
Alternativas para la investigación geológica en tiempos de pandemia COVID-19

Alternatives for geological research in pandemic COVID-19 times

Alternativas para pesquisa geológica em tempos de pandemia de COVID-19

Christian Romero¹ , Geovanna Villacreses¹  Franz Betancourt²  & Carmen Sanchez¹ 

¹ Dirección de innovación. Instituto de Investigación Geológico y Energético. Quito-Ecuador. Correo: vladimir.romero@geoenergia.gob.ec, geovanna.villacresses@geoenergia.gob.ec, lourdez.sanchez@geoenergia.gob.ec

² Dirección de comunicación. Instituto de Investigación Geológico y Energético. Quito-Ecuador. Correo: franz.betancourt@geoenergia.gob.ec

Fecha de recepción: 14 de junio de 2020.

Fecha de aceptación: 20 de junio de 2020

RESUMEN

INTRODUCCIÓN: En la actualidad la pandemia del COVID-19 afecta a nuestra sociedad y el aislamiento social es la mejor forma de enfrentarla. El ritmo económico y social se ha detenido, sin embargo, los fenómenos naturales que nos afectan, no se detienen. Los riesgos geológicos pueden agravar la crisis humanitaria, social y económica. Esta investigación presenta una crítica sobre los efectos de la pandemia Covid-19 en la investigación geológica. **METODOLOGÍA:** Datos estadísticos oficiales, observaciones de fenómenos naturales realizadas en el transcurso de la pandemia y análisis de imágenes satelitales soportan nuestra investigación. **RESULTADOS:** El análisis de imágenes satelitales en la vía El Chaco – Lumbaquí, permitió la descripción de amenazas geológicas. Caídas de roca, se producen en rocas metamórficas afectadas por levantamiento tectónico, mientras que deslizamientos y hundimientos se producen en litologías volcanoclásticas y sedimentarias erosionadas por el río Coca. **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES:** El estudio de imágenes satelitales en la geología permite el monitoreo y estudio de amenazas geológicas.

Palabras claves: Covid-19, riesgos geológicos, imágenes satelitales.

ABSTRACT

INTRODUCTION: Nowadays, the COVID-19 pandemic affects our society and social isolation is the best way to combat this situation. The economic and social rhythm has stopped, however, natural phenomena that affect our society do not stop. Geological hazards can exacerbate the humanitarian, social and economic crisis. Our research presents a critique of the effects of the Covid-19 pandemic on geological research. **METHODOLOGY:** Official statistical data, and observations of natural phenomena made during the pandemic, and satellite image analysis support our research. **RESULTS:** The analysis of satellite images on the El Chaco - Lumbaquí road allows the description of geological hazards. Rock falls, occur in metamorphic rocks affected by tectonic uplift, while, landslides and subsidence occur in volcanoclastic and sedimentary lithologies eroded by the Coca river. **CONCLUSIONS:** The study of satellite images in geology allows monitoring and study of geological hazards.

Keywords: Covid-19, Geological hazard, Satellite images.

RESUMO

INTRODUÇÃO: Atualmente, a pandemia do COVID-19 afeta nossa sociedade, isolamento social é a melhor maneira de lidar com isso. O ritmo econômico e social parou, no entanto, os fenômenos naturais que afetam nossa sociedade não para. Os riscos geológicos podem agravar a crise humanitária, social e econômica. Nossa pesquisa apresenta uma crítica aos efeitos da pandemia de Covid-19 na pesquisa geológica. **METODOLOGIA:** Dados estatísticos oficiais, observações de fenômenos naturais feitos durante a pandemia e análise de imagens de satélite apoiam nossa pesquisa. **RESULTADOS:** A análise de imagens de satélite na (estrada) El Chaco - Lumbaquí permite a descrição de riscos geológicos. Quedas de rochas ocorrem em rochas metamórficas afetadas pela elevação tectônica, enquanto deslizamentos de terra e subsidência ocorrem em litologias vulcanoclásticas e sedimentares erodidas pelo rio Coca. **CONCLUSÕES:** Em tempos de pandemia, o estudo de imagens de satélite em geologia permite o monitoramento e o estudo de riscos geológicos.

Palavras-chave: Covid-19, Riscos geológicos, Imagens de satélite, Geologia

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, nuestra sociedad afronta una crisis humana, sanitaria y económica que evoluciona en el tiempo. Ante la pandemia coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19), las economías se han paralizado y es impredecible determinar ¿cuánto durará la crisis? y ¿cómo se recuperará cada país? [1]. En este contexto los estados intentan garantizar la seguridad en todos los niveles de la población.

En el mes de febrero del 2020, en Ecuador se reportó el primer caso de COVID-19 [2]. El primer informe oficial fue presentado el 29 de febrero. En lo posterior, mediante decreto Ejecutivo Nro. 1017 [3], el gobierno ecuatoriano, decreta a partir del 16 de marzo y por sesenta días, el Estado de Excepción por calamidad pública imponiendo aislamiento obligatorio en el Ecuador. Pese a las medidas tomadas por el gobierno, el número de infectados se incrementó a 22 719 contagiados, al 24 de abril del 2020 [4].

En aporte al Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 del Ecuador, el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) indexado al Ministerio de Energía y

Recursos No Renovables del Ecuador (MERNRE), desarrolla el Proyecto de Investigación Geológica y Disponibilidad de Ocurrencias de Recursos Minerales en el Territorio Ecuatoriano (PIGOM). El cual, desde el 2014 actualiza la Carta Geológica del Ecuador, escala 1:100 000 (CGE) y ha cubierto el 31 % de la superficie del Ecuador, con la actualización de 47 cartas geológicas, en el territorio continental al 2019.

Las medidas gubernamentales que se han tomado en medio de la crisis han afectado el desarrollo de programas y proyectos de investigación, en su ejecución: técnica, de investigación y económica.

Desde el punto de vista económico, la investigación en el campo de la geología y los recursos minerales es de importancia para el país, pues presenta un valor técnico-social. Miles de familias en el territorio ecuatoriano dependen directamente de la actividad minera. Miles más se benefician indirectamente de los ingresos que ella genera y millones de ecuatorianos viven día a día en entornos físicos rodeados de minerales, muchos de ellos producidos y un pequeño porcentaje transformados en el país [5].

Desde el punto de vista científico, la margen continental ecuatoriana es caracterizada por alta sismicidad y volcanismo activo. Ecuador se localiza en un límite de placas tectónicas convergente y es parte del cinturón de fuego del pacífico [6]. Eventos sísmicos y volcánicos, fenómenos de remoción de masa, inundaciones, procesos de erosión fluvial, afectan continuamente a ciudades y a proyectos estratégicos [7].

La identificación y categorización de movimientos en masa es una de las actividades desarrolladas en la CGE. Esta información es utilizada por entes gubernamentales para el estudio de peligros geológicos, que afectan al desarrollo económico y social del país. De esta manera, la CGE es un elemento clave para la planificación y ordenamiento territorial y forma parte de la infraestructura para el desarrollo del país a corto, mediano y largo plazo.

La investigación geológica no puede ser interrumpida en tiempos de pandemia, esta tiene que responder con eficiencia y rapidez ante los fenómenos naturales que afectan a la sociedad. Nuestra investigación presenta una crítica sobre los efectos de la pandemia Covid-19 en el campo de la geología. Esta investigación se fundamenta en el análisis de datos estadísticos oficiales, observaciones de fenómenos naturales y análisis de imágenes satelitales realizadas en el transcurso de la pandemia.

METODOLOGÍA

En el cartografiado geológico, geofísico y geoquímico de la superficie terrestre se discriminan características litológicas, mineralógicas y estructurales [8]. Según Taerpock y Bischke [9] esta discriminación requiere de: (1) adquisición y revisión de información bibliográfica, (2) adquisición, análisis e interpretación de imágenes satelitales, (3) levantamiento de datos litológicos y estructurales en campo, (4) análisis de laboratorios e 5) interpretación de la información recolectada.

Tanto las etapas de revisión de información bibliográfica y el análisis de imágenes satelitales, aprovechan diferentes bases de datos a nivel nacional e internacional. Para el análisis de imágenes satelitales la metodología utilizada es una metodología descriptiva, el observador utiliza sus sentidos para describir características visuales en una imagen [10].

Según Dai [11] un riesgo o amenaza geológica está relacionada a un fenómeno natural que puede afectar directamente a un grupo de la sociedad. Desde el 16 de marzo al 24 de abril, nuestra investigación ha documentado amenazas geológicas, que afectaron al desarrollo de los entes de control gubernamentales o pusieron en riesgo a parte de la población y proyectos estratégicos.

Nuestra documentación consideró estadísticas e informes de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos del Ecuador (SNGR), Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE), e información disponible en medios de comunicación de GADs cantonales. Siguiendo a Chen [12] y a Leroy [13] las amenazas geológicas documentadas han sido discriminadas en: inundaciones, caídas de roca, deslizamientos y hundimientos de terreno (Anexo 1).

La vía el Chaco – Lumbaquí, fue seleccionada como caso de estudio, debido a que en ella se reportaron un mayor número de amenazas geológicas en el intervalo de tiempo analizado.

En la descripción de unidades fotointerpretadas se analizaron principalmente dos características: el tono y la textura. En una imagen satelital *El tono* resulta de la reflectividad del suelo. Según Allum [14] la variación del tono en una imagen satelital (en LANDSAT 8, ASTER) puede ser el resultado de variabilidad en las condiciones meteorización a las que puede ser sometido un macizo rocoso. Mientras que, *la textura* es una característica propia de la roca que determina su composición (en SENTINEL 2, ASTER) y es proporcional al grado y la forma en la que un macizo rocoso responde a la erosión [15].

Los lineamientos son cualquier característica recta, arqueada o regularmente sinuosa de importancia geológicamente incierta, vista en fotografías aéreas o imágenes satelitales [8].

Resultados

Amenazas geológicas identificadas en el transcurso de la pandemia COVID-19

Desde el 16 de marzo al 24 de abril se documentaron 55 amenazas geológicas, 27 corresponden a caídas de rocas, 13 deslizamientos de tierra, 13 hundimientos y 2 inundaciones (ver Figura 1).

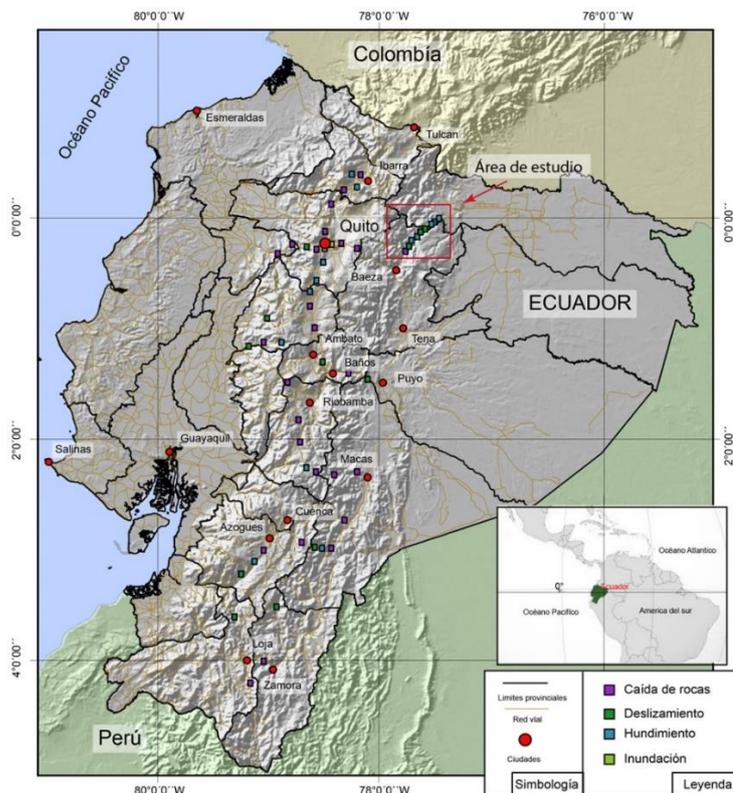


Figura 1. Fenómenos naturales en el transcurso de la pandemia Covid-19. (ver anexo 1)

En la vía Baeza a Lumbaquí, en el sector de San Rafael se reportaron 10 amenazas geológicas en este lapso de tiempo, comprometiendo infraestructura de gran importancia para la economía del país como es: el oleoducto de crudo pesado (OCP), la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclay y la vía Quito a Lago Agrio, en el tramo San Rafael (E45A).

La cascada San Rafael tenía 150 metros de altura, se encontraba ubicada en la cuenca del río Coca y era uno de los mayores atractivos turísticos de Ecuador [16]. El 8 de febrero del 2020 la cascada de San Rafael se desplomó (Ver Figura 2A-2B).

El desplome de la cascada de San Rafael estuvo posiblemente relacionado a procesos de erosión retrograda en los flancos del río Coca (com. pers. Samaniego P.). Sin embargo, este fenómeno no ha podido ser estudiado a detalle debido a la compleja situación que el Ecuador atraviesa en la actualidad.

El flanco occidental del río Coca es de suma importancia para la economía del Ecuador, debido a que, en este flanco funciona el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano – SOTE. El cual transporta en promedio 360.000 barriles de petróleo al día [17].

La Dirección Nacional de Oleoducto de Crudos Pesados del Ecuador (OCP) informó el 07 de abril del 2020 que: “en el sector de san Rafael, se reportaron una serie de deslizamientos que afectaron al Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE), por lo cual se suspendió el transporte de petróleo en Ecuador” (ver Figura 2C).

El 12 de abril del 2020, el sistema de emergencia del Ecuador, Ecu-911, informó que: “debido a las fuertes lluvias, el río Caupicho se desbordó afectando al sector de

Guajaló en el Sur del Distrito Metropolitano de Quito” (ver Figura 2D), esta emergencia fue atendida por el Servicio Nacional de Riesgos.

El 11 de abril del 2020 la vía Alóag-Santo Domingo, uno de los principales ejes viales del Ecuador, que conecta el abastecimiento de alimentos desde la región sierra a la costa, fue cerrada debido al deslizamiento de tierra hacia la vía ocasionado por las fuertes lluvias (ver Figura 2E).

Una gran parte del sistema económico y en parte nuestra sociedad se encuentra paralizada debido a la emergencia sanitaria ocasionada por el COVID-19, sin embargo, como se observa en la Figura 2 los fenómenos naturales que afectan al desarrollo de nuestra sociedad no se detienen y algunos de estos fenómenos podrían agravar la crisis humana, sanitaria y social.



Figura 2. Amenazas geológicas identificadas en el transcurso de la pandemia COVID-19. A. Cascada de San Rafael antes del Desplome. B. Cascada San Rafael después del desplome. C. Ruptura del OCP. Fuente portal web diario El Telégrafo. D. Desborde del río Caupicho. Fuente: portal web diario El comercio. E. Caída de rocas en la vía Aloag-Santo Domingo. Fuente portal web GADC-Santo Domingo.

Alternativas para la investigación geológica en tiempos de pandemia.

En la actualidad la interpretación de características lito-estructurales a partir de imágenes satelitales es una herramienta útil para el desarrollo de investigaciones geológicas y permiten el monitoreo de riesgos geológicos.

El término fotogeología hace referencia a la interpretación sistemática de aspectos visuales a través de fotografías aéreas e imágenes satelitales, relacionados a características estructurales de la superficie terrestre [18]. La descripción de elementos morfológicos y la interpretación de estructuras que componen el relieve pueden ser realizadas a partir del procesamiento y evaluación de imágenes satelitales [8].

En la actualidad, las fuentes de consulta de imágenes satelitales gratuitas más populares son:

- **LANDSAT:** es una constelación de satélites desarrollado por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (NASA) y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) para el monitoreo de los recursos terrestres y el medio ambiente [19] [20].

En la actualidad, LANDSAT es el registro de imágenes satelitales continuo de la Tierra más amplio. LANDSAT se encuentra en la misión 8 [20], pero se pueden acceder a imágenes históricas desde el año 1984. Existen algunas opciones para la búsqueda y descarga de imágenes LANDSAT. En la plataforma web LAND VIEWER: <https://eos.com/landviewer/> (Ver Figura 3A).

- **SENTINEL:** es un programa desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA) con 6 diferentes misiones que incluyen imágenes radar, multi-espectrales y meteorológicas para distintas aplicaciones [21]. En el ámbito geológico y cartográfico las misiones que se utilizan son misión 1 y misión 2.

SENTINEL-1 es un satélite de radar de apertura sintética en banda C, para aplicaciones de riesgos naturales y desplazamiento de la superficie terrestre [22]. Este satélite está disponible desde el 2014.

SENTINEL-2 es un satélite multi-espectral para monitoreo de la vegetación, cobertura del suelo, red fluvial y zonas costeras. Estas imágenes son utilizadas para la atención rápida de emergencias [22] y se encuentra disponible desde el 2015.

La plataforma oficial de búsqueda y descarga de imágenes SENTINEL es el Programa Copernicus: <https://scihub.copernicus.eu/> (Ver Figura 3B).

- **ASTER:** es un sensor desarrollado por la NASA y el Ministerio de Comercio Internacional e Industria de Japón (MITI) con diferentes aplicaciones en el ámbito geológico, posee bandas en el infrarrojo de onda corta e infrarrojo térmico, con lo cual, permite la clasificación de asociaciones de minerales y en función del análisis de razones de bandas se pueden discriminar litológicas, mientras que la estereoscopía de bandas permite generar modelos digitales de elevación [23].

ASTER está disponible desde el año 2000, sin embargo, desde el año 2008, el sensor ASTER presenta un problema de saturación en las bandas 5 y 9 y desde el año 2009 las bandas del infrarrojo de onda corta no son utilizables, sin embargo, las bandas del espectro visible, infrarrojo cercano y el infrarrojo térmico continúan funcionando con normalidad [24] [25].

Las imágenes GDEM de ASTER pueden ser descargadas desde el visor EarthData de la NASA: <https://search.earthdata.nasa.gov/> (Ver Figura 3C).

- **Google Earth Engine:** es una plataforma que permite trabajar en ambiente “NUBE” de google, con el objetivo de acceder a todas las colecciones de imágenes liberadas (LANDSAT, SENTINEL, ASTER) sin la necesidad de descargarlas [26], permitiendo desarrollar scripts para generar productos finales [27]. Se proyecta que en la siguiente década este sistema desplace a los clásicos Sistemas de Información Geográfica (GIS) conocidos [28].

En Google Earth, puede visualizar una perspectiva en 3D del terreno, y revisar algunos archivos de imágenes históricas y conocer la fecha de adquisición de la imagen [29]. También se puede acceder a “Basemaps” de imágenes satelitales que actualmente poseen la mayoría de GIS (Ver Figura 3D).

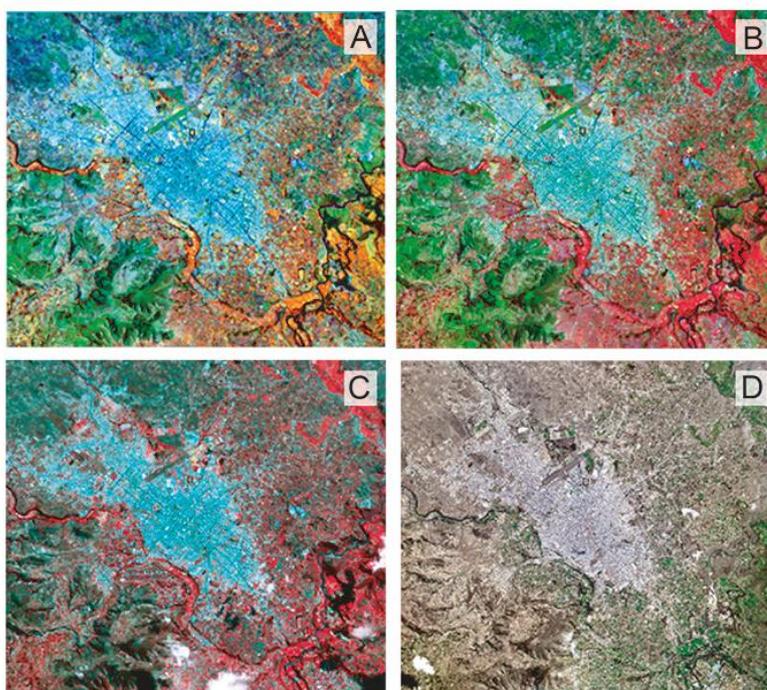


Figura 3. Ejemplos de imágenes satelitales. A) Imagen Landsat8: composición 5-6-4. Fuente: <https://app.climateengine.org/climateEngine>. B) Imagen Sentinel2: composición 8-11-4. Fuente: Composito Año 2019- 2020 <https://app.climateengine.org/climateEngine>. C) Imagen ASTER: composición 3-2-1. Fuente: Año: 2017 <https://gbank.gsj.jp/madas/map/index.html>. D) Imagen “basemap”: color natural RGB 1-2-3. Fuente: SASPlanet. Año 2019-2020

Finalmente, se puede agregar a un SIG un geoservicio WMS (Web Map Service), en Ecuador, el Instituto Geográfico Militar (IGM) ha liberado su servicio de ortofotos, y se pueden cargar sobre un GIS simplemente agregando su geoservicio (<http://www.geoportaligm.gob.ec/orto/wms>).

En la Tabla 1. se presentan las principales características técnicas de las imágenes satelitales anteriormente citadas.

Tabla 1. Resumen de las características de las imágenes satelitales gratuitas más empleadas en la actualidad.

IMAGEN	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL	RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	RESOLUCIÓN TEMPORAL	PRINCIPALES APLICACIONES
LANDSAT 8	15m (PAN) 30m (MUL) 100m (TIR)	11 bandas entre 0.435 y 12.51 μm	12 bits	16 días	Cobertura y uso del suelo Medio Ambiente Recursos Naturales Monitoreo forestal
SENTINEL 2	10m (VNIR) 20m (red edge y SWIR) 60m (coastal y cirrus)	12 bandas entre 0.43 y 2.28 μm	12 bits	5 días	Monitoreo de la tierra Prácticas agrícolas y forestales Seguridad alimentaria Calidad del Agua
ASTER	15m (VNIR) 30m (SWIR) 90m (TIR)	14 bandas entre 0.52 y 11.65 μm	8 bits (VNIR y SWIR) 12 bits (TIR)	16 días	Monitoreo de glaciares Extracción de DEM Exploración mineral Mapeo

Caso de estudio riesgos geológicos en la vía El Chaco – Lumbaqui

A partir del análisis de imágenes satelitales, en la zona de estudio se reportan 5 unidades foto-interpretadas descritas a continuación (Fig. 4):

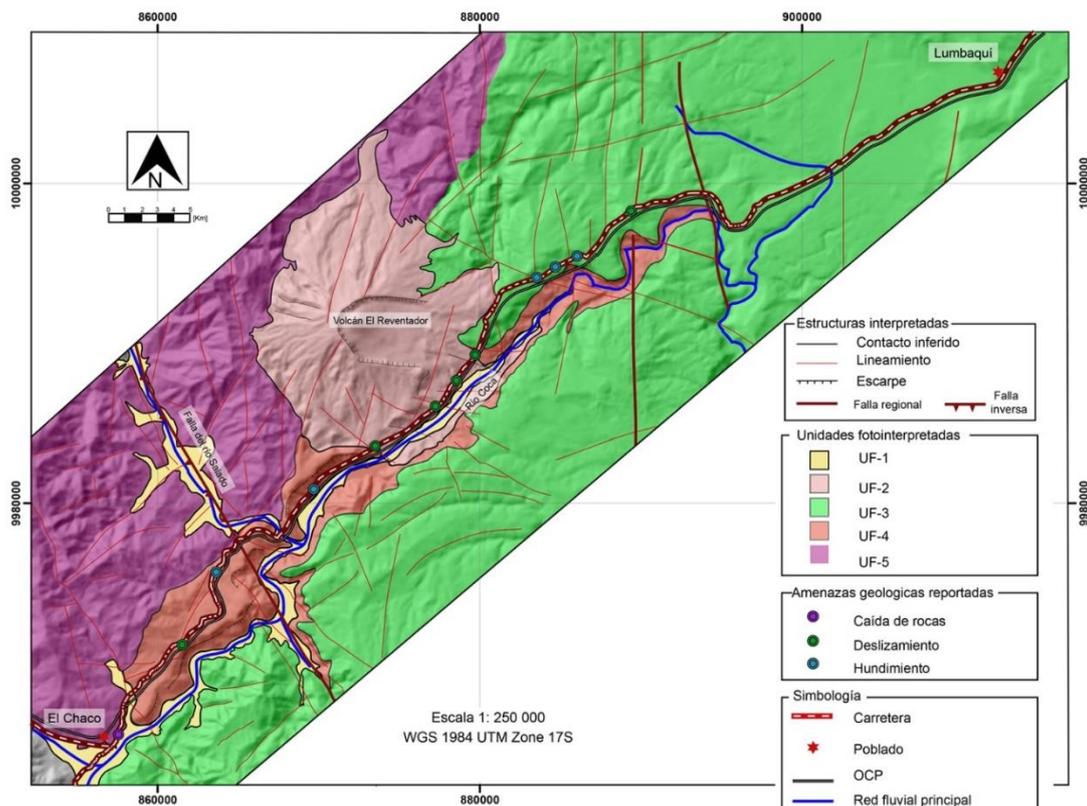


Figura 4. Análisis de imágenes satelitales en la vía El Chaco – Lumbaqui.

Unidad foto-interpretada 1 (**UF-1**). – esta unidad presenta tonos muy claros, de geometría lineal, confinada la textura es regular. Esta unidad representa a depósitos aluviales recientes (ver Figura 4).

Unidad foto-interpretada 2 (**UF-2**). – esta unidad presenta tonos claros, de textura regular, su geometría es cónica, en la cima se observa una estructura en forma de herradura, los lineamientos son concéntricos. En asociación a estos se observan formas

de colada o lenguas y topografías ásperas de tipo “bandlands” [10]. Esta unidad es interpretada como un cono volcánico (Volcán El Reventador ver Figura 4).

Unidad foto-interpretada 3 (**UF-3**). – esta unidad presenta tonos claros y oscuros, de geometría planar, con lineamientos curvilíneos, de textura regular. Morfologías observadas en esta unidad corresponden a mesas con crestas muy marcadas y valles, Esta unidad representa a rocas sedimentarias (ver Figura 4).

Unidad fotointerpretada 4 (**UF-4**). - esta unidad presenta tonos oscuros, de geometría irregular, con lineamientos rectos, de textura irregular. Esta unidad representa a rocas volcánicas (ver Figura 4).

Unidad fotointerpretada 5 (**UF-5**). - esta unidad se caracteriza por tonos oscuros, con textura irregular, con lineamientos rectos discontinuos. Esta unidad representa a litologías metamórficas (ver Figura 4).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la vía Chaco a Lumbaquí, amenazas geológicas reportadas en el transcurso de la pandemia COVID-19, se ubican geográficamente en zonas cercanas a lineamientos vinculados a fallas regionales, que afectan principalmente a UF-2.

UF-2 representa a productos volcanoclásticos del volcán El Reventador. Los últimos 10 000 años depósitos del volcán El Reventador rellenaron el valle del río Coca. Estos depósitos corresponden a flujos de lava, avalanchas volcánicas, lahares y depósitos de caída [30].

Facies de avalanchas volcánicas, lahares y depósitos de caída, presentan litologías de brechas volcánicas, aglomerados volcánicos y tobas [31]. Estas facies son susceptibles a altos grados de erosión fluvial. Mientras que facies de flujos de lava presentan más resistencia a la erosión [32].

Los lineamientos observados en esta carretera responden en su mayoría al movimiento de fallas regionales presentes: Falla del río Salado y Falla Frente andino (Ver Figura 4). Estas fallas han sido interpretadas como fallas inversas de cabalgamiento [33].

En función de la distribución geográfica de amenazas geológicas en la zona de estudio afirmamos que: caída de rocas se presentan en la UF-5 asociada a litologías metamórficas sometidas a la presencia de esfuerzos tectónicos ligados a fallas regionales posiblemente vinculados a pulsos de levantamientos de los Andes, reconocidos en las imágenes satelitales por presentar lineamientos rectos y oblicuos a la falla principal.

Mientras la distribución de deslizamientos y hundimientos se producen en UF-2, UF-3 y UF-4 estas unidades representan a litologías sedimentarias y volcánicas asociados a lineamientos curvilíneos.

De esta manera, factores litológicos y estructurales asociados a procesos de erosión fluvial en la cuenca del río coca, activan deslizamientos y hundimientos. Cabe recalcar, que la información obtenida de imágenes satelitales no remplazará a la información levantada en campo, si no que permite comprender la disposición espacial de estructuras que se desarrollan en la superficie terrestre.

Conclusión

En la actualidad nuestra sociedad enfrenta la pandemia del COVID-19, el aislamiento social es la mejor forma de enfrentarla. El ritmo económico y social se ha detenido, sin embargo, los fenómenos naturales que se producen en nuestro entorno no se detienen. Amenazas naturales como son volcanismo, sismicidad, deslizamientos, hundimientos, fenómenos de erosión, inundaciones afectan a nuestra sociedad. En este contexto las ciencias de la tierra en específico la geología cumple un papel muy importante al dar respuesta inmediata a estos fenómenos, con el fin de evitar que alguno de estos fenómenos agrave aún más la situación que actualmente vivimos.

En la actualidad, Ecuador no cuenta con una base de interpretación de imágenes satelitales continua, el desconocimiento de las características fotogeológicas impide establecer zonas susceptibles a deslizamientos, hundimientos, inundaciones, en donde se puedan generar proyectos sociales que busquen incrementar la resiliencia de las poblaciones o la construcción de infraestructura que busque incrementar los niveles de seguridad de la población con respecto a fenómenos naturales.

Análisis de imágenes satelitales gratuitas permiten la identificación de características estructurales en la vía El Chaco a Lumbaquí. Información base para el estudio de amenazas geológicas.

Caídas de roca ocurren en rocas metamórficas afectadas por fallas geológicas. Mientras que: Deslizamientos y hundimientos en la vía El Chaco a Lumbaquí, se producen mayoritariamente en depósitos volcánicos provenientes del volcán Reventador (UF-2), influenciados por la acción de fallas regionales y dominados por procesos de erosión fluvial.

El levantamiento de información geológica en campo es necesario para proponer un modelo geológico que estime el comportamiento de los deslizamientos y hundimientos en esta carretera.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Este trabajo no tuvo fuentes de financiamiento.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran la no existencia de conflicto de interés alguno.

APORTE DEL ARTÍCULO EN LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Considerando que gran parte de nuestra sociedad está siendo limitada en sus labores cotidianas la vulnerabilidad a riesgos geológicos se incrementa. En este sentido en el presente artículo se propone alternativas para la investigación geológica en el transcurso de la pandemia Covid 19. Enfocándose en la utilidad de las imágenes satelitales. Desarrollando un ejemplo en la aplicación del análisis de imágenes satelitales en la vía El Chaco – Lumbaquí, en la cual se identificaron características estructurales de la superficie terrestre.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE CADA AUTOR

Christian Romero, Geovanna Villacreses y Carmen Sánchez participaron en el diseño y planificación del manuscrito, enfocándose en la utilidad de imágenes satelitales aplicados a estudios geológicos. Franz Betancourt participó en la investigación de las

fuentes de consulta de imágenes satelitales gratuitas más populares y procesamiento de imágenes satelitales.

La fortaleza de este grupo de investigación recae en el carácter multidisciplinar del mismo, el cual logró complementar de manera positiva la discusión y crítica científica. Cada especialista contribuyó con su conocimiento específico para enriquecer este documento.

Todos los autores participaron en la elaboración/ revisión del manuscrito.

REFERENCIAS

[1] CEPAL, N. Recomendaciones para la publicación de estadísticas oficiales a partir de encuestas de hogares frente a la coyuntura de la enfermedad por coronavirus (COVID-19). Vol. 1. No1. 2020. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45372/1/2000274_es.pdf

[2] Ruiz, G. P. I., & León, A. C. I. Evolución de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) en Ecuador. La Ciencia al Servicio de la Salud. Vol. 11. No. 1. Pp. 5-15. (2020). Disponible en: <http://revistas.espech.edu.ec/index.php/cssn/article/view/441>.

[3] Presidencia de la República del Ecuador. Decreto Ejecutivo Nro. 1017. Registro Oficial Suplemento 163. Marzo 2020. Disponible en: https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/03/Decreto_presidencial_No_1017_17-Marzo-2020.pdf

[4] Ministerio de Salud Pública del Ecuador. Comunicado Emergencia sanitaria Covid-19, 24 de abril. No.1. abril 2020. Disponible en: <https://www.salud.gob.ec/comunicado-emergencia-sanitaria-covid-19-situacion-al-24-de-abril-de-2020/>

[5] Vásconez Carrasco, M., and L. Torres León. "Minería en el Ecuador: sostenibilidad y licitud." Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina Vol. 6. no. 2. Pp. 83-103. 2018. DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.68>

[6] Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Jaillard, E., Mothes, P., Jarrín, P., & D. Cisneros. Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador. Revista Tectonics. vol. 35, no 5, p. 1048-1065. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016TC004117>

[7] Corominas, O. y J. Martí. Estudio comparativo de los planes de actuación frente al riesgo volcánico (Chile, Costa Rica, El Salvador, Ecuador, España, México y Nicaragua). Revista Geológica de América Central. Vol. 52. Pg. 33-56. 2015. DOI: <https://10.15517/rgac.v0i52.18980>.

[8] Spencer, E. W. Geologic Maps: A Practical Guide to Preparation and Interpretation. Waveland Press. Ed. 3. Vol.1. 2018.

[9] Tearpock, D. J., y R. E. Bischke. Applied subsurface geological mapping with structural methods. Pearson Education. Ed. 1. Vol. 1. 2002.

[10] Gubin, V. Remote Sensing in Geological Mapping in The Current Role of Geological Mapping in Geosciences. Ostaficzuk, S. R. (ed). Springer Science & Business Media. Vol. 56. Cp. 13. 2005.

[11] Dai, F. C., Lee, C. F., y Y. Y. Ngai. Landslide risk assessment and management: an overview. Revista Engineering geology. Vol. 64. no. 1. Pp. 65-87. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00093-X)

[12] Chen, S. C., Ferng, J. W., Wang, Y. T., Wu, T. Y., y J. J. Wang. Assessment of disaster resilience capacity of hillslope communities with high risk for geological hazards. Engineering geology, Vol. 98. no. 3-4. Pp. 86-101. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.01.008>

[13] Leroy, S. A. From natural hazard to environmental catastrophe: Past and present. Quaternary International. Vol. 158. no. 1. Pp. 4-12. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.05.012>

[14] Allum, J. A. E. Photogeology and regional mapping. Elsevier. Vol. 1. no. 1. 2013.

[15] Clark, P. E., y M. L. Rilee. Visible and Circumvisible Regions and Image Interpretation. In Remote Sensing Tools for Exploration. Vol.1. Springer, Clark, P. E., y M. L. Rilee Eds. New York, NY. 2010. Pp. 53-113. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6830-2_3

[16] Bustamante Soria, M. E. Percepción del impacto sobre el turismo, provocado por el inicio de operaciones de la Central Hidroeléctrica Coca-Codo Sinclair. caso de estudio cantón el Chaco cascada San Rafael. Bachelor's thesis, PUCE-Quito. 2018.

[17] Gutiérrez, P. Cartografía aplicada al control ambiental en derrames de hidrocarburos. Revista científica axioma, Vol. 21. Pp. 22-35. 2020.

[18] Lisle, R. J., Brabham, P., y J. W. Barnes. Basic geological mapping (Vol. 42). John Wiley & Sons. 2011.

[19] Mshiu, Elisante E. Landsat remote sensing data as an alternative approach for geological mapping in Tanzania: A case study in the Rungwe volcanic province, South-Western Tanzania. Tanzania Journal of Science. Vol. 37. no 1. 2011.

[20] Irons, James R.; Dwyer, John L. y J. Barsi. The next Landsat satellite: The Landsat data continuity mission. Remote Sensing of Environment. Vol. 122. Pp. 11-21. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>

[21] Kyriou, A., y K. Nikolakopoulos. Assessing the suitability of Sentinel-1 data for landslide mapping. European Journal of Remote Sensing. Vol. 51. no.1. Pp. 402-411. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1444944>

[22] Salvi, S., Stramondo, S., Funning, GJ, Ferretti, A., Sarti, F. y Mouratidis, A. The Sentinel-1 mission for the improvement of the scientific understanding and the operational monitoring of the seismic cycle. Teledetección del medio ambiente. Vol. 120. Pp.164-174. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.029>

[23] Sivanpillai, R., & Miller, S. N. Improvements in mapping water bodies using ASTER data. Ecological Informatics. Vol. 5. no. 1. Pp. 73-78. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2009.09.013>

[24] Amer, R., Kusky, T., & Ghulam, A. Lithological mapping in the Central Eastern Desert of Egypt using ASTER data. *Journal of African Earth Sciences*. Vol. 56. no. 2-3. Pp 75-82. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2009.06.004>

[25] Fernández, T., Irigaray, C., El Hamdouni, R. J. Chacón. Methodology for landslide susceptibility mapping by means of a GIS. Application to the Contraviesa area (Granada, Spain). *Natural Hazards*, 30(3), 297-308. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000007092.51910.3f>

[26] Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. y R. Moore. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*. Vol. 202. Pp. 18-27. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

[27] Zurqani, H. A., Post, C. J., Mikhailova, E. A., Schlautman, M. A., y J. L. Sharp. Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine. *International journal of applied earth observation and geoinformation*. Vol. 69. no. 1 Pp. 175-185. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.006>

[28] Chan, M. A., Peters, S. E., y B. Tikoff. The Future of Field Geology, Open Data Sharing and CyberTechnology in Earth Science. *Sediment. Rec.(SEPM)*, Vol. 14. Pp. 4-10. B. Disponible en: https://www.gcssepm.org/CM_Files/SedimentaryRecord/Articles/14_1_article.pdf

[29] Prost, G. L. Remote sensing for geoscientists: image analysis and integration. CRC Press. 2013.

[30] Lees, J. M., Johnson, J. B., Ruiz, M., Troncoso, L., y M. Welsh. Reventador Volcano 2005: Eruptive activity inferred from seismo-acoustic observation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Vol. 176. no. 1. Pp. 179-190. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.10.006>

[31] Naranjo, MF, Ebmeier, SK, Vallejo, S., Ramón, P., Mothes, P., Biggs, J. y F. Herrera, F. Mapping and measuring lava volumes from 2002 to 2009 at El Reventador Volcano, Ecuador, from field measurements and satellite remote sensing. *Journal of Applied Volcanology*. Vol. 5. no. 1. 2016

[32] Karátson, D., Thouret, J. C., Moriya, I., y A. Lomoschitz, A. Erosion calderas: origins, processes, structural and climatic control. *Bulletin of Volcanology*. Vol. 61. no. 3. Pp.174-193. 1999.

[33] Litherland, M. The metamorphic belts of Ecuador. *British Geological Survey, Overseas Memoir.*, 11. 1994.

ANEXO 1

Base de datos de riesgos geológicos levantada desde el 16 de marzo al 24 de abril del 2020.

Código	UTM-X	UTM-Y	FUENTE	Tipo de riesgo geológico
042020-SG NR-CR01	857605	9965524	GADM El Chaco	Caída de rocas

042020-SG NR-CR02	884747	9994774	GADM Gonzalo Pizarro	Caída de rocas
042020-SG NR-CR03	812775	10041868	GADC Antonio Ante	Caída de rocas
042020-SG NR-CR04	795828	10026535	MTOP	Caída de rocas
042020-SG NR-CR05	783723	10012816	MTOP	Caída de rocas
042020-SG NR-CR06	778074	9984570	MTOP	Caída de rocas
042020-SG NR-CR07	792600	9973272	MTOP	Caída de rocas
042020-SG NR-CR08	808740	9967623	MTOP	Caída de rocas
042020-SG NR-CR09	769196	9967623	MTOP	Caída de rocas
042020-SG NR-CR10	744179	9972465	GADC Santo Domingo	Caída de rocas
042020-SG NR-CR11	730460	9963588	GADC Santo Domingo	Caída de rocas
042020-SG NR-CR12	761933	9910326	MTOP	Caída de rocas
042020-SG NR-CR13	715934	9874010	GADP Cotopaxi	Caída de rocas
042020-SG NR-CR14	740618	9834255	GADC Riobamba	Caída de rocas
042020-SG NR-CR15	751154	9796900	GADC Colta	Caída de rocas
042020-SG NR-CR16	753070	9774871	MTOP	Caída de rocas
042020-SG NR-CR17	715715	9665680	GADC Cuenca	Caída de rocas
042020-SG NR-CR18	782762	9668553	GADC Limón Indanza	Caída de rocas
042020-SG NR-CR19	797130	9696330	GADC Santiago	Caída de rocas
042020-SG NR-CR20	754028	9674300	SNGR	Caída de rocas
042020-SG NR-CR21	716673	9555531	GADC Zamora	Caída de rocas
042020-SG NR-CR22	702306	9532543	GADC Loja	Caída de rocas
042020-SG NR-CR23	768224	9745251	GADP Chimborazo	Caída de rocas
042020-SG NR-CR24	786502	9741334	SNGR	Caída de rocas
042020-SG NR-CR25	808696	9744598	GADC Morona	Caída de rocas
042020-SG NR-CR26	800210	9843169	GADC Baños	Caída de rocas
042020-SG NR-CR27	767571	9888864	MTOP	Caída de rocas
042020-SG NR-D1	861498	9971039	GADM El Chaco	Deslizamiento
042020-SG NR-D2	873555	9983582	El Universo	Deslizamiento
042020-SG NR-D3	877178	9985961	El Universo	Deslizamiento
042020-SG NR-D4	883504	9994125	SNGR	Deslizamiento
042020-SG NR-D5	758705	9970044	MTOP	Deslizamiento
042020-SG NR-D6	719969	9898221	GADC Pujilí	Deslizamiento
042020-SG NR-D7	701408	9870782	GADP Cotopaxi	Deslizamiento
042020-SG NR-D8	693685	9641734	SNGR	Deslizamiento
042020-SG NR-D9	767437	9668553	GADC Limón Indanza	Deslizamiento
042020-SG NR-D10	729125	9609168	GADC Yacuambí	Deslizamiento
042020-SG NR-D11	686981	9598632	GADC Saraguro	Deslizamiento
042020-SG NR-D12	819141	9837947	GADC Mera	Deslizamiento
042020-SG NR-D13	774751	9854919	MTOP	Deslizamiento
042020-SG NR-H1	863607	9975689	GADM El Chaco	Hundimiento

042020-SG NR-H2	869608	9980879	GADM El Chaco	Hundimiento
042020-SG NR-H3	886045	9995423	GADM Gonzalo Pizarro	Hundimiento
042020-SG NR-H4	889397	9998234	GADM Gonzalo Pizarro	Hundimiento
042020-SG NR-H5	803898	10042675	GADC Cotacachi	Hundimiento
042020-SG NR-H6	808740	10028956	MTOP	Hundimiento
042020-SG NR-H7	775652	9953904	MTOP	Hundimiento
042020-SG NR-H8	768389	9935343	MTOP	Hundimiento
042020-SG NR-H9	762740	9924852	SNGR	Hundimiento
042020-SG NR-H10	734495	9874010	GADC Pujilí	Hundimiento
042020-SG NR-H11	757859	9748052	MTOP	Hundimiento
042020-SG NR-H12	708053	9655144	GADC Cuenca	Hundimiento
042020-SG NR-H13	774142	9667595	GADC Limón Indanza	Hundimiento
042020-SG NR-I1	777059	9967878	SNGR	Inundaciones
042020-SG NR-I2	783715	9972315	SNGR	Inundaciones

NOTA BIOGRÁFICA



Christian Romero Córdor. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0001-9271-4323>

Es miembro de la American Association of Petroleum Geologists (AAPG). Obtuvo su Ingeniería en Geología en la Escuela Politécnica Nacional. Ha sido expositor de la Geological Society of America (GSA). Su línea de investigación es en Sedimentología y Estratigrafía. Actualmente trabaja en el Instituto de Investigación Geológico y Energético. Ecuador.



Geovanna Villacreses. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0002-0964-0907>

Obtuvo su grado de Ingeniera Geógrafa y del Medio Ambiente en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, tiene una maestría en Sistemas de Información Geográfica en la Universidad de Salzguro. Su línea de investigación es la eficiencia energética,

energías renovables y el manejo y análisis de datos espaciales. Actualmente es investigadora del Instituto de Investigación Geológico y Energético. Ecuador.



Franz Betancourt Valdivieso. **ORCID ID**  <https://orcid.org/0000-0001-5614-1994> Obtuvo su grado de Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE , tiene una maestría en Geomántica en la Universidad Nacional de La Plata – UNLP. Su línea de investigación es la aplicación de Sensores Remotos en el mapeo estructural de minerales en la superficie terrestre. Actualmente trabaja en el Instituto de Investigación Geológico y Energético. Ecuador.



Carmen Lourdes Sánchez Vera. **ORCID ID**  <https://orcid.org/0000-0002-5269-2841> Obtuvo su grado de Ingeniero en Contabilidad y Auditoría en la Universidad de las Central del Ecuador – UCE. Su línea de investigación es la aplicación en Gerencia de Proyectos. Actualmente trabaja en el Instituto de Investigación Geológico y Energético. Ecuador.



This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.