



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014 - 2023

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Mudarra Tejeda, Xiomara Alexandra ([orcid.org/0000-0001-7116-0851](https://orcid.org/0000-0001-7116-0851))

Ramos Monzon, Luis Antony ([orcid.org/0000-0002-2390-1376](https://orcid.org/0000-0002-2390-1376))

**ASESOR:**

MSc. Huerta Chombo, German Luis ([orcid.org/0000-0002-6211-4578](https://orcid.org/0000-0002-6211-4578))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2024



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

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

Yo, HUERTA CHOMBO GERMAN LUIS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014 - 2023", cuyos autores son MUDARRA TEJEDA XIOMARA ALEXANDRA, RAMOS MONZON LUIS ANTONY, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 9.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

TRUJILLO, 28 de Junio del 2024

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
HUERTA CHOMBO GERMAN LUIS <b>DNI:</b> 04206862 <b>ORCID:</b> 0000-0002-6211-4578	Firmado electrónicamente por: GEHUERTA el 19-07- 2024 17:58:45

Código documento Trilce: TRI - 0779453



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, MUDARRA TEJEDA XIOMARA ALEXANDRA, RAMOS MONZON LUIS ANTONY estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014 - 2023", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

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

Nombres y Apellidos	Firma
LUIS ANTONY RAMOS MONZON DNI: 71933110 ORCID: 0000-0002-2390-1376	Firmado electrónicamente por: LRAMOSMO6 el 28-06-2024 18:47:28
XIOMARA ALEXANDRA MUDARRA TEJEDA DNI: 73060405 ORCID: 0000-0001-7116-0851	Firmado electrónicamente por: XMUDARRA el 28-06-2024 18:29:34

Código documento Trilce: TRI - 0779454

## **Dedicatoria**

Dedicamos nuestra tesis de todo corazón a Dios, y luego a nuestros padres pues sin su ayuda no se habría logrado, su apoyo y motivación a lo largo de este periodo han sido piezas fundamentales día a día para poder superar todos los obstáculos que se presentaron. Por ello, hemos decidido dedicarles nuestro trabajo en recompensa por su paciencia y amor.

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradezco a Dios por la sabiduría que nos ha concedido y la fuerza de voluntad que ha depositado en cada uno de nosotros. También queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a nuestros padres y familiares por su apoyo incondicional y por alentarnos constantemente a seguir adelante. Finalmente, extendemos nuestro agradecimiento al MSc. Germán Luis Huerta Chombo, nuestro asesor, por su paciencia y apoyo.

## Índice de contenidos

Declaratoria de autenticidad del asesor.....	ii
Declaratoria de Originalidad de los Autores .....	iii
Dedicatoria .....	iv
Agradecimiento.....	v
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras .....	viii
Índice de abreviatura .....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. METODOLOGÍA.....	12
III. RESULTADOS.....	15
IV. DISCUSIÓN .....	35
V. CONCLUSIONES.....	43
VI. RECOMENDACIONES.....	46
REFERENCIAS.....	48
ANEXOS .....	55

## Índice de tablas

Tabla 1. <i>Características de la franja interferométrica ancha (IW)</i> .....	9
Tabla 2. <i>Deformación del suelo de la minera Antamina (<math>\pm m/año</math>)</i> .....	19
Tabla 3. <i>Test LSD Fisher(Coeficiente de Variación)</i> .....	19
Tabla 4. <i>Test LSD Fisher(ENL)</i> .....	20
Tabla 5. <i>Test tukey (Máximohundimiento)</i> .....	25
Tabla 6. <i>Test tukey (Máxima elevación)</i> .....	26

## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Diagrama de flujo .....	14
<i>Figura 2.</i> Monitoreo de la deformación de suelo de la minera Antamina 2014 - 2023 .....	15
<i>Figura 3.</i> Monitoreo de deformación de suelo de la minera Las Bambas 2014-2023 .....	16
<i>Figura 4.</i> Monitoreo de deformación de suelo de la minera de Yanacocha 2014 - 2023 .....	17
<i>Figura 5.</i> Descarga de imágenes radar de la plataforma Alaska Satellite Facility .....	22
Figura 6. Diagrama de flujo en el SNAP .....	23
<i>Figura 7.</i> Monitoreo de deformación de suelo de la minera Antamina 2014 - 2023 .....	27
Figura 8. Monitoreo de la deformación de suelo de la minera Las Bambas 2014 - 2023.....	28
Figura 9. Monitoreo de deformación de suelo de la minera Yanacocha 2014 – 2023.....	29
<i>Figura 10.</i> Mapa de deformación de suelo de la minera Antamina 2014 - 2023 .....	30
<i>Figura 11.</i> Mapa de deformación de suelo de la minera Las Bambas 2014 – 2023.....	31
Figura 12. Mapa de deformación de la minera Yanacocha 2014 - 2023 .....	33



## Índice de abreviatura

MINEM: Ministerio de Energía y Minas.

INGEMMET: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.

SNAP: Software para tratar Imágenes Sentinel -1.

COPERNICUS: Programa de la Unión Europea de la observación de la tierra.

SNAPHU: Complemento del software SNAP que permite desenvolver datos 2D.

InSAR: Interferometría Radar de Apertura Sintética.

ESA: Agencia Espacial Europea.

## RESUMEN

Esta investigación se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible N°13, "Acción por el Clima", de las Naciones Unidas, contribuyendo a un futuro más sostenible. El estudio tiene el objetivo de diagnosticar mediante imágenes radar el monitoreo de la deformación del suelo en las operaciones mineras Antamina, Las Bambas y Yanacocha 2014 – 2023. Con metodología aplicada de enfoque cuantitativo y diseño de investigación no experimental, teniendo como muestra tres operaciones mineras con explotación a cielo abierto. Los resultados indican que: Antamina presentó un hundimiento máximo de -0.2202 m y una elevación máxima de 0.1521 m. Las Bambas registró un hundimiento máximo de -0.225 m y una elevación de 0.1753 m. En Yanacocha, se observó un hundimiento máximo de -0.0369 m y una elevación máxima de 0.163 m. La metodología fue validada mediante un análisis estadístico, evaluando, coeficiente de evaluación y ENL (Número Equivalente de Looks), destacando Yanacocha con un ENL de 3. Esto permitió determinar que el monitoreo de imágenes de radar reveló las tendencias de deformación del suelo en las minas estudiadas. Antamina y Las Bambas exhibieron hundimientos significativos, mientras Yanacocha mostró predominancia de elevaciones del terreno, se concluye que el monitoreo de suelo con imágenes radar es factible.

**Palabra clave:** Sentinel-1, SNAP, SNAPHU, deformación del suelo, mineras de cielo abierto.

## ABSTRACT

This research aligns with the United Nations' Sustainable Development Goal No. 13, "Climate Action," contributing to a more sustainable future. The study aims to diagnose soil deformation monitoring in the Antamina, Las Bambas, and Yanacocha mining operations from 2014 to 2023 using radar images. It employs a quantitative approach with an applied methodology and a non-experimental research design, focusing on three open-pit mining operations as the sample. The results indicate that Antamina experienced a maximum subsidence of -0.2202 m and a maximum elevation of 0.1521 m. Las Bambas recorded a maximum subsidence of -0.225 m and an elevation of 0.1753 m. In Yanacocha, a maximum subsidence of -0.0369 m and a maximum elevation of 0.163 m were observed. The methodology was validated through statistical analysis, evaluating the evaluation coefficient and ENL (Equivalent Number of Looks), with Yanacocha highlighting an ENL of 3. This allowed for determining that radar image monitoring revealed soil deformation trends in the studied mines. Antamina and Las Bambas exhibited significant subsidence, while Yanacocha showed predominance in ground elevation. It is concluded that soil monitoring with radar images is feasible.

**Keywords:** Sentinel-1, SNAP, SNAPHU, soil deformation, open-pit mining.

## **I. INTRODUCCIÓN**

La deformación de suelos causada por la minería a cielo abierto representa un problema ambiental y geotécnico de gran importancia con impactos negativos significativos tanto en el entorno natural como en las comunidades cercanas. Tal como mencionan (Jaime y Sanabria 2022, p. 4), dañan el recurso suelo, agua y aire. Al alterarse estas, las actividades agrícolas y ganaderas son altamente afectadas. De manera que, se generan conflictos en la población, que en muchas ocasiones se oponen a dejar sus áreas de pastoreo, y cultivo. Asimismo, (Aramburu, Escribano, De Frutos 1990, pp. 3-5), explica que esto se debe a la extracción de grandes cantidades de tierra, excavaciones y escombreras de un área concesionada, que causa daños al entorno, tanto físicos como biológicos, y que puede ocasionar alteraciones en el paisaje y equilibrio natural.

Según los investigadores (Cereceda 2007, p. 2; Mata, Zamora, Serrano 2019, pp. 3-9), la minería a tajo abierto afecta negativamente la geotecnia. Además, la explotación a pequeña escala carece de especialización técnica necesaria, aumentando la inestabilidad de las montañas, riesgo de accidentes y derrumbes. También, la disposición inadecuada de los desechos mineros contribuye a la contaminación ambiental. Incluso los proyectos mineros necesitan de grandes cantidades de agua, lo que ocasiona escasez, afectando a los agricultores, que enfrentan pérdidas significativas de cultivos.

Del mismo modo, (MINEM 2023, p. 1), en su informe de los primeros cinco meses del año 2023 respalda el aumento de concesiones mineras y revela que para esas fechas existían 47,112 derechos mineros en vigencia, ocupando un total de 18.97 millones de hectáreas en el sistema de cuadrículas nacional. De estos derechos mineros, 34,042 ya están titulados, cubriendo aproximadamente 14.25 millones de hectáreas. Además, hay 13,070 solicitudes en proceso que abarcan 4.72 millones de hectáreas, de las cuales 8,275 han sido presentadas ante INGEMMET y 4,795 ante los gobiernos regionales. De igual manera, el análisis del (MINEM, 2021, p. 1), reveló el aumento significativo en la expansión de concesiones mineras en las tres regiones estudiadas. Para el 2020, Áncash, que alberga la mina Antamina, ocupó el 27,53% de las concesiones mineras, abarcando 986.398 hectáreas. En Apurímac, en la que se ubica la minera Las Bambas, estuvo con el 24.74% de su territorio, abarcando 1,566,958

hectáreas. En la región de Cajamarca, localización de la mina Yanacocha, el 36.99% del territorio, ocupando el 1,229,671 hectáreas. Del mismo modo (MINEM, 2022, p. 1), en el 2022 en Áncash, las concesiones mineras aumentaron a 1.630.334 hectáreas, representando el 45,5% del territorio. En Apurímac, las concesiones mineras se expandieron a 1,068,631 hectáreas, cubriendo el 51.1% del territorio regional. Sin embargo, en Cajamarca se redujo a 811,309 hectáreas, representando sólo el 24.4% del territorio total en comparación con el año 2020.

Del mismo modo, (Defensoría del pueblo, 2024, pp. 9 y 19), en su reporte de conflictos sociales N°244 del mes de junio han registrado 117 conflictos socioambientales activos y latentes, de los cuales el 63.2% (74 casos) están vinculados a la minería. La Organización de Desarrollo de las Comunidades Fronterizas del Cenepa (ODECOFROC) y las comunidades indígenas awajún se oponen a la minería ilegal debido a la preocupación por la contaminación ambiental. Solicitan la eliminación de la minería ilegal y la protección de sus líderes indígenas, además de denunciar el daño causado al ecosistema del Parque Nacional Ichigkat Muja, la Zona Reservada Santiago – Comaina y la Reserva Comunal Tuntanain. Exigen que se reconozca el Parque Nacional Ichigkat Muja, que comprende 152,873.76 hectáreas. Por otra parte, la Organización de Desarrollo de las Comunidades Indígenas de Alto Comainas (ODECOAC), la Asociación de Mineros Artesanales "El Cóndor" y miembros de la comunidad nativa de Shaim están en conflicto por la realización de actividades mineras en la concesión Comaina I.

Es crucial monitorear la deformación del suelo en áreas mineras debido a su impacto directo en la seguridad de los trabajadores en minas, así como para mitigar los efectos adversos a largo plazo en el entorno. Por lo tanto, es fundamental desarrollar métodos precisos y continuos para detectar y medir estos cambios en el tiempo (Wang et al. 2022, p. 1). Esta información es esencial para la toma de decisiones. A través de tecnologías avanzadas como imágenes radar de Sentinel-1, capaces de identificar el hundimiento, la elevación y evaluar la estabilidad del terreno, ha tomado un protagonismo creciente en la vigilancia de la estabilidad del suelo en la industria minera (Escayo et al. 2022, pp. 4-6). Además de su relevancia técnica y científica, esta investigación está firmemente alineada con el Objetivo de Desarrollo Sostenible N°13, "Acción por el Clima", establecido por las Naciones Unidas, que busca contribuir con un futuro más sostenible.

Ante lo expuesto, se formula el problema general de la investigación de la siguiente forma: ¿De qué manera las imágenes radar permiten el monitoreo de la deformación del suelo ocasionada por las operaciones de las mineras Antamina S.A., Las Bambas y Yanacocha en el período 2014 al 2023? Por otro lado, tenemos los siguientes problemas específicos: ¿Cuáles son las metodologías empleadas en el procesamiento y análisis de imágenes radar para el monitoreo de la deformación de suelo causado por las operaciones mineras de Antamina S.A., Las Bambas y Yanacocha durante el período de 2014 a 2023?, ¿Cuál ha sido el nivel de deformación del suelo resultante de las operaciones mineras de Antamina S.A., Las Bambas y Yanacocha durante el período de 2014 al 2023? y ¿Qué problemas ambientales se evidencian en las deformaciones del suelo resultante de las operaciones mineras de Antamina S. A, Las Bambas y Yanacocha en el periodo del 2014 al 2023?.

El presente trabajo se justifica tanto en manera teórica como metodológica, debido a la necesidad de comprender, identificar y analizar la deformación del suelo causada por la minería a cielo abierto. Su relevancia radica en su contribución al proceso de restauración ambiental y a la mitigación de impactos negativos en el entorno. Además, se ha observado una falta de atención a este tema en investigaciones previas, lo que resalta la importancia de nuestro estudio. De manera que, ampliar la comprensión de las consecuencias de la minería a cielo abierto en el suelo y medio ambiente.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general: diagnosticar mediante imágenes radar el monitoreo de la deformación del suelo en las operaciones mineras Antamina, Las Bambas y Yanacocha 2014 - 2023. Seguidamente como Objetivos específicos: describir la metodología empleada en el procesamiento y análisis de imágenes radar para el monitoreo de la deformación del suelo causada por las operaciones mineras de Antamina S.A., Las Bambas y Yanacocha durante el período de 2014 - 2023, Analizar el nivel de deformación del suelo resultante de las operaciones mineras de Antamina, Las Bambas y Yanacocha durante la variación anual 2014 - 2023 e identificar problemas ambientales que se evidencian como consecuencia de la deformación del suelo causada por las operaciones mineras de Antamina S.A, Las Bambas y Yanacocha en el periodo del 2014 - 2023.

A nivel internacional tenemos el estudio de los autores (Hu et al. 2023, pp. 1,5,7 y 10), que analizaron deformaciones superficiales en un yacimiento de carbón en China

usando imágenes estéreo del satélite ZY-3 y modelos digitales de superficie (DSM). Entre 2012 y 2017, observaron una deformación del 21,60%, que disminuyó un 17,19% entre 2017 y 2022, representando una reducción del 6,44%. Destacaron un desplazamiento significativo en la vertiente sur, con un promedio de 26,89 m de sur a norte. Además, hubo un aumento en las elevaciones de 16,35 m y una extensión de 0,86 km<sup>2</sup> entre 2017 y 2022 debido a la recuperación del tajo abierto.

Por otro lado, el satélite chino ZiYuan3 (ZY-3) se enfoca en la topografía y cartografía a escala 1:50,000, así como en la actualización de datos geográficos fundamentales (Tang et al. 2020, p. 1). Los investigadores (Hu et al. 2017, pp. 1,6 y 8), utilizaron imágenes estéreo de ZY-3 junto con un modelo digital de superficie (DSM) y datos de ASTER GDEM para detectar deformaciones del suelo en una mina a cielo abierto en Fushun, China. Identificaron tres tipos de deformaciones y analizaron su distribución. Durante el período de 2010 a 2015, la elevación promedio aumentó en 3,12 m. El 71,18% del área mostró deformaciones, con un 22,72% de desniveles superiores a 10 m. El área con elevación ascendente significativa (>15 m) abarca 8,44 km<sup>2</sup>, con un cambio de volumen de  $2,47 \times 10^8$  m<sup>3</sup>. En cambio, el área con elevación de significativamente descendente (<-10 m) cubre 6,12 km<sup>2</sup>, con un cambio de volumen de  $2,01 \times 10^8$  m<sup>3</sup>. Además, se observaron que las deformaciones se propagan desde la zona minera a áreas cercanas.

Desde el punto de vista de los investigadores (Li et al. 2023, pp. 1,3-4 y 9), proponen la combinación de teledetección con aprendizaje profundo y radar interferométrico de apertura sintética (InSAR) para supervisar actividades mineras en regiones áridas y semiáridas del noroeste de China. Utilizaron el modelo DeepLabV3-ResNet para identificar y localizar parches de mina, mejorando la precisión con análisis orientados a objetos y métodos espaciales. La técnica SBAS-InSAR se emplea para rastrear la deformación temporal de los parches mineros, complementada con imágenes ópticas de diferentes periodos para un análisis detallado. Este enfoque demuestra alta precisión en la identificación de parches mineros y tiene aplicaciones prometedoras en ingeniería, proporcionando una valiosa referencia para el monitoreo de actividades mineras mediante múltiples fuentes de sensores remotos satelitales.

Ahora bien, el autor (Wajs 2015, p. 1), en su artículo la aplicación de tecnología topográfica en el modelado del terreno y cálculo de volúmenes en minas a cielo

abierto. Utilizó GPS, estaciones totales y fotogrametría terrestre para evaluar la precisión volumétrica. Se realizó un estudio en la mina de lignito de Belchatow y se concluyó que estas técnicas permiten construir el modelo digital del terreno y calcular volúmenes de manera precisa y rápida. Además, se sugiere que la fotogrametría de corto alcance podría ser una buena opción en el futuro para el modelado digital de superficies de grandes áreas.

En relación con los autores (Samsonov et al. 2020, pp. 1,3-4 y 6), en su artículo presentaron la técnica MSBAS-3D que utiliza la interferometría satelital para mapear la deformación de superficies. Compara los resultados del análisis 1D, 2D y 3D de un deslizamiento de tierra en Bukavu, República Democrática del Congo. Lograron demostrar que el método MSBAS-3D es eficaz para detectar y analizar patrones de deformación de la superficie, especialmente en deslizamientos de tierra impulsados por la gravedad.

Asimismo, los autores (Du et al. 2021, p. 1), utilizaron la tecnología SBAS-InSAR para monitorear deformaciones en una zona minera en las montañas Tianshan durante tres años, analizando datos de 89 escenas de productos Sentinel-1A SLC desde diciembre de 2017. Los resultados mostraron un hundimiento máximo de -129,39 mm y un levantamiento máximo de 60,49mm durante ese período. Específicamente en las áreas mineras, se observará un asentamiento de más de 80 mm en tres años, con tasas de asentamiento de -35 mm/año y -40 mm/año en relaves y áreas activas, respectivamente. En resumen, la tecnología SBAS-InSAR se demostró precisa en la medición de deformaciones superficiales en el área de estudio.

Del mismo modo, los investigadores (Gojković et al. 2023, pp. 1,7,9 y 12), se centraron en el monitoreo de la subsidencia en una mina de carbón a cielo abierto "Kostolac" utilizando imágenes del satélite Sentinel-1 y la interferometría de dispersión persistente. Se descargaron 513 imágenes entre octubre de 2016 y diciembre de 2020, de las cuales se procesaron 402 con éxito. Los resultados se compararon con mediciones de nivelación geodésica y se encontraron una similitud significativa, con una clasificación de Pearson del 85% y un valor p de 0.015. Se observaron desplazamientos verticales de -3.4 mm/año con la interferometría y -2.7 mm/año con la nivelación geodésica, lo que se ajustó razonablemente a un modelo de asentamiento. Sin embargo, mencionan que las series temporales de cuatro años son



insuficientes para llegar a conclusiones definitivas sobre el levantamiento neotectónico. En resumen, este estudio demuestra la eficacia de los datos de Sentinel-1 en el mapeo de deformaciones verticales y su potencial aplicación en el monitoreo de subsidencia minera, riesgos geológicos y monitoreo terrestre.

De manera que los autores (Wang et al. 2022, pp. 1.3-10), en su estudio emplearon imágenes satelitales de radar y la técnica SBAS-InSAR para analizar la deformación de la superficie relacionada con la expansión de minas de carbón a cielo abierto. Se comparó esta deformación con la deformación natural en las áreas circundantes. Los principales tipos de desplazamiento superficial identificados incluyeron hundimiento y levantamiento. El hundimiento fue el tipo más común, representando aproximadamente el 75,73% de la deformación total. Se observó un hundimiento más pronunciado en la pradera pantanosa alpina de la cuenca intermontañosa, con una velocidad de desplazamiento promedio entre -30 y -10 mm/año. Además, se detectó levantamiento en la región de las praderas alpinas, con una velocidad promedio de desplazamiento de 2,85 mm/año.

La mina de Antamina se encuentra en el distrito de San Marcos, dentro de la provincia de Huarí, en la Región Ancash. Está situada a 200 kilómetros de la ciudad de Huaraz y a una altitud promedio de 4,300 metros sobre el nivel del mar (Antamina, 2024). El clima es húmedo, con dos estaciones diferenciadas: la temporada de verano, que va de noviembre a marzo, y la temporada de neblina, que se extiende de abril a octubre.

La Minera Las Bambas se localiza en la Región Apurímac, abarcando los distritos de Challhuahuacho, Tambobamba y Coyllurqui en la provincia de Cotabambas, así como el distrito de Progreso en la provincia de Grau. Su altitud varía entre los 3,800 y 4,600 metros sobre el nivel del mar y se encuentra a unos 75 km al suroeste de la ciudad de Cusco (Las Bambas, 2023). La época más fría del año abarca los meses de mayo a agosto, mientras que la época cálida se extiende desde octubre hasta abril (SENACE, 2016).

La Minera Yanacocha está situada en la provincia y departamento de Cajamarca, a 800 km al noreste de Lima, Perú. Su área de operaciones se encuentra a 45 km al norte del distrito de Cajamarca, entre los 3,500 y 4,100 m s. n. m. (Yanacocha, 2024). En Cajamarca, el mes más cálido es septiembre, con una temperatura promedio de

22.2°C, y el mes más frío es julio, con 4.9°C. Marzo es el mes con mayor precipitación, alcanzando los 118.78 mm (SENAMHI, 2024).

En el estudio de (Gong et al. 2021, pp. 1,3-13), destacaron la importancia de monitorear vertederos heterogéneos para preservar su seguridad geológica y ecológica. Utilizaron observaciones topográficas de alta calidad a lo largo de tres años, desde septiembre de 2016 hasta septiembre de 2019, obtenidas a través de escaneos de imágenes con radar de apertura sintética del satélite Sentinel-1B y datos fotográficos gravimétricos de drones. El estudio reveló deformación y erosión del suelo en el vertedero de la mina Baorixile en China, permitiendo la predicción de áreas propensas a desastres geológicos. Además, se analizaron los mecanismos de formación de varios tipos de erosión, como deshielo de primavera, escorrentía superficial y filtración interna; en verano, la erosión eólica; en otoño, la erosión por heladas, estos factores pueden alterar la estabilidad de las pendientes y generar riesgos y daños significativos.

En la meseta Qinghai-Tíbet, la minería de carbón a cielo abierto y otras actividades han dañado el permafrost alpino y acelerado su degradación. Este estudio analizó la influencia de la minería en la deformación del suelo del permafrost en la región de Muli durante un período de casi tres años. Se utilizaron datos de teledetección y métodos como la interpretación visual y el radar interferométrico. Los resultados revelaron que la minería causó hundimientos significativos en la pradera alpina, junto con deshielo y levantamiento por congelación en el permafrost. La minería también destruyó el 48,73 % de paisaje natural y aumentó la humedad del suelo en la zona, acelerando la degradación del permafrost (Wang et al. 2022, p. 1).

La minería requiere la adquisición de extensas áreas de tierra, lo que obliga a los residentes cercanos a desplazarse (Brain 2017, pp. 3-5), después de la extracción de minerales, las empresas mineras a menudo no se comprometen con la restauración ambiental, lo que resulta en una devastación generalizada de las áreas de explotación.

Por otro lado, (Dyson et al. 2022, pp. 1,3-12), llevaron a cabo análisis computacionales de la estabilidad de pendientes en una mina a cielo abierto durante el llenado del hueco. En los que consideraron diferentes velocidades de llenado y examinaron cambios progresivos en la deformación del suelo, presiones del agua,

plasticidad y el factor de seguridad. Destacaron los riesgos de la deformación del suelo en la estabilidad de las laderas circundantes, ya que la deformación gradual por fluencia puede disminuir la resistencia al corte, lo que podría llevar al colapso de la pendiente. La presencia de suelos deslizantes en las laderas también puede causar movimientos lentos cuesta abajo, generando deformaciones permanentes que, con el tiempo, podrían reducir la resistencia al corte y desencadenar el colapso de la pendiente.

Es crucial que las autoridades exijan la restauración de las áreas mineras al finalizar las operaciones, pero esto a menudo no sucede, dejando paisajes afectados por largos períodos (Oyarzun et. al. 2011, pp. 24 - 27). Tal como lo menciona el estudio de (Kaku et al. 2021, pp. 1-3), la minería deja áreas sin vegetación, independientemente del método utilizado. Tal como se expone en el boletín de (Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales 2000, p. 1), Ghana ilustra la destrucción total de las áreas mineras. El autor (Pérez 2018, pp. 26-29), las operaciones mineras a cielo abierto tienen graves consecuencias ambientales, como la alteración del paisaje, la degradación del aire, la contaminación del agua y problemas sociales.

A continuación, se desarrolla las bases teóricas: la teledetección, que es la obtención de información de objetos sin contacto directo, utilizando sensores transportados en aviones o satélites que captan distintas formas de energía, como la radiación electromagnética, la gravedad o el magnetismo, los cuales evalúan la distribución de la energía en el espectro electromagnético para obtener información sobre la superficie terrestre. (Logroño, et. al., 2020, pp. 27-28).

Las imágenes radar son representaciones digitales obtenidas mediante sensores instalados en satélites que orbitan alrededor de la Tierra. El programa Copernicus de la Unión Europea, tiene como objetivo monitorear la Tierra y su entorno. (Abdel-Kader 2019, pp. 167-171). En este estudio, se utilizó la constelación de dos satélites Sentinel-1 (S1-A lanzado el 3 de abril de 2014, y el S1-B, lanzado el 25 de abril de 2016). Estos satélites monitorean la Tierra, capturando imágenes satelitales para rastrear cambios en el terreno, deformaciones e inundaciones. Orbitan a 180° de distancia, proporcionando imágenes cada seis días sin importar las condiciones climáticas o la hora del día. Utiliza una franja interferométrica ancha (IW) de banda C

con una cobertura de franja de 250 km, lo que los hace ideales para este estudio. A pesar de otras opciones de satélites como Landsat, Radarsat, MODIS, TerraSAR-X, entre otros, se eligió esta por su precisión y relevancia para la investigación (Gojković et al. 2023, pp. 1,9 y 21).

**Tabla 1.** *Características de la franja interferométrica ancha (IW).*

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Ancho de franja	250 km
Rango de ángulo de incidencia	29,1° - 46,0°
Sub-franjas	3
Ángulo de dirección en acimut	± 0,6°
Opciones de polarización	Doble HH+HV, VV+VH
Sigma Cero Equivalente Máximo de Ruido (NESZ)	-22dB

Fuente: Copernicus, 2018.

El software SNAP es una herramienta de código abierto desarrollada por la Agencia Espacial Europea desde 2014 para el análisis de datos de observación de la Tierra. Basado en las plataformas BEAM y NEST, SNAP ofrece diversas herramientas para análisis geospaciales (Gojković et al. 2023, pp. 10 y 11). Su última versión, la 9.0, lanzada en junio de 2022, destaca por su capacidad de exportar datos a diferentes formatos, incluyendo StaMPS. Esto lo hace valioso para aplicaciones en teledetección y observación de la Tierra, como el seguimiento de glaciares y la detección de incendios forestales. SNAP también permite realizar análisis de álgebra de mapas y ofrece capacidades avanzadas basadas en valores radiométricos y longitud de onda de emisión. Además, es compatible con la creación de scripts personalizados en Python. SNAP es una herramienta versátil y poderosa para el análisis geoespacial y la interpretación del territorio (GeoInnova 2018, p. 2).

SNAPHU es una extensión de SNAP que se utiliza para obtener información precisa de la fase de una matriz 2D en la que solo se conoce el módulo de los valores de

fase, un proceso conocido como desenvolvimiento de fase bidimensional. Este programa implementa un algoritmo basado en el flujo de red y el costo estadístico propuesto por Chen y Zebker, que trata el desarrollo de fase como un problema de estimación de probabilidad máxima a posteriori (MAP) para calcular la solución más probable dadas las observaciones. SNAPHU incluye tres modelos estadísticos integrados para diferentes tipos de datos: topografía, deformación y datos suaves. La resolución del problema de optimización se realiza de manera aproximada utilizando técnicas de flujo de red, y el tiempo de ejecución depende de la complejidad del interferograma (ESA 2018, p. 1).

El suelo es la capa superficial de la superficie terrestre que alberga y sustenta la vida de numerosos seres vivos. Está compuesto por una combinación de materiales sólidos, líquidos y gaseosos (MINAGRI 2022, p. 61).

La Geotecnia se basa en los principios de la geología y la ingeniería. Abarca la mecánica de suelos, las rocas y aspectos de la geología aplicada (Macías et al. 2018, pp. 13-15).

La minería a cielo abierto se refiere a la extracción de rocas y materiales en la superficie, incluyendo instalaciones para extracción, procesamiento y transporte. Esto abarca edificios, maquinaria, desechos y equipos utilizados en la explotación y tratamiento de los productos extraídos, según la regulación de la autoridad competente. No incluye instalaciones de petróleo y gas, y la autoridad determina qué lugares se consideran minas a cielo abierto en términos de seguridad y salud minera. (MINEM 2020, p. 182).

La deformación del suelo se refiere a los cambios físicos y geométricos que ocurren en la superficie de la Tierra como resultado de diversos procesos naturales y actividades humanas, particularmente en las áreas mineras, debido a las excavaciones, vertido, voladura, drenaje y transporte. Estos cambios pueden incluir hundimientos, elevaciones, desplazamientos y grietas. Además, en zonas mineras, la deformación del suelo es compleja y diversa, lo que puede dar lugar a desastres geológicos (Hu et al. 2023, pp. 1-3).

El hundimiento de suelo, o subsidencia, se refiere al descenso de la superficie terrestre debido al colapso de cavidades subterráneas, que pueden tener origen natural (como disolución de rocas kársticas) o antrópico (como actividades mineras).

Este fenómeno depende del volumen y forma de las cavidades, el espesor de su recubrimiento, y la resistencia de los materiales suprayacentes. La disolución de materiales como carbonatos y evaporitas puede crear huecos que, al alcanzar ciertas dimensiones, colapsan y causan hundimientos. Las actividades humanas, como la minería y la construcción de túneles, también pueden provocar estos eventos (MOUDS, 2024).

El proyecto de investigación se inscribe en un enfoque cuantitativo, con el objetivo de cuantificar el nivel de deformidad del suelo en las minas Antamina, Las Bambas y Yanacocha en el periodo 2014-2023 mediante imágenes radar de Sentinel-1. Finalmente, la hipótesis general planteada es la siguiente: demostró ser eficaz la utilización de imágenes radar para monitorear la deformación del suelo causada por las operaciones de minería a cielo abierto.

## II. METODOLOGÍA

La investigación que se llevó a cabo es de naturaleza aplicada. El enfoque de la investigación es cuantitativo. El diseño de la investigación fue de carácter no experimental de tipo longitudinal descriptivo.

La variable independiente (V.I) es Imágenes radar, su definición conceptual, son representaciones digitales obtenidas mediante sensores instalados en satélites que orbitan alrededor de la Tierra (Abdel et. al., 2018, p. 167-171). En este estudio, se utilizó la constelación de dos satélites Sentinel-1 (S1-A y S1-B), lanzados en 2014 y 2016. Estos satélites monitorean la Tierra, capturando imágenes satelitales para rastrear cambios en el terreno, deformaciones e inundaciones. Orbitan a 180° de distancia, proporcionando imágenes cada seis días sin importar las condiciones climáticas o la hora del día. Utiliza una franja interferométrica ancha (IW) de banda C con una cobertura de franja de 250 km, lo que los hace ideales para este estudio. A pesar de otras opciones de satélites como Landsat, Radarsat, MODIS, TerraSAR-X, entre otros, se eligió esta por su precisión y relevancia para la investigación (Gojković et al. 2023, pp. 1,9-21).

La variable dependiente (V.D) es deformación de suelo, definición conceptual, la deformación del suelo se refiere a los cambios físicos y geométricos que ocurren en la superficie de la Tierra como resultado de diversos procesos naturales y actividades humanas, particularmente en las áreas mineras, debido a las excavaciones, vertido, voladura, drenaje y transporte. Estos cambios pueden incluir hundimientos, elevaciones, desplazamientos y grietas. Además, en zonas mineras, la deformación del suelo es compleja y diversa, lo que puede dar lugar a desastres geológicos (Hu et al. 2023, pp. 1-3).

La tabla de operacionalización de variables se encuentra en el anexo 1 con la definición operacional, indicadores y escala de medición.

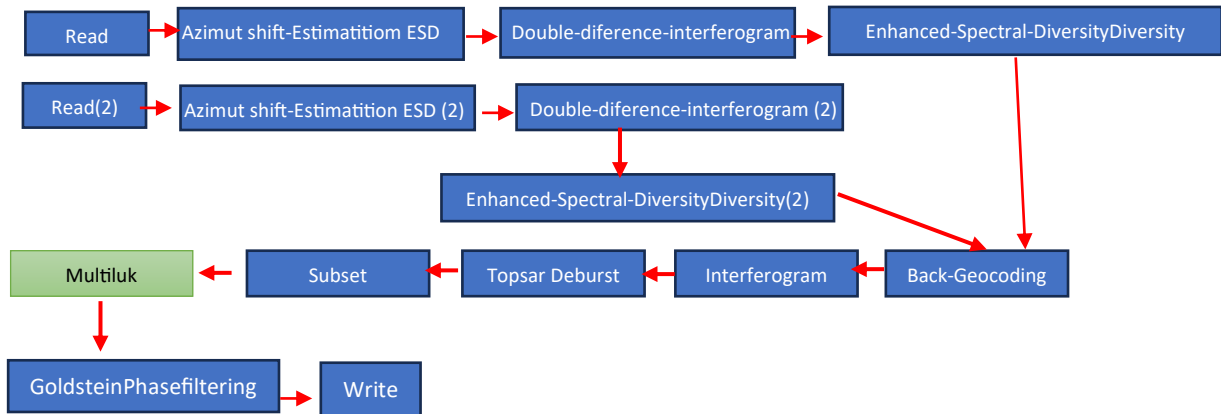
La población son todas las operaciones mineras a cielo abierto que se llevan a cabo en el Perú. Como criterios de inclusión se consideró todos los suelos con operaciones mineras a cielo abierto en el Perú. Del mismo modo, en criterios de exclusión no se tuvo en cuenta suelos no intervenidos con operaciones mineras a cielo abierto en el Perú. La muestra fue las operaciones mineras a cielo abierto de las empresas

Antamina, Las Bambas y Yanacocha 2014 - 2023. Igualmente, el método de muestreo empleado fue el muestreo no probabilístico por conveniencia.

La técnica que se empleó fue de observación y análisis de imágenes radar del Sentinel-1, las cuales sirvieron para evaluar y medir la deformación de suelo que han sufrido las áreas de explotación minera. Para la recopilación de datos, se empleó el instrumento de las fichas de recolección de datos (anexo 2). Dichos instrumentos fueron validados por 5 expertos, cuyos nombres y credenciales están detallados (anexo 3). La confiabilidad se determinó a partir de las fichas de recolección de datos que se emplearon para reunir toda la información necesaria.

El procesamiento de imágenes radar se llevó a cabo en dos etapas. En la primera, denominada Gabinete inicial, se descargaron las imágenes del satélite Sentinel-1 en formato SLC y se delimitó el área de estudio. Se buscaron imágenes radar desde 2014 hasta 2023, obteniendo 9 imágenes por minera y un total de 27 imágenes. Utilizando el software SNAP, se aplicaron correcciones utilizando un diagrama de flujo de doble entrada (Fig. 1), que incluyó correcciones de órbita, desplazamiento de rango y azimut, corrección topográfica y eliminación de ruido para corregir la geometría. Posteriormente, las imágenes se interpolaron en una sola, junto con sus metadatos. Con la extensión SNAPHU, se exportó la imagen interpolada y se aplicó `snaphu-unwrapping` para crear una imagen ráster, la cual se importó nuevamente al software SNAP. Se utilizó el comando `Phase to displacement` para obtener valores en metros, asignando valores positivos a la elevación y negativos a la depresión del terreno. Se aplicó una corrección de terreno para reducir la distorsión espacial y corregir la rotación de la imagen. Finalmente, la imagen se guardó y exportó en formato kmz para visualización en Google Earth. Este procedimiento se repitió para cada par de imágenes a evaluar.





*Figura 1.* Diagrama de flujo.

Fuente: Software SNAP.

El método de análisis de datos es descriptivo obtenidos a través del software SNAP para la validación de nuestra hipótesis.

En aspectos éticos, la presente investigación siguió los principios de integridad científica estipula en el código de ética en investigación de la universidad César Vallejo. Además, utilizó material proveniente de publicaciones científicas e indexadas, respetando los derechos de autor y el formato de la investigación. Los resultados obtenidos en este trabajo no fueron alterados ni modificados de ninguna manera. Además, se utilizó el software antiplagio Turnitin para asegurar la originalidad del contenido.

### III. RESULTADOS

Esta investigación llevó a cabo un análisis detallado con el propósito de alcanzar el objetivo general de diagnosticar mediante imágenes radar el monitoreo de la deformación del suelo en las operaciones mineras Antamina, Las Bambas y Yanacocha 2014 - 2023.

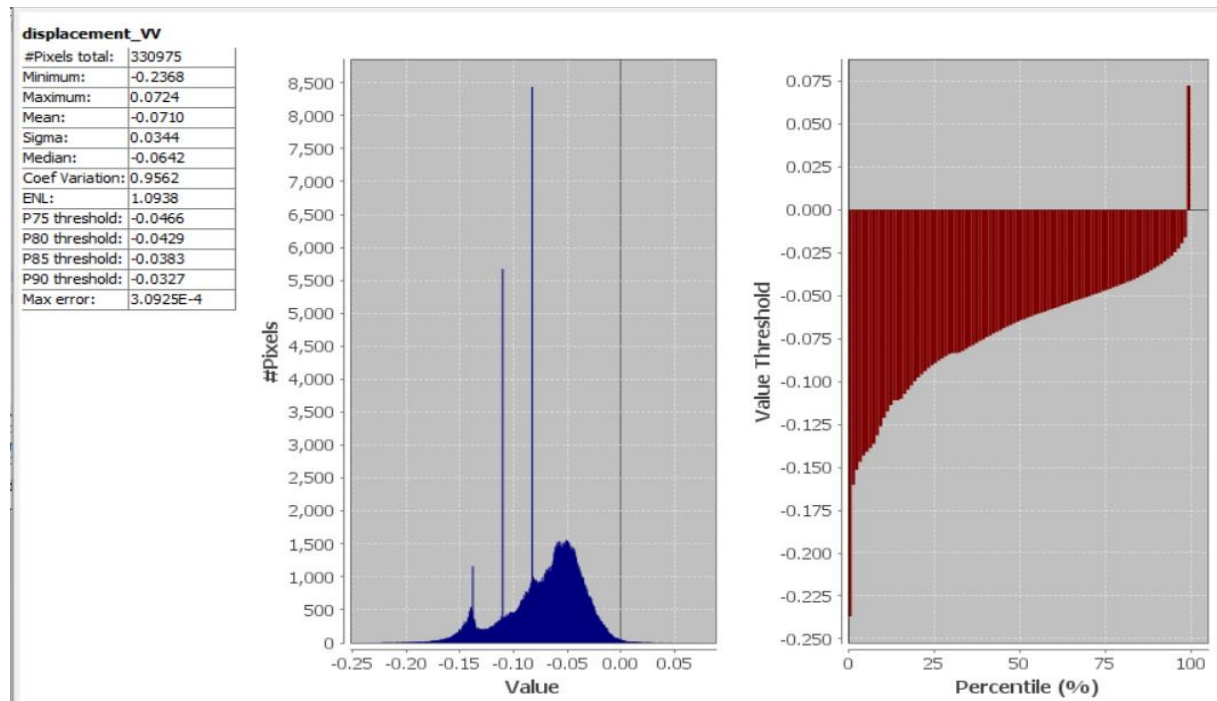


Figura 2. Monitoreo de la deformación de suelo de la minera Antamina 2014 – 2023.

Fuente: Software SNAP.

En la figura 2, se observa el (espaciado de pixel es de 15m x15m). Para el Análisis en la minera Antamina (Fig. 7) se registran grandes cantidades de deformación principalmente por hundimiento. La cantidad de píxeles por valores negativos que representan el hundimiento son mayores que la cantidad de píxeles con valores positivos, los cuales representan la elevación. Podemos decir entonces que para el periodo 2014-2023 las áreas de deformación de suelo por hundimiento son mayores a las áreas de deformación por elevación. En el caso del percentil, el hundimiento representa el 98% y sus valores oscilan entre -0.05 m y -0.2368 m mientras que en elevación que representa el 2% de los valores oscilan entre 0.001 m y 0.0724 m respectivamente.

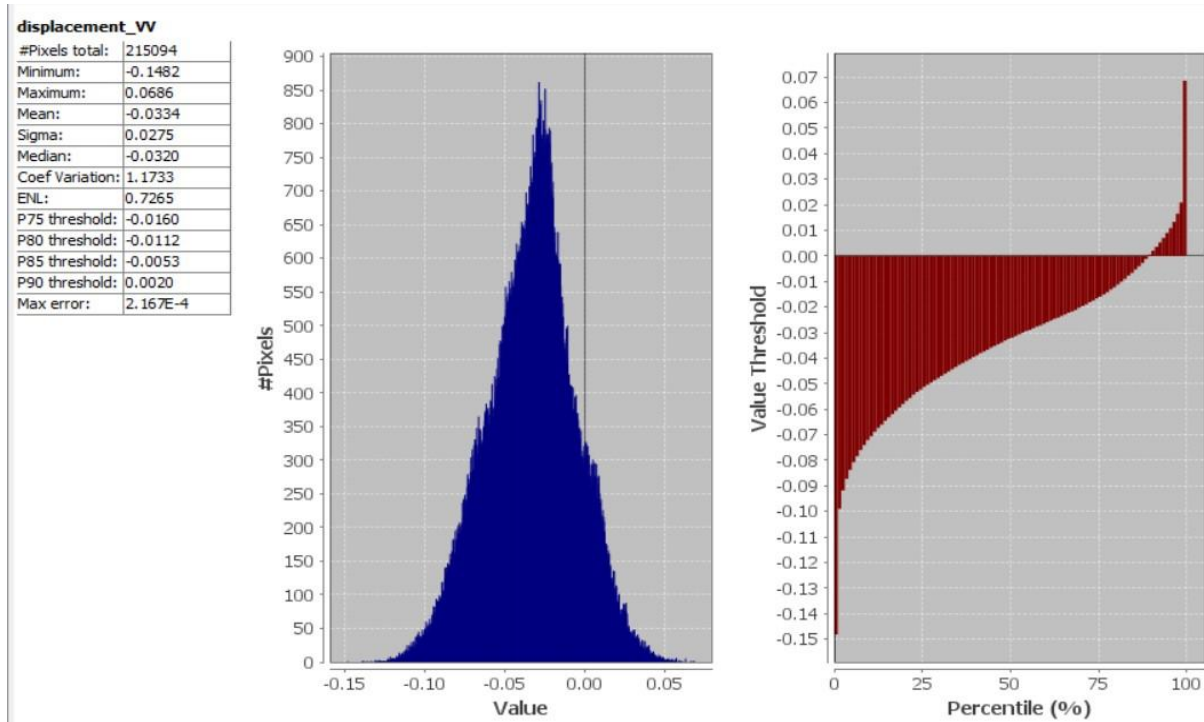


Figura 3. Monitoreo de deformación de suelo de la minera Las Bambas 2014-2023.

Fuente: Software SNAP.

En la figura 3, se observa el (espaciado de pixel es de 15m x15m). Para el Análisis en la minera Las Bambas (Fig. 8) según la (Fig. 3) se registran mayor cantidad de deformación principalmente por hundimiento. La cantidad de pixeles con valores negativos los cuales nos representan el hundimiento son mayores que los valores de elevación según la cantidad de pixeles son en menor cantidad, podemos decir entonces que para el periodo 2014-2023 las áreas de deformación de suelo por hundimiento son mayores a las áreas de deformación por elevación. Esto debido a que están en una etapa de máxima extracción de recursos. En el caso del percentil, podemos darnos cuenta que la incidencia que representa el 85% de los valores oscilan entre -0.014 m y -0.0175 m mientras que en elevación que representa el 15 % de los valores oscilan entre 0.001 m y 0.0686 m.

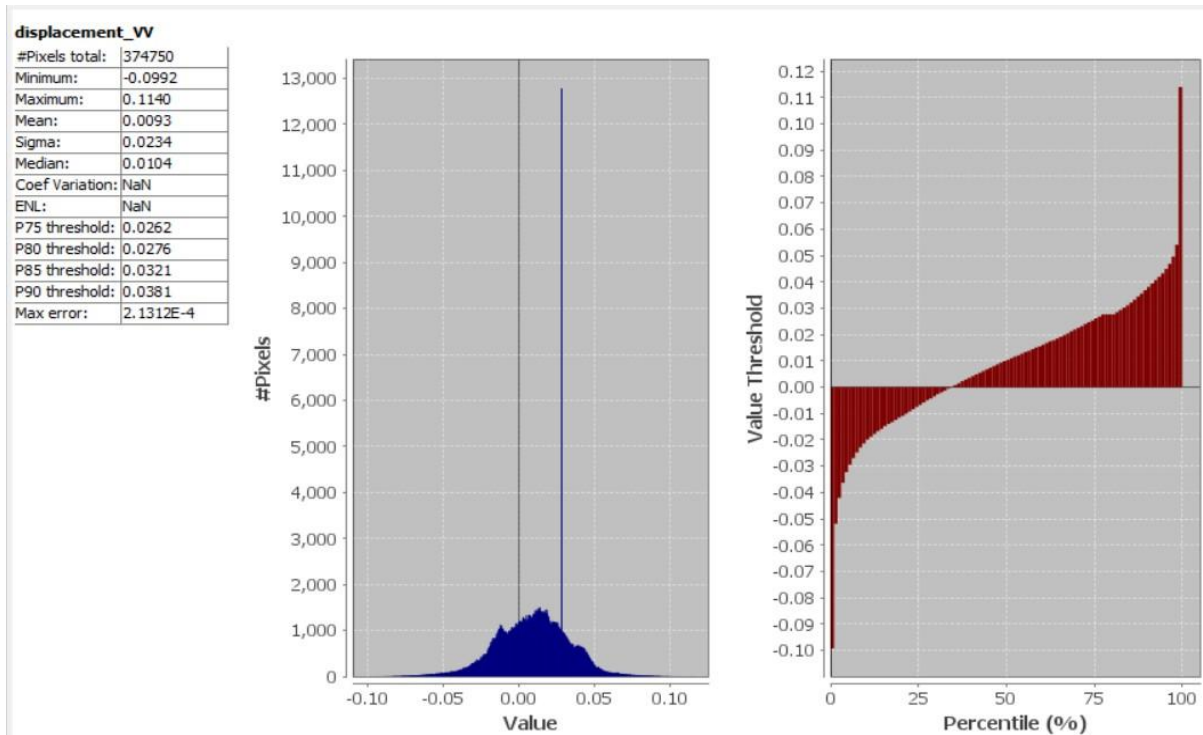


Figura 4. Monitoreo de deformación de suelo de la minera de Yanacocha 2014 – 2023.

Fuente: Software SNAP.

En la figura 4, se observa el (espaciado de pixel es de 15m x15m). Para el Análisis en la minera Yanacocha (Fig. 9) se registran grandes cantidades de deformación principalmente por Elevación si nos fijamos en la (Fig. 4) la cantidad de pixeles por valores positivos los cuales nos representan la Elevación Son Mayores a los valores negativos los cuales representan el hundimiento que según la cantidad de pixeles su Área es en mayor cantidad, podemos decir entonces que para el periodo 2014-2023, las áreas de deformación de suelo por hundimiento son menores a las áreas de deformación por elevación Esto debido a que están realizando sus actividades de explotación extrayendo grandes cantidades de suelo y trasladando los residuos en los alrededores, el suelo una vez movido su volumen crece es por eso que se observa mayor porcentaje de elevación. En el caso del percentil podemos darnos cuenta que para el hundimiento que representa el 30% sus valores oscilan entre 0.00 m y -0.0992 m, mientras que en elevación que representa el 70 % sus valores oscilan entre 0.001 m y 0.1140 m.

**Tabla 2. Deformación del suelo de la minera Antamina ( $\pm m/año$ ).**

<b>Minera</b>	<b>Año</b>	<b>Max_Hun</b>	<b>Max_Ele</b>	<b>Promedio</b>	<b>Coef_varia</b>	<b>ENL</b>	<b>ERROR</b>
<b>Antamina</b>	2014	-0.069	0.1098	0.0153	1.1725	0.7274	0.00017874
<b>Antamina</b>	2015	-0.0164	0.0146	8.189E-06	5.3947	0.0344	3.0984E-05
<b>Antamina</b>	2016	-0.0742	0.083	-0.001	1.6346	0.37	0.00015728
<b>Antamina</b>	2017	-0.1005	0.1521	0.0315	1.1365	0.7741	0.00025254
<b>Antamina</b>	2018	-0.0889	0.0789	-0.0073	2.4316	0.1691	0.00016753
<b>Antamina</b>	2019	-0.0844	0.1408	0.0418	0.9825	1.0359	0.00022525
<b>Antamina</b>	2020	-0.0228	0.1473	0.058	0.6024	2.7561	0.00017006
<b>Antamina</b>	2021	-0.2202	0.0819	-0.0657	1.1896	0.7066	0.00030021
<b>Antamina</b>	2022	-0.0874	0.1196	0.0222	0.8402	1.4167	0.00020703
<b>Las Bambas</b>	2014	-0.0578	0.1116	0.0263	0.9921	1.0159	0.0001694
<b>Las Bambas</b>	2015	-0.0957	0	-0.0245	0.8859	1.2741	9.1244E-05
<b>Las Bambas</b>	2016	-0.1008	0.0588	-0.0066	1.8337	0.2974	0.00015953
<b>Las Bambas</b>	2017	-0.0995	0.0697	-0.0123	1.6643	0.361	0.00016917
<b>Las Bambas</b>	2018	-0.0767	0.1753	0.0388	1.0372	0.9295	0.00025206
<b>Las Bambas</b>	2019	-0.0654	0.0542	-0.0124	1.2555	0.6344	0.00011961
<b>Las Bambas</b>	2020	-0.052	0.1033	0.0321	0.8425	1.40087	0.00015535
<b>Las Bambas</b>	2021	-0.2254	0	-0.1233	0.4277	5.4655	0.0002211
<b>Las Bambas</b>	2022	-0.0468	0.124	0.0512	0.6231	2.5755	0.00017088
<b>Yanacocha</b>	2014	-0.0567	0.1148	0.0391	0.5702	3.0758	0.00017142
<b>Yanacocha</b>	2015	-0.0369	0.163	0.0807	0.4112	5.9141	0.00019983
<b>Yanacocha</b>	2016	-0.1773	0.0013	-0.0932	0.2858	12.2437	0.00017859
<b>Yanacocha</b>	2017	-0.2267	0	-0.1379	0.2183	20.9878	0.00018971
<b>Yanacocha</b>	2018	-0.1423	0.0596	-0.0296	1.1843	0.713	0.00020185

<b>Yanacocha</b>	2019	-0.0658	0.1399	0.0486	0.7192	1.9334	0.00020578
<b>Yanacocha</b>	2020	-0.1229	0.0432	-0.0307	0.9659	1.0718	0.00016608
<b>Yanacocha</b>	2021	-0.4429	0	-0.2917	0.3134	10.1784	0.00029951
<b>Yanacocha</b>	2022	-0.0622	0.1598	0.0476	NaN	NaN	0.000222

Fuente: elaboración propia.

La tabla 2 es un resumen de la investigación en ella podemos encontrar los datos de deformaciones máximos, mínimos y promedio, así como los valores del margen de error (coeficiente de variación y el ENL).

Se validó la eficacia de la Metodología utilizando los datos de la tabla 2 (coeficiente de variación y ENL), se realizó un análisis del coeficiente el cual es una medida de la dispersión relativa de los datos respecto a la media. Se calcula como el radio de la desviación estándar a la media y se expresa en forma de porcentaje. El CV es útil para comparar la variabilidad entre diferentes datasets, independientemente de las unidades de medida. También se analizó el Número Equivalente de Miradas, (ENL por sus siglas en inglés) es una medida de la calidad de la imagen, específicamente en términos de ruido speckle. Un valor de ENL más alto generalmente indica una mejor calidad de imagen con menos ruido, mientras que un valor más bajo indica más ruido. Este valor es relativamente bajo. En general, para imágenes SAR, un ENL por encima de 4 o 5 se considera bueno, indicando una calidad de imagen aceptable con menor ruido speckle. Un ENL de alrededor de 1.36 sugiere que la imagen tiene un nivel significativo de ruido speckle, lo que puede dificultar la interpretación de detalles finos en la imagen.

**Tabla 3. Test LSD Fisher (Coeficiente de variación).**

<b>Minera</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>		
<b>Yanacocha</b>	0.52	9	0.31	A	
<b>Las Bambas</b>	1.06	9	0.31	A	B
<b>Antamina</b>	1.71	9	0.31		B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

*Alfa=0.05 DMS=0.89553*

*Error: 0.8472 gl: 24*

Fuente: elaboración propia.

Se realizó el análisis con un margen de error de ( $P < 0.05$ ) y se obtuvo un valor estadísticamente significativo ( $p = 0.0376$ ), lo que implica que las diferencias

observadas entre las mineras no son producto del azar y representa un alto valor de credibilidad.

El coeficiente de variación es de 84.72% refleja una alta variabilidad en los datos. Lo que puede significar que hay diferencias significativas en los datos, Pues estos valores para que puedan ser confiables deben estar por debajo de 30%.

Las mineras Yanacocha y Las Bambas comparten la letra A, indicando que no hay diferencias significativas en su coeficiente de variación. Esto sugiere que ambas minas tienen niveles similares de variabilidad en la deformación del suelo, lo cual puede ser indicativo de prácticas de gestión del suelo comparables o de condiciones geológicas similares.

Las mineras Las Bambas y Antamina: Comparten la letra B, lo que indica que sus coeficiente de variación tampoco son significativamente diferentes entre sí, pero son diferentes en comparación con Yanacocha. Esto sugiere que las mineras Las Bambas y Antamina podrían estar enfrentando desafíos similares en términos de estabilidad del suelo.

**Tabla 4.** Test LSD Fisher (ENL).

<b>Minera</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	
<b>Antamina</b>	0.89	9	1.39	A
<b>Las Bambas</b>	1.55	9	1.39	A
<b>Yanacocha</b>	6.24	9	1.39	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

*Alfa=0.05 DMS=4.07134*

*Error: 17.5109 gl: 24*

Fuente: elaboración propia.

El análisis fue analizado con un margen de error de ( $P < 0.05$ ) el modelo muestra que es estadísticamente significativo ( $p = 0.0241$ ), lo que sugiere que al menos una de las variables predictoras tiene un efecto significativo en el ENL. en cuanto a las medias de ENL para cada minera: Antamina tiene una media de 0.89 m, Las Bambas una media de 1.55 m, y Yanacocha una media notablemente mayor de 6.24 m.

Según el test de comparaciones múltiples (LSD Fisher), El ELD es una métrica que se utiliza para describir el nivel de ruido en una imagen de radar. Las imágenes que son mejor filtradas y tratadas eliminando la mayor cantidad, particularmente si se selecciona las imágenes con menor ruido y en el proceso tratar el ruido son las que podrán brindar Resultados de mejor Calidad.

Las medias de Antamina y Las Bambas no son significativamente diferentes entre sí ( $p > 0.05$ ), mientras que la media de Yanacocha es significativamente diferente de las otras dos. Los valores de ENL están por encima de 3, lo cual indica que son valores de buena calidad, de las tres mineras la que cumple es Yanacocha, las bambas tiene un ENL de 1.55 que es moderado y Antamina es la que no cumple porque su ENL está por debajo de 1. Esto quizá se debe a la calidad de las imágenes puesto que la metodología aplicada para el proceso es la misma.

Los resultados estadísticos validan la hipótesis alternativa al demostrar la utilidad de las imágenes radar en el monitoreo preciso de la deformación del suelo causada por la minería a cielo abierto.

El análisis detallado de los datos reveló fluctuaciones significativas en la deformación del suelo como resultado de las operaciones mineras de Antamina durante el período estudiado. Estos hallazgos proporcionan información valiosa para comprender el impacto ambiental de estas actividades y pueden servir como base para implementar medidas de mitigación adecuadas en el futuro.

Debido a los resultados podemos darnos cuenta que los resultados de Yanacocha son los que tienen mayor sentido ya que nos brinda datos que son más razonables dando valores de elevamiento se encuentran en mayor cantidad de percentil que el hundimiento, en comparación con Antamina S.A. y Las Bambas sus resultados nos brindan que son mayores en hundimiento que en elevación lo cual no es razonable ya que al causar hundimiento la elevación debería ser tres veces mayor porque el volumen del suelo crecen después de ser extraído.



Con respecto al primer objetivo específico, se determinó metodologías para el procesamiento y análisis de imágenes radar que ayudan a monitorear la deformación del suelo causada por las operaciones mineras de Antamina S.A., Las Bambas y Yanacocha durante el período de 2014 - 2023.

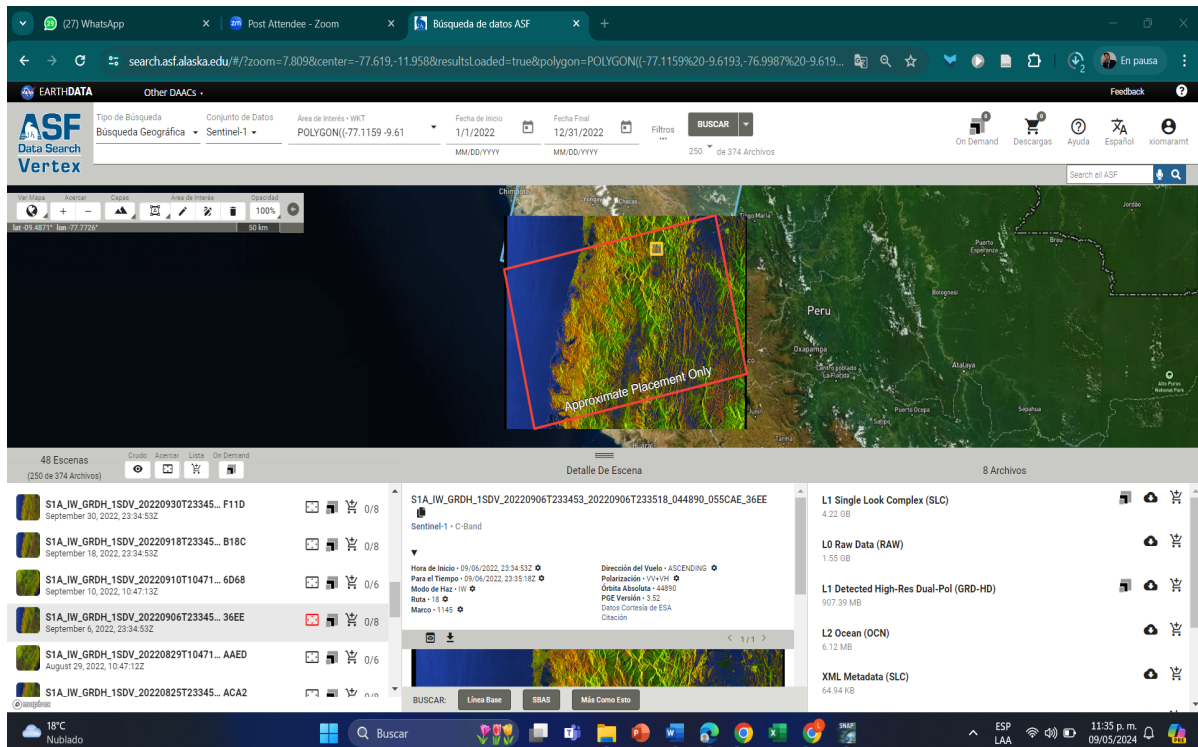


Figura 5. Descarga de imágenes radar de la plataforma Alaska Satellite Facility.  
Fuente: Alaska Satellite Facility.

Para obtener las imágenes radar de las minas Antamina (Fig. 7), Las Bambas (Fig. 8) y Yanacocha (Fig. 9), se usó la plataforma ASF (Alaska Satellite Facility) (Fig. 5). Se especificaron los períodos de interés 2014-2023, se debe seleccionar imágenes que tengan la misma orientación para la mina Antamina IW3 Ráfagas 7, 8 y 9. Para las bambas IW2 Rafagas 2 y 3, para Yanacocha IW1 Ráfagas 6 y 7, polarización VV para

todas las imágenes. Luego se descargaron las imágenes en formato SLC, ideal para análisis detallados de deformación de suelo.

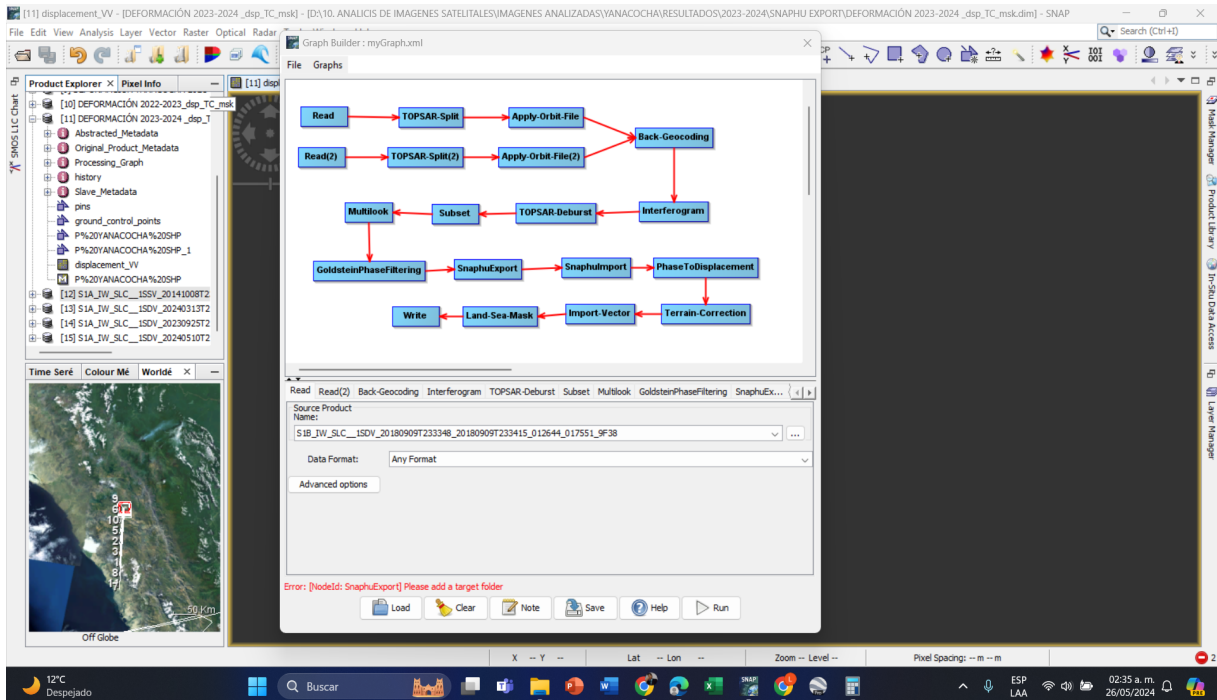


Figura 6. Diagrama de flujo en el SNAP.  
Fuente: Software SNAP.

La figura 6 presenta un diagrama de flujo que representa una cadena de procesamiento integral para datos de radar de apertura sintética (SAR), utilizada en estudios de interferometría SAR para la generación de imágenes de desplazamiento del terreno. A continuación, se describen de forma resumida los pasos específicos de este proceso:

Inicialmente, se efectuó el comando S-1 TOPS Coregistration, que resumió los comandos TOPSAR-Split, Apply-Orbit-File y Back Geocoding. Para ingresar a este comando, nos ubicamos en la pestaña **\*\*Radar\*\*** → **\*\*Coregistration\*\*** → **\*\*S-1 TOPS Coregistration\*\*** → **\*\*TOPS Coregistration\*\***. Al abrir el comando, aparecieron los comandos **\*\*Read\*\*** (para cargar la imagen madre) y **\*\*Read(2)\*\*** (para la imagen esclava). Se utilizó **\*\*TOPSAR-Split/TOPSAR Split 2\*\*** para seleccionar la sub-franja y ráfaga que contenía nuestra área de estudio, reduciendo así el área descargada. Se aplicó el comando **\*\*Apply-Orbit File y Apply-Orbit File (2)\*\*** para realizar la corrección de órbita.

En el comando **\*\*Back Geocoding\*\***, se unieron las bandas en un único producto con una interpolación bilineal. Una vez seleccionadas las imágenes y procesada la

primera etapa (interpolación de imágenes), se obtuvo un resultado de interpolación. Posteriormente, se aplicó el comando **Interferogram** seleccionando la imagen interpolada. Para esto, nos dirigimos a la pestaña **Radar** → **Interferometric** → **Products** → **Interferogram Formation** → **Processing Parameters** → **Subtract Topographic Phase** → **Digital Elevation Model**. Este proceso eliminó la fase topográfica.

Se utilizó el comando **TOPSAR-Deburst** para eliminar las ráfagas de atmósfera y ruido. Se activó el comando en la pestaña **Radar** → **Sentinel-1 TOPS** → **S-1 TOPSAR Deburst**. Luego, el comando **Subset** ayudó a recortar la imagen en medidas más pequeñas que abarcaban nuestra zona de estudio. **MULTILOOK** permitió realizar la corrección de rango y azimut según el espacio entre píxeles. Se activó este comando en la pestaña **Radar** → **SAR Utilities** → **Multilooking**.

Para eliminar el ruido que afectaba al interferograma y facilitar la fase de envolvimiento y desenvolvimiento, se aplicó **GoldsteinPhaseFiltering**. Se activó el comando en la pestaña **Radar** → **Interferometric** → **Filtering** → **GoldsteinPhaseFiltering**. Para realizar la fase de envolvimiento y desenvolvimiento, se instaló el complemento SNAPHU. Fuimos a **Tools** → **Plugins** → **Downloaded**, buscamos el complemento **SNAPHU Unwrapping** y seleccionamos **Install**. Una vez instalado, se activó el complemento en **Tools** → **Manage External Tools** → **SNAPHU Unwrapping** → **Activated**.

Seleccionamos la imagen resultante después de aplicar **GoldsteinPhaseFiltering**. Se activó el comando **SNAPHU Export** para convertir el interferograma a un formato compatible con SNAPHU. Nos dirigimos a **Radar** → **Interferometric** → **Unwrapping** → **SNAPHU Export**. Luego, se aplicó el comando **SNAPHU Unwrapping** para crear una imagen ráster con la fase desenvuelta. Fuimos a **Radar** → **Interferometric** → **Unwrapping** → **SNAPHU Unwrapping**. La nueva imagen ráster se importó al software SNAP activando el comando **SNAPHU Import** desde la pestaña **Radar** → **Interferometric** → **Unwrapping** → **SNAPHU Import**.

Para estimar los cambios en la superficie en metros, se aplicó el comando **Phase to Displacement**. Fuimos a **Radar** → **Interferometric** → **Products** → **Phase to Displacement**. Se realizó la corrección de terreno utilizando el **Modelo Digital de**

Elevación (DEM)\*\* para corregir distorsiones geométricas. Se activó el comando **Terrain-Correction** en **Radar** → **Geometric** → **Terrain Correction** → **Range-Doppler Terrain Correction**.

Finalmente, se recortó la imagen según nuestra área de estudio agregando la poligonal del área en formato SHP (shapefile). Fuimos a **Vector** → **Import** → **ESRI Shapefile** → (seleccionar SHP de la poligonal) → **Open** → **Ok**. Aplicamos el recorte en **Raster** → **Masks** → **Land y Sea Mask**. El resultado se exportó en formato KMZ seleccionando la banda **Displacement** y luego **File** → **Export** → **Other** → **View as Google Earth KMZ**.

El uso de SNAP, mediante la extensión de SNAPHU, como método de análisis para las imágenes Sentinel-1, proporcionó una plataforma integral y eficiente para el procesamiento y análisis de datos SAR. Su capacidad para automatizar muchas de las tareas clave en el análisis de imágenes SAR simplificó el trabajo y facilitó la generación de resultados precisos y confiables. Esto lo convirtió en una herramienta valiosa para analizar el nivel de deformación del suelo resultante de las operaciones mineras de Antamina, Las Bambas y Yanacocha durante el período de 2014-2023.

Como objetivo específico 2, analizar el nivel de deformación del suelo resultante de las operaciones mineras de Antamina, Las Bambas y Yanacocha durante la variación anual 2014 – 2023.

**Tabla 5. Test tukey (Máximo hundimiento).**

<b>Minera</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	
<b>Yanacocha</b>	-0.15	9	0.03	A
<b>Las Bambas</b>	-0.09	9	0.03	A
<b>Antamina</b>	-0.08	9	0.03	A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Alfa=0.05 DMS=0.10214

Error: 0.0075 gl: 24

Fuente: elaboración propia.

Los resultados indican que el modelo no es estadísticamente significativo ( $p = 0.2531$ ). Esto sugiere que no hay diferencias significativas en el máximo hundimiento del suelo entre las operaciones mineras de Antamina, Las Bambas y Yanacocha durante el período estudiado.

Las comparaciones múltiples muestran que no hay diferencias significativas entre las medias de las tres mineras, lo que refuerza la conclusión de que las operaciones

mineras no presentan diferencias significativas en términos del máximo hundimiento del suelo.

Estos resultados sugieren que, aunque hay una variabilidad en el hundimiento del suelo, esta variabilidad no es lo suficientemente grande como para ser estadísticamente significativa entre las diferentes operaciones mineras evaluadas. Esto podría indicar que las técnicas y métodos utilizados en estas minas para monitorear y controlar la deformación del suelo son similares en su efectividad.

**Tabla 6.** Test tukey (Máxima elevación).

Minera	Medias	n	E.E.	
Yanacocha	0.08	9	0.02	A
Las Bambas	0.08	9	0.02	A
Antamina	0.1	9	0.02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Alfa=0.05 DMS=0.06820

Error: 0.0034 gl: 24

Fuente: elaboración propia.

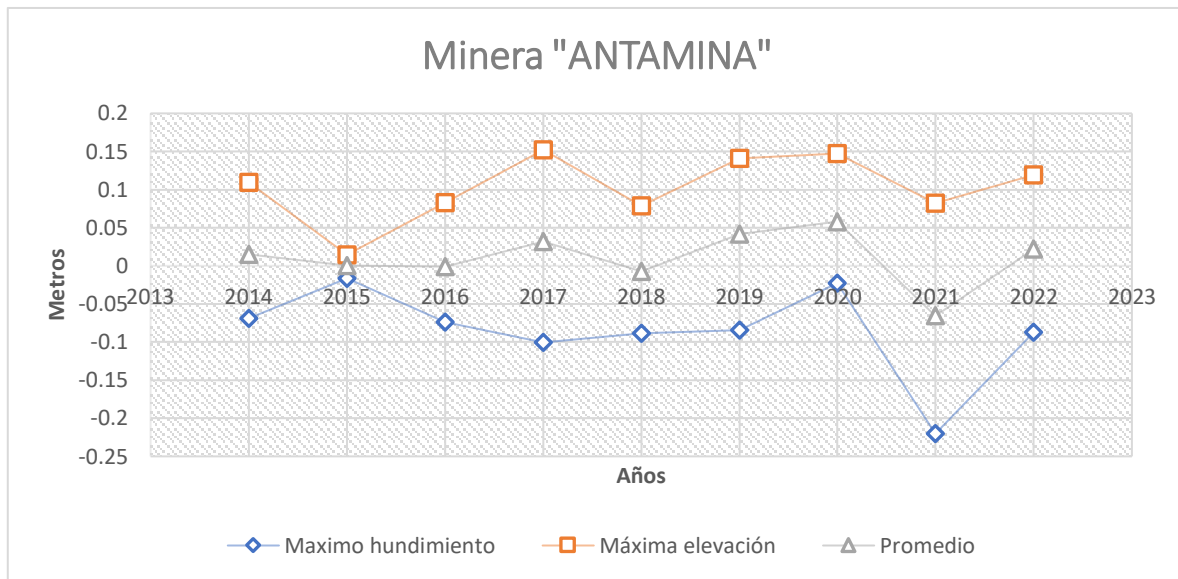
Coefficiente de determinación de 0.05, lo que sugiere que solo el 5% de la variabilidad en la máxima elevación puede ser explicada por el modelo.

El análisis de la varianza para "Máxima Elevación" (Max\_Ele) revela que el modelo no es estadísticamente significativo ( $p = 0.5406$ ). Esto indica que no hay diferencias significativas en la máxima elevación del suelo entre las operaciones mineras de Antamina, Las Bambas y Yanacocha durante el período estudiado.

Las comparaciones múltiples de Tukey muestran que las medias de máxima elevación son similares para las tres mineras: Dado que todas las medias comparten la misma letra (A), no hay diferencias significativas entre ellas ( $P < 0.05$ ).

Los resultados sugieren que no hay diferencias significativas en la máxima elevación del suelo entre las operaciones mineras de Antamina, Las Bambas y Yanacocha. Esto puede indicar que las variaciones en la elevación del suelo observadas en estas minas son relativamente uniformes y no están significativamente influenciadas por las actividades mineras específicas de cada ubicación. Estos hallazgos pueden reflejar que las prácticas y técnicas de gestión de la elevación del suelo son comparables en las tres minas estudiadas.

Por otro lado, con la ayuda de la tabla 2 con los datos de máximo hundimiento, máxima elevación y el promedio, podemos evaluar los valores máximos en elevación y hundimiento para cada minera y su variación año a año:



*Figura 7.* Monitoreo de deformación de suelo de la minera Antamina 2014 – 2023.  
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 7, se observa que el hundimiento máximo de deformación del suelo ocurrió en el año 2021, con un valor registrado de -0.2202 m/año. Esto señalaba un punto crítico en el hundimiento del suelo, indicando una situación de preocupación. Por otro lado, el año 2015 presentó un hundimiento mínimo de -0.0164 m/año, lo que sugería un período de menor impacto en términos de deformación del suelo.

En cuanto a la elevación del suelo, se destacó que el máximo nivel de elevación se registró en 2017, con un valor de 0.1521 m/año. Esto indicaba un momento de elevación significativa del suelo, posiblemente como resultado de mayor transporte de residuos de las operaciones mineras.

Además, el promedio más bajo se registró en el año 2021, con un valor de -0.0657 m/año, lo que indicaba que el hundimiento del suelo era más pronunciado. En contraste, se identificó que el promedio más alto se encontró en 2020, con un valor de 0.58 m/año, lo que sugería una tendencia a una elevación más significativa del suelo durante ese año.

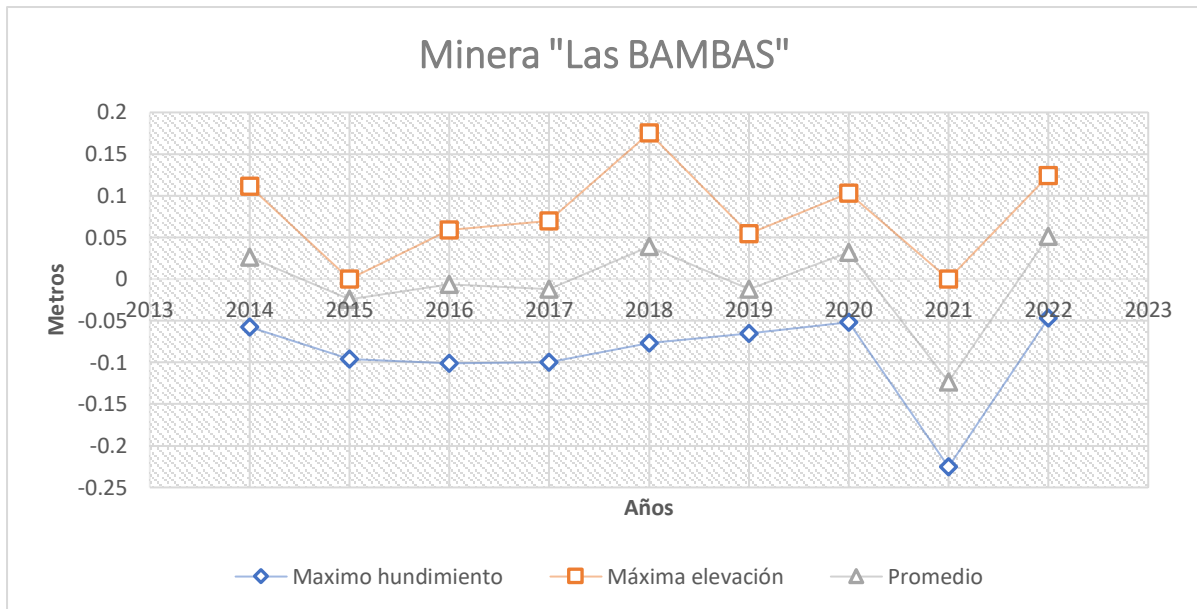


Figura 8. Monitoreo de la deformación de suelo de la minera Las Bambas 2014 – 2023.  
Fuente. elaboración propia.

En la figura 8, se visualiza que el pico más alto de hundimiento en la deformación del suelo se registró durante el año 2020, alcanzando un valor extraordinariamente elevado de  $-0.225$  m/año. Este hallazgo señaló un momento crítico de hundimiento del suelo, posiblemente como consecuencia de la intensificación de las actividades mineras en esa época.

Por otro lado, se identificaron que el hundimiento del suelo fue mínimo en el año 2020, donde los valores fueron  $-0.052$  m/año. Este año podría haber experimentado una menor incidencia de hundimiento en comparación con otros años.

En lo que respecta a la elevación del suelo, se destacó que el pico máximo se registró en el año 2018, con un valor de  $0.1753$  m/año. Esto indicó un período en el que el suelo experimentó una elevación significativa, posiblemente como resultado de cambios en las actividades mineras o factores geológicos.

En términos de promedios, se evidenció que el promedio más bajo de hundimiento se registró en el año 2021, con un valor de  $-0.1233$  m/año sugiriendo un período caracterizado por un hundimiento generalizado y significativo del suelo. Por el contrario, el promedio más alto de elevación se observó en 2022, con un valor de  $0.05$  m/año, indicando un período en el que el suelo experimentó una elevación considerable.

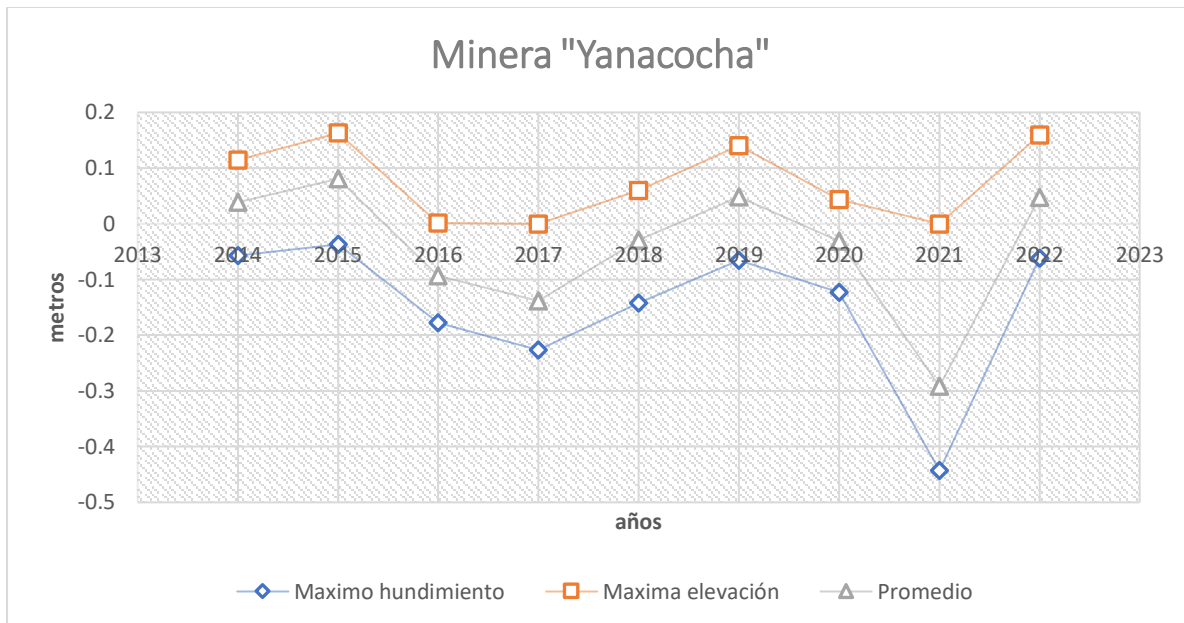


Figura 9. Monitoreo de deformación de suelo de la minera Yanacocha 2014 – 2023. Fuente: elaboración propia.

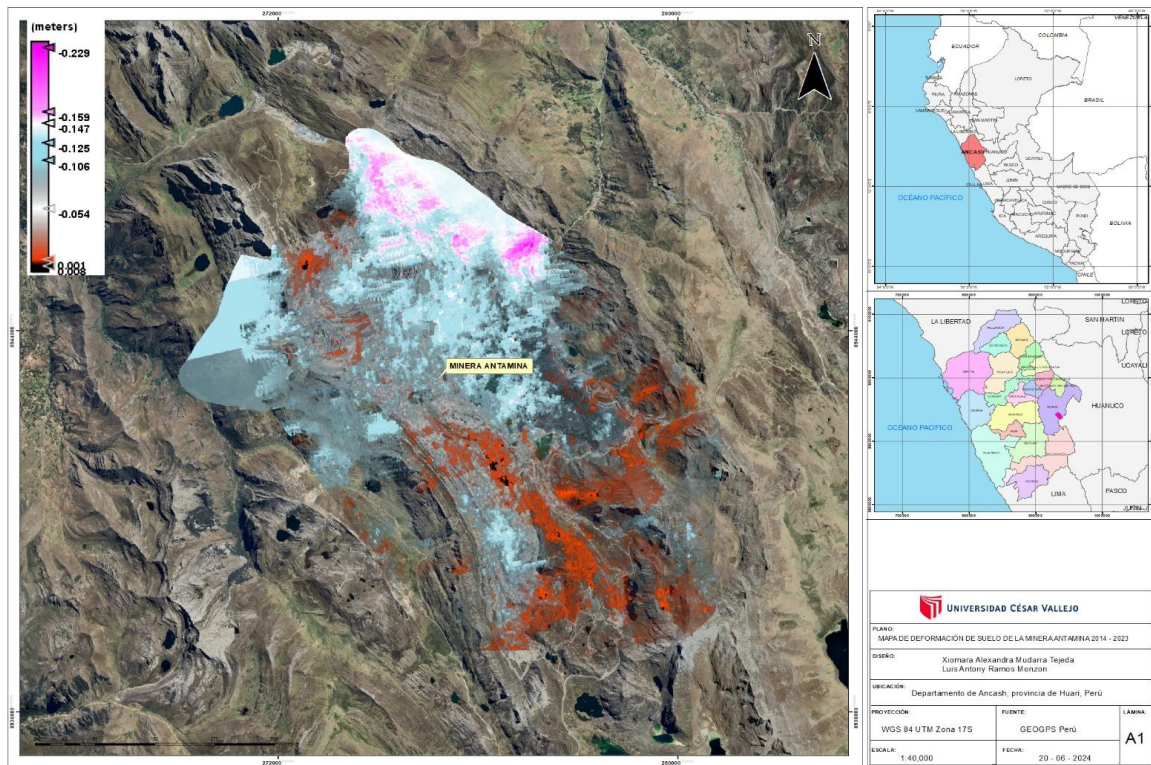
En la figura 9, se evidencia que la incidencia máxima se registró en el año 2021 con un valor extremadamente alto de -0.411 m. Esto indica un período crítico de hundimiento del suelo, sugiriendo una significativa influencia de las actividades mineras en la deformación del terreno. Por otro lado, el hundimiento mínimo se observó en el año 2015, con valores de -0.0369 m/año. En este año la minera puede haber experimentado un menor hundimiento del suelo en comparación con otros años.

En cuanto a la elevación del terreno, la elevación máxima más notable se registró en 2015, con un valor de 0.163 m/año. Esto sugiere que el suelo experimentó una elevación significativa, posiblemente como resultado de cambios en las actividades mineras o factores geológicos. En contraste, la elevación mínima se observó en el año 2017 y 2021 varios años, con un valor de 0 m/año para los dos años lo que indica un período de hundimiento significativo del suelo.

En términos de promedios, el promedio más bajo de Hundimiento se registró en el año 2021, con un valor de -0.2917 m/año, sugiriendo un período caracterizado por un hundimiento generalizado y significativo del suelo. Por otro lado, el promedio más alto de elevación se observó en 2015, con un valor de 0.0807 m/año, indicando un período en el que el suelo experimentó una elevación considerable.



Como objetivo específico 3, identificar problemas ambientales que se evidencian como consecuencia de la deformación del suelo causada por las operaciones mineras de Antamina S.A, Las Bambas y Yanacocha en el periodo del 2014 – 2023.



*Figura 10.* Mapa de deformación de suelo de la minera Antamina 2014 – 2023.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 10, el mapa presenta una escala de colores para mostrar las variaciones en la elevación del terreno. Los tonos negros, rojos y naranjas indican elevaciones (deformaciones positivas) que oscilan entre 0.001 m y 0.006 m, mientras que los tonos rosados, blancos y celestes representan hundimientos (deformaciones negativas) que varían de -0.054 m a -0.229 m.

Las zonas marcadas en rosados, blancos y celeste son indicativas de hundimiento significativa del suelo. Estas áreas pueden estar asociadas con actividades mineras intensivas, donde la extracción de material provoca la compactación y el subsiguiente descenso del terreno. La intensidad de los colores sugiere la magnitud del hundimiento, con las zonas más oscuras representando los mayores descensos, que pueden alcanzar hasta -0.229 m.

En contraste, las áreas marcadas con tonos negros, rojos y naranjas en la figura 10 muestran elevaciones del terreno, sugiriendo procesos geológicos o antropogénicos que resultan en deformaciones positivas, estas podrían estar asociadas con factores

como la tectónica activa, el levantamiento isostático, o la inyección de fluidos subterráneos. La magnitud de la elevación se refleja en la intensidad de los colores, con los tonos más oscuros indicando mayores elevaciones.

Las elevaciones pueden contrarrestar parcialmente los efectos de hundimiento localizados o indicar áreas donde las operaciones mineras no han tenido un impacto negativo significativo en la estabilidad del suelo. Además, estas diferencias en la deformación del terreno pueden ser cruciales para la planificación y gestión sostenible de la explotación minera, ayudando a identificar zonas de riesgo y a desarrollar estrategias de mitigación adecuadas.

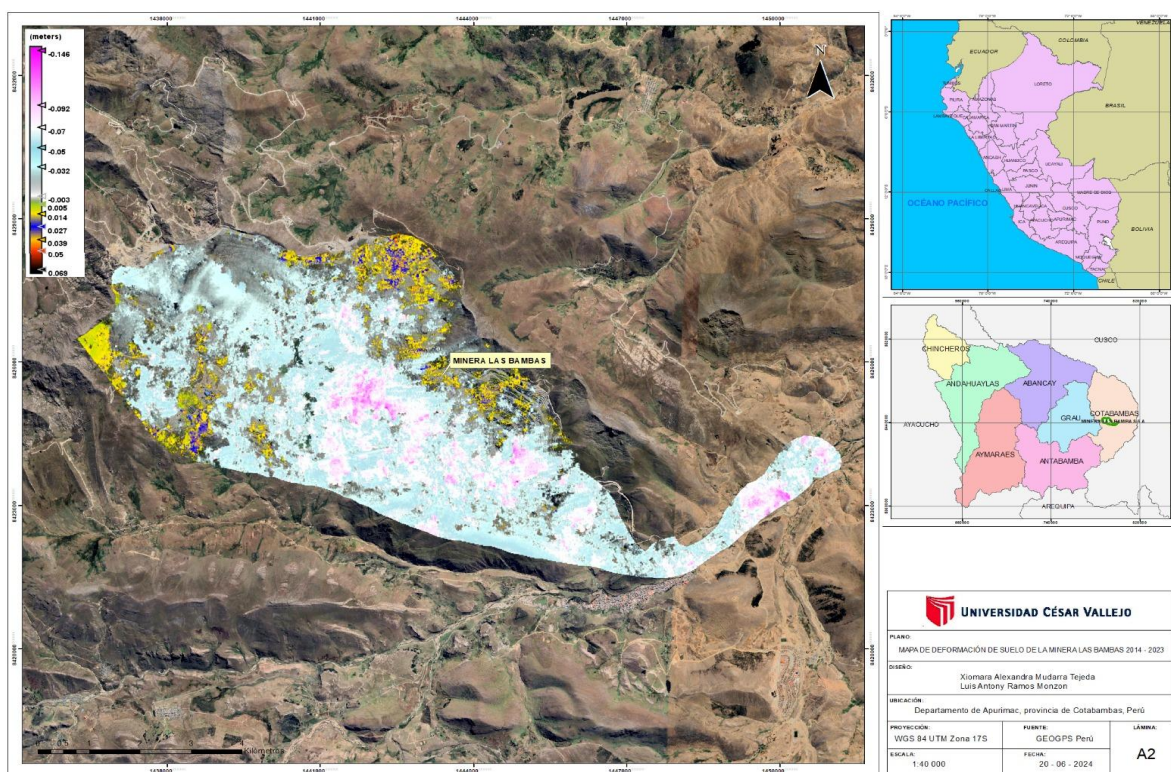


Figura 11. Mapa de deformación de suelo de la minera Las Bambas 2014 – 2023.

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 11, la escala de colores en el mapa refleja la magnitud de la deformación del suelo. Los tonos negros, rojos, naranjas, azules y verdes indican una elevación (deformación positiva) con valores que van de 0.005 a 0.069 m. Por otro lado, los tonos rosados, blancos y celeste representan un hundimiento (deformación negativa) con valores que oscilan entre -0.003 m y -0.146 m.

Las áreas marcadas en rosados, blancos y celeste son indicativas de hundimiento significativa del suelo. Estas áreas probablemente están asociadas con la extracción

de material, que provoca la compactación y el descenso del terreno. La intensidad de los colores sugiere la magnitud del hundimiento, alcanzando hasta -0.146 m en las zonas más rosadas.

En contraste, las áreas de color negro, rojos y naranja muestran elevación del terreno. Estos levantamientos pueden ser el resultado de diversas actividades geotécnicas, como la acumulación de desechos mineros o procesos naturales de recuperación del terreno. En las zonas más negras se encuentran los datos más elevados de elevación que alcanzan 0.069 m.

Mientras que los tonos rosados, blancos y celestes revelan zonas de hundimiento significativo, probablemente debido a la extracción de material y la consiguiente compactación del terreno, los tonos negros, rojos, naranjas, azules y verdes resaltan áreas de elevación que pueden indicar procesos geológicos naturales o esfuerzos de mitigación y restauración por parte de la minería.

Las zonas de elevación pueden servir como indicadores de áreas donde se ha logrado cierta estabilidad del terreno o donde se están implementando medidas efectivas para contrarrestar el hundimiento. Este conocimiento permite a los gestores de la mina desarrollar estrategias más informadas para la prevención de riesgos y la mitigación de impactos ambientales, asegurando una operación más segura y sostenible.

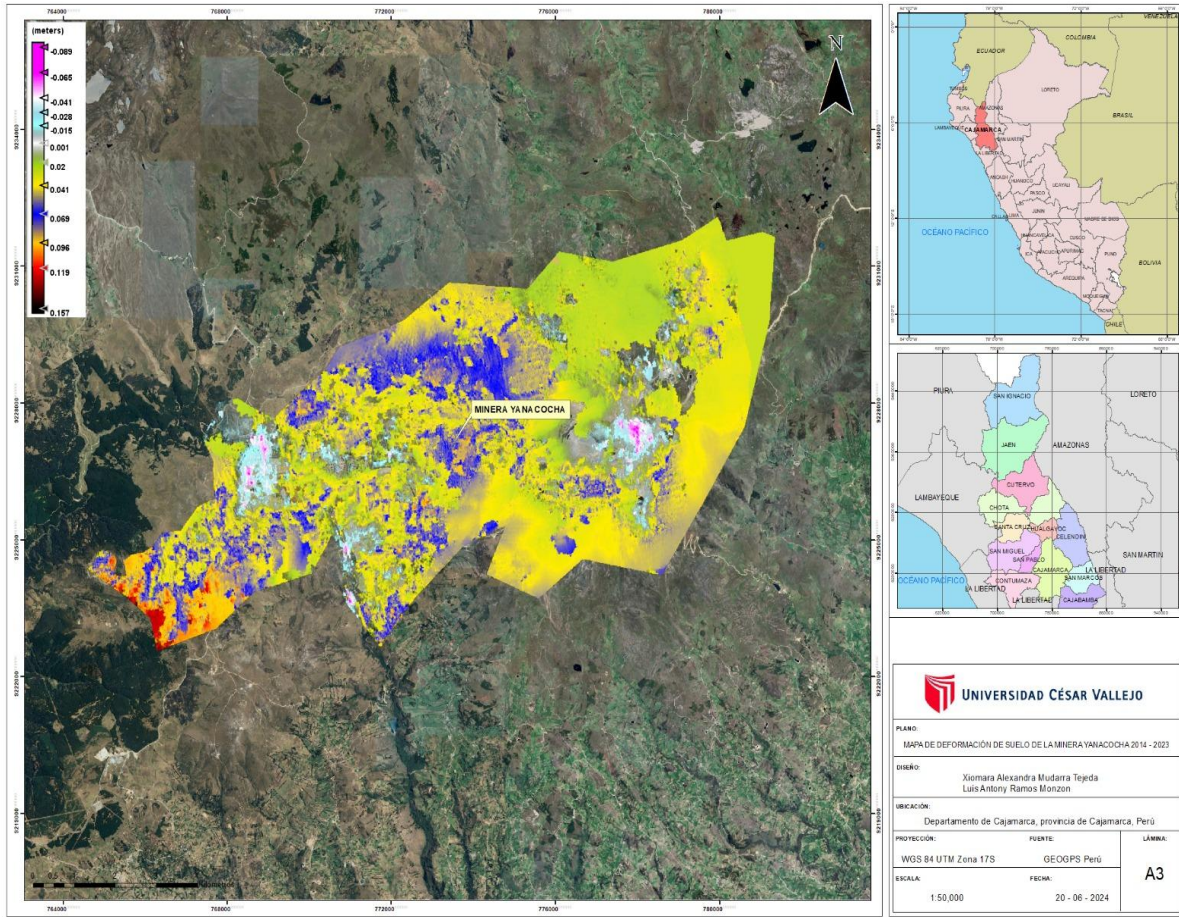


Figura 12. Mapa de deformación de la minera Yanacocha 2014 – 2023.

Fuente: elaboración propia.

La Figura 12, muestra un mapa en el que la escala de colores indica la magnitud de la deformación del suelo. Los tonos negros, rojos, naranjas, azules y verdes representan una elevación (deformación positiva) que varía entre 0.01 m y 0.157 m. En contraste, los tonos rosados, blancos y celeste indican un hundimiento (deformación negativa) que oscila entre -0.015 m y -0.089 m.

En las áreas marcadas en los rosados, blancos y celeste se observan hundimientos significativos del suelo, que pueden estar relacionados con la extracción de material y la consiguiente compactación y descenso del terreno. La intensidad de estos colores sugiere la magnitud del hundimiento, que alcanza hasta -0.089 m en las zonas más oscuras.

Por otro lado, las áreas negros, rojos, naranjas, azules y verdes representan elevación del terreno, posiblemente resultantes de actividades geotécnicas como la acumulación de desechos mineros o procesos naturales de recuperación del suelo.

#### IV. DISCUSIÓN

Como objetivo general se tiene diagnosticar mediante imágenes radar el monitoreo de la deformación del suelo en las operaciones mineras Antamina, Las Bambas y Yanacocha 2014 - 2023. El suelo, como capa superficial de la Tierra, es esencial para la vida de numerosos seres vivos. Está compuesto por una combinación de materiales sólidos, líquidos y gaseosos (MINAGRI, 2022, p. 61).

Estudios como el de Investigadores como Hu et al. (2017, pp. 1, 6 y 8) en el cual utilizaron imágenes estéreo de ZY-3, Identifican tres tipos de deformaciones y analizan su distribución. Durante el período de 2010 a 2015, la elevación promedio aumenta en 3,12 m, con el 71,18% del área mostrando deformaciones y un 22,72% de desniveles superiores a 10 m. El área con elevación ascendente significativa (>15 m) abarca 8,44 km<sup>2</sup>, con un cambio de volumen de  $2,47 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, mientras que el área con elevación descendente significativa (<-10 m) cubre 6,12 km<sup>2</sup>, con un cambio de volumen de  $2,01 \times 10^8$  m<sup>3</sup>. Las deformaciones se propagan desde la zona minera a áreas cercanas.

En este estudio Utilizando una metodología para el software SNAP validada con análisis de indicadores de manera estadística, revela que, en el monitoreo de la mina Antamina, el análisis de imágenes radar muestra grandes cantidades de deformación, principalmente por incidencia. Los datos indican que la mayor cantidad de píxeles se encuentra en valores negativos, representando la incidencia. Comparativamente, los valores de elevación según la cantidad de píxeles son menores. Para el periodo 2014-2023, se observa que las áreas de deformación del suelo por Hundimiento superan a las áreas de deformación por elevación. El percentil refleja que el hundimiento representa el 98% de los valores, oscilando entre -0.05 m/año y -0.2368 m/año, mientras que la elevación, representando el 2%, fluctúa entre 0.001 m/año y 0.0724 m/año.

En el monitoreo de la mina Las Bambas, el análisis también registra grandes cantidades de deformación por incidencia. La cantidad de píxeles por valores muestra una mayor presencia de valores negativos, indicativos de incidencia. Los valores de elevación, según la cantidad de píxeles, son menores. Para el periodo 2014-2023, las áreas de deformación del suelo por hundimiento son significativamente mayores que las áreas de deformación por elevación, atribuible a una etapa de máxima extracción

de recursos. El percentil señala que la incidencia, representando el 85 % de los valores, oscila entre -0.014 m/año y -0.175 m/año, mientras que la elevación, representando el 15%, varía entre 0.001 m/año y 0.0686 m/año.

En contraste, el monitoreo de la mina Yanacocha muestra una tendencia predominante hacia la deformación por elevación. La cantidad de píxeles por valores indica una mayor cantidad de valores positivos, representando la elevación. Los valores de incidencia, en comparación, son menores. Para el periodo 2014-2023, las áreas de deformación del suelo por elevación superan significativamente a las áreas de deformación por incidencia, probablemente debido a una etapa de cierre de mina y una mínima actividad de extracción. El percentil muestra que el hundimiento, representando el 30%, oscila entre -0.00m/año y -0.0992 m/año, mientras que la elevación, que representa el 70%, fluctúa entre 0.001 m/año y 0.1140 m/año.

Los estudios de Antamina, Las Bambas y Yanacocha utilizan análisis de imágenes radar y el software SNAP para el monitoreo de deformaciones en las minas durante el período 2014-2023. En contraste, el estudio de Hu et al. (2017) utiliza imágenes estéreo de ZY-3 para identificar y analizar deformaciones durante el período 2010-2015. En Antamina, se observa una predominancia de deformación por hundimiento (98%) con rangos de -0.05 m/año a -0.2368 m/año. Las Bambas también muestra una predominancia de deformación por hundimiento (85%) con rangos de -0.014 m/año a -0.175 m/año. Por otro lado, Yanacocha muestra una deformación Promedio con grados mayores en elevación (70%) con rangos de 0.001 m/año a 0.1140 m/año y valores del (30%) en hundimiento con valores que oscilan entre -0.00m/año y -0.0992 m/año. En el estudio de Hu et al. (2017), la elevación promedio aumenta en 3.12/año metros durante el período 2010-2015, con un 71.18% del área mostrando deformaciones y un 22.72% de desniveles superiores a 10 metros/año. Se identificaron áreas con elevación ascendente (>15 m/año) y descendente (<-10 m/año) significativas. En Antamina y Las Bambas, la mayoría de los valores negativos son indicativos de hundimiento, reflejando una fase de máxima extracción de recursos. En Yanacocha, se observa una elevación significativa en algunas áreas mientras que otras áreas sufren de un hundimiento menormente. En el estudio de Hu et al. (2017), se observa una elevación significativa en algunas áreas, mientras que otras áreas experimentan hundimientos significativos, propagándose desde la zona minera a áreas cercanas.

El primer objetivo específico de este estudio fue determinar las metodologías empleadas en el procesamiento y análisis de imágenes radar para monitorear la deformación del suelo causada por las operaciones mineras de Antamina S.A., Las Bambas y Yanacocha durante el período de 2014-2023. La teledetección ha revolucionado nuestra comprensión del entorno terrestre al permitirnos recopilar información sin contacto directo mediante sensores a bordo de aviones o satélites, utilizando diversas formas de energía como la radiación electromagnética o el magnetismo (Logroño et al., 2020, pp. 27-28).

El programa Copernicus de la Unión Europea se enfoca en monitorear la Tierra y su entorno mediante la constelación de satélites Sentinel-1. Estos satélites, como el S1-A lanzado el 3 de abril de 2014 y el S1-B lanzado el 25 de abril de 2016, capturan imágenes satelitales para rastrear cambios en el terreno y deformaciones. Orbitan a 180° de distancia, proporcionando imágenes cada seis días sin importar las condiciones climáticas o la hora del día. Destacan por su franja interferométrica ancha (IW) de banda C, con una cobertura de franja de 250 km, haciéndolos ideales para la investigación (Gojković et al., 2023).

Para obtener información precisa de la fase de una matriz 2D en imágenes SAR, se utiliza SNAPHU, una extensión de SNAP. Este programa implementa un algoritmo basado en el flujo de red y el costo estadístico propuesto por Chen y Zebker. Incluye tres modelos estadísticos integrados para diferentes tipos de datos: topografía, deformación y datos suaves. La resolución del problema de optimización se lleva a cabo de manera aproximada utilizando técnicas de flujo de red, y el tiempo de ejecución depende de la complejidad del interferograma (ESA, 2018).

El uso de SNAP, junto con la extensión SNAPHU, para analizar imágenes de Sentinel-1 ha simplificado el procesamiento de datos SAR y ha permitido generar resultados precisos. Esto es crucial para evaluar la deformación del suelo causada por la actividad minera en Antamina, Las Bambas y Yanacocha entre 2014 y 2023.

Los aportes de los siguientes autores permiten comparar la metodología empleada en este estudio con la de sus estudios, (Tang et al., 2020, p. 1). Utilizando el satélite chino ZiYuan3 (ZY-3) el cual, se enfoca en la topografía y cartografía a escala 1:50,000, y en la actualización de datos geográficos fundamentales, deformación de superficies, especialmente en deslizamientos de tierra impulsados por la gravedad,

ofrecen métodos innovadores y precisos para el procesamiento y análisis de imágenes radar en el monitoreo de la deformación del suelo en actividades mineras.

Mientras que Li et al. (2023) En su estudio realizó una metodología combinada Combinando la teledetección, aprendizaje profundo y radar interferométrico de apertura sintética (InSAR) propuesta por para supervisar actividades mineras en regiones áridas y semiáridas del noroeste de China, junto con el uso del modelo DeepLabV3-ResNet para identificar y localizar parches de mina, así como la técnica SBAS-InSAR para rastrear la deformación temporal de los parches mineros, demuestra un enfoque integral y preciso en el monitoreo de actividades mineras. Además, la aplicación de tecnología topográfica, como GPS, estaciones totales y fotogrametría terrestre, por parte de Wajs (2015) para modelar el terreno y calcular volúmenes en minas a cielo abierto, y la presentación de la técnica MSBAS-3D por Samsonov et al. (2020), que utiliza la interferometría satelital para mapear la deformación.

La presente investigación se realizó Analizando la teledetección, mediante el programa Copernicus de la Unión Europea y la utilización de la constelación de satélites Sentinel-1, junto con el software SNAP y su extensión SNAPHU, la cual ha demostrado ser una herramienta crucial para el monitoreo de la deformación del suelo causada por las operaciones mineras en áreas como Antamina, Las Bambas y Yanacocha durante el período de 2014 – 2023. Es importante mencionar que la combinación de tecnologías como el radar interferométrico de apertura sintética (InSAR) y el aprendizaje profundo, así como el uso de técnicas topográficas como GPS y fotogrametría terrestre, proporciona un enfoque integral y preciso en este campo.

Este estudio, logró realizar un análisis para la metodología aplicada analizando los valores del coeficiente de variación el cual ayuda a evaluar la variabilidad, con un nivel de confianza de  $p > 0.05$  se obtuvo que el modelo es significativo, ya que se obtuvo un valor de  $p = 0.0376$ . teniendo como resultado un 83.93% de variabilidad, los valores del coeficiente de variación deben ser menores a 30% para que puedan ser datos que puedan cumplir este indicador. Por otro lado, también se analizó el ENL (Equivalent Number of Looks) Antamina y Las Bambas no son significativamente diferentes entre sí ( $P < 0.05$ ), mientras que la media de Yanacocha es significativamente diferente de



las otras dos. Los valores de ENL están por encima de 3, lo cual indica que son valores de buena calidad de las tres mineras la que cumple es Yanacocha, las bambas tiene un ENL de 1.55 que es moderado y Antamina es la que no cumple porque su ENL está por debajo de 1. Esto quizá se debe a la calidad de las imágenes puesto que la metodología aplicada para el proceso es la misma.

El estudio se enfoca en el análisis estadístico y la calidad de imágenes (ENL) para evaluar datos mineros. Mientras que Li et al. (2023) emplean una combinación de teledetección y aprendizaje profundo para un monitoreo detallado de minas. Por otro lado, Wajs (2015) y Samsonov et al. (2020) utilizan tecnologías topográficas y técnicas de interferometría satelital para modelar y mapear deformaciones.

La Calidad de datos en el estudio destaca la variabilidad y la calidad del ENL, encontrando diferencias significativas entre las minas. Mientras que Li et al. logran una identificación y seguimiento preciso de parches mineros. De manera diferente Wajs (2015) y Samsonov et al. (2020) proporcionan herramientas para modelar y mapear de manera precisa el terreno y la deformación en minas.

Los enfoques y resultados son complementarios. Mientras que el estudio que se está realizando se centra en la variabilidad y la calidad de los datos, los otros estudios proporcionan herramientas y metodologías avanzadas para la identificación, localización y monitoreo de actividades mineras. La combinación de estos enfoques podría ofrecer una visión más completa y precisa del monitoreo y gestión de actividades mineras.

Como objetivo específico 2, analizar el nivel de deformación del suelo resultante de las operaciones mineras de Antamina, Las Bambas y Yanacocha durante la variación anual 2014 – 2023. Este estudio se enfoca en identificar y evaluar los cambios físicos y geométricos en el terreno, como hundimientos, elevaciones, desplazamientos y grietas, los cuales pueden ocasionar desastres geológicos significativos (Hu et al., 2023, pp. 1-3).

La tabla 11 y 14, destaca que los valores de hundimiento y elevación en las tres mineras no representan diferencias significativas en términos de elevación y hundimiento es decir su variabilidad son casi similares. Por otro lado, en la figura 7 muestra que el mayor hundimiento del suelo se produjo en 2021, con un valor de -0.2202 m/año, indicando una situación crítica. En contraste, el menor hundimiento

ocurrió en 2015, con  $-0.0164$  m/año, sugiriendo un impacto menor en ese año. En cuanto a la elevación del suelo, el máximo nivel se registró en 2017 con  $0.1521$  m/año, posiblemente debido al transporte de residuos mineros. El promedio más bajo de hundimiento fue en 2021 con  $-0.0657$  m/año, mientras que el promedio más alto de elevación fue en 2020 con  $0.58$  m/año, indicando una elevación significativa en ese año.

La figura 8, muestra que el mayor hundimiento del suelo ocurrió en 2020, con un valor de  $-0.225$  m/año, posiblemente debido a la intensificación de actividades mineras. El hundimiento mínimo también se registró en 2020, con  $-0.052$  m/año, indicando una menor incidencia comparativa. La mayor elevación del suelo se produjo en 2018, con  $0.1753$  m/año, probablemente debido a cambios en actividades mineras o factores geológicos. En promedio, el hundimiento más bajo se observó en 2021, con  $-0.1233$  m/año, mientras que el promedio más alto de elevación se registró en 2022, con  $0.05$  m/año, señalando un período de elevación considerable del suelo.

La figura 9, muestra que el mayor hundimiento del suelo se registró en 2021, con un valor de  $-0.411$  m/año, indicando una influencia significativa de las actividades mineras. El menor hundimiento se observó en 2015, con  $-0.0369$  m/año. La mayor elevación del terreno se produjo en 2015, con  $0.163$  m/año, posiblemente debido a cambios en las actividades mineras o factores geológicos. La elevación mínima se registró en 2017 y 2021, con  $0$  m/año en ambos años, indicando un hundimiento significativo. El promedio más bajo de hundimiento fue en 2021, con  $-0.2917$  m/año, mientras que el promedio más alto de elevación se observó en 2015, con  $0.0807$  m/año.

La precisión del análisis de imagen utilizado para recopilar los datos es crucial para la validez de los resultados. Se identificó que el error más alto en el análisis de imagen se registró en 2021-2022, con un valor de  $3.0211E-4$ , lo que resalta la necesidad de mejorar las técnicas de análisis para obtener datos más precisos.

Comparando estos hallazgos con estudios previos, como el de Hu et al. (2023), se observan similitudes y diferencias en la deformación del suelo debido a actividades mineras en diferentes regiones. Por ejemplo, en un yacimiento de carbón en China, se detectó una deformación del  $21.60\%$  entre 2012 y 2017, que disminuyó un  $17.19\%$  entre 2017 y 2022, lo cual representa una reducción del  $6.44\%$ . Estos resultados

reflejan una tendencia de recuperación en la deformación del suelo a largo plazo, similar a la tendencia observada en Antamina.

Asimismo, el estudio de Hu et al. (2017), sobre la mina a cielo abierto en Fushun, China, utilizando imágenes estéreo del satélite ZY-3 y modelos digitales de superficie (DSM), identificó un aumento promedio de elevación de 3.12 metros entre 2010 y 2015. Además, el 71.18% del área mostró deformaciones, con desniveles superiores a 10 metros en un 22.72% del área. Estos datos subrayan la magnitud de las deformaciones en áreas mineras y la propagación de estas alteraciones a zonas cercanas.

El análisis de la deformación del suelo en Antamina, Las bambas y Yanacocha durante 2014-2023 proporciona información valiosa sobre el impacto ambiental de las actividades mineras. Estos hallazgos no solo ayudan a comprender mejor las fluctuaciones significativas en la superficie terrestre, sino que también sirven como base para la implementación de medidas de mitigación adecuadas en el futuro.

Comparaciones con estudios internacionales reafirman la importancia de monitorear y gestionar las deformaciones del suelo en áreas mineras para prevenir desastres geológicos y minimizar los impactos ambientales negativos.

En el objetivo 3, identificar problemas ambientales que se evidencian como consecuencia de la deformación del suelo causada por las operaciones mineras de Antamina S.A, Las Bambas y Yanacocha en el periodo del 2014 – 2023.

Los estudios de (Brain, 2017) confirma los impactos adversos de la minería a cielo abierto en el medio ambiente. La extracción minera a gran escala causa desplazamientos de tierra que afectan comunidades locales y ecosistemas. Por otro lado, (Oyarzun et al., 2011) destacan la falta de restauración ambiental post-extracción, la cual prolonga la degradación del suelo y paisaje. Además, la minería deja áreas sin vegetación y puede llevar a la destrucción total de áreas naturales, igualmente (Kaku et al., 2021; Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales, 2000). Reafirma que los impactos de la deformación de suelo incluyen la alteración del paisaje, la degradación del aire y la contaminación del agua (Pérez, 2018).

Este estudio documenta los impactos negativos de la minería a cielo abierto en el medio ambiente, específicamente en las mineras Antamina, Las Bambas y

Yanacocha durante el periodo 2014-2023. Los hallazgos revelan que la extracción intensiva de material ha provocado significativos hundimientos del suelo, evidenciados por deformaciones negativas. En caso de la minera Antamina van desde -0.054 m a -0.229 m y su elevación oscilan entre 0.001 y 0.006 m. Para el caso de las Bambas su hundimiento va desde -0.003 m a -0.146 m y su elevación van de 0.005 a 0.069 m. Para la minera Yanacocha, su hundimiento se encuentra entre -0.015 y -0.089 m y su elevación varía entre 0.01 m y 0.157 m. Estas deformaciones son atribuibles a la compactación del terreno debido a las operaciones mineras, lo cual concuerda con investigaciones previas sobre los desplazamientos de tierra causados por la minería a gran escala (Brain, 2017). La falta de restauración ambiental post-extracción ha perpetuado la degradación del suelo y del paisaje (Oyarzun et al., 2011), afectando la capacidad de recuperación del ecosistema, como lo indican las áreas sin vegetación observadas en los mapas. Además, se destaca que las áreas de elevación del terreno podrían estar relacionadas con procesos geológicos naturales o esfuerzos de mitigación por parte de las mineras.

## V. CONCLUSIONES

- Esta investigación, mediante imágenes radar, analizó la deformación del suelo en las minas de Antamina, Las Bambas y Yanacocha entre 2014 y 2023, revelando patrones diferenciados en cada mina. En Antamina, el 98% de la deformación fue por hundimiento (rango de -0.05 m/año a -0.2368 m/año) y solo el 2% por elevación (rango de 0.001 m/año a 0.0724 m/año). Las Bambas mostró un 85% de hundimiento (rango de -0.014 m/año a -0.0175 m/año) frente al 15% de elevación (rango de 0.001 m/año a 0.0686 m/año). Por el contrario, Yanacocha presentó un 70% de elevación (rango de 0.001 m/año a 0.1140 m/año) y un 30% de hundimiento (rango de 0.00 m/año a -0.0992 m/año), debido a la explotación y traslado de residuos. Estos resultados reflejan las distintas etapas operativas y dinámicas geológicas de cada mina.

El monitoreo de imágenes radar reveló las tendencias de deformación del suelo en las minas estudiadas, correlacionándolas con sus fases operativas. Antamina y Las Bambas, durante fases de alta extracción, exhibieron hundimientos significativos, mientras que Yanacocha mostró predominancia de elevaciones del terreno. Estos resultados fueron fundamentales para evaluar el impacto de la actividad minera en la deformación del suelo.

- En este estudio se empleó una metodología validada estadísticamente estudiando valores de variación y ENL (Equivalent Number of Looks) en la que se logró confirmar que aplicando la metodología solo los valores de Yanacocha son los que están cumpliendo para evaluar la deformación de suelo, ya que sus valores en ENL están por encima de 3, Con ello se confirma que la teledetección, a través del programa Copernicus de la Unión Europea y la constelación de satélites Sentinel-1, junto con el software SNAP y SNAPHU, es una herramienta esencial para monitorear la deformación del suelo causada por operaciones mineras en áreas como Antamina, Las Bambas y Yanacocha entre 2014 y 2023. Estos métodos proporcionan datos precisos y oportunos, fundamentales para comprender y gestionar los impactos ambientales de la minería. La integración de diversas tecnologías, como el radar interferométrico de apertura sintética (InSAR) y técnicas topográficas tradicionales, mejora la comprensión de los procesos involucrados en la deformación del suelo. Este estudio resalta la importancia de seguir utilizando tecnologías avanzadas para

una gestión ambiental más efectiva en el sector minero.

- El análisis del nivel de deformación del suelo resultante de las operaciones mineras en Antamina, Las Bambas y Yanacocha durante el periodo 2014-2023 reveló importantes variaciones anuales que reflejaron el impacto de las actividades mineras en el terreno. En Antamina, el hundimiento máximo del suelo se registró en 2021 con  $-0.2202$  m/año, destacando un período crítico de deformación. El hundimiento mínimo fue en 2015 con  $-0.0164$  m/año. La elevación máxima ocurrió en 2017 con  $0.1521$  m/año. En 2021, el promedio de hundimiento más bajo fue  $-0.0657$  m/año y el promedio más alto de elevación en 2020 con  $0.058$  m/año. En Las Bambas, el hundimiento máximo fue en 2021 con  $-0.2254$  m/año, indicando una fase crítica. El hundimiento mínimo fue en 2020 con  $-0.052$  m/año. La elevación máxima ocurrió en 2018 con  $0.1753$  m/año. El promedio de hundimiento más bajo fue en 2021 con  $-0.1233$  m/año y el promedio más alto de elevación en 2022 con  $0.0512$  m/año. En Yanacocha, el hundimiento máximo se alcanzó en 2021 con  $-0.4429$  m/año, reflejando una gran deformación. El hundimiento mínimo fue en 2015 con  $-0.0369$  m/año. La elevación máxima fue en 2015 con  $0.163$  m/año. El promedio de hundimiento más bajo fue en 2021 con  $-0.2917$  m/año y el promedio más alto de elevación en 2015 con  $0.0807$  m/año.

Al aplicar un análisis estadístico se muestra que no hubo diferencias significativas en el hundimiento y elevación del suelo entre las tres minas. Las pruebas de Tukey confirmaron que las medias de deformación del suelo no presentaban diferencias significativas, sugiriendo que las técnicas y métodos de monitoreo y control de deformación del suelo en estas minas son similares en su efectividad.

- El análisis de deformación del suelo debido a las operaciones mineras de Antamina S.A., Las Bambas y Yanacocha entre 2014 y 2023 revela un impacto significativo en la estabilidad del terreno. Se observan áreas de hundimiento y elevación del suelo, indicativas de la compactación y descenso provocados por la extracción de material y otras actividades mineras. Las zonas de hundimiento más pronunciado, en tonos rosados, blancos y celestes, muestran descensos de hasta  $-0.229$  m/año, mientras que las áreas elevadas, en tonos negros, rojos y naranjas, sugieren procesos geológicos naturales o esfuerzos

de mitigación. Estas diferencias son cruciales para la gestión ambiental y la planificación minera, facilitando la identificación de zonas de riesgo y el desarrollo de estrategias de mitigación efectivas para futuras operaciones sostenibles y seguras.

## VI. RECOMENDACIONES

- Las imágenes radar del Sentinel -1, herramienta valiosa para reducir el trabajo de campo en estudios geoespaciales. Estas imágenes permiten ahorrar tiempo, costos y recursos humanos al proporcionar datos precisos sobre incidencias y elevaciones en áreas específicas de estudio. Sin embargo, es esencial realizar un muestreo en las zonas donde se podría suponer la existencia de errores para asegurar la precisión y la calidad de los datos obtenidos.
- Analizar las imágenes con antelación es fundamental, ya que la plataforma Copernicus puede experimentar interrupciones durante las actualizaciones, dificultando la descarga de imágenes radar de Sentinel-1. Es esencial anticiparse a estas contingencias y disponer de planes alternativos para la obtención de datos en proyectos críticos.
- Para el análisis de deformaciones, se recomienda utilizar imágenes radar de Sentinel-1 en formato SLC (Single Look Complex). Este formato es ideal ya que permite la generación de Interferogramas SAR, los cuales son fundamentales para detectar y cuantificar deformaciones en la superficie terrestre. Además, las imágenes en formato SLC incluyen información de fase necesaria para la interferometría y se pueden complementar con Modelos Digitales de Elevación (MDE) para obtener resultados más precisos.
- Para realizar un análisis correcto, es esencial descargar imágenes radar de Sentinel-1 que estén alineadas en la misma dirección de adquisición. Además, es crucial que las imágenes se crucen en la misma subfranja (IW1, IW2 o IW3). Este alineamiento y coincidencia en la subfranja aseguran la coherencia y comparabilidad de los datos, facilitando un análisis preciso de las deformaciones.
- Para descargar, procesar y analizar las imágenes radar de Sentinel-1, se recomienda utilizar una computadora portátil o de escritorio con altas especificaciones técnicas. Específicamente, se sugiere contar con un procesador Core i5 o superior, al menos 16 GB de memoria RAM y una tarjeta gráfica con al menos 4 GB de memoria gráfica. Además, es fundamental disponer de una gran capacidad de almacenamiento, ya que cada imagen puede pesar entre 4 y 7 GB. Estas características aseguran un rendimiento



óptimo y minimizan los contratiempos durante el procesamiento de los datos, acelerando así el análisis y la obtención de resultados.

## REFERENCIAS

- ABDEL-KADER, Fawzy Hassan, 2019. Assessment and monitoring of land degradation in the northwest coast region, Egypt using Earth observations data. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science[online].August 2019, Vol. 22, no. 2, pp. 165–173. Available in:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982317302090>  
ISSN 1110-9823.
- JAIME, Alberto y SANABRIA, Juan, 2022. Aspectos ambientales en operaciones mineras [en línea]. [consulta: 20 de septiembre 2023] Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/369609637\\_Aspectos\\_ambientales\\_en\\_operaciones\\_mineras](https://www.researchgate.net/publication/369609637_Aspectos_ambientales_en_operaciones_mineras)
- Antamina, 2024. Nosotros [en línea] [consulta: 20 de septiembre 2023] Disponible en: <https://www.antamina.com/socios-estrategicos/ingreso-a-las-instalaciones/>
- ARAMBURU, María Paz, ESCRIBANO, María Del Milagro and DE FRUTOS, Mercedes, 1990. Restauración de zonas naturales alteradas por actividades mineras a cielo abierto. Informes de la Construcción [en línea]. Junio 1990, Vol. 42, no. 407, pp. 23–31. [consulta: 15 octubre 2023] Disponible en: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1437>  
ISSN: 0020-0883
- BRAIN, Kelsey A., 2017. The impacts of mining on livelihoods in the Andes: A critical overview. Extractive Industries and Society [online]. April 2017, Vol. 4, no. 2, pp. 410–418. [consultation: September 20, 2023]. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214790X16301435>  
ISSN 2214-790X
- CERECEDA, Enrique, 2007. Agua y minería: una industria sedienta. Bnamerías Mining Group [en línea] [consulta: 15 octubre 2023] Disponible en: <https://www.ocmal.org/wp-content/uploads/2017/03/agua.pdf>

COPERNICUS (2014-2024). Sobre Copernicus. [en línea], [2023]. [consulta: 1 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.copernicus.eu/es/sobre-copernicus>

Módulos Universitarios en ciencia del Desarrollo Sostenible (MOUDS) [en línea]. Derrumbamientos y subsidencias [2024]. [consulta: 1 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.desenvolupamentsostenible.org/es/-los-riesgos-naturales/3-concepto-y-tipo-de-riesgo/3-4-riesgo-de-movimientos-del-terreno/3-4-2-hundimientos-y-subsidencias>

DU, Qingsong et al., 2021. Deformation Monitoring in an Alpine Mining Area in the Tianshan Mountains Based on SBAS-InSAR Technology. *Advances in Materials Science and Engineering* [online]. April 2021, Vol. 2021. [consultation: October 5, 2023]. Available in: <https://downloads.hindawi.com/journals/amse/2021/9988017.pdf>  
ISSN 16878434

DYSON, Ashley P. et al., 2022. The role of creep deformation in pit lake slope stability. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources* [online]. October 2022, Vol. 8, no. 5, p. 138. [consultation: October 5, 2023]. Available in: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s40948-022-00451-w.pdf>  
ISSN 23638419

ESCAYO, Joaquin et al., 2022. Radar Interferometry as a Monitoring Tool for an Active Mining Area Using Sentinel-1 C-Band Data, Case Study of Riotinto Mine. *Remote Sensing* [online]. July 2022, Vol. 14, n.o 13, p. 3061. [consultation: October 1, 2023]. Available in: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/13/3061>  
ISSN 20724292

PÉREZ UMAÑA, Mireya. Análisis multitemporal de la zona de explotación minera a cielo abierto en el municipio de Duitama a partir de imágenes Landsat 7 y Sentinel 2A. [consulta: 5 octubre 2023]. Disponible en: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1437>

AGENCIA ESPACIAL EUROPEA (ESA). SNAPHU. [en línea]. 2018. [consulta: 23 octubre 2023]. Disponible en: <https://step.esa.int/main/snap-supported-plugins/snaphu/>

LOGROÑO-NARANJO, Santiago Israel, et al. El alcance de la teledetección satelital utilizando modelos estadísticos y físicos y sus beneficios en áreas contables. *Domino de las Ciencias* [en línea]. 2020, vol. 6, no 2, p. 25-40.[consulta: 1 de octubre 2023]. Disponible en: <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1142/0>

Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales, 2000. Ghana: los impactos de la minería [en línea]. Diciembre 2000. [consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.wrm.org.uy/es/articulos-del-boletin/ghana-los-impactos-de-la-mineria>

GOJKOVIĆ, Zoran et al., 2023. Ground Surface Subsidence Monitoring Using Sentinel-1 in the “Kostolac” Open Pit Coal Mine. *Remote Sensing* [online]. May 2023, Vol. 15, n.o 10. [consultation: October 1, 2023]. Available in: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/10/2519> ISSN 20724292

GONG, Chuangang et al., 2021. Using time series InSAR to assess the deformation activity of open-pit mine dump site in severe cold area. *Journal of Soils and Sediments* [online]. November 2021, Vol. 21, n.o 11, pp. 3717-3732. [consultation: October 1, 2023]. Available in: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85113135534&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=ad22c02682dca7c402ea26a087223729&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABSKEY%28Using+time+series+InSAR+to+assess+the+deformation+activity+of+openpit+mine+dump+site+in+severe+cold+area%29&sl=85&sessionSearchId=ad22c02682dca7c402ea26a087223729>

ISSN: 14390108

GEOINNOVA, 2028. Análisis de las aplicaciones de SNAP (Sentinels Application Platform) para trabajar con imágenes aéreas - Geoinnova. [en línea]. 29 enero 2018. [consulta: 23 octubre 2023]. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/gis-aplicacion-snap-imagenes-aereas/>

SAMSONOV, Sergey et al., 2020. Satellite interferometry for mapping surface deformation time series in one, two and three dimensions: A new method illustrated on a slow-moving landslide. *Engineering Geology*[online]. March 2020, Vol. 266, p. 105471. [consultation: October 23, 2023]. Available in:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795219316916>

ISSN: 0013-7952

HU, Wenmin et al., 2017. Ground deformation detection using China's ZY-3 stereo imagery in an opencast mining area. ISPRS International Journal of Geo-Information[online]. November 2017, Vol. 6, n.o 11, p. 361. [consultation: September 26, 2023]. Available in: <https://www.mdpi.com/2220-9964/6/11/361>  
ISSN: 22209964

HU, Wenmin et al., 2023. Retrieving Surface Deformation of Mining Areas Using ZY-3 Stereo Imagery and DSMs. Remote Sensing [online]. Vol. 15, n.o 17, pp. 1-23. [consultation: September 26, 2023]. Available in: <https://www.proquest.com/docview/2862728998/abstract/596BBB259E514501PQ/>

LI, Shiyao et al., 2023. An Approach for Monitoring Shallow Surface Outcrop Mining Activities Based on Multisource Satellite Remote Sensing Data. Remote Sensing[online]. Vol. 15, n.o 16, p. 4062. [consultation: September 30, 2023]. Available in: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/16/4062>  
ISSN:207242292

DEFENSORÍA DEL PUEBLO-Perú. Mapa Interactivo de Conflictos Sociales. [en línea] [consulta: 30 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.defensoria.gob.pe/mapa-de-conflictos-sociales/>

Las Bambas, 2023. Acerca de las Bambas [en línea] [consulta: 20 de septiembre 2023] Disponible en: <https://www.lasbambas.com/seccion-acerca-de-las-bambas-conociendo-a-las-bambas>

SENACE, 2016. Resumen Ejecutivo de la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de la Unidad Minera Las Bambas [en línea]. p.190. ] [consulta: 20 de septiembre 2023] Disponible en: <https://www.senace.gob.pe/wp-content/uploads/filebase/comunicaciones/eia-meia/unidad-minera-las-bambas-3era-mod/Resumen-Ejecutivo-de-la-Tercera-MEIA-Las-Bambas.pdf>

SENAMHI, 2024. Pronóstico del tiempo para Cajamarca [en línea] [consulta: 20 de septiembre 2023] Disponible en: <https://www.lasbambas.com/seccion-acerca-de-las-bambas-conociendo-a-las-bambas>

MACÍAS LOOR, Adrián Oscar et al., 2018. MECÁNICA DE SUELO [en línea]. Abril 2018, Tomo II [consulta: 26 septiembre 2023]. Disponible en: [https://www.google.com.pe/books/edition/MEC%C3%81NICA\\_DE\\_SUELO/EjdYDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=0](https://www.google.com.pe/books/edition/MEC%C3%81NICA_DE_SUELO/EjdYDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=0)

MATA, Josep, ZAMORA, Gerardo y SERRANO, Carlos, 2019. Riesgos De Estabilidad Física En El Cerro Rico De Potosí, Patrimonio CULTURAL De La Humanidad. Revista de Medio Ambiente Minero Y Minería [en línea]. Junio 2019, Vol. 4, n.o 2519-5352, pp. 43-54. [consulta: 29 septiembre 2023]. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/pdf/mamym/v4n1/v4n1\\_a05.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/mamym/v4n1/v4n1_a05.pdf)

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM), 2021. Mapa de Principales Unidades Mineras en Producción - ED. [en línea] [consulta: 20 septiembre 2023]. Disponible en: [https://www.minem.gob.pe/\\_publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=638](https://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=638)

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM), 2023. Mapa de Principales Unidades Mineras en Producción [en línea]. Mayo 2023. [consulta: 20 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/LIBROS/RSSO/RSSO2020.pdf>

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM), 2020. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería [en línea] [consulta: 20 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/LIBROS/RSSO/RSSO2020.pdf>

Mapa de principales Unidades mineras en producción. MINEM. [en línea], [2022]. [consulta: 30 octubre 2023]. Disponible en: [https://www.google.com/search?q=mapa+de+principales+unidades+mineras+en+producci%C3%B3n+2022&sca\\_esv=578022390&rlz=1C1ALOY\\_esPE997PE997&ei=gXJAZYLCBc7a5OUPxqa3iAw&ved=0ahUKEwjChsmZqp-CAxVOLbkGHUbdTDcEQ4dUDCBA&uact=5&oq=mapa+de+principales+unidades+mineras+en+producci%C3%B3n+2022&gs\\_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcnAiOG1hcGEgZGUgcHJpbmNpcGFsZXMgdW5pZGFkZXMgbWluZXJhcjBibiBwcm9kdWNjacOzbiAyMDIySABQAFgAcAB4AJABAjgBAKABAKoBALgBA8gBAPgBAeIDBBgAIEE&scient=gws-wiz-serp](https://www.google.com/search?q=mapa+de+principales+unidades+mineras+en+producci%C3%B3n+2022&sca_esv=578022390&rlz=1C1ALOY_esPE997PE997&ei=gXJAZYLCBc7a5OUPxqa3iAw&ved=0ahUKEwjChsmZqp-CAxVOLbkGHUbdTDcEQ4dUDCBA&uact=5&oq=mapa+de+principales+unidades+mineras+en+producci%C3%B3n+2022&gs_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcnAiOG1hcGEgZGUgcHJpbmNpcGFsZXMgdW5pZGFkZXMgbWluZXJhcjBibiBwcm9kdWNjacOzbiAyMDIySABQAFgAcAB4AJABAjgBAKABAKoBALgBA8gBAPgBAeIDBBgAIEE&scient=gws-wiz-serp)

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MINAGRI) 2022. DECRETO Supremo N° 005-2022-MIDAGRI. Decreto Supremo que Aprueba EL Reglamento de Clasificación de Tierras. [En línea]. Disponible en: <https://dar.org.pe/wp-content/uploads/2022/04/2060758-1-1.pdf>

OYARZUN, Roberto; HIGUERAS, Pablo; LILLO, Javier. Minería ambiental: una introducción a los impactos y su remedación. 2011. Universidad Complutense Madrid [online] 2011 [consulta: 20 septiembre 2023]. Disponible en: <https://docta.ucm.es/entities/publication/9e793c84-119a-400b-a861-7a7f97685d81>

PÉREZ UMAÑA, Mireya. Análisis multitemporal de la zona de explotación minera cielo abierto en el municipio de Duitama a partir de imágenes Landsat 7 y Sentinel 2<sup>a</sup> [en línea] 2018. [consulta: 20 septiembre 2023]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17633/PerezUma%20c3%b1aMireya2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Reporte-Mensual-de-Conflictos-Sociales-n.º-244-Junio\_2024. Defensoría del Pueblo. 12 de julio del 2024 [consulta: 20 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.defensoria.gob.pe/documentos/reporte-mensual-de-conflictos-sociales-n-o-244-junio-2024/>

KAKU, Dawuda Usman et al., 2021. An integrated approach to assess the environmental impacts of large-scale gold mining: The nzema-gold mines in the ellembelle district of ghana as a case study. International Journal of Environmental Research and Public Health [online]. July 2021, Vol. 18, n.o 13, p. 7044. [consultation: September 27, 2023]. Available in: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/13/7044>  
ISSN:16617827

WANG, Hongwei et al., 2022. Influence of Open-Pit Coal Mining on Ground Surface Deformation of Permafrost in the Muli Region in the Qinghai-Tibet Plateau, China. Remote Sensing [online]. May 2022 Vol. 14, n.o 10, p. 2352. [consultation: September 30, 2023]. Available in: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/10/2352>  
ISSN: 2072-4292

WANG, Huini et al., 2022. Monitoring and Analysis of Ground Surface Settlement in Mining Clusters by SBAS-InSAR Technology. Remote Sensing [online]. May 2022 Vol. Vol. 22, n.o 10, p. 1. [consultation: September 30, 2023]. Available in: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/10/3711#B2-sensors-22-03711>

ISSN: 14248220

WAJS, Jaroslaw, 2015. Research on surveying technology applied for dtm modelling and volume computation in open pit mines. Mining Science[online].April 2015, Vol. 22, pp. 75-83. [consultation: September 30, 2023]. Available in: [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84996561868&origin=resultslist&sort=plf-)

[84996561868&origin=resultslist&sort=plf-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84996561868&origin=resultslist&sort=plf-)

[f&src=s&sid=ad22c02682dca7c402ea26a087223729&sot=b&sdt=b&s=TITLE-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84996561868&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=ad22c02682dca7c402ea26a087223729&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-)

[ABS-KEY%28Research+on+Surveying+Technology+Applied+for+DTM+Modelling+and+Volume+Computation+in+Open+Pit+Mines%29&sl=85&sessionSearchId=ad22c02682dca7c402ea26a087223729](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84996561868&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=ad22c02682dca7c402ea26a087223729&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-)

ISSN 23009586

TANG, Xinming et al., 2020. The China ZY3-03 Mission: Surveying and Mapping Technology for High-Resolution Remote Sensing Satellites. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine [online]. September 2020, Vol. 8, n.o 3, pp. 8-17. [consultation: September 30, 2023]. Available in: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9044293>

ISSN: 21686831

Yanacocha, 2024. Nuestra Historia [en línea] [consulta: 20 de septiembre 2023] Disponible en: <https://www.newmont.com/operations-and-projects/global-presence/south-america/yanacocha-peru/yanacocha/default.aspx>



## ANEXOS

**Anexo 1:** Tabla de operacionalización de variables

<b>Variables del estudio</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
<b>Variable independiente</b> <b>Imágenes radar</b>	Las imágenes radar son representaciones digitales obtenidas mediante sensores instalados en satélites que orbitan alrededor de la Tierra (Abdel et. al., 2018, p. 167-171). En este estudio, se utilizó la constelación de dos satélites Sentinel-1 (S1-A y S1-B), lanzados en 2014 y 2016. Estos satélites monitorean la Tierra, capturando imágenes satelitales para rastrear cambios en el terreno,	En este estudio, se procedió a la adquisición de imágenes radar a través del programa Copernicus. Asimismo, la evaluación fue anual desde 2014 hasta 2023, lo que da como resultado la obtención de un total de 27	Selección de imágenes radar Sentinel - 1 del 2014 - 2023	Superficie de operación concedida (ha/año)	Razón
				Años	Intervalo
				Total, de imágenes seleccionadas (N°)	Razón
			Tratamiento de imágenes radar en el Software SNAP	Tamaño de Pixeles Distancia* Azimut(m)	Razón
				Trayectoria de órbita (ascendente o descendente)	Ordinal
				Desplazamiento de	Razón

<p>deformaciones e inundaciones. Orbitan a 180° de distancia, proporcionando imágenes cada seis días sin importar las condiciones climáticas o la hora del día. Utilizan radar de apertura sintética (SAR) de banda C con una cobertura de franja de 250 km, lo que los hace ideales para este estudio. A pesar de otras opciones de satélites como Landsat, Radarsat, MODIS, TerraSAR-X, entre otros, se eligió esta por su precisión y relevancia para la investigación (Gojković, Z. et al., 2023, p. 1.9-21).</p>	<p>imágenes Radar. Estas imágenes fueron posteriormente sometidas a un proceso de filtrado empleando el software SNAP, permitiendo ajustar las imágenes seleccionadas de manera precisa. Cabe destacar que el procesamiento se llevó a cabo mediante la extensión de</p>	<p>Procesamiento de imágenes radar en la extensión SNAPHU del software SNAP</p>	Azimut (grados)	
			Desplazamiento de Rango (km)	Razón
			Creación de diagrama de Flujo	Nominal
			Filtrado de fases con interferograma	Nominal
			Recorte de área de Estudio (km <sup>2</sup> )	Razón
			Comandos SNAP-SNAPHU	Nominal

		SNAPHU.			
<b>Variable dependiente</b> <b>Deformación de suelo</b>	<p>La deformación del suelo se refiere a los cambios físicos y geométricos que ocurren en la superficie de la Tierra como resultado de diversos procesos naturales y actividades humanas, particularmente en las áreas mineras, debido a las excavaciones, vertido, voladura, drenaje y transporte. Estos cambios pueden incluir hundimientos, elevaciones, desplazamientos y grietas. Además, en zonas mineras, la deformación del suelo es compleja y diversa, lo que puede dar lugar a desastres geológicos (HU et</p>	<p>Para la evaluación y medición de la deformación del suelo en las mineras Antamina, Yanacocha y Las Bambas durante el período 2014-2023, utilizamos imágenes radar de Sentinel-1. Estas imágenes nos permitieron determinar con precisión el nivel de deformación</p>	Deformación de suelo	Hundimiento (m)	Razón
				Elevación (m)	Razón
			Zonas de riesgo	Ambientales (ha)	Razón
				Ambientales que afectan el suelo (ha)	Razón

	al, 2023, p. 1 - 3).	presente en estas operaciones mineras.			
--	----------------------	---	--	--	--

Fuente: elaboración propia.

**Anexo 2:** Fichas de validación de instrumentos para la recolección de datos.

**FICHA 01: FILTRO DE IMÁGENES RADAR SENTINEL- 1 (Años 2014 – 2023)**

UBICACIÓN (coordenadas UTM)					
OPERACIÓN MINERA	ZONA	DATUM	ESTE	NORTE	ALTITUD
INDICADORES					
N°	Años	Superficie de operación concedidas (ha/año)	Total, de imágenes radar (N°)		
1					
2					
....					
10					

*Fuente: elaboración propia*

**FICHA 02: TRATAMIENTO Y CORRECCIÓN DE IMÁGENES RADAR EN EL SOFTWARE SNAP**

PERIODO (AÑOS)	IMAGEN (N°)	Trayectoria de órbita (Ascendente o descendente)		Desplazamiento de Azimut (grados)		Desplazamiento de Rango (km)	
		ORIGINAL	CORREGIDO	ORIGINAL	CORREGIDO	ORIGINAL	CORREGIDO
2014	1						
	2						
2015	1						
	2						
...	1						
	2						
2023	1						
	2						

*Fuente: elaboración propia*

**FICHA 03: DEFORMACIÓN DE SUELO EN m/año COMPRENDIDA EN EL PERIODO 2014 – 2023**

Periodo de años	hundimiento máximo / año	hundimiento mínimo/ año	Elevación máxima/ año	Elevación mínima/año	Promedio de hundimiento / año	Promedio de elevación/ año	Error de análisis de imagen
2014 - 2015							
2015 - 2016							
2016 - 2017							
...							
2022 - 2023							

*Nota: Se añadió otra columna más para una mejor explicación de los resultados*

*Fuente: elaboración propia.*

**FICHA 04: EVALUACIÓN DE RIESGO POR SUPERFICIE DE LAS EMPRESAS MINERAS**

INDICADOR	RECORTE AREA DE ESTUDIO (km2)		
	Tipos de riesgo	Superficie de riesgo ambientales (ha)	N° de Zonas de riesgos ambientales
(N°) > (-0.20)	Alto		
(0.20) > ( N°)			
(0.08 )- ( 0.20)	Medio		
(-0.08 )- (-0.20)			
(0 )- (0.08)	Bajo		

*Fuente: elaboración propia.*

## Anexo 3: Evaluación por juicio de expertos



Trujillo, 16 de noviembre del 2023

### **Carta N° 01-2023-UCV-EIA-IX/XAMT-LARM**

Señor:

Ing. Elvar Renato Miñano Vera

Presente:

Asunto: **SOLICITO VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS.**

Nos dirigimos a usted con el agrado de expresarle nuestra consideración, y como egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, sede de Trujillo, estamos planteando nuestro proyecto de investigación titulado *“Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014-2023”*, para la cual se elaborado los siguientes instrumentos de recolección de datos:

- **FICHA 1: FILTRO DE IMÁGENES RADAR**
- **FICHA 2: VARIACIÓN ENTRE LAS IMÁGENES ORIGINALES Y CORREGIDAS**
- **FICHA 3: EVALUACIÓN DE HUNDIMIENTO Y ELEVACIÓN EN m/Año**
- **FICHA 4: EVALUACIÓN DE RIESGO POR ÁREA DE LAS EMPRESAS MINERAS**

Conocedor de valiosa experiencia profesional, solicitamos su colaboración en calidad de JUEZ para validar dichos instrumentos, para lo cual adjuntamos

Para lo cual se remite la matriz de operacionalización de variable y con sus indicadores de evaluación.

Agradezco de antemano su receptividad y colaboración, su apoyo permitirá utilizar un instrumento con garantía de validez científica en contexto peruano. Quedo de Ud. en espera de su evaluación.

Atentamente:



Xiomara Alexandra, Mudarra Tejada

DNI: 73060405



Luis Antony, Ramos Monzon

DNI: 71933110

## Informe de Juez-Experto de validación del Instrumento de Investigación

### 1. DATOS GENERALES

- 1.1. Título de la Investigación: *“Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014-2023”*
- 1.2. Apellidos y Nombres del Juez-Experto: Ing. Miñano Vera, Elvar Renato
- 1.3. Grado Académico: Máster en Gestión Ambiental
- 1.4. Institución en la que trabaja el Juez-Experto: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- 1.5. Cargo que desempeña: Consultor
- 1.6. Instrumento motivo de evaluación: Fichas de recolección de datos

### 2. ASPECTOS DE VALIDACIÓN DE LAS FICHAS

#### CRITERIO DE CALIFICACIÓN:

**CLARIDAD:** Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.

Nada claro	Poco claro	Claro	Totalmente claro
0	1	2	3

**COHERENCIA:** Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.

Nada coherente	Poco coherente	Coherente	Totalmente coherente
0	1	2	3

**PERTINENCIA:** Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.

Nada pertinente	Poco pertinente	Pertinente	Totalmente pertinente
0	1	2	3

#### METODOLOGÍA:

Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.

Nada metodología	Poca metodología	metodología	Totalmente metodología
0	1	2	3



**EVALUACIÓN DE LA FICHA 01:**

<b><u>CLARIDAD</u></b>				
Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>COHERENCIA</u></b>				
Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>PERTINENCIA:</u></b>				
Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>METODOLOGÍA:</u></b>				
Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3

*Fuente: elaboración propia.*

3. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

4. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

.....  
 .....

\_\_\_\_\_  
 Firma y sello:  
 Ing. Elvar Renato Miñano M

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 02:**

<b><u>CLARIDAD</u></b>				
Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>COHERENCIA</u></b>				
Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>PERTINENCIA:</u></b>				
Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>METODOLOGÍA:</u></b>				
Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3

*Fuente: elaboración propia.*

1. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

2. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

.....  
 .....



\_\_\_\_\_  
 Firma y sello:  
 Ing. Elvar Renato Miñano Mera

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 03:**

<b><u>CLARIDAD</u></b>				
Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>COHERENCIA</u></b>				
Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>PERTINENCIA:</u></b>				
Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>METODOLOGÍA:</u></b>				
Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3

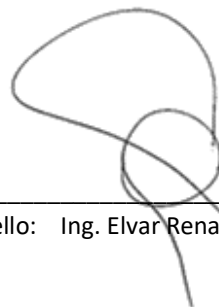
*Fuente: elaboración propia.*

1. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

2. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

.....  
 .....



Firma y sello: Ing. Elvar Renato Miñano Mera

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 04:**

<b><u>CLARIDAD</u></b>				
Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>COHERENCIA</u></b>				
Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>PERTINENCIA:</u></b>				
Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>METODOLOGÍA:</u></b>				
Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3

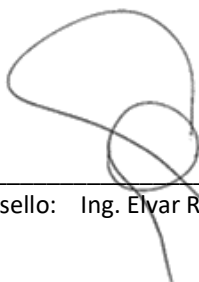
*Fuente: elaboración propia.*

3. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

4. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

.....  
 .....



Firma y sello: Ing. Elvar Renato Miñano Mera

Trujillo, 16 de noviembre del 2023

**Carta N° 01-2023-UCV-EIA-IX/XAMT-LARM**

Señor:

Mgtr. José Jesús Pasapera Gonzales

Presente:

Asunto: **SOLICITO VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS.**

Nos dirigimos a usted con el agrado de expresarle nuestra consideración, y como egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, sede de Trujillo, estamos planteando nuestro proyecto de investigación titulado *“Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014-2023”*, para la cual se elaborado los siguientes instrumentos de recolección de datos:

- **FICHA 1: FILTRO DE IMÁGENES RADAR**
- **FICHA 2: VARIACIÓN ENTRE LAS IMÁGENES ORIGINALES Y CORREGIDAS**
- **FICHA 3: EVALUACIÓN DE HUNDIMIENTO Y ELEVACIÓN EN m/Año**
- **FICHA 4: EVALUACIÓN DE RIESGO POR ÁREA DE LAS EMPRESAS MINERAS**

Conocedor de valiosa experiencia profesional, solicitamos su colaboración en calidad de JUEZ para validar dichos instrumentos, para lo cual adjuntamos

Para lo cual se remite la matriz de operacionalización de variable y con sus indicadores de evaluación.

Agradezco de antemano su receptividad y colaboración, su apoyo permitirá utilizar un instrumento con garantía de validez científica en contexto peruano. Quedo de Ud. en espera de su evaluación.

Atentamente:



Xiomara Alexandra, Mudarra Tejada

DNI: 73060405



Luis Antony, Ramos Monzon

DNI: 71933110

## Informe de Juez-Experto de validación del Instrumento de Investigación

### 5. DATOS GENERALES

- 5.1. Título de la Investigación: *“Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014-2023”*
- 5.2. Apellidos y Nombres del Juez-Experto: Ing. Miñano Vera, Elvar Renato
- 5.3. Grado Académico: Máster en Gestión Ambiental
- 5.4. Institución en la que trabaja el Juez-Experto: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- 5.5. Cargo que desempeña: Consultor
- 5.6. Instrumento motivo de evaluación: Fichas de recolección de datos

### 6. ASPECTOS DE VALIDACIÓN DE LAS FICHAS

#### CRITERIO DE CALIFICACIÓN:

**CLARIDAD:** Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.

Nada claro	Poco claro	Claro	Totalmente claro
0	1	2	3

**COHERENCIA:** Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.

Nada coherente	Poco coherente	Coherente	Totalmente coherente
0	1	2	3

**PERTINENCIA:** Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.

Nada pertinente	Poco pertinente	Pertinente	Totalmente pertinente
0	1	2	3

#### METODOLOGÍA:

Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.

Nada metodología	Poca metodología	metodología	Totalmente metodología
0	1	2	3

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 01:**

<b><u>CLARIDAD</u></b>				
Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>COHERENCIA</u></b>				
Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>PERTINENCIA:</u></b>				
Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>
<b><u>METODOLOGÍA:</u></b>				
Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>


*Fuente: elaboración propia.*

7. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

8. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

Es importante contar con estas características debido a que se quiere determinar zonas de actividades mineras.

  
 Firma y sello: Mgtr. José Jesús Pasapera Gonzales

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 02:**

<b><u>CLARIDAD</u></b>				
Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2	3 X
<b><u>COHERENCIA</u></b>				
Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2	3 X
<b><u>PERTINENCIA:</u></b>				
Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2	3 X
<b><u>METODOLOGÍA:</u></b>				
Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2	3 X

*Fuente: elaboración propia.*

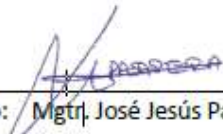
5. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

6. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

El cuestionario permite tener una idea clara de las imágenes que se utilizarán.

.....

  
 Firma y sello: Mgtr. José Jesús Pasapera Gonzales



**EVALUACIÓN DE LA FICHA 03:**

<b><u>CLARIDAD</u></b>				
Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>
<b><u>COHERENCIA</u></b>				
Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>
<b><u>PERTINENCIA:</u></b>				
Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>
<b><u>METODOLOGÍA:</u></b>				
Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3

*Fuente: elaboración propia.*

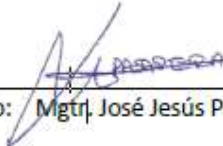
3. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

4. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

El cuestionario permite tener una idea clara de las imágenes que se utilizarán.

.....

Firma y sello:  Mgtr. José Jesús Pasapera Gonzales

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 04:**

<b><u>CLARIDAD</u></b>				
Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>
<b><u>COHERENCIA</u></b>				
Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>
<b><u>PERTINENCIA:</u></b>				
Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>
<b><u>METODOLOGÍA:</u></b>				
Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>

*Fuente: elaboración propia.*

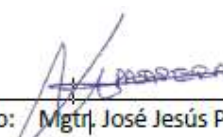
7. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

8. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

El cuestionario permite tener una idea clara de las imágenes que se utilizarán.

.....

  
 Firma y sello: Mgtr. José Jesús Pasapera Gonzales

Trujillo, 16 de noviembre del 2023

**Carta N° 01-2023-UCV-EIA-IX/XAMT-LARM**

Señor:

Mgtr. José Luis Zuloaga Obregón

Presente:

Asunto: **SOLICITO VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS.**

Nos dirigimos a usted con el agrado de expresarle nuestra consideración, y como egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, sede de Trujillo, estamos planteando nuestro proyecto de investigación titulado *“Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014-2023”*, para la cual se elaborado los siguientes instrumentos de recolección de datos:

- **FICHA 1: FILTRO DE IMÁGENES RADAR**
- **FICHA 2: VARIACIÓN ENTRE LAS IMÁGENES ORIGINALES Y CORREGIDAS**
- **FICHA 3: EVALUACIÓN DE HUNFIMIENTO Y ELEVACIÓN EN m/Año**
- **FICHA 4: EVALUACIÓN DE RIESGO POR ÁREA DE LAS EMPRESAS MINERAS**

Conocedor de valiosa experiencia profesional, solicitamos su colaboración en calidad de JUEZ para validar dichos instrumentos, para lo cual adjuntamos

Para lo cual se remite la matriz de operacionalización de variable y con sus indicadores de evaluación.

Agradezco de antemano su receptividad y colaboración, su apoyo permitirá utilizar un instrumento con garantía de validez científica en contexto peruano. Quedo de Ud. en espera de su evaluación.

Atentamente:



Xiomara Alexandra, Mudarra Tejada

DNI: 73060405



Luis Antony, Ramos Monzon

DNI: 71933110

## Informe de Juez-Experto de validación del Instrumento de Investigación

### 9. DATOS GENERALES

- 9.1. Título de la Investigación: *“Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014-2023”*
- 9.2. Apellidos y Nombres del Juez-Experto: Mgtr. Zuloaga Obregón, José Luis
- 9.3. Grado Académico: Magíster en Desarrollo Ambiental (PUCP)
- 9.4. Institución en la que trabaja el Juez-Experto: Pontificia Universidad Católica del Perú / Universidad Privada del Norte
- 9.5. Cargo que desempeña: Docente tiempo parcial.
- 9.6. Instrumento motivo de evaluación: Fichas de recolección de datos.

### 10. ASPECTOS DE VALIDACIÓN DE LAS FICHAS

#### CRITERIO DE CALIFICACIÓN:

**CLARIDAD:** Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.

Nada claro	Poco claro	Claro	Totalmente claro
0	1	2	3

**COHERENCIA:** Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.

Nada coherente	Poco coherente	Coherente	Totalmente coherente
0	1	2	3

**PERTINENCIA:** Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.

Nada pertinente	Poco pertinente	Pertinente	Totalmente pertinente
0	1	2	3

#### METODOLOGÍA:

Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.

Nada metodología	Poca metodología	metodología	Totalmente metodología
0	1	2	3

EVALUACIÓN DE LA FICHA 01:

<p><b><u>CLARIDAD</u></b></p> <p>Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.</p>	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2	3X
<p><b><u>COHERENCIA</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.</p>	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2	3X
<p><b><u>PERTINENCIA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.</p>	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2	3X
<p><b><u>METODOLOGÍA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.</p>	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2	3X

*Fuente: elaboración propia.*

1. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

No hay mayores observaciones.

.....

2. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

Es aplicable siempre y cuando tengan un filtrado adecuado de imágenes.

.....




---

Firma y sello:  
Mgtr. José Luis Zuloaga Obregón

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 02:**

<p><b><u>CLARIDAD</u></b></p> <p>Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.</p>	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2	3X
<p><b><u>COHERENCIA</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.</p>	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2	3X
<p><b><u>PERTINENCIA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.</p>	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2	3X
<p><b><u>METODOLOGÍA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.</p>	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2	3X

*Fuente: elaboración propia.*

1. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

Funciona bien, pero dejo adjunto algunos comentarios.

.....

2. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

Es aplicable, pero debería ser mucho más reducida, pues con el paso anterior se evita realizar esfuerzos innecesarios.

.....




---

Firma y sello:  
Mgtr. José Luis Zuloaga Obregón

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 03:**

<p align="center"><b><u>CLARIDAD</u></b></p> <p>Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.</p>	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2	3 x
<p align="center"><b><u>COHERENCIA</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.</p>	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2	3 x
<p align="center"><b><u>PERTINENCIA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.</p>	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2	3 x
<p align="center"><b><u>METODOLOGÍA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.</p>	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2	3 X

*Fuente: elaboración propia.*

1. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

2. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

Me parece simple y aplicable.

.....




---

Firma y sello:  
 Mgtr. José Luis Zuloaga Obregón

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 04:**

<p><b><u>CLARIDAD</u></b></p> <p>Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.</p>	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2 X	3
<p><b><u>COHERENCIA</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.</p>	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2 X	3
<p><b><u>PERTINENCIA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.</p>	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2X	3
<p><b><u>METODOLOGÍA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.</p>	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2X	3

*Fuente: Elaboración propia*

1. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

Aplicable, depende de los pasos anteriores.

.....

2. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

Tener cuidado con la redacción.

.....




---

Firma y sello:  
Mgtr. José Luis Zuloaga Obregón



Trujillo, 16 de noviembre del 2023

**Carta N° 01-2023-UCV-EIA-IX/XAMT-LARM**

Señor:

Mgr. Luis Enrique Alva Diaz

Presente:

Asunto: **SOLICITO VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS.**

Nos dirigimos a usted con el agrado de expresarle nuestra consideración, y como egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, sede de Trujillo, estamos planteando nuestro proyecto de investigación titulado *“Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014-2023”*, para la cual se elaborado los siguientes instrumentos de recolección de datos:

- **FICHA 1: FILTRO DE IMÁGENES RADAR**
- **FICHA 2: VARIACIÓN ENTRE LAS IMÁGENES ORIGINALES Y CORREGIDAS**
- **FICHA 3: EVALUACIÓN DE HUNDIMIENTO Y ELEVACIÓN EN m/Año**
- **FICHA 4: EVALUACIÓN DE RIESGO POR ÁREA DE LAS EMPRESAS MINERAS**

Conocedor de valiosa experiencia profesional, solicitamos su colaboración en calidad de JUEZ para validar dichos instrumentos, para lo cual adjuntamos

Para lo cual se remite la matriz de operacionalización de variable y con sus indicadores de evaluación.

Agradezco de antemano su receptividad y colaboración, su apoyo permitirá utilizar un instrumento con garantía de validez científica en contexto peruano. Quedo de Ud. en espera de su evaluación.

Atentamente:



Xiomara Alexandra, Mudarra Tejeda

DNI: 73060405



Luis Antony, Ramos Monzon

DNI: 71933110

## Informe de Juez-Experto de validación del Instrumento de Investigación

### 3. DATOS GENERALES

- 3.1. Título de la Investigación: "Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014-2023"
- 3.2. Apellidos y Nombres del Juez-Experto: Mgtr. Alva Diaz, Luis Enrique
- 3.3. Grado Académico: Maestría
- 3.4. Institución en la que trabaja el Juez-Experto: Universidad Cesar Vallejo
- 3.5. Cargo que desempeña: Docente Tiempo Parcial
- 3.6. Instrumento motivo de evaluación: Fichas de recolección de datos

### 4. ASPECTOS DE VALIDACIÓN DE LAS FICHAS

#### CRITERIO DE CALIFICACIÓN:

**CLARIDAD:** Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.

Nada claro	Poco claro	Claro	Totalmente claro
0	1	2	3

**COHERENCIA:** Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.

Nada coherente	Poco coherente	Coherente	Totalmente coherente
0	1	2	3

**PERTINENCIA:** Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.

Nada pertinente	Poco pertinente	Pertinente	Totalmente pertinente
0	1	2	3

#### METODOLOGÍA:

Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.

Nada metodología	Poca metodología	metodología	Totalmente metodología
0	1	2	3

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 01:**

<b><u>CLARIDAD</u></b>				
Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2	3 X
<b><u>COHERENCIA</u></b>				
Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2	3 X
<b><u>PERTINENCIA:</u></b>				
Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2	3 X
<b><u>METODOLOGÍA:</u></b>				
Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2	3 X

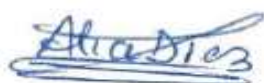
*Fuente: elaboración propia.*

1. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

2. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

.....  
 .....



Firma y sello:  
 Mgtr. Luis Enrique Alva Díaz

Luis Enrique Alva Díaz  
 INGENIERO QUÍMICO  
 R.C.I.P. 125475

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 02:**

<b><u>CLARIDAD</u></b>				
Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2	3 X
<b><u>COHERENCIA</u></b>				
Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2	3 X
<b><u>PERTINENCIA:</u></b>				
Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2	3 X
<b><u>METODOLOGÍA:</u></b>				
Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2	3 X

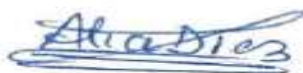
*Fuente: elaboración propia.*

1. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

2. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

.....  
 .....



Firma y sello: Mgtr. Luis Enrique Alva Díaz

-----  
**Luis Enrique Alva Díaz**  
 INGENIERO QUIMICO  
 R.C.I.P. 125475

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 03:**

<b><u>CLARIDAD</u></b>				
Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>
<b><u>COHERENCIA</u></b>				
Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>PERTINENCIA:</u></b>				
Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>
<b><u>METODOLOGÍA:</u></b>				
Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>

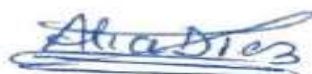
*Fuente: elaboración propia.*

1. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

2. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

.....  
 .....



Firma y sello:  
 Mgtr. Luis Enrique Alva Diaz

Luis Enrique Alva Diaz  
 INGENERO QUIMICO  
 R.C.I.P. 125475

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 04:**

<b><u>CLARIDAD</u></b>				
Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>
<b><u>COHERENCIA</u></b>				
Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>
<b><u>PERTINENCIA:</u></b>				
Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2 <b>X</b>	3
<b><u>METODOLOGÍA:</u></b>				
Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2	3 <b>X</b>

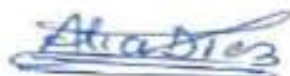
*Fuente: elaboración propia.*

3. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

4. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

.....  
 .....



Firma y sello: Mgtr. Luis Enrique

-----  
 Luis Enrique Alva Díaz  
 INGENIERO QUÍMICO  
 R.C.I.P. 125475

Trujillo, 28 de noviembre del 2023

**Carta N° 01-2023-UCV-EIA-IX/XAMT-LARM**

Srta:

Arq. Nancy Judith Salinas Briceño

Presente:

Asunto: **SOLICITO VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS.**

Nos dirigimos a usted con el agrado de expresarle nuestra consideración, y como egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, sede de Trujillo, estamos planteando nuestro proyecto de investigación titulado *“Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014-2023”*, para la cual se elaborado los siguientes instrumentos de recolección de datos:

- **FICHA 1: FILTRO DE IMÁGENES RADAR**
- **FICHA 2: VARIACIÓN ENTRE LAS IMÁGENES ORIGINALES Y CORREGIDAS**
- **FICHA 3: EVALUACIÓN DE HUNDIMIENTO Y ELEVACIÓN EN m/Año**
- **FICHA 4: EVALUACIÓN DE RIESGO POR ÁREA DE LAS EMPRESAS MINERAS**

Conocedor de valiosa experiencia profesional, solicitamos su colaboración en calidad de JUEZ para validar dichos instrumentos, para lo cual adjuntamos

Para lo cual se remite la matriz de operacionalización de variable y con sus indicadores de evaluación.

Agradezco de antemano su receptividad y colaboración, su apoyo permitirá utilizar un instrumento con garantía de validez científica en contexto peruano. Quedo de Ud. en espera de su evaluación.

Atentamente:



Xiomara Alexandra, Mudarra Tejada

DNI: 73060405



Luis Antony, Ramos Monzon

DNI: 71933110

## Informe de Juez-Experto de validación del Instrumento de Investigación

### 5. DATOS GENERALES

- 5.1. Título de la Investigación: *“Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014-2023”*
- 5.2. Apellidos y Nombres del Juez-Experto: Arq. Salinas Briceño, Nancy Judith
- 5.3. Grado Académico: Arquitecta
- 5.4. Institución en la que trabaja el Juez-Experto: Ecoing-planet EIRL
- 5.5. Cargo que desempeña: Arquitecta
- 5.6. Instrumento motivo de evaluación: Fichas de recolección de datos

### 6. ASPECTOS DE VALIDACIÓN DE LAS FICHAS

#### CRITERIO DE CALIFICACIÓN:

**CLARIDAD:** Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.

Nada claro	Poco claro	Claro	Totalmente claro
0	1	2	3

**COHERENCIA:** Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.

Nada coherente	Poco coherente	Coherente	Totalmente coherente
0	1	2	3

**PERTINENCIA:** Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.

Nada pertinente	Poco pertinente	Pertinente	Totalmente pertinente
0	1	2	3

#### METODOLOGÍA:

Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.

Nada metodología	Poca metodología	metodología	Totalmente metodología
0	1	2	3



**EVALUACIÓN DE LA FICHA 01:**

<p><b><u>CLARIDAD</u></b></p> <p>Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.</p>	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalment e claro</b>
	0	1	2X	3
<p><b><u>COHERENCIA</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.</p>	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalment e coherente</b>
	0	1	2X	3
<p><b><u>PERTINENCIA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.</p>	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalment e pertinente</b>
	0	1	2	3X
<p><b><u>METODOLOGÍA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.</p>	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalment e metodolog ía</b>
	0	1	2	3X

*Fuente: elaboración propia.*

11. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

12. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

.....  
 .....



COLEGIO DE ARQUITECTOS DEL PERÚ  
 ARQ. NANCY JUDITH SALINAS BRICEÑO  
 C.A.P. N° 22050

Firma y sello:  
 Arq. Nancy Judith Salinas Briceño

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 02:**

<p><b><u>CLARIDAD</u></b></p> <p>Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.</p>	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2	3X
<p><b><u>COHERENCIA</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.</p>	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2	3X
<p><b><u>PERTINENCIA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.</p>	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2	3X
<p><b><u>METODOLOGÍA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.</p>	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2	3X


*Fuente: elaboración propia.*

1. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

2. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

.....  
 .....



COLEGIO DE ARQUITECTOS DEL PERU  
 ARQ. NANCY JUDITH SALINAS BRICEÑO  
 C.A.P. N° 22050

Firma y sello:  
 Arq. Nancy Judith Salinas Briceño

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 03:**

<p align="center"><b><u>CLARIDAD</u></b></p> <p>Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.</p>	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2	3X
<p align="center"><b><u>COHERENCIA</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.</p>	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2	3X
<p align="center"><b><u>PERTINENCIA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.</p>	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2	3X
<p align="center"><b><u>METODOLOGÍA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.</p>	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2	3X

*Fuente: elaboración propia.*

1. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....  
 .....

2. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

.....  
 .....



COLEGIO DE ARQUITECTOS DEL PERÚ  
*Nancy Judith Salinas Briceño*  
 ARQ. NANCY JUDITH SALINAS BRICEÑO  
 C.A.P. N° 22050

Firma y sello:  
 Arq. Nancy Judith Salinas Briceño

**EVALUACIÓN DE LA FICHA 04:**

<p align="center"><b><u>CLARIDAD</u></b></p> <p>Las fichas están formuladas con lenguaje apropiado, es decir libre de ambigüedades.</p>	<b>Nada claro</b>	<b>Poco claro</b>	<b>Claro</b>	<b>Totalmente claro</b>
	0	1	2	3X
<p align="center"><b><u>COHERENCIA</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento expresan coherencia entre la variable, dimensiones e indicadores.</p>	<b>Nada coherente</b>	<b>Poco coherente</b>	<b>Coherente</b>	<b>Totalmente coherente</b>
	0	1	2X	3
<p align="center"><b><u>PERTINENCIA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento permiten conseguir datos de acuerdo a los objetivos.</p>	<b>Nada pertinente</b>	<b>Poco pertinente</b>	<b>Pertinente</b>	<b>Totalmente pertinente</b>
	0	1	2	3X
<p align="center"><b><u>METODOLOGÍA:</u></b></p> <p>Las fichas del instrumento responden al propósito de la investigación.</p>	<b>Nada metodología</b>	<b>Poca metodología</b>	<b>metodología</b>	<b>Totalmente metodología</b>
	0	1	2X	3

*Fuente: elaboración propia.*

13. OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS:

.....

.....

14. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

.....

.....


**COLEGIO DE ARQUITECTOS DEL PERÚ**  
  
**ARQ. NANCY JUDITH SALINAS BRICEÑO**  
**C.A.P. N° 22050**

Firma y sello:  
Arq. Nancy Judith salinas Briceño

#### Anexo 04: Aplicación del método de evaluación de la validez de las fichas

Las fichas fueron validadas mediante el coeficiente de V de Aiken (Aiken, 1985), la misma que permitió cuantificar la relevancia de los ítems respecto a un dominio de contenido a partir de las valoraciones calificadas por los cinco (05) jueces.

El Coeficiente de validez de contenido V de Aiken (Aiken, 1980, 1985, 1996) está determinado por, la ecuación algebraica modificada por Penfield y Giacobbi (2004):

$$V = \frac{\bar{x} - l}{K}$$

Donde:

$\bar{x}$  es la media de las calificaciones de los jueces en la muestra.

$l$  es la calificación más baja posible

$K$  es el rango de los valores posibles de la escala de Likert utilizada (0 a 3)

Las fichas con coeficientes V de Aiken inferior a 0.70 obtenidos con nivel de confianza  $p=0.99$  deberán eliminarse (Merino Soto y Livia Segovia, 2009), para su interpretación se estima de los intervalos de confianza mediante la aplicación del método Score, tanto el valor del límite inferior (L) y límite superior (U) del intervalo de la decisión:

$$L = \frac{2nkV + z^2 - z\sqrt{4nkV(1-V) + z^2}}{2(nk + z^2)}; U = \frac{2nkV + z^2 + z\sqrt{4nkV(1-V) + z^2}}{2(nk + z^2)}$$

Donde:

L: límite inferior del intervalo

U: límite superior del intervalo

Z: valor de distribución normal estándar ( $z=1.96$ )

V: Coeficiente de V de Aiken calculando por la formula anterior.

n : número de jueces (05 jueces)

Los coeficientes V de Aiken de los ítems se aceptan su validez si están dentro del intervalo de confianza mínimamente aceptables (Aiken, 1980, 1985, 1996), caso contrario se rechazan. Los coeficientes cercanos al límite inferior podrán ser necesario revisar y mejorar, a fin de mantener las fichas.

**Tabla 1: Resumen de la validez de las fichas según su CLARIDAD:**

Ficha	Juez 1	Juez 2	Juez 3	Juez 4	Juez 5	Medi a	DE	V de Aiken	Interpretación V	L	U
Ficha 1	2	2	3	3	2	2.4	0.55	0.80	VALIDO	0.55	0.93
Ficha 2	2	3	3	3	3	2.8	0.45	0.93	VALIDO	0.44	0.73
Ficha 3	2	3	3	3	3	2.8	0.45	0.93	VALIDO	0.70	0.99
Ficha 4	2	3	2	3	3	2.6	0.55	0.87	VALIDO	0.62	0.96

Fuente: elaboración propia

**Tabla 2: Resumen de la validez de las fichas según su COHERENCIA:**

Juez	Juez 1	Juez2	Juez 3	Juez 4	Juez 5	Medi a	DE	V de Aiken	Interpretación V	L	U
Ficha 1	2	2	3	3	2	2.40	0.55	0.80	VALIDO	0.55	0.93
Ficha 2	2	3	3	3	3	2.80	0.45	0.93	VALIDO	0.44	0.73
Ficha 3	2	3	3	2	3	2.60	0.55	0.87	VALIDO	0.62	0.96
Ficha 4	2	3	2	3	2	2.40	0.55	0.80	VALIDO	0.55	0.93

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 3: Resumen de la validez de las fichas según su PERTINENCIA:**

Juez	Juez 1	Juez 2	Juez 3	Juez 4	Juez 5	Medi a	DE	V de Aiken	Interpretación V	L	U
Ficha 1	2	3	3	3	3	2.80	0.45	0.93	VALIDO	0.70	0.99
Ficha 2	2	3	3	3	3	2.80	0.45	0.93	VALIDO	0.44	0.73
Ficha 3	2	3	3	3	3	2.80	0.45	0.93	VALIDO	0.70	0.99
Ficha 4	2	3	2	2	3	2.40	0.55	0.80	VALIDO	0.55	0.93

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 4: Resumen de la validez de las fichas según su METODOLOGIA:**

Juez	Juez 1	Juez 2	Juez 3	Juez 4	Juez 5	Medi a	DE	V de Aiken	Interpretación V	L	U
Ficha 1	2	3	3	3	3	2.80	0.45	0.93	VALIDO	0.70	0.99
Ficha 2	2	3	3	3	3	2.80	0.45	0.93	VALIDO	0.44	0.73
Ficha 3	2	2	3	3	3	2.60	0.55	0.87	VALIDO	0.62	0.96
Ficha 4	2	3	2	3	2	2.40	0.55	0.80	VALIDO	0.55	0.93

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 5: Resumen de la validez de las fichas calificadas por los cinco jueces:**

Ficha	V (Claridad)	V (Coherencia)	V (Pertinencia)	V (Metodología)	Promedio	Claridad	Coherencia	Pertinencia	Mitología
Ficha 1	0.80	0.80	0.93	0.93	0.87	VALIDO	VALIDO	VALIDO	VALIDO
Ficha 2	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	VALIDO	VALIDO	VALIDO	VALIDO
Ficha 3	0.93	0.87	0.93	0.87	0.90	VALIDO	VALIDO	VALIDO	VALIDO
Ficha 4	0.87	0.80	0.80	0.80	0.82	VALIDO	VALIDO	VALIDO	VALIDO

MEDIA	0.88	0.85	0.90	0.88	0.88
DS	0.064	0.064	0.067	0.064	0.050

Fuente: elaboración propia.

Para las fichas con coeficiente V de Aiken menor a 0.84 cercanos al límite inferior a 0.70 del intervalo de confianza fueron corregidos y mejorados a fin de mantener la ficha de validación.

**Tabla 6:** *Fichas corregidas y mejoradas*

Claridad	Coherencia	Pertinencia	Metodología
		1	
	3		
4	4	4	4

Fuente: elaboración propia.

**Anexo 5:** Carta de autorización de visita técnica a minera.

Trujillo, 16 de noviembre del 2023

**Carta N° 02-2023-UCV-EIA-IX/XAMT-LARM**

Señor:

.....

Presente:

Asunto: **SOLICITO AUTORIZACIÓN DE VISITA TÉCNICA EN LA MINERA.**

Con el gusto de saludarle cordialmente, nos dirigimos a usted como estudiantes del IX ciclo de la carrera de Ingeniería Ambiental en la Universidad César Vallejo. Actualmente, nos encontramos inmersos en la ejecución de nuestro proyecto de investigación titulado "Uso de imágenes radar para el monitoreo de deformación del suelo en operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014-2023".

En este contexto, nos permitimos solicitar su autorización para realizar una visita técnica a las áreas de operación para la extracción de minerales de la empresa minera. La información recabada durante esta visita será fundamental para enriquecer nuestro trabajo de investigación.

Amablemente, solicitamos que la visita se lleve a cabo el .....del presente año o en aquella que usted considere más conveniente. Agradecemos de antemano su tiempo y apoyo, y quedamos a la espera de su respuesta.

Atentamente:



Xiomara Alexandra, Mudarra Tejeda

DNI: 73060405



Luis Antony, Ramos Monzon

DNI: 71933110



## Anexo 6: Resultado de reporte de similitud de Turnitin

Feedback Studio - Google Chrome  
ev.turnitin.com/app/carta/es/?lang=es&ls=1&o=2419205773&ro=103&u=1088032488

feedback studio XIOMARA ALEXANDRA MUDARRA TEJEDA | Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2... /100 1 de 14

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

Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto en Perú, 2014 - 2023

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**  
Mudarra Tejeda, Xiomara Alexandra (orcid.org/0000-0001-7116-0851)  
Ramos Monzon, Luis Antony (orcid.org/0000-0002-2390-1376)

**ASESOR:**  
MSc. Huerta Chombo, German Luis (orcid.org/0000-0002-6211-4578)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**  
Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**  
Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

Trujillo – Perú

2024

**Resumen de coincidencias**

**9 %**

Se están viendo fuentes estándar

Ver fuentes en inglés

**Coincidencias**

Número	Fuente	Porcentaje
1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
3	www.defensoria.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
4	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
6	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	<1 %
7	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	<1 %
8	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	<1 %
9	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
10	fdocuments.mx Fuente de Internet	<1 %
11	prezi.com Fuente de Internet	<1 %

Página: 1 de 48 | Número de palabras: 14098 | Versión solo texto del informe | Alta resolución | Activado | 11:01 19/07/2024

**Anexo 7** Análisis complementario.

**Tabla 7.** Información de la revista científica donde se postulará el artículo proveniente de los resultados de la presente investigación.

<b>Título tentativo del artículo científico</b>	"Uso de imágenes radar para monitoreo de deformación de suelo de operaciones mineras a cielo abierto"
<b>Nombre de la revista a postular</b>	Remote Sensing
<b>URL de revista</b>	<a href="https://www.mdpi.com/journal/remotesensing">https://www.mdpi.com/journal/remotesensing</a>
<b>Base de datos de indización</b>	Scopus
<b>Cuartil</b>	Q1
<b>Idioma</b>	Inglés
<b>ISSN</b>	20724292
<b>h- index</b>	168

*Fuente: Elaboración propia*

## Anexo 8. Otras evidencias

Tabla 8. Validación de expertos.

N°	ESPECIALISTAS	% DE VALIDACIÓN
01	Elvar Renato Miñano Vera	87 %
02	José Jesús Pasapera Gonzales	93 %
03	José Luis Zuloaga Obregón	90 %
04	Luis Enrique Alva Diaz	82 %
05	Nancy Judith Salinas Briceño	88 %

Fuente: elaboración propia.

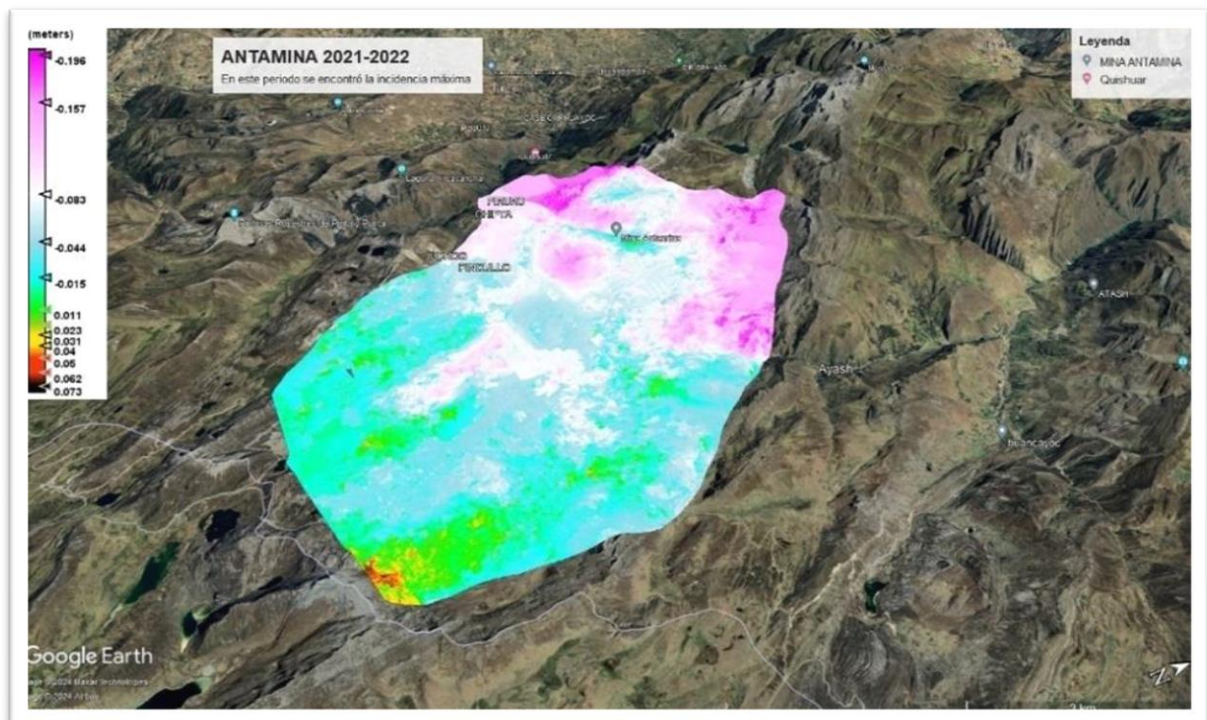


Figura 1. Mapa de elevación máximo de la minera Antamina.

Fuente: elaboración propia.

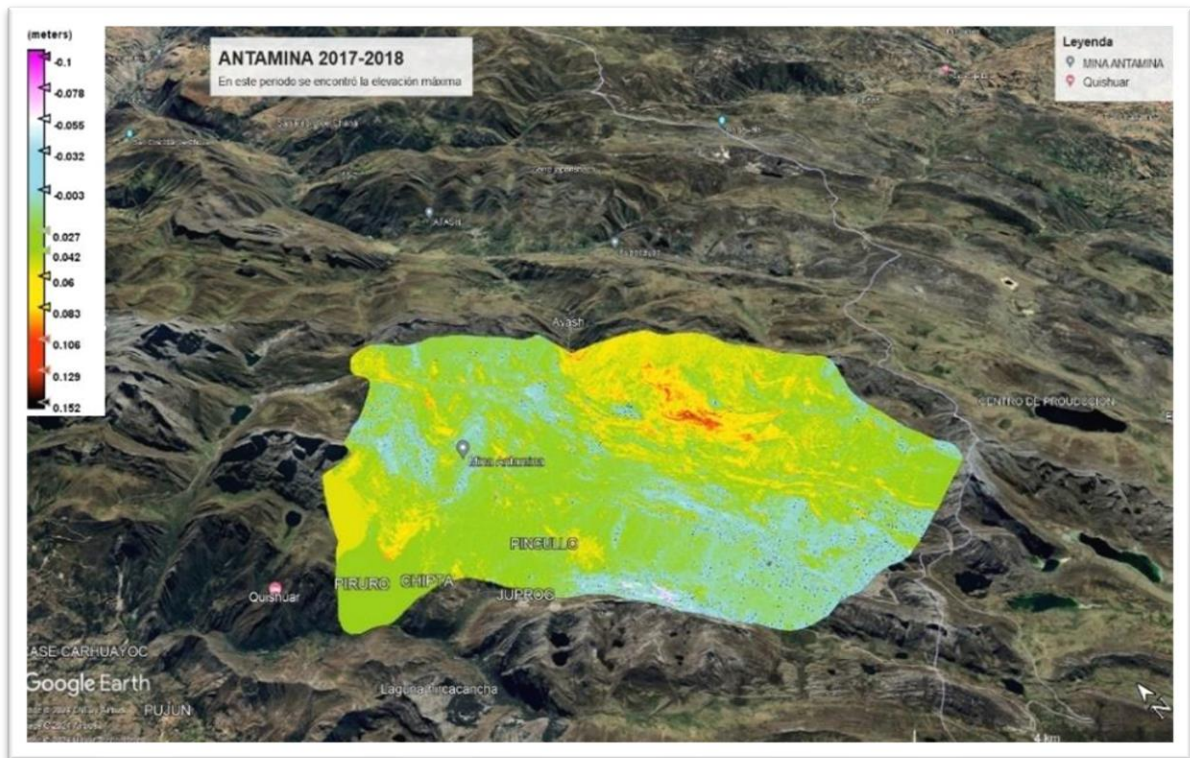


Figura 2. Mapa de elevación máxima minera Antamina

Fuente: elaboración propia.

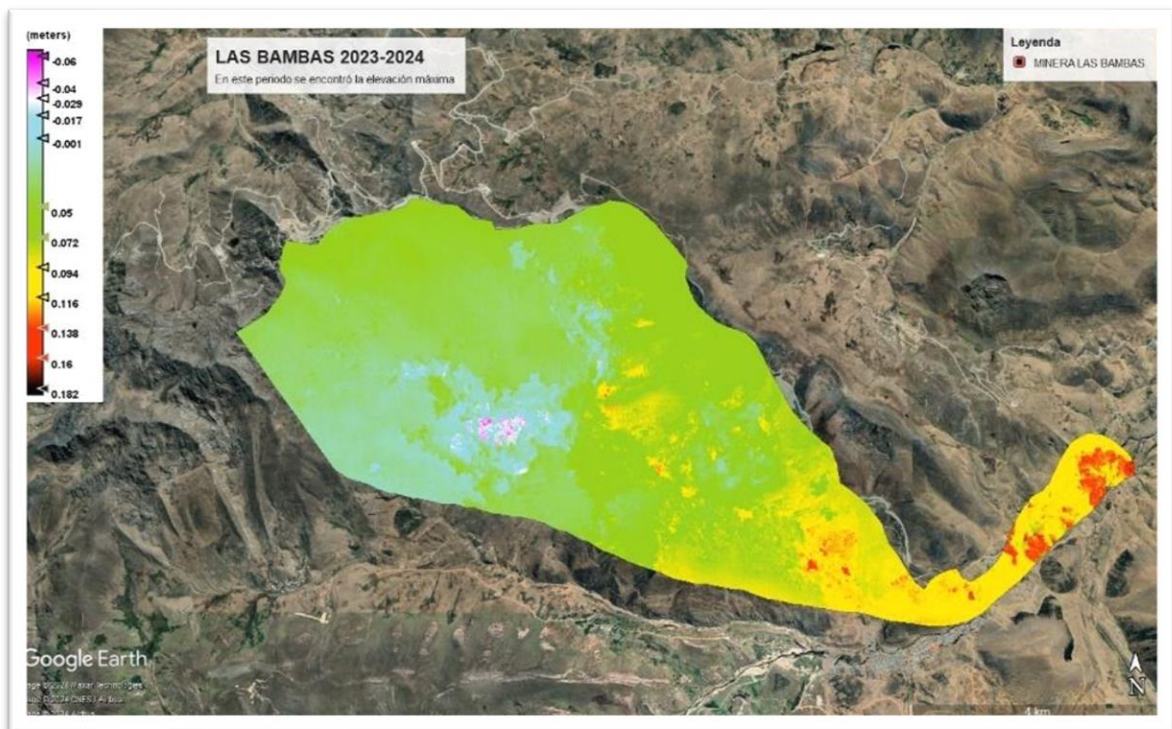


Figura 3. Mapa de elevación máxima minera Las Bambas.

Fuente: Elaboración propia.

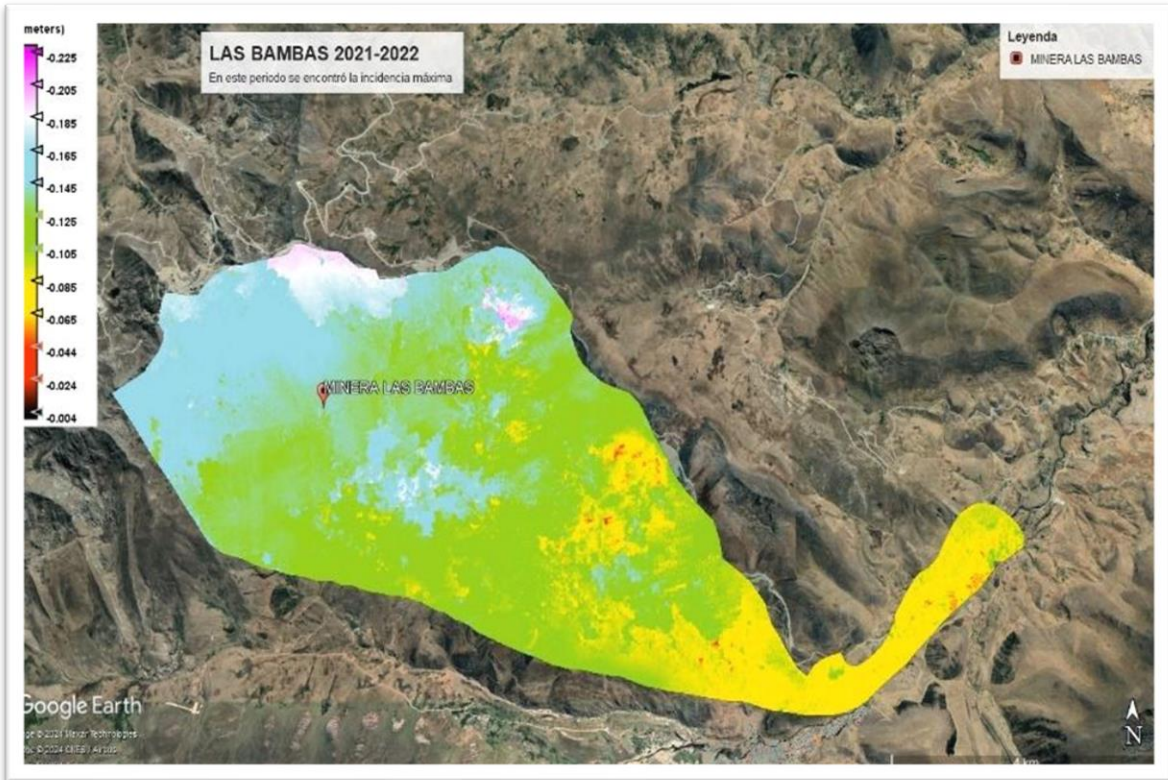


Figura 4. Mapa de elevación máxima minera Las Bambas.

Fuente: elaboración propia.

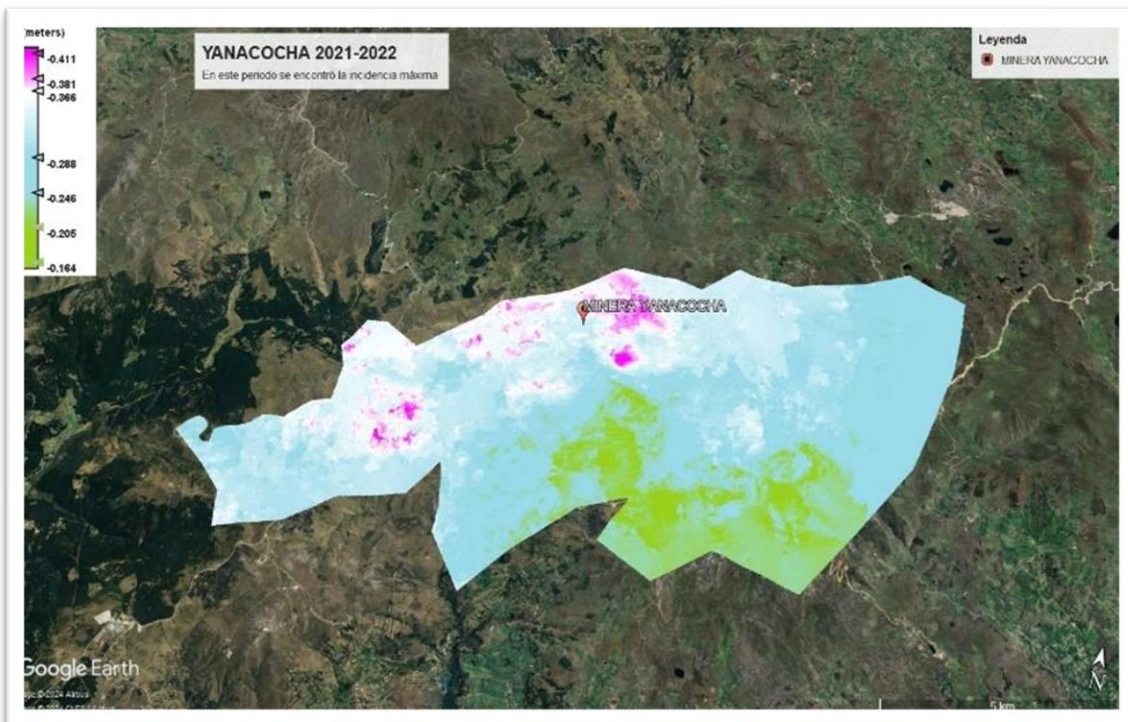


Figura 5. Mapa de elevación máxima de la minera Yanacocha.

Fuente: elaboración propia.

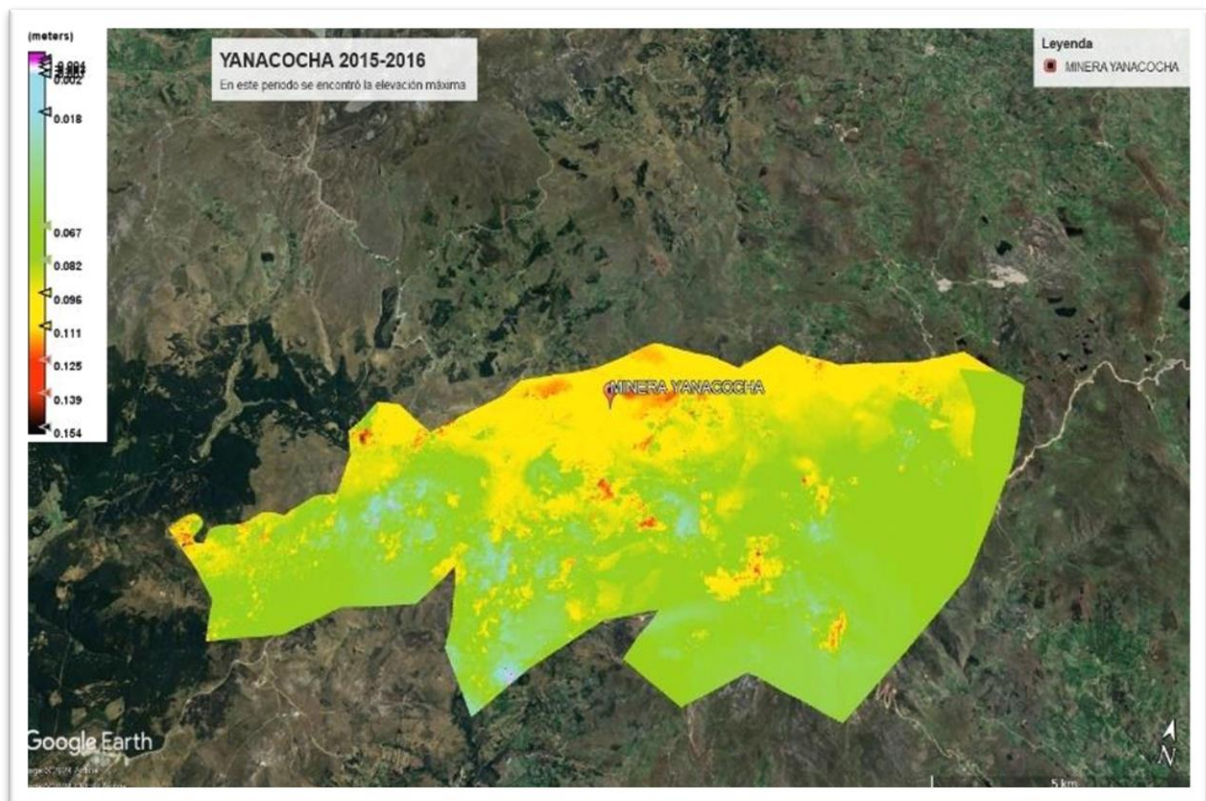


Figura 6. Mapa de elevación máxima minera Yanacocha.

Fuente: elaboración propia.

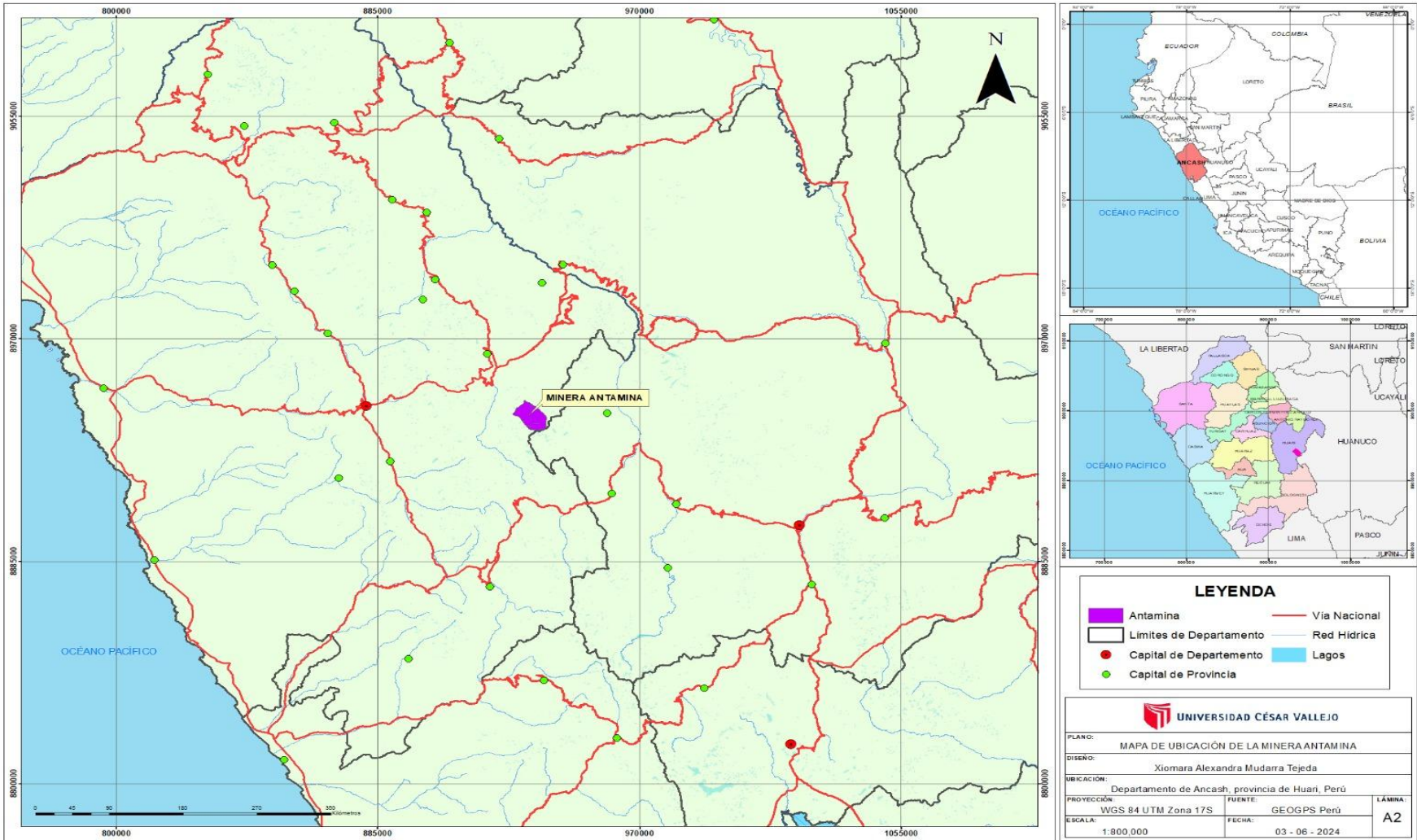


Figura 7. Mapa de ubicación de la minera Antamina.

Fuente: elaboración propia.

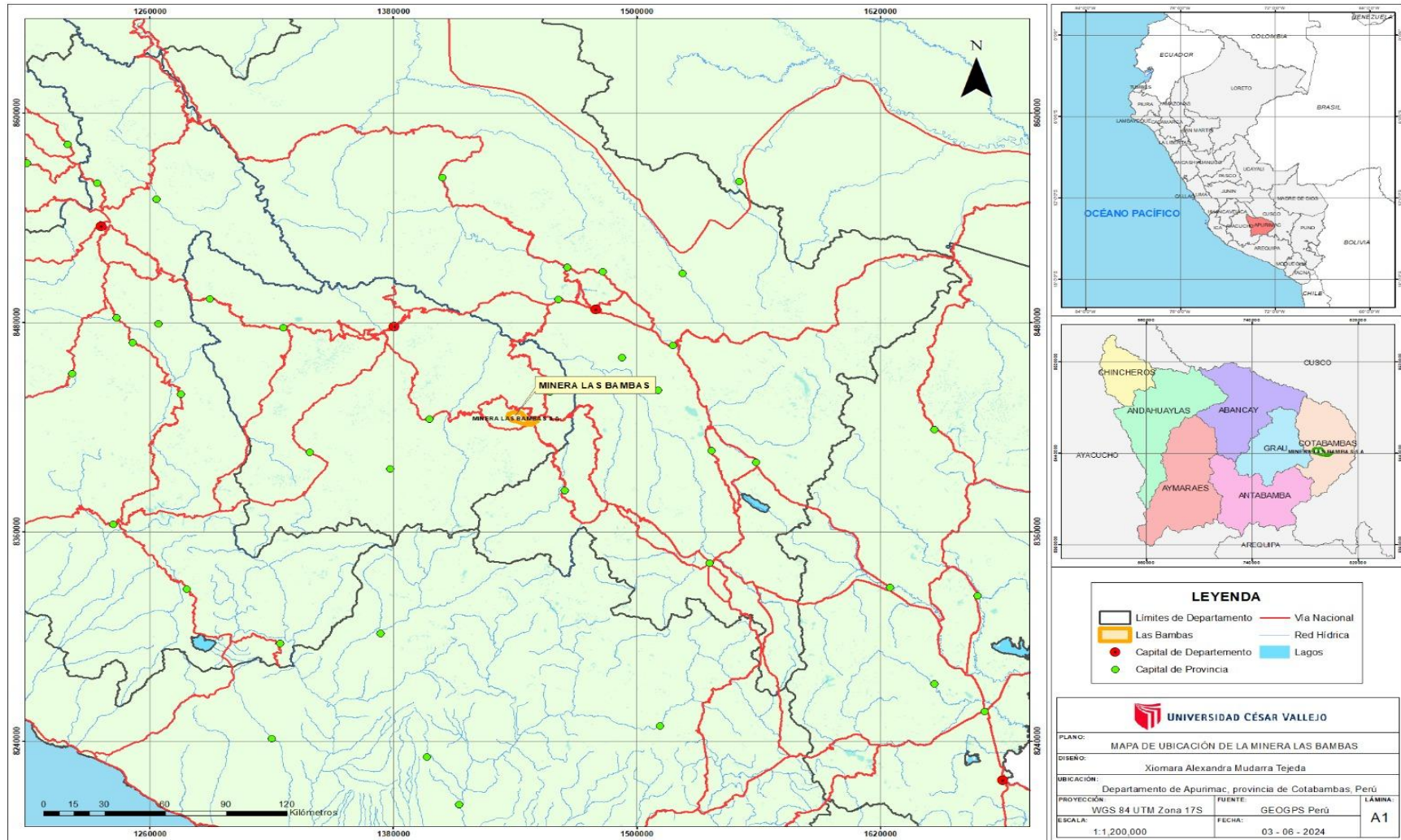


Figura 8. Mapa de ubicación de la minera Las Bambas.

Fuente: elaboración propia.



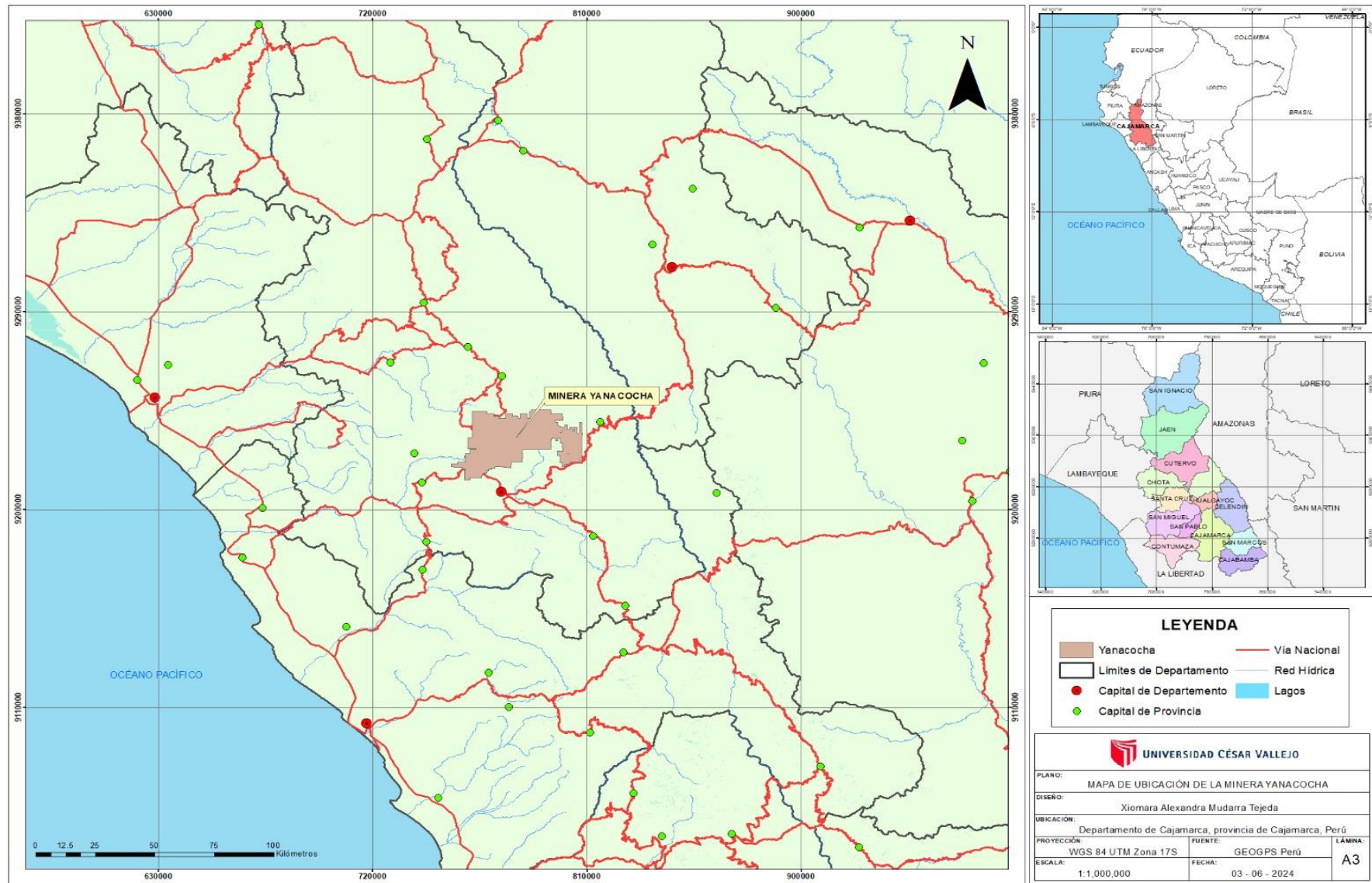


Figura 9. Mapa de ubicación de la minera Yanacocho.

Fuente: elaboración propia.