



Identificación de alteraciones hidrotermales en el cráter del volcán Quilotoa mediante imágenes satelitales Landsat 8

Identification of hydrothermal alterations in the crater of the Quilotoa volcano using Landsat 8 satellite images

Identificação de alterações hidrotermais na cratera do vulcão Quilotoa usando imagens de satélite Landsat 8

Christian Orlando Camacho-López ^I
christian.camacho@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4876-9583>

Bosueth Mateo Montalvo-Morales ^{II}
bosueth.montalvo@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3890-1926>

Anderson Napoleón Campos-Guerra ^{III}
anderson.campos@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2824-873X>

Correspondencia: christian.camacho@epoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Recibido:** 30 de noviembre de 2021 ***Aceptado:** 20 de diciembre de 2021 * **Publicado:** 19 de enero de 2022

- I. Master of Science in Hydrogeological Engineering, Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

La minería es una actividad económica que comprende los procesos de prospección, exploración, explotación y aprovechamiento de los minerales que se han acumulado en la corteza terrestre. En este contexto, la teledetección a través del análisis de la radiación electromagnética emitida o reflejada mediante sensores satelitales permite identificar zonas con presencia de uno o varios minerales valiosos que justifiquen su explotación, como, por ejemplo, alteraciones hidrotermales ligadas a pórfidos cupríferos. Así, la presente investigación permite el análisis de alteraciones hidrotermales en el cráter del volcán Quilotoa mediante imágenes satelitales Landsat 8, para lo cual se generó un mapa geológico-tectónico del área de estudio que permita identificar la presencia de posibles formaciones geológicas relacionadas a la conformación de alteraciones hidrotermales y se generó el análisis de imágenes satelitales del año 2020 obtenidas del satélite Landsat 8 con nubosidad menor al 10%, conjugando un arreglo de bandas RGB de 4/2 para óxidos e hidróxidos de hierro, 6/7 para minerales de arcilla y carbonato, así como la banda 10 para minerales de silicatos. Así, el presente estudio a través de teledetección en el área de estudio permitió identificar rocas alteradas hidrotermalmente, las cuales presentan tonalidades amarillentas, que al estar relacionadas geológicamente con un intrusivo de textura granítica y granodiorítica permite evidenciar la posible presencia de un depósito tipo pórfido cuprífero con un área de 3 681 hectáreas y un perímetro de 46 471 metros ubicada en la parte noroccidente del cráter del volcán Quilotoa, sin embargo, se recomienda corroborar el presente hallazgo mediante análisis geoquímicos y mineralógicos de muestras obtenidas in situ.

Palabras claves: Exploración minera; yacimiento mineral; teledetección; pórfidos cupríferos; Cotopaxi.

Abstract

Mining is an economic activity that includes the processes of prospecting, exploration, exploitation and use of minerals that have accumulated in the earth's crust. In this context, remote sensing through the analysis of electromagnetic radiation emitted or reflected by satellite sensors makes it possible to identify areas with the presence of one or more valuable minerals that justify their exploitation, such as hydrothermal alterations linked to porphyry copper. Thus, the present investigation allows the analysis of hydrothermal alterations in the crater of the Quilotoa volcano through Landsat 8 satellite images, for which a geological-tectonic map of the study area was

generated that allows identifying the presence of possible geological formations related to the conformation of hydrothermal alterations and the analysis of satellite images of the year 2020 obtained from the Landsat 8 satellite with cloudiness less than 10% was generated, combining an arrangement of RGB bands of 4/2 for iron oxides and hydroxides, 6/7 for clay minerals and carbonate, as well as band 10 for silicate minerals. Thus, the present study through remote sensing in the study area allowed to identify hydrothermally altered rocks, which present yellowish tones, which, being geologically related to an intrusive with a granitic and granodioritic texture, allows to demonstrate the possible presence of a porphyry copper-bearing deposit. with an area of 3,681 hectares and a perimeter of 46,471 meters located in the northwestern part of the crater of the Quilotoa volcano, however, it is recommended to corroborate this finding through geochemical and mineralogical analyzes of samples obtained in situ.

Keywords: Mining exploration; mineral deposit; remote sensing; copper porphyries; Cotopaxi.

Resumo

A mineração é uma atividade econômica que inclui os processos de prospecção, exploração, aproveitamento e aproveitamento dos minerais que se acumularam na crosta terrestre. Nesse contexto, o sensoriamento remoto por meio da análise da radiação eletromagnética emitida ou refletida por sensores de satélite permite identificar áreas com a presença de um ou mais minerais valiosos que justifiquem sua exploração, como alterações hidrotermais ligadas ao cobre pórfiro. Assim, a presente investigação permite a análise de alterações hidrotermais na cratera do vulcão Quilotoa através de imagens de satélite Landsat 8, para as quais foi gerado um mapa geológico-tectônico da área de estudo que permite identificar a presença de possíveis formações geológicas relacionadas à conformação de alterações hidrotermais e a análise de imagens de satélite do ano de 2020 obtidas do satélite Landsat 8 com nebulosidade inferior a 10% foi gerada, combinando um arranjo de bandas RGB de 4/2 para óxidos e hidróxidos de ferro, 6/7 para minerais argilosos e carbonato, bem como banda 10 para minerais de silicato. Assim, o presente estudo através de sensoriamento remoto na área de estudo permitiu identificar rochas alteradas hidrotermicamente, que apresentam tons amarelados, o que, estando geologicamente relacionado a um intrusivo de textura granítica e granodiorítica, permite demonstrar a possível presença de um pórfiro cobre- com área de 3.681 hectares e perímetro de 46.471 metros localizado na parte noroeste da cratera do vulcão Quilotoa, no entanto, recomenda-se corroborar este achado através de análises geoquímicas

e mineralógicas de amostras obtidas in situ.

Palavras-chave: Exploração mineira; depósito mineral; sensoriamento remoto; pórfiros de cobre; Cotopaxi.

Introducción

La minería es una actividad económica que comprende los procesos de prospección, exploración, explotación y aprovechamiento de los minerales que se han acumulado en la corteza terrestre. La prospección tiene como finalidad identificar la zona donde se ubica el yacimiento minero, ya que mientras el cateo permite la identificación visual de posibles zonas de alteración de manera básica, la prospección realiza una búsqueda más eficiente y detallada mediante el apoyo de herramientas tecnológicas como obtención de fotos aéreas, prospección satelital, técnicas geofísicas y geoquímicas. (Julcamoro, 2018).

Un método actual de prospección inicial es la teledetección que permite la obtención de información sobre la superficie terrestre a partir de la captación de la radiación electromagnética emitida o reflejada mediante sensores capaces de captar las relaciones espectrales y espaciales de objetos y materiales observables a una gran distancia. Asimismo, unidades geológicas que contienen ciertos elementos o compuestos minerales concentrados se pueden analizar para identificar la presencia de un yacimiento mineral del cual sea factible recuperar uno o varios elementos valiosos que justifique su explotación. (Servicio Geológico Mexicano, 1981)(Lillesand & Kiefer, 1994)

Por ejemplo, la teledetección permite el análisis de una alteración hidrotermal que corresponde al intercambio químico ocurrido durante una interacción fluido hidrotermal-roca, que conlleva una transformación química y mineralógica en la roca afectada, producto del desequilibrio termodinámico entre ambas fases. Existen varios tipos de alteraciones hidrotermales, caracterizados por asociaciones de minerales específicos que dependen de la composición del fluido hidrotermal, composición de la roca huésped, temperatura, pH, Eh, razón agua/roca y tiempo de interacción, entre otros (Townley, 2001)

Un tipo de yacimiento asociado a alteraciones hidrotermales son los pórfidos cupríferos, que son depósitos minerales de baja ley y gran tonelaje relacionados con rocas ígneas intrusivas, pues, su textura porfírica indica que los magmas intruyeron y cristalizaron cerca de la superficie. De este tipo de yacimientos se obtiene más del 50% de cobre del mundo, por ejemplo, Chile posee algunos

de los pórfidos cupríferos más grandes y la mayor parte de su producción de cobre proviene de 16 pórfidos cupríferos en explotación, 12 en el Norte y 4 en la Zona Central. (Rodríguez & Maksaev, 2004).

Actualmente, no se tiene una idea integral del potencial minero del Ecuador, debido a la carencia de estudios mineralógicos, motivo por el cual, el presente estudio permite identificar diversas alteraciones hidrotermales en el volcán Quilotoa que es una caldera volcánica en un lago cratérico ubicado al Oeste de la ciudad de Latacunga utilizando teledetección mediante imágenes satelitales obtenidas de Landsat 8, con el fin de brindar información sobre el potencial mineral del área de estudio.

Metodología

Análisis geológico-tectónico del área de estudio

Se generó un mapa geológico-tectónico del área de estudio basado en la información del Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica con la finalidad de identificar la presencia de posibles formaciones geológicas relacionadas a la conformación de alteraciones hidrotermales, así como zonas de fractura o límites de placa que permitan la afloración de pórfidos.

Obtención de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales fueron obtenidas de la plataforma Earth Explorer perteneciente al Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) seleccionando imágenes obtenidas en el año 2020 desde el satélite Landsat 8 con nubosidad menor al 10%.

Procesamiento de imágenes satelitales

Se generó una limpieza de ruidos de la información recopilada del área de estudio mediante una relación de imágenes multitemporales. La imagen resultante fue compuesta en función a la metodología de análisis multispectral RGB con relación entre las bandas 2/4, 6/7 y 10 utilizando la herramienta de análisis de imágenes del software ArcGIS 10.8.

La relación entre las bandas fue escogida considerando la reflexión de los minerales, conjugando el radio 4/2 en función de óxidos e hidróxidos de hierro con una alta reflectancia entre 0,63 y 0,69 μm y absorción entre 0,45 y 0,52 μm , los minerales de arcilla y carbonato son analizados a través

de las bandas 6 y 7 atribuidas a una alta reflectancia en el rango de 1,55 a 1,75 μm y absorción a 2,08–2,35 μm .

Mientras que, la banda 10 perteneciente al Infrarrojo térmico (TIR) permite describir el comportamiento de los minerales de silicatos con una cobertura espectral de 10.30 a 11.30 y 11.50 a 12.50 μm .

Así, la configuración permite identificar los minerales asociados a alteraciones hidrotermales en color amarillo mientras que coberturas vegetales se denotan en tonalidades rojas – violetas.

Identificación de alteraciones hidrotermales

La identificación de alteraciones hidrotermales está basada en múltiples criterios que permitan una evaluación integral del área de estudio, entre ellos se encuentra el análisis geológico de las formaciones presentes en el área, el análisis tectónico para identificar la presencia de zonas de fractura y la teledetección mediante las bandas 2/4, 6/7 y 10 específicas para el análisis de alteraciones hidrotermales.

Resultados

La zona de análisis está conformada geológicamente por un proceso de subducción que genera el ascenso de magma calco-alcalino ácido por medio del cráter del Quilotoa, así las características propias de este tipo de magma permiten la presencia de alteraciones con minerales como epidota, seriecita; hierros como hematita, clorita, calcita, moscovita, limonita, jarosita; y minerales de sílice como cuarzo, ópalo y calcedonia

El mapa geológico-tectónico del área de estudio que se presenta en la figura 1 permite identificar la presencia de abundante cantidad de minerales propios de alteraciones hidrotermales mediante la presencia de formaciones geológicas que podrían propiciar la presencia de pórfidos, como la formación "Gg" que está compuesta por un intrusivo que data del terciario y cretácico conformado por granito y granodiorita, con abundancia de mineralización de epidota.

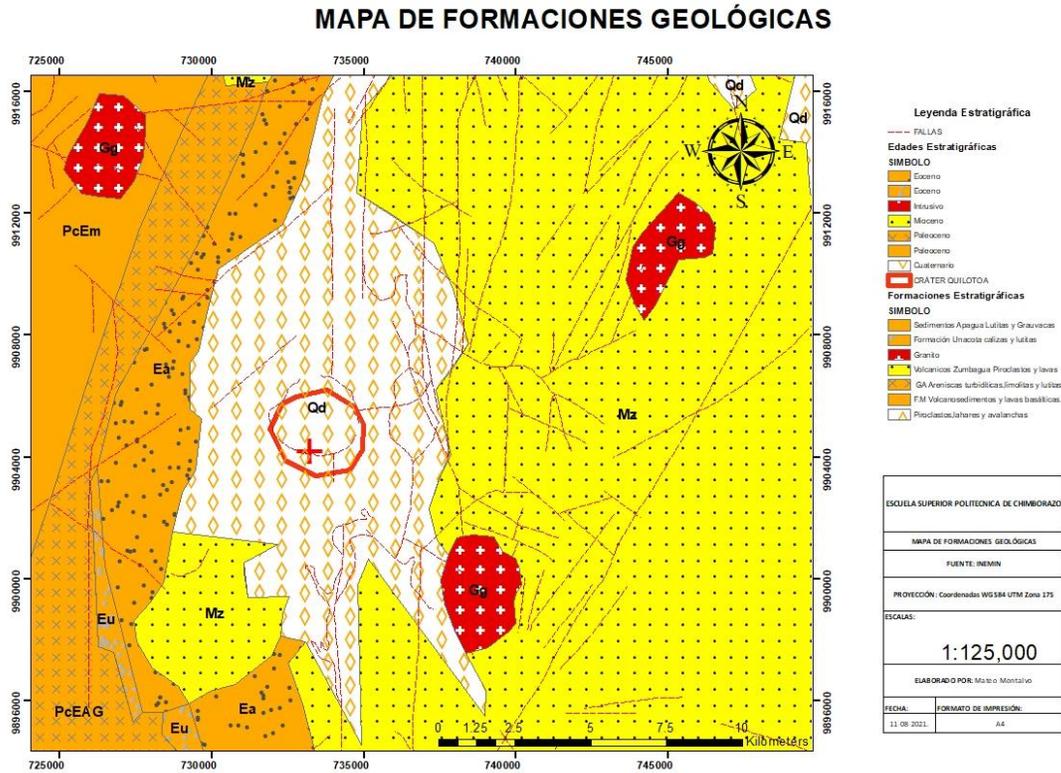


Figura 1. Mapa geológico de la zona de estudio

Además, la figura 1 permite identificar la presencia de interacciones entre contactos litológicos importantes como la formación Volcánicos Zumbagua "Mz" que predomina en el sector y que está conformada por areniscas y volcanoclasticos, evidenciando la presencia de alteraciones hidrotermales.

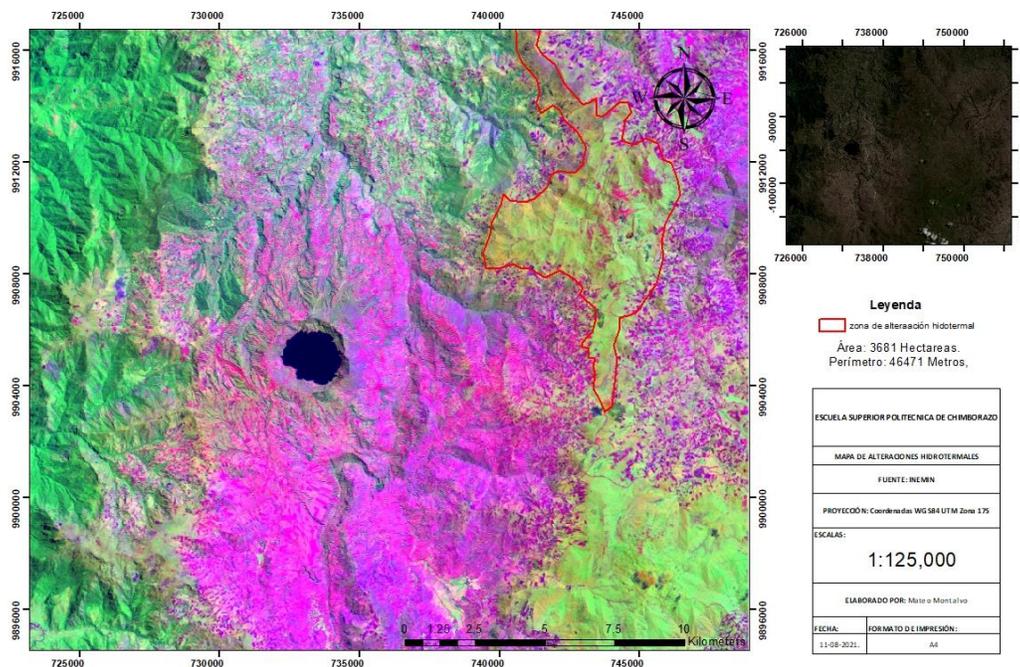


Figura 2. Imagen RGB con juego de bandas 2/4, 6/7 y 10

La imagen 2 permite visualizar la diferencia de contrastes en el juego de bandas 2/4, 6/7 y 10 utilizadas para identificar alteraciones hidrotermales, especialmente aquellas ligadas con pórfidos cupríferos. Así, la mayor cobertura está representada por el color violeta que representa la vegetación existente, así como el color verde que evidencia la capa arbórea del lugar, mientras que, la tonalidad amarilla nos indica la posible presencia de rocas alteradas hidrotermalmente.

Cabe destacar que si bien la imagen espectral presenta tonalidades amarillas que permiten suponer la presencia alteraciones hidrotermales, el mapa geológico del área de estudio nos permite contrarrestar la información para identificar la presencia de pórfidos cupríferos mediante la presencia de un intrusivo granítico.

Así, el presente estudio ha logrado identificar un área de 3681 hectáreas pertenecientes a una roca alterada hidrotermalmente que podría corresponder a un pórfido cuprífero localizada en la parte derecha superior del volcán Quilotoa, la misma que posteriormente puede ser analizada de forma in situ mediante muestreos y análisis geoquímicos que permitan confirmar la presente investigación.

Conclusiones

El presente estudio mediante un arreglo de bandas RGB 2/4, 6/7 y 10 permitió identificar rocas alteradas hidrotermalmente, las cuales se presentan con tonalidades amarillentas. Esta información contrastada con la presencia de un intrusivo de textura granítica y granodiorítica permite evidenciar la posible presencia de un depósito tipo pórfido cuprífero.

La zona identificada como de interés mineral corresponde a un área de 3 681 hectáreas y un perímetro de 46 471 metros ubicada en la parte noroccidente del cráter del volcán Quilotoa.

Finalmente, se recomienda desarrollar investigaciones de carácter in situ como obtención de testigos y análisis geoquímicos que permitan confirmar el hallazgo generado en el presente estudio.

Referencias

1. Barrera, M., Frantz, J., Marquez, J., & Sanchez, D. (2017). Sistema porfirítico Yarumalito, Antioquia: petrografía y caracterización de las alteraciones hidrotermales. *Boletín de Geología*, 39(1): 127 - 136. <http://dx.doi.org/10.18273/revbol.v39n1-2017006>
2. Equipo MMSD America del Sur. (2002). *Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en America del Sur*. Quito, Ecuador: Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente (CIPMA) y Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC)-Iniciativa de Investigación sobre Políticas Mineras (IIPM). Recuperado el 28 de 04 de 2021, de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/7832DF547B40C2FF05257EF2006E308A/\\$FILE/Miner%C3%ADa_Minerales_y_Desarrollo_Sustentable.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/7832DF547B40C2FF05257EF2006E308A/$FILE/Miner%C3%ADa_Minerales_y_Desarrollo_Sustentable.pdf)
3. Julcamoro, V. (2018). *Teledetección de áreas de interés prospectivo metálico usando imágenes Aster y Landsat OLI-TIRS en el distrito de Namora, Cajamarca (Tesis de licenciatura)*. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/13780>
4. Lillesand, T & Kiefer, R. (1994). *Sensoramiento remoto e interpretación de imágenes*, 3rd ed. Nueva York 750 p.
5. Rodriguez, R., & Maksaev, V. (2004). *Porfidios Cupriferos*. Medellin, Colombia. Obtenido de <https://www.medellin.unal.edu.co/~rrodriguez/victor-maksaev/PORFIDOS-CUPRIFEROS.pdf>

6. Servicio Geológico Mexicano, 1981, Yacimientos minerales:
https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Yacimientos-minerales.html
7. Townley, B. (2001). Hidrotermalismo. Geología Económica. Obtenido de
<https://www.medellin.unal.edu.co/~rrodriguez/LECTURAS/hidrotermalismo.htm>

©2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).