en adelante cumplió con el plan de manejo ambientan y la mitigación, por ende, se muestra una tasa menor de la expansión minera y la tasa reducción de cobertura vegetal. Así mismo, se estima que en los años anteriores no se estuvo cumpliendo con el plan medio ambiental por eso se muestra una tasa mayor de reducción de cobertura vegetal y la expansión minera.

REFERENCIAS

[1] La Rotta y Torres, *Explotación Minera Y Sus Impactos Ambientales Y En Salud. El Caso De Potosí En Bogotá, 2021*. *https://www.scielosp.org/article/sdeb/2017.v41n112/77-91/*

[2] Viana, *Minería En América Latina Y El Caribe, Un Enfoque Socioambiental*. 2018. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 07-08. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262018000200617

[3] López, *Impacto Ambiental De La Minería En El Desarrollo Rural De Las Comunidades Afectadas En El Perú*, 2000. *https://biblioteca.clacso.edu.ar/Colombia/fear-puj/20190717043539/flopez.pdf*

[4] Alva, Alvarado, Apolonario y Estrada, *Impacto Ambiental en Yanacocha, 2019*. https://es.scribd.com/document/434192595/Impacto-Ambiental-en-Yanaocha

[5] Cuellar y Serna, *Análisis Multitemporal De Perdida Cobertura Vegetal Y Su Relación Con Los Movimientos En Masa A Partir De La Evidencia De Ocurrencias Conocidas (Inventario De Procesos Morfodinámicos) Del Municipio De Cartago, Valle Del Cauca.* [Tesis de Titulo, Universidad Católica de Manizales], 2021. *https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/3233/1/Analisis_multitemporal_perdida_cobertura_vegetal_relacion_movimiento_masa_apartir_evidencia_ocurrencias_conoci{das_Inventario_procesos_morfodinamicos_Municipio_Cartago_Valle_Cauca.pdf*

[6] García, *Análisis multitemporal de la dinámica de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del Río Illangama*. [Tesis de maestría, Universidad Estatal de Bolívar], 2022. https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/35448

[7] Espinoza Perales, L. V, *Influencia De La Expansión Minera Constancia Sobre La Cobertura Vegetal Durante El Periodo 2010 – 2021 Cusco – Perú*, tesis para obtener el título profesional, Universidad Privada Del Norte, 2022. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/32624/Espinoza%20Perales%2C%20Lisseth%20Victoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[8] Quispe Monroy, M. A, *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 obtener el título profesional, Universidad Privada Del Norte, 2022. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/33489/Quispe%20Monroy%2C%20Maria%20de%20los%20Angeles.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[9] Cabrejos & Robles, *Manual de redacción de tesis de Posgrado*. Universidad Privada Antenor Orrego, 2020. *https://static.upao.info/descargas/4c22d0a600028ae5ef91f2ef69189c57abc0dbf4921990a25dd00b2a0fe788b05e3ebc048dffe021430b5ab33751d53b2e8abeb8019d8ddc4986d4ae1671c232/manual-de-redacciOn-de-tesis-de-posgrado-(1).pdf*

[10] Méndez, *Metodología de la investigación*. Editorial Alfha, *2000*. https://www.alpha-editorial.com/Papel/9789587786606/Metodolog%C3%ADa+De+La+Investigaci%C3%B3n

[11] Monje, *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa*. Universidad Sur Colombiana, Facultad de ciencias Sociales y Humanas, 2011. https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf

[12] Matos & Pasek, *La observación, discusión y demostración: técnicas de investigación en el aula*. LAURUS revista de investigación, vol. 14, núm. 17, 2008. https://www.redalyc.org/pdf/761/76111892003.pdf

[13] Guzmán, *Cálculo Del Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada - Ndvi Usando La Plataforma Google Earth Engine Para Los Años 2019 Y 2020 De La Vereda La Florida En El Municipio De Puerto Asís.* [Tesis para Titulo, Universidad de Militar Nueva Granada], 2021. https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3740185?show=full

[14] Carrero & Mendoza, Determinación De La Pérdida De Cobertura Vegetal A Través De Un Análisis Multitemporal En La Finca La Esperanza Ubicada En El Municipio De Carcasí – Santander. [Tesis de Titulo, Universidad de Cundinamarca], 2021. https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/items/a42fcc42-eba5-4e2a-b616-8708666951e1

[15] Pinta y Noboa, *Análisis Multitemporal de la Cobertura Vegetal de la Subcuenca del Río Chambo Durante el Periodo 2015 A 2020*. Revista Científico-Académica Multidisciplinaria Polo del Conocimiento, vol. 6 no 12 – 2021. *https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3376*

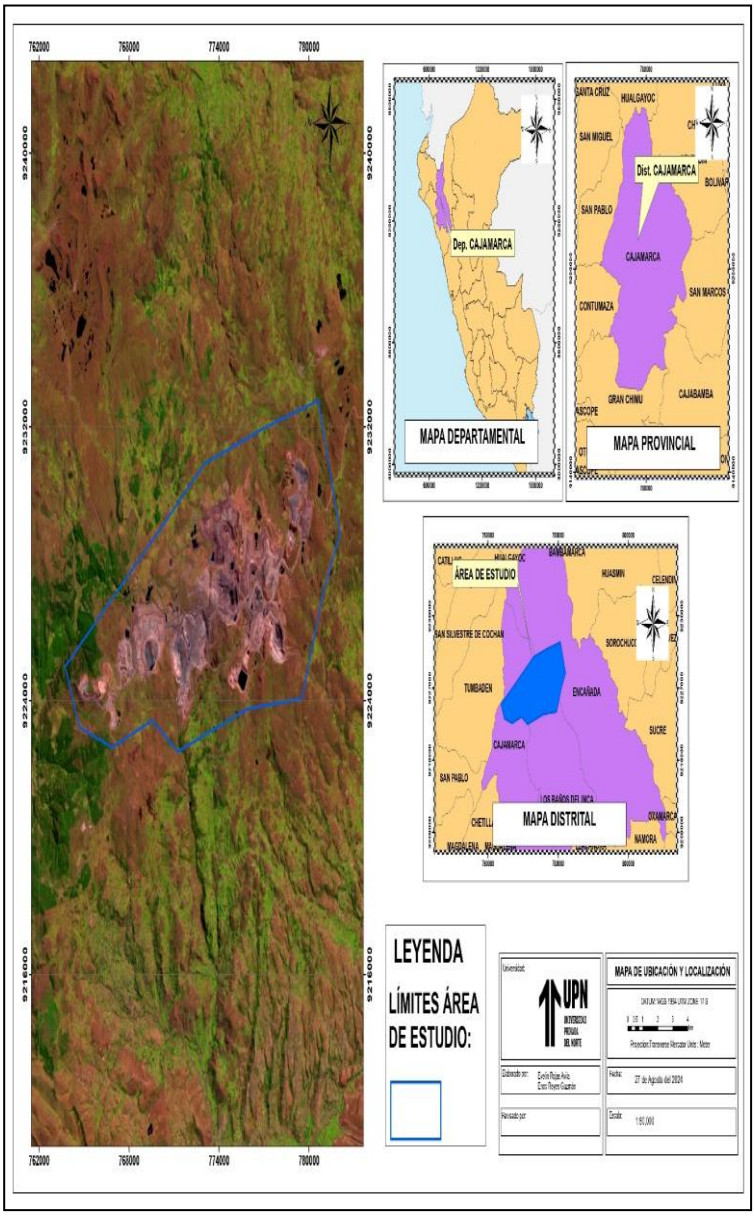
[16] Huamán Alcántara, W. K. , *Análisis De La Pérdida De Cobertura Vegetal Boscosa En El Distrito De Namballe, Provincia De San Ignacio Mediante El Uso Del Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada (NDVI)*, tesis para obtener el título profesional, Universidad Privada Del Norte, 2021. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30001/Huaman%20Alcantara%20Winy%20Karyna_Total.pdf?sequence=2

[17] Lozano Rodriguez, J. L, *Evaluación temporal de la cobertura vegetal mediante teledetección en la provincia de Huanta - Ayacucho, 2017-2021*, tesis para obtener el título profesional, Universidad Continental, 2024. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15746/1/IV_FIN_107_TE_Lozano_Rodriguez_2024.pdf

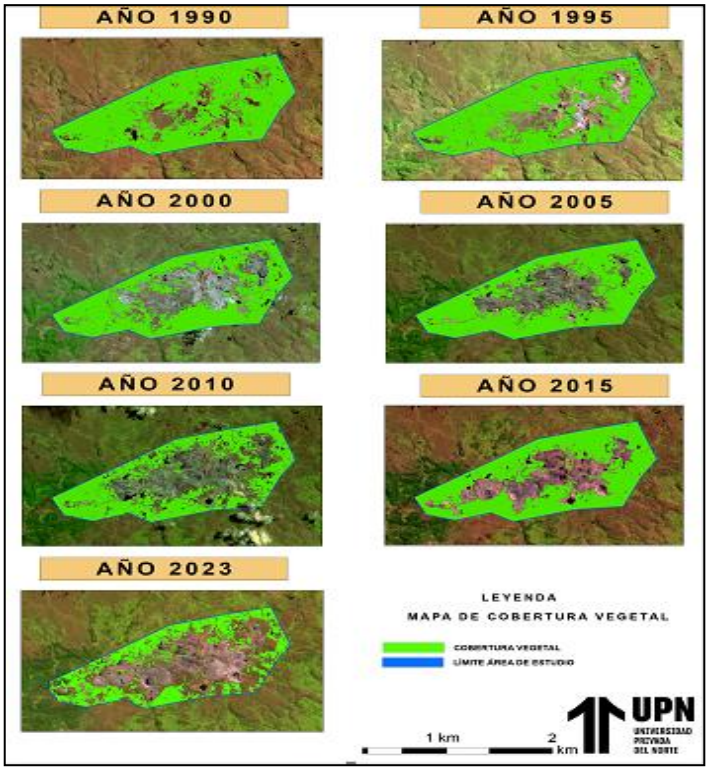
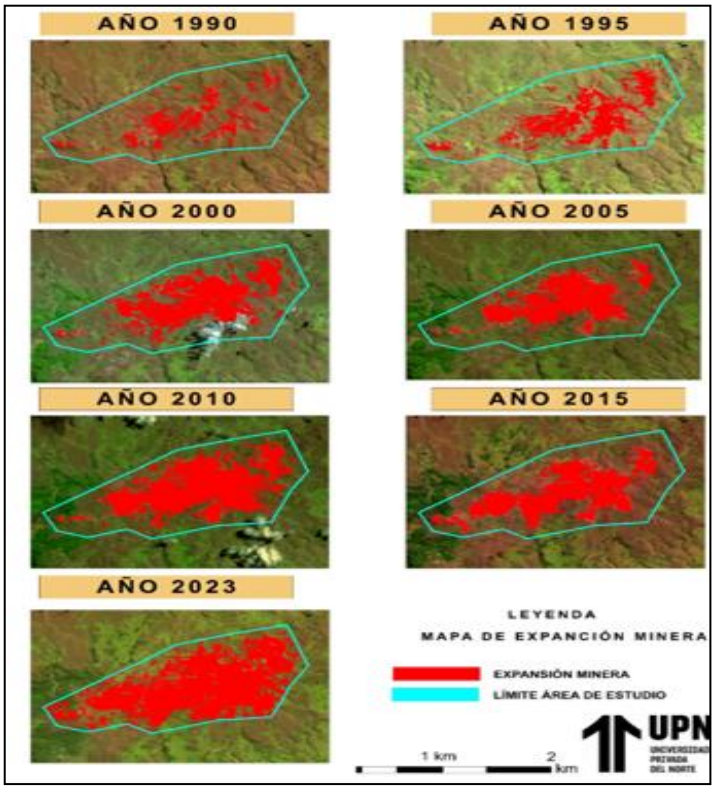
[18] Sandoval y Gonzales, *Análisis multitemporal del cambio en la cobertura del suelo en la Mixteca Alta Oaxaqueña.* [Tesis de Titulo, Universidad Autónoma de Nuevo León – México], 2021. *https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322021000400096*

ANEXO

ANEXO 01. Ubicación del área de estudio



ANEXO 02. Mapa de cobertura vegetal



ANEXO 03. Mapa de expansión minero