

ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN EN LABORES MINERAS EN EL SECTOR BELLA RICA DISTRITO MINERO PONCE ENRÍQUEZ

ALTERATION AND MINERALIZATION IN MINING WORKS IN THE SECTOR BELLA RICA DISTRITO MINERO PONCE ENRÍQUEZ

Kenny Escobar-Segovia¹, Jorge Loy-Benitez², Daniel Mariño-Garzón³, José Cuervas-Mons⁴

¹ *Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil – Ecuador: Universidad Espíritu Santo, Guayaquil – Ecuador. kescobar5@uees.edu.ec / kescobar@espol.edu.ec*

² *Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador. jbenitez@espol.edu.ec*

³ *Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador. dgarzon@espol.edu.ec*

⁴ *Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador. jcuervas@geoenergia.gob.ec*

ISSN: 2661-6998

Fecha de recepción: 24-09-2019

Fecha de aceptación: 30-03-2020

RESUMEN

En el sector de Bella Rica ubicado en la provincia del Azuay, se realizó una descripción de los minerales encontrados en las rocas que encajan las vetas auríferas del sector, con el tipo de alteración que ocurre en la vecindad de la mineralización, para que sean registrados como indicios, utilizando técnicas modernas de análisis como el DRX y como complemento análisis petrográfico macroscópico. Se trabajó en cuatro labores mineras del sector, se analizó 15 muestras, se concluye que la ocurrencia aurífera está relacionada a una alteración en las rocas encajantes circundantes del tipo propilitica, donde la biotita que pertenece a estas rocas es llevado a clinocloro por el intercambio de iones del fluido hidrotermal, generando de tal forma una proporción de aproximadamente el 35% de este mineral en rocas encajantes; se verifica que del reemplazo de la biotita también se generan otros minerales típicos, como el cuarzo, que es innato de la mineralización; sulfuros refractarios, como la arsenopirita y pirita; además, de plagioclasas que se forman por la lixiviación de rocas básicas liberando iones Na⁺, Ca²⁺ y K⁺.

Palabras clave: Difracción de Rayos X (DRX), Análisis petrográfico macroscópico, Alteración mineralógica.

ABSTRACT

In the Bella Rica sector located in the province of Azuay, a description was made of the minerals found in the rocks that fit the gold veins of the sector, with the type of alteration that occur in the vicinity of the mineralization, to be recorded as indications, using modern analysis techniques such as DRX and complement macroscopic petrographic analysis. Four mining works of the sector were worked on, 15 samples were analyzed, it is concluded that the gold occurrence is related to an alteration in the surrounding embedded rocks of the propylitic type, where biotite that belonging to these rocks is taken to clinochlor by the exchange of ions of the hydrothermal fluid, thereby generating a proportion of approximately 35% of this mineral in embedded rocks; it is verified that the replacement of biotite also generates other typical minerals, such as quartz, that is innate from mineralization; refractory sulfides, such as arsenopyrite and pyrite; In addition, to plagioclases that are formed by leaching basic rocks releasing Na⁺, Ca²⁺ and K⁺ ions.

Keywords: X-ray diffraction (DRX), Gross petrographic analysis, Mineralogical alteration.

1. INTRODUCCIÓN

El cantón Camilo Ponce Enríquez, ubicado en la Provincia del Azuay, se considera el distrito minero más joven que existe en Ecuador. Sus actividades extractivas datan desde la década de los 80 y continúan hasta la actualidad, siendo la principal actividad económica de este sector; sin embargo, en sus inicios, las operaciones se realizaron de manera empírica y sin estudio geológico que caracterice la zona. Las “vetas” auríferas del sector de Bella Rica, del Cantón Ponce Enríquez (ver Figura 1), son explotadas por mineros cooperativistas y pequeños mineros, importándoles poco o nada el conocimiento de la génesis del yacimiento y su repercusión sobre las reservas minerales del mismo. Los avances en el desarrollo de la explotación de la minería ecuatoriana son cada vez más relevantes, por lo que es de suma relevancia encontrarse a la vanguardia en cuanto a las actividades de investigación y desarrollo, con el fin de fomentar un crecimiento conjunto entre los sectores industriales e investigativos.



Figura 1. Ubicación área de estudio
Fuente: Autores

El método de análisis empleado es del tipo petrográfico macroscópico que posee una gran incertidumbre, por lo que será complementada con técnicas analíticas el análisis por Difracción de Rayos X (DRX).

El distrito minero Camilo Ponce Enríquez pertenece a la Uni-

dad Pallatanga, la cual se encuentra limitada por fallas regionales que limitan la Cordillera Occidental, por lo que también es posible denotar otras formaciones de edades que van desde cretácicas a cuaternarias [1]. A continuación, se describen las formaciones que se encuentran en la zona de estudio.

1.1 Geología local

Unidad Pallatanga: Comprende basaltos de fondo marino, que han sido acrecionados contra el continente suramericano durante el Eoceno. Se le atribuye una asociación ofiolítica, dominada por una secuencia de basaltos masivos, doleritas y basaltos almohadillados. Existe la presencia de rocas ultramáficas y metamórficas de grado medio, como esquistos y gneises. Las rocas de esta unidad se superponen discordantemente a los depósitos volcanoclásticos del Grupo Saraguro (Eoceno Tardío – Miooceno Temprano) que a su vez son intruidas por dioritas y granodioritas neógenas. Esta unidad aflora a lo largo de la carretera Ibarra – San Lorenzo, en el Norte y al Sur del valle del Río Jubones [4].

Formación. Yunguilla: Datada en el Cretácico Superior; es una secuencia de abanico turbidítico marino, las litologías típicas son limolitas masivas grises a oscuras y areniscas feldespáticas finas con limolitas y lutitas fisiles [5].

Formación. Macuchi: Esta formación (Paleoceno – Eoceno Medio) comprende un dominio de rocas máficas incluyendo algunas volcanoclásticas y rocas masivas de composiciones basálticas a andesíticas. La secuencia muestra cierta variedad incluyendo las facies coherentes, pillow lavas, hialoclastitas y brechas volcanoclásticas depositadas en la sucesión del arco volcánico submarino, el cual posee un espesor de al menos 2000 metros. Esta formación es la que se encuentra aflorando en la zona de estudio [2].

Grupo Saraguro: Consiste en un conjunto de rocas volcánicas de carácter subaéreo y de composición generalmente intermedia a ácida del tipo calcoalcalina. Estas rocas han sido intruidas por diferentes stocks de composiciones cuarzdioríticas a tonalíticas, que vienen acompañados por otros cuerpos elongados y diques de esta misma composición [3].

Cuaternario: Representado por depósitos de tipo aluviales y coluvionales, cuyas áreas fuente son los cuerpos rocosos que han sido descritos anteriormente.

La Cooperativa de producción minera “Bella Rica” tiene como principal interés la obtención de oro (Au) y sus asociaciones mineralógicas, están ubicadas dentro de la Formación Macuchi, en rocas andesitas y andesitas-basálticas. Estas andesitas poseen una textura porfídica con fenocristales de plagioclasas milimétricas angulosas sin evidencia de meteorización. Las andesitas basálticas presentan, por el contrario, una textura totalmente

afanítica con colores oscuros, ausente de fenocristales; las rocas tienen tonalidades de oscuras a verdosas [1].

Alrededor del Campo Minero Ponce Enríquez ocurre un conjunto predominante de rocas volcánicas, andesitas, basaltos, diabasas, brechas, las cuales pertenecen a la Unidad Pallatanga. En los frentes de trabajo afloran basaltos verdes, doleritas e hialoclastitas con stockworks irregulares, algunas de estas presentan cierta susceptibilidad magnética [6].

El objetivo principal de la presente investigación es determinar las principales alteraciones hidrotermales relacionadas a diferentes tipos de mineralización, que han ocurrido por la intrusión de fluidos hidrotermales en rocas encajantes en el predio extractivo denominado como la concesión cooperativista “Bella Rica”, por carecer de estudios que definan la génesis de la anomalía mineral.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Luego de la búsqueda, recopilación y análisis de la información secundaria disponible de los proyectos de investigación similares, se procedió a realizar los trabajos en campo, que consistió en un muestreo aleatorio en minas que corresponden al predio extractivo “Bella Rica”. Para realizar un mapa de ubicación de las muestras, las zonas de estudio se codificaron de la siguiente manera:

- Bella Rica – 1
- Bella Rica – 2
- Bella Rica – 3
- Bella Rica – 4

Se tomaron 15 muestras aleatoriamente, con pesos que varían desde 1 a 4 kg, estas fueron descritas petrográficamente considerando los siguientes parámetros:

- Dureza
- Densidad Relativa de la roca
- Fracturas
- Color
- Texturas
- Minerales

La preparación de la fracción para el análisis de “Difracción de Rayos X”, requerida por el Laboratorio de Mineralurgia de FICT – ESPOL, se describe a continuación:

Consistió en la molienda con ayuda de un molino de bolas, hasta conseguir un tamaño de $70 \mu\text{m}$. e procedió al pesaje de aproximadamente 5 kg de muestra, se ingresó a la trituradora de mandíbulas con la muestra pesada, hasta llegar a un tamaño de aproximadamente 1.5 – 2 cm. Se procedió a la alimentación de

la trituradora de rodillos donde se obtuvo un tamaño de aproximadamente de 5 mm. Se llevó a cabo la molienda durante 30 minutos, utilizando un molino de bolas, hasta alcanzar tamaños entre 10 – 300 μm . Se procedió al tamizaje de la muestra, separando el pasante de 70 μm , ya que estos tamaños son aptos para la realización de ensayos de DRX.

Para la cuantificación de las especies minerales, existentes en las muestras preparadas, se realizó los respectivos análisis en laboratorio utilizando el principio de la difracción de rayos X; empleando el equipo Xpert PRO XRD de marca PANalytical, con tubo de Cu: radiación $K\alpha$, $\lambda = 1.541874 \text{ \AA}$, empleando un filtro de Níquel, Pw 3373/00; conjuntamente con el software que se encarga de su control (Xpert Data Collector).

A continuación, se describe el proceso de lectura de muestra: Para la lectura en el equipo fue necesario realizar el pesaje de 0.6 g de muestra molida y además de 0.06 g de Zincita (ZnO), la cual resulta el aditivo de calibración para que el análisis sea cuantitativo; este pesaje se realizó en una balanza analítica de cuatro decimales. Se debió realizar la homogenización de la muestra y la zincita, con la precaución de que no exista ningún grumo apreciable de este último reactivo.

Luego del pesaje y la homogenización de la muestra se procedió a colocarla dentro del equipo DRX, el cual es manejado por el software Xpert DataCollector, esta herramienta informática debe ser configurada según las necesidades del usuario, y además, que brinde un gráfico que resulte entendible a cualquier observador, esto es, libre de ruidos y de picos no deseados o que no se aprecien claramente. Los parámetros que se pueden ajustar en el software son:

- Voltaje y amperaje del equipo (Condiciones de uso: 45 KV y 40 mA).
- Características del haz incidente.
- Tamaño del paso y el tiempo que se toma por paso.
- Dimensiones de las rejillas.

Una vez realizados los ajustes necesarios en el equipo, se procedió a colocar la porta muestras dentro del mismo y mediante el software se dió inicio al disparo de rayos X, que tuvo un recorrido de 4° hasta 70° en este caso particular. Como resultado de este proceso se obtuvo un gráfico indicando las especies minerales encontradas en la muestra, haciendo posible la identificación de aquellas especies con mayor concentración. Una vez que la muestra fue analizada, se obtuvo como resultado un gráfico de picos que indicó la presencia de especies minerales y su ocurrencia dentro de la muestra. Para la cuantificación de estas especies se utilizó la herramienta informática XpertHighscore Plus, el cual permite el tratamiento de datos según el siguiente orden:

- Trazado de línea base: En este paso, se traza una línea referencial que sirve para el reconocimiento de picos importantes, siendo todos aquellos que superen a esta base.

- Búsqueda de picos: El software muestra todos aquellos considerados como picos, sin embargo, el usuario es libre de eliminar aquellos que hayan sido malinterpretados, ya sea por ruido de gráfico u otro que no se considere de relevancia.
- Biblioteca de patrones: Trata de la asignación de una especie mineral según su grupo espacial y características a cada uno de los picos encontrados a través de sus coincidencias. Una vez seleccionada la fase mineral, se irán eliminando los picos que han coincidido con esta fase; para la selección de las fases que se mostrarán en la lista de patrones, se designan restricciones como sólo el reconocimiento de especies inorgánicas, la exclusión de tierras raras, gases nobles, etc.

- Refinación de resultados: Una vez escogidas las fases que han eliminado los picos existentes, se puede obtener una cuantificación preliminar de las especies; sin embargo, es de suma importancia realizar la refinación de estos datos utilizando métodos matemáticos, en este caso ha sido el conocido como “Chebyshev II” el cual permite un ajuste más preciso a la cuantificación, esto debe hacerse hasta que el Goodness Rate (Bondad de ajuste) se encuentre en el rango del 5 – 6%.

De cada una de las labores que fueron visitadas durante el muestreo realizado, pertenecientes a la concesión minera “Bella Rica”, se procedió a realizar los mapas de ubicación de las galerías y la ubicación de los puntos de muestreo respectivo, como se indica a continuación en las figuras 2 al 6.

RESULTADOS

- Bella Rica 1

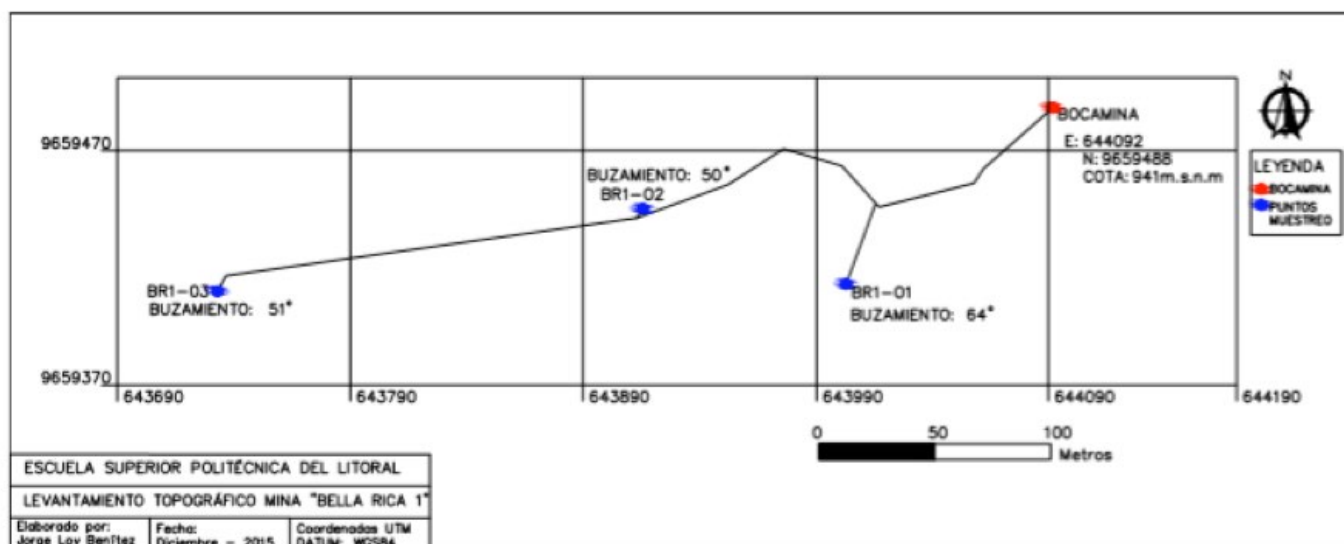


Figura 2. Mapa de ubicación de mina y puntos de muestreo Bella Rica - 1

Fuente: Autores

- Bella Rica 2

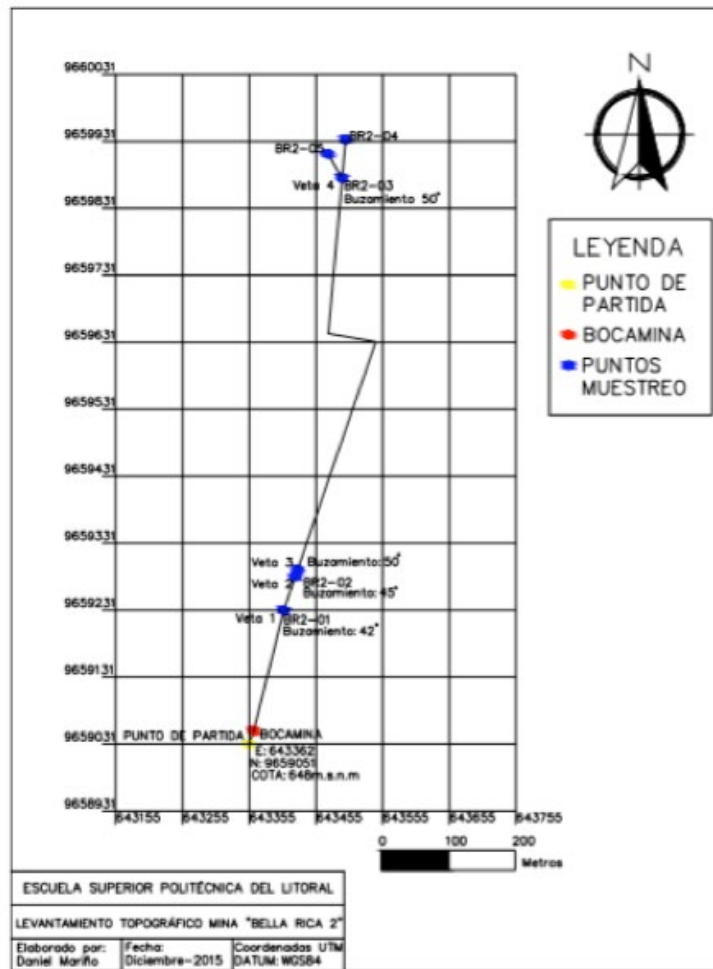


Figura 3. Mapa de ubicación de mina y puntos de muestreo Bella Rica - 2

Fuente: Autores

- Bella Rica 3

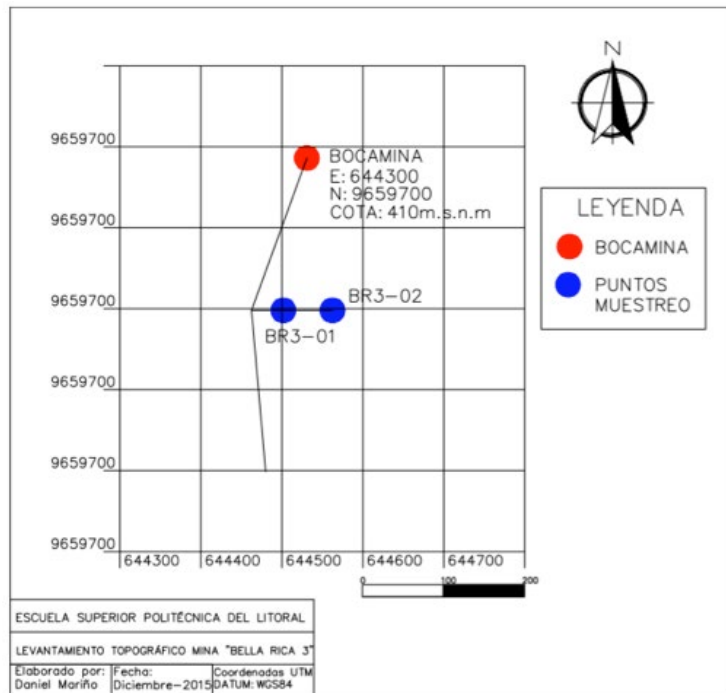


Figura 4. Mapa de ubicación de mina y puntos de muestreo Bella Rica - 3

Fuente: Autores

- Bella Rica - 4

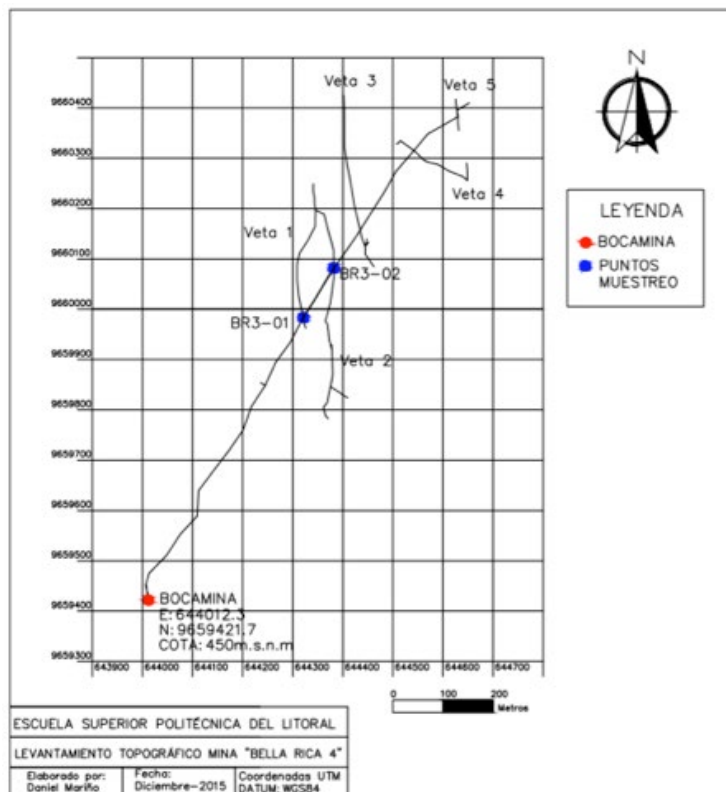


Figura 5. Mapa de ubicación de mina y puntos de muestreo Bella Rica - 4

Fuente: Autores

- Concesión “Bella Rica” y labores muestreadas

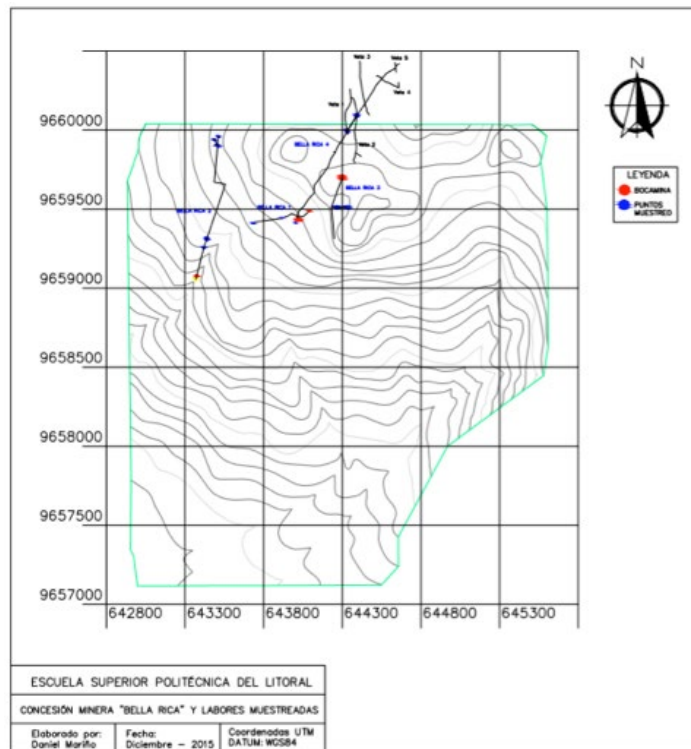


Figura 6. Mapa de ubicación de minas y puntos de muestreo
Fuente: Autores

Luego se procedió a realizar un análisis macroscópico de las muestras:

BR1 – 01: Es una roca gris oscura con textura afanítica, con algún microfenocristal (máx. 1mm) de plagioclasa, en donde se observan puntos brillantes en la superficie, seguramente sulfuros de cobre (Cu). La muestra presenta algunas aberturas con mineralizaciones verdes, posiblemente debido a alteraciones propilíticas o de cloritización. Por último, la muestra presenta fractura angular. (Ver Figura 7).



Figura 7. Muestra macroscópica BR1 - 01
Fuente: Autores

BR1 – 02: Son fragmentos de roca marrónáceos centimétricos y muy angulosos, altamente meteorizados. En la parte fresca, se aprecia una textura holocristalina de color oscuro con presencia de vetillas de cuarzo formando drusas, también presencia de láminas de óxidos de hierro (Fe). Se trata de una andesita basáltica altamente meteorizada con aspecto de suelo (Ver Figura 8).



Figura 8. Muestra macroscópica BR1 – 02
Fuente: Autores

BR1 – 03: Es una roca altamente meteorizada con colores marronáceos. Su característica más importante es su aspecto bandeado, definido por vetas centimétricas de cuarzo y yeso, este último aparece también rellenando diaclasas paralelas a dichas vetas y de tamaños milimétricos, también alguna banda verdosa, posiblemente, debido a alteración propilítica (epidota y clorita). Las mineralizaciones tienen hábito subeuhedral a anhedral, con formas prismáticas. Tamaño de grano milimétrico (máx. 1 mm) Son de color negro, brillan con la luz. No se identifican las fases minerales, aunque seguramente contengan altos niveles de Fe, Mn, Co, Zn Pb, etc. (Ver Figura 9).



Figura 9. Muestra macroscópica BR1 – 03
Fuente: Autores

BR2 – 02A: Es una roca grisácea de densidad alta y con fracturas irregulares, junto con un claro aspecto bandeado y hasta brechificado. Dicho bandeamiento está definido por una vetilla cuarzosa tabular, también se observan algunos niveles milimétricos verdosos. Hay presencia de cristales euhedrales muy abundantes y brillantes de galena, habiendo también calcopirita diseminada (Ver Figura 10).



Figura 10. Muestra macroscópica BR2 – 02A
Fuente: Autores

BR2 - 02B: Es un fragmento anguloso de roca de color negro pero con tonos blancos y amarillentos, con densidad media, también presenta fracturas muy irregulares, con altos contenidos en mineralizaciones: pirita, pirrotina, bornita y galena. La mayor

parte de la roca consiste en un gran cristal de cuarzo lechoso conteniendo dichas mineralizaciones. También se observa una veta tabular centimétrica de cuarzo altamente meteorizada y de color marrón. Se trata de una parte del filón mineralizado (Ver Figura 11).



Figura 11. Muestra macroscópica BR2 - 02B
Fuente: Autores

BR2 - 02C: Muestra similar a la 2A, con el característico aspecto bandeado y brechificado, con abundantes niveles verdosos alternantes con niveles de espesores variables (varios cm. como máximo) mineralizados de cuarzo y de sulfuros de Cu; puede contener posiblemente granos milimétricos de Au. Se trata de la parte del filón-veta mineralizada (Ver Figura 12).



Figura 12. Muestra macroscópica BR2 - 02C
Fuente: Autores

BR2 – 03: Es una roca de densidad media con fractura angulosa-irregular y con superficies muy meteorizadas, presentando un aspecto gris verdoso, en las partes frescas presenta una textura afanítica. Las únicas mineralizaciones encontradas consisten en diseminaciones de cuarzo y sulfuros de Cu muy meteorizados (Ver Figura 13).



Figura 13. Muestra macroscópica BR2 - 03
Fuente: Autores

BR2 - 04: Es una roca de densidad media con fractura muy angulosa; color verde oscuro negruzco, presenta una textura completamente afanítica. Se observan unas pocas acumulaciones milimétricas de sulfuros de Cu, posiblemente de pirrotina y covelina. Dichas acumulaciones aparecen siguiendo planos de fracturas determinadas y paralelas entre sí (Ver Figura 14).



Figura 14. Muestra macroscópica BR2 - 04
Fuente: Autores

BR2 - 05A: Es una roca de densidad media alta con fracturación angulosa-irregular, en sus partes frescas tiene un color gris oscuro, con una textura completamente afanítica. Esta muestra se encuentra cortada por filones centimétricos de cuarzo y sulfuros de Cu, ambos muy meteorizados, junto con minerales negros, seguramente sulfuros de Fe. También presenta abundantes niveles de coloración verdosa (posiblemente alteración propilítica o de cloritización). También presenta coloración rojiza probablemente por abundantes manchas de óxidos de Fe y manganeso (Mn). A partir de esto se puede decir que se trata de un basalto andesítico o andesita basáltica situada en una zona muy fracturada (Ver Figura 15).



Figura 15. Muestra macroscópica BR2 - 05A
Fuente: Autores

BR2 - 05B: Es un fragmento de roca de densidad media altamente meteorizado y fácil de fracturar (Se parten con las manos). Esta roca presenta un aspecto altamente verdoso (posiblemente importante desarrollo propilítico). En las partes frescas se observa una textura afanítica de color gris negruzco. Presencia de sulfuros de Cu y Fe diseminados y meteorizados. También algún filón de Q de morfología muy irregular. Por último, yeso en planos de fractura, formando posiblemente espejos de juntas o de falla. Se deduce por tanto que se trate de un basalto andesítico o andesita basáltica situada en una zona de falla (Ver Figura 16).



Figura 16. Muestra macroscópica BR2 - 05B
Fuente: Autores

BR3 - 001: Es una roca grisácea de densidad media en fracturas angulosas e irregulares. Presenta una estructura prácticamente afanítica, aunque en algunos puntos se observaron mineralizaciones de grano fino (<1mm). Se encuentra escasamente meteorizada, presentando alguna mancha ferrosa e incluso dichas mineralizaciones aparecen oxidadas. Se trata de una andesita (Ver Figura 17).



Figura 17. Muestra macroscópica BR3 - 001

Fuente: Autores

BR3-002: Es una roca grisácea de densidad media con fracturas irregulares y angulares, presenta textura afanítica con escasos fenocristales milimétricos de plagioclasas y cuarzo y algunos de pirita. En toda la muestra aparecen manchas diseminadas de óxido de hierro. En cuanto a las mineralizaciones se destacan muy finas ($\ll 1$ mm) de pirita y alguna esfalerita anhedral. Además, filoncillos milimétricos de óxidos y cuarzo, asociado este, a sulfuros (Ver Figura 18).



Figura 18. Muestra macroscópica BR3 - 002

Fuente: Autores

BR4 - 01: Es una roca gris negruzca de densidad media-alta y fracturas irregulares y angulares, completamente afanítica sin fenocristales. Se trata de una andesita basáltica (Ver Figura 20). Se observó, solo en los planos de fractura, partes muy finas ($\ll 1$ mm) de alteración y alguna pirita muy fina.



Figura 19. Muestra macroscópica BR4 - 01

Fuente: Autores

BR4 - 02: Es una roca gris verdosa de densidad media y fracturas angulosas e irregulares, textura afanítica, en la cual los microfeno-cristales son mineralizaciones milimétricas anhedral de color verdoso disperso, además algún grano de cuarzo y en filones (Ver Figura 20).



Figura 20. Muestra macroscópica BR4 - 02

Fuente: Autores

Los difractogramas generados a partir de las 15 muestras tomadas, poseen un error menor al 5%, debido a eso, fue posible realizar las cuantificaciones de los minerales presentes en cada una de ellas. Utilizando el software Origin 8.1 relacionamos los difractogramas de cada una de las minas para identificar las especies mineralógicas comunes y a partir de eso, lograr una interpretación mineralógica adecuada de la concesión minera "Bella Rica". Se procedió a la identificación de especies minerales comunes de cada labor minera (Ver figuras 21-24)

• *Bella Rica - 1*

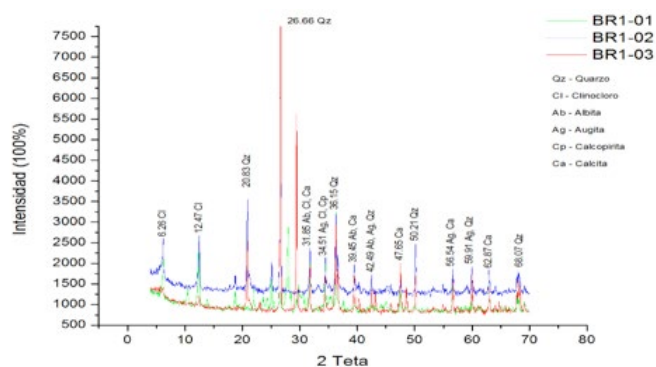


Figura 21. Difractogramas mina Bella Rica - 1
Fuente: Autores

• *Bella Rica - 2*

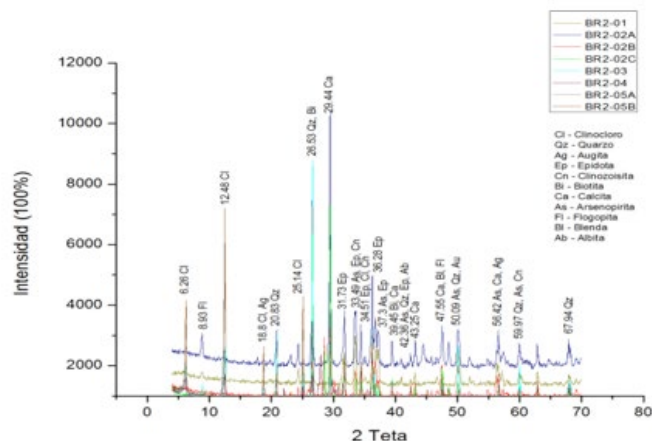


Figura 22. Difractogramas mina Bella Rica - 2
Fuente: Autores

• *Bella Rica - 3*

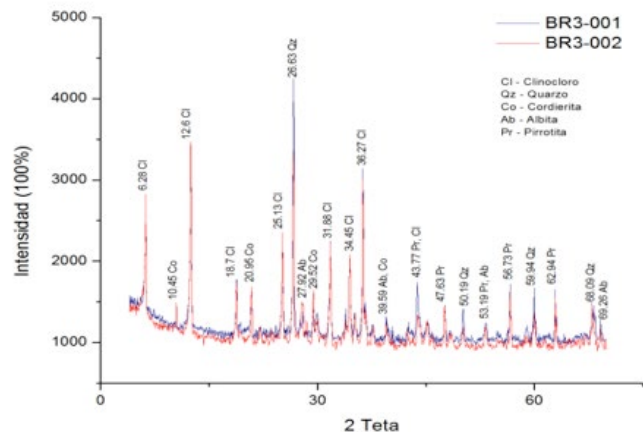


Figura 23. Difractogramas mina Bella Rica - 3
Fuente: Autores

• *Bella Rica - 4*

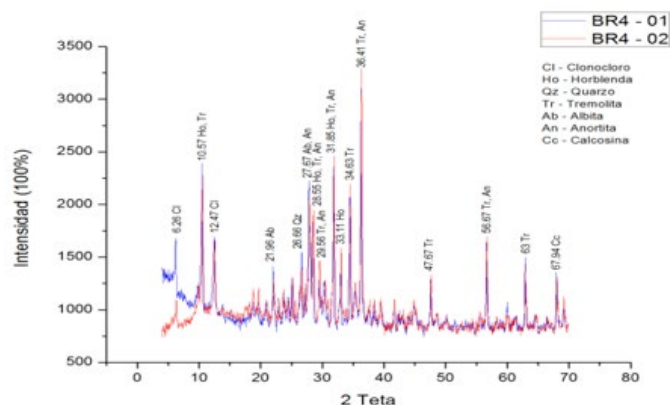


Figura 24. Difractogramas mina Bella Rica - 4
Fuente: Autores

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos se ha identificado una alteración silicatada Na-Ca o también llamada propilitica, en dónde se encuentran asociados minerales como biotita, epidota y clorita, además de otros como la albita, calcita y piritita. El cuarzo es un mineral que aparece en gran porcentaje en todas las muestras analizadas, su característica es que es muy resistente a la alteración hidrotermal, no es afectado a este cambio sino se llega a temperaturas superiores a 300°C. En cuanto al porcentaje de albita encontrado, la misma reemplaza a la biotita, caso similar ocurre con la calcita que reemplaza a la biotita y a la plagioclasa cálcica. La alteración de silicatos Na-Ca es la fase principal de la mineralización en stockwork en la mayoría de las labores mineras, este proceso tiene relación directa con la presencia de sulfuros encontrados, como son: piritita, calcopirita y pirrotita.

El enriquecimiento de oro está muy relacionado con las vetillas del stockwork y frecuentemente asociados con piritita+calcopirita, estos últimos minerales conocidos como refractarios, los cuales tienen la propiedad de encapsular el oro en sus redes cristalinas, haciendo imposible la obtención del mineral por vías gravimétricas.

El clinoclora es el mineral más frecuente encontrado en todas las muestras, resulta de la alteración hidrotermal de la hornblenda y la biotita y aparece asociado con la albita y calcita. La presencia de augita puede darse por la asociación mineral con la albita.

La biotita a pesar de ser un mineral que durante el proceso de propilitización ha sido reemplazado, se puede observar que existen pequeñas cantidades de éste, debido a que los fluidos hidrotermales no alteraron en su totalidad a este mineral.

La actinolita y la tremolita reemplazan a la biotita y hornblenda, pero la hornblenda también se asocia con la flogopita por lo que también es alterada pero no en su totalidad.

La epidota es un mineral típico de alteración hidrotermal, viene asociado con cuarzo y carbonatos, el cual resulta como producto del reemplazo de la plagioclasa cálcica. Proceso similar ocurre con la clinzoisita.

También se encontraron minerales en pequeñas cantidades como: cordierita, calcosina, fayalita, blenda y galena, que precipitaron junto con el fluido hidrotermal o también como accesorios de las rocas básicas.

En la primera labor analizada, la cual se encuentra a 941 m.s.n.m., se puede notar mediante la cuantificación de las muestras que el mineral predominante es el cuarzo con un 42.4% y 47.3% en la segunda y tercera muestra respectivamente, en la primera muestra el mineral predominante es la albita con 42.9%, la calcita, calcopirita y clinocloro son otros de los minerales presentes en gran cantidad en las muestras.

La segunda labor analizada se encuentra a 648 m.s.n.m., mediante la cuantificación de muestras se verificó que el cuarzo sigue siendo el mineral predominante, sin embargo, en estas muestras existe gran presencia de arsenopirita, un sulfuro que no es común dentro de la alteración propilítica, sin embargo, su presencia no es extraña en depósitos epi-mesotermales ya que su composición química (AsFeS), nos indica que tiene gran similitud con la pirrotita (FeS) y la piritita (FeS₂). En esta labor se encontró oro, el cual debió estar en el fluido hidrotermal que al momento de su depositación se asoció con los sulfuros presentes.

La tercera labor analizada se encuentra a 410 m.s.n.m., el mineral predominante es el clinocloro con un 48.8% y 59% respectivamente, aquí se comprobó que en este sector la alteración propilítica se dio en mayor intensidad, también se encuentran los minerales típicos de este tipo de alteración, como la albita, que viene asociada con el clinocloro y la pirrotita que intervienen en la fase principal de mineralización de stockwork.

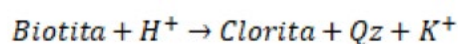
La cuarta labor analizada se encuentra a 450 m.s.n.m., en la primera muestra se encontró hornblenda y clinocloro, se verificó que la alteración propilítica no se realizó en su totalidad, además, la hornblenda se encontró en mayor porcentaje que el clinocloro que viene asociado con la albita; así mismo, en la segunda muestra, la presencia de la tremolita en reemplazo de la hornblenda demuestra que en ese sector la alteración fue más eficaz.

Según las muestras analizadas, las cuales eran rocas encajantes en la vecindad de una ocurrencia metasomática dada por la intrusión de un fluido hidrotermal en las zonas del estudio, se ha determinado la presencia dominante del mineral Clinocloro en

una proporción promedio del 37.5%; siendo sin duda el indicador principal de las alteraciones hidrotermales ocurrientes en el predio extractivo Bella Rica.

El Clinocloro es la variedad más común que existe de la Clorita. Este es un filosilicato constituido por un aluminosilicato de magnesio, hierro y aluminio; típico de alteraciones de piroxenos, anfíboles, biotita y granates, los cuales aparecen normalmente en rocas básicas, en este caso, las andesitas de Bella Rica; se asocia además, a la formación de filones hidrotermales de baja temperatura siendo concordante con la zonación de este depósito dándole la característica de epitermal, por lo tanto, la alteración que se evidencia en este sector por la intrusión de los fluidos es conocida como del tipo propilítica, la cual reúne estos minerales, en mayor proporción Clinocloro, siguiéndole Epidota, y Calcita y Plagioclasas (Albita).

La génesis del depósito epitermal formado en Bella Rica ha generado una alteración del tipo propilítica, siendo el evento más común la cloritización de la Biotita existente desde la formación de la roca encajante, es decir, el fluido hidrotermal ha atravesado la roca encajante aportando iones H⁺, esto debido a las características ácidas del fluido generando un intercambio de iones e interactuando con los minerales existentes en la roca, en este caso, el de interés: Biotita; generando de esta manera, la conocida “Cloritización de la Biotita” como se muestra a continuación:



El Cuarzo cuantificado por el análisis en DRX y en el petrográfico, puede ser producto de la cloritización de la biotita, ya que presenta también concentraciones considerables en las muestras; tal como ha sido la aportación de iones H⁺ a la roca, también pudieron ser añadidos a la composición de los nuevos minerales formados H₂O; CO₂, el cual participa en la formación de carbonatos cálcicos y finalmente aporte del ion S²⁻, responsable de la formación de sulfuros como piritita y arsenopirita, además de las propias lixiviaciones de roca que libera Ca²⁺, Na⁺ y K⁺, formadores de feldespatos como albita, anortita, etc.

Existe la ocurrencia de sulfuros como arsenopirita y piritita, los cuales confinan al oro en sus redes cristalinas, por lo que debe realizarse un análisis económico de la recuperación de los minerales presentes en las rocas encajantes por medios oxidantes para la obtención del metal de interés, ya que además de ser aprovechado el filón mineralizado, puede ser beneficioso el aprovechamiento de los minerales de la roca encajante en la vecindad, utilizando las técnicas adecuadas. Para un estudio más completo de asociaciones mineralógicas y minerales amorfos presentes, el análisis por láminas delgadas nos ayuda a llegar a una conclusión acertada.

Para un análisis más exhaustivo de las alteraciones mineralógicas en el cerro de Bella Rica, se deben analizar más labores en ese sector, las labores muestreadas en este trabajo fueron solo de la galería principal de cada una de ellas, para un estudio más completo se debe muestrear toda la labor. La cuantificación de minerales de cada muestra utilizando Difracción de rayos X ayudó a llegar a una conclusión en el estudio, pero resultaría beneficioso la adición de otras tecnologías de análisis.

AGRADECIMIENTOS

Es necesario agradecer al Decanato de Investigación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral que dio las facilidades para que el estudio sea desarrollado, así como también, al Laboratorio de Materiales (LEMAT) de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) y al Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cuervas-Mons, J; Jordá-Bordehore, L; Nazareno, J. A.; Escobar, K. F. (2015). Evaluación de la estabilidad de excavaciones mineras de pequeño diámetro mediante clasificaciones geomecánicas y análisis empíricos: en el caso de la mina San Juan, Ecuador, Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 35 : 19-28.
- [2] Aguirre, L., & Atherton, M. (1987). The nature and origin of granite. Londres.
- [3] Duque, J. (2000). Manual de Geología para ingenieros. Quito.
- [4] Pratt, J. (1997). Geología del Ecuador. En J. Pratt, Geología del Ecuador.
- [5] Thalmann, H. (1946). Geología del El Oro. Quito.
- [6] Vega, A. (2013). Cálculo de Reservas de la veta Paraíso Mina Paraíso-Distrito Ponce Enriquez.