



CienciAmérica: Revista de Divulgación Científica de la
Universidad Tecnológica Indoamérica

ISSN: 1390-9592

ISSN: 1390-681X

cienciamerica@uti.edu.ec

Universidad Tecnológica Indoamérica

Ecuador

Romero-Cóndor, Christian W.; Oñate-Acurio, Leyla L.;
Veliz-Zambrano, María E.; Castillo-Jara, Marilyn D.C.
CATÁLOGO DE MINERALES PESADOS UTILIZADOS EN ANÁLISIS DE PROVENIENCIA
EN LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL ECUADOR DESDE EL 2018 AL 2022

CienciAmérica: Revista de Divulgación Científica de la Universidad Tecnológica
Indoamérica, vol. 13, núm. 1, <https://doi.org/10.33210/ca.v13i1.428>, 2024, enero-junio

Universidad Tecnológica Indoamérica

Ecuador

- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en portal.amelica.org



CATÁLOGO DE MINERALES PESADOS UTILIZADOS EN ANÁLISIS DE PROVENIENCIA EN LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL ECUADOR DESDE EL 2018 AL 2022

*Catalog of heavy minerals used in provenance analysis in the
geological cartography of Ecuador from 2018 to 2022*
*Catálogo de minerais pesados utilizados na análise de proveniência
na cartografia geológica do Equador de 2018 a 2022*

Christian W. Romero-Cóndor¹, Leyla L. Oñate-Acurio², María E. Veliz-Zambrano³ &
Marílyn D.C. Castillo-Jarra³

1 Instituto de Investigación Geológico y Energético. Quito-Ecuador.

christian.romero@geoenergia.gob.ec

2 Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

leyla.onate@epn.edu.ec

3 Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador.

meveliz@uce.edu.ec, mdcastillog@uce.edu.ec

Fecha de recepción: 16 de julio de 2023.

Fecha de aceptación: 17 de enero de 2024.

RESUMEN

INTRODUCCIÓN. La cualificación y cuantificación de minerales pesados permite analizar la historia del transporte del detrito disponible para la sedimentación, además, comprender características sobre el transporte de sedimentos y la dirección de la dispersión del detrito, los cambios geomorfológicos, la evolución tectónica, la discriminación paleo-ambiental y la historia geológica del relieve que habitamos. **OBJETIVO.** Esta investigación presenta criterios para discriminar y correlacionar unidades litoestratigráficas en la cartografía geológica regional, en base al análisis de minerales pesados. **MÉTODO.** La separación de minerales pesados incluye la elaboración de columnas estratigráficas en campo, procesamiento de muestra en laboratorio y el análisis de índices de minerales pesados. **RESULTADOS.** Desde 2018 a 2022 se analizaron 339 montajes de 51 unidades litoestratigráficas reportadas en mapas geológicos en Ecuador. Los minerales pesados más comunes encontrados son: circón, turmalina, rutilo, monacita, anatasa, titanita, apatito, diópsido, enstantita, hipersteno, augita, actinolita,



Romero-Cóndor, Oñate-Acurio, Veliz-Zambrano & Castillo-Jarra. Catálogo de minerales pesados utilizados en análisis de proveniencia en la cartografía geológica del Ecuador desde el 2018 al 2022.

Enero - Junio 2024

<https://doi.org/10.33210/ca.v13i1.428>



Compartir

hornblenda, cianita, andalucita, sillimanita, granate. **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.** El empleo de índices de minerales pesados en el análisis de proveniencia permite determinar con mayor confiabilidad el origen del detrito que forma las rocas y discriminar unidades litoestratigráficas.

Palabras claves: Separación de minerales pesados, índices de minerales pesados, columnas estratigráficas, cartografía geológica.

ABSTRACT

INTRODUCTION. The qualification and quantification of heavy minerals allow us to analyze the history of the transport of detritus available for sedimentation, in addition to understanding characteristics of sediment transport and the direction of detritus dispersion, geomorphological changes, tectonic evolution, and paleo-discrimination, the environmental and geological history of the relief we inhabit. **OBJECTIVE.** This research presents criteria to discriminate and correlate lithostratigraphic units in regional geological cartography based on the analysis of heavy minerals. **METHOD.** The separation of heavy minerals includes the preparation of stratigraphic columns in the field, sample processing in the laboratory, and the analysis of heavy mineral indices. **RESULTS.** From 2018 to 2022, 339 assemblies of 51 lithostratigraphic units reported on geological maps in Ecuador were analyzed. The most common heavy minerals found are zircon, tourmaline, rutile, monazite, anastase, titanite, apatite, diopside, enstatite, hypersthene, augite, actinolite, hornblende, kyanite, andalusite, sillimanite, garnet. **DISCUSSION AND CONCLUSIONS.** The use of heavy mineral indices in the provenance analysis allows us to determine with more excellent reliability the origin of the detritus that forms the rocks and to discriminate lithostratigraphic units.

Keywords: Separation of heavy minerals, heavy mineral indices, stratigraphic columns, geological mapping.

RESUMO

INTRODUÇÃO. A qualificação e quantificação de minerais pesados permite analisar o histórico do transporte de detritos disponíveis para sedimentação, além de compreender características do transporte de sedimentos e direção de dispersão de detritos, alterações geomorfológicas, evolução tectônica, paleo-discriminação. história geológica do relevo que habitamos. **OBJETIVO.** Esta pesquisa apresenta critérios para discriminar e correlacionar unidades litoestratigráficas na cartografia geológica regional, com base na análise de minerais pesados. **MÉTODO.** A separação de minerais pesados inclui a preparação de colunas estratigráficas em campo, o processamento de amostras em laboratório e a análise de índices de minerais pesados. **RESULTADOS.** De 2018 a 2022, foram analisados 339 conjuntos de 51 unidades litoestratigráficas relatadas em mapas geológicos do Equador. Os minerais pesados mais comuns encontrados são: zircão, turmalina, rutilo, monazita, anastaza, titanita, apatita, diopsídio, enstatite, hiperstênio, augita, actinolita, hornblenda, cianita, andaluzita, sillimanita, granada. **DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.** A utilização de índices de minerais pesados na análise de procedência permite determinar com maior confiabilidade a origem dos detritos que formam as rochas e discriminar unidades litoestratigráficas.

Palavras-chave: Separação de minerais pesados, índices de minerais pesados, colunas estratigráficas, mapeamento geológico.



INTRODUCCIÓN

Los minerales pesados son componentes de alta densidad presentes en las rocas [1]. Se consideran minerales pesados aquellos minerales que tienen densidades superiores a 2.86 g/cm^3 [2]. Estos minerales se presentan en proporciones menores al 1% del volumen de la roca total [3]. Debido a su alta densidad los minerales pesados usualmente son altamente resistente a la intemperie, a la meteorización química, física y a la abrasión en el transporte de sedimento [4]. En función de las propiedades ópticas, los minerales pesados se dividen en dos grupos: opacos y no opacos [2]. Los minerales pesados opacos incluyen magnetita, hematita, ilmenita, limonita, pirita y menas magnéticas [1]. Los minerales pesados no opacos comprenden un grupo de 117 minerales, los cuales son utilizados para analizar la proveniencia de rocas detríticas, mediante su cualificación y cuantificación [4].

La concentración de minerales pesados se la realiza mediante la disgregación de rocas, trituración, tamizado, secado, separación de una fracción ligera y una fracción pesada utilizando líquidos densos [2, 5]. Los minerales pesados se identifican en base a la descripción de sus propiedades ópticas bajo el microscopio polarizador [3]. El análisis de minerales pesados puede ayudar a comprender la procedencia del detrito que forma la roca, los patrones de dispersión de diferentes secuencias sedimentarias, variaciones laterales y correlación de series de rocas, discriminación estratigráfica de unidades litoestratigráficas representadas en los mapas geológicos y la reconstrucción de la historia geológica del área de estudio [4].

En Ecuador, el análisis de minerales pesados permitió discriminar unidades geológicas cartografiables a diferentes escalas y entender la evolución paleogeográfica de ciertas regiones del país, contribuyendo a la comprensión del contexto geológico regional [6-10]. En la Amazonía, se determinó que el detrito que forma las rocas sedimentarias del Cretácico Superior, en las formaciones Hollín y Napo proviene de la erosión de antiguas provincias ígneas del cratón de Sudamérica, que actualmente afloran al sur este del continente, esto supone importantes cambios en la paleogeografía [6-8].

Sin embargo, en otras regiones del país, no existe una adecuada población de resultados de análisis de minerales pesados, que permitan discutir el origen de secuencias de rocas sedimentarias. Gran parte de este problema se atribuye a que, en Ecuador, ni la academia, ni los institutos de investigación en ciencias de la tierra, ni la industria han desarrollado una metodología que pueda ser replicable a gran escala, en cuanto a la separación de minerales pesados y estudios de proveniencia. Tampoco existe un catalogo de minerales pesados que pueda ser empleado en la identificación y descripción de minerales pesados y en análisis de proveniencia. En este contexto, es evidente la ausencia de información sobre la proveniencia de las unidades litoestratigráficas reportadas en los mapas geológicos, este problema conlleva a que varias secuencias de rocas sedimentarias fueron representadas de manera errónea en





los mapas geológicos, debido al desconocimiento en las proporciones de minerales pesados dentro de cada secuencia.

Este trabajo presenta 1) el detalle de la metodología utilizada para la obtención de minerales pesados; 2) hace énfasis en la construcción y presentación de un catálogo de los principales minerales pesados reportados en Ecuador, el cual pueda ser utilizado como línea base para futuras investigaciones; 3) realiza una discusión sobre los principales índices minerales que permiten evaluar la proveniencia de series de rocas enfocado a la cartografía geológica regional; 4) expone un caso de estudio en el que se analiza la proveniencia de una secuencia de rocas sedimentarias en base a los minerales pesados identificados y el empleo de índices de minerales pesados.

MÉTODO

En cuanto a la metodología empleada en la separación de minerales pesados se consideró a Mange y Maurer [2] y Andò [5] quienes describen a detalle el procedimiento en laboratorio para la separación de minerales pesados, estandarizado internacionalmente. La metodología utilizada en esta investigación incluye parámetros a considerar en el trabajo de campo, que deben ser utilizados en la adquisición de información geológica a escala regional (escala 1:100 000 y 1:50 000). Esta metodología se presenta en la Figura 1 y es detallada a continuación:



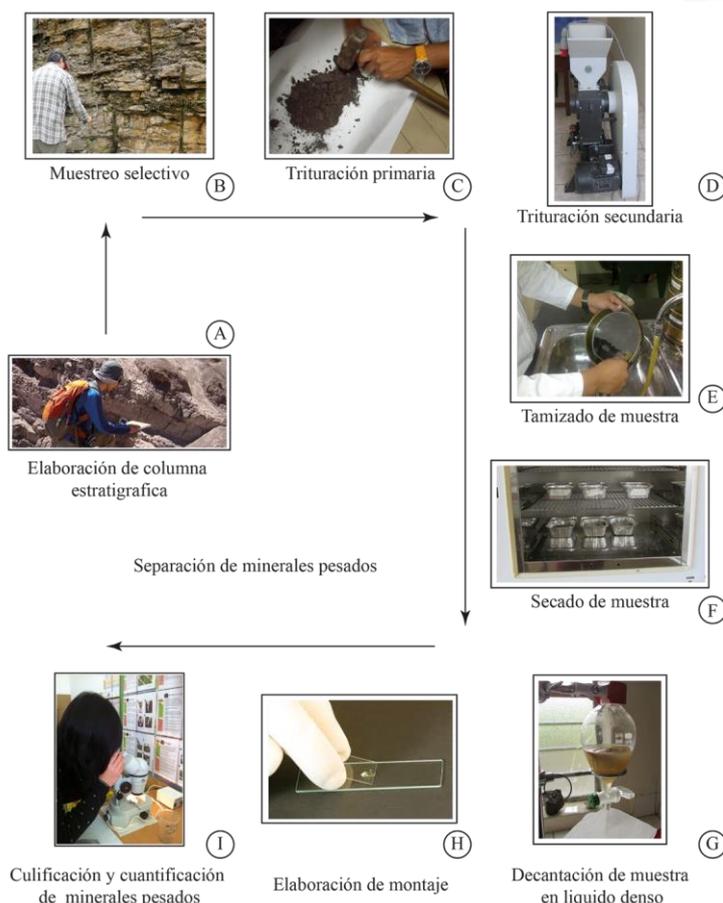


Figura 1. Metodología para obtener minerales pesados.

Todos los procedimientos de laboratorio fueron realizados bajo la norma NTE INEN-ISO/IEC 17025: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (ISO/IEC 17025:2017, IDT).

Elaboración de columna estratigráfica

Los estudios de proveniencia a partir de minerales pesados enfocados a la discriminación de unidades litoestratigráficas a escala regional no pueden ser realizados sin la previa elaboración de una columna estratigráfica. La columna estratigráfica debe incluir la ubicación de afloramientos estudiados y el detalle de las relaciones estratigráficas de secuencias de rocas analizadas. Las variaciones en el tamaño de grano, tendencias en el tamaño de estrato, geometría de los estratos, estilos de apilación vertical, superficies de erosión y estructuras primarias de las rocas de interés son representadas a detalle en una columna estratigráfica. Este conjunto de datos es la base para la selección de los sitios de interés a recolectar la muestra.

Muestreo selectivo de estratos de interés

Las muestras recolectadas fueron ubicadas en una columna estratigráfica. El peso recomendado de muestra seca es de 1 Kg a 3 Kg., ignorando zonas alteradas e

intensamente meteorizadas; también se evitó contaminar la muestra con detrito y fluidos adyacentes al sitio de muestreo. Las muestras fueron debidamente almacenadas en fundas de polímero III y herméticamente selladas. La etiqueta incluyó las coordenadas del afloramiento y el código de muestra.

Trituración primaria

En la trituración primaria se redujo el tamaño de la muestra a partículas de grava, esta etapa consistió en la desintegración de la muestra de mano en fragmentos centimétricos a milimétricos con ayuda de un combo o martillo, sobre una superficie plana y aislada de contaminación.

Trituración secundaria

En la trituración secundaria de la muestra se utilizaron trituradoras de mandíbulas de carburo de tungsteno (marca RETSCH, modelo BB200). Posteriormente, la muestra fue sometida a una trituradora de disco (marca RETSCH, modelo BB200), y finalmente el material fue molido en una trituradora de cilindros (marca RETSCH, modelo BB200). Este paso buscó disminuir y unificar el tamaño de la muestra en un diámetro menor a 300 micras.

Tamizado de la muestra

En el tamizado de muestra se utilizó la tamizadora AS200 marca RETSCH. El tamizado de la muestra buscó homogenizar el tamaño de 250 a 45 micras. Esta etapa permitió eliminar mezclas heterogéneas y fracción arcillosa de la muestra. El tamizado se realizó en húmedo, utilizando mallas de 45, 150, 250, 300 micras, las fracciones de interés son las mayores a 45 micras y menores a 250 micras. El resto de las fracciones fueron recuperadas y almacenadas. El tamizado se realizó a una frecuencia de vibración superior a 2.2 Hz y un tiempo de tamizado de 10 minutos. La limpieza de los tamices o cribas fue esencial, cada tamiz fue limpiado en un ultrasonido (marca RETSCH, modelo UR-1) a frecuencia constante durante 5 minutos, antes de ser reutilizado.

Secado de la muestra

Las muestras fueron secadas en una estufa marca POL-EKO, modelo SLW 750 TOP. Al secar la muestra se utilizaron bandejas de acero inoxidable con el fin de evitar contaminación de la muestra. La temperatura de la estufa de secado no superó los 60° C. El tiempo de secado varió de muestra en muestra, sin embargo, no fue menor a 12 horas.

Separación de minerales pesados a través de líquido denso

El medio denso que se utilizó para la decantación de minerales fue politungstato de sodio, nivel 1 (SP-1) preparado en mezcla hidratada a densidad 2.9 g/cm³. La proporción de muestra y SP-1 nunca fue mayor a 1:3, para evitar la saturación del medio denso. El SP-1 se colocó en un embudo de decantación, donde



se esperó a que el líquido se estabilice y se colocó la muestra, se revolvió con una varilla de agitación. En lo posterior, se esperó la separación de la muestra en dos fracciones. La fracción ligera, compuesta por minerales con peso específico menor a 2.9 g/cm^3 que flotó en el líquido denso. Mientras que, la fracción pesada, que contiene a los minerales con peso específico mayor a 2.9 g/cm^3 y se hundió. Se separaron las dos fracciones y se filtró el SP-1, con ayuda de papel filtro Nro. 1.

Elaboración de montaje de minerales pesados

La elaboración del montaje de minerales pesados se la realizó en una cámara al vacío. En la elaboración del montaje de minerales pesados se utilizó piperina en polvo ($\text{C}_{17}\text{H}_{19}\text{NO}_3$, resina epóxica de índice de refracción homogéneo próximo a 1,54 [2]). En una plaqueta caliente se colocó la lámina delgada con los minerales pesados, se esperó a que la lámina este a una temperatura mayor a 40° y se colocó de 15 a 35 miligramos de piperina. En lo posterior, se colocó un cubreobjetos y se esperó a que la lámina se enfríe a temperatura ambiente.

Cualificación y cuantificación de minerales pesados

La observación de las propiedades ópticas de minerales pesados se la realizó a través de los montajes de minerales pesados en un microscopio de luz polarizada, marca Nikon modelo Eclipse 80i. La descripción incluyó características físicas como son: hábito, color, brillo, fractura y macla [2].

RESULTADOS

Desde el año 2018 al 2022, en el laboratorio de Metalurgia Extractiva del Instituto de Investigación Geológico y Energético, del Ecuador, se realizaron 339 montajes de minerales pesados obtenidos de 51 formaciones geológicas de la Cuenca Oriente, Zona Subandina, Cordillera Real, Valle Interandino y Cuenca Alamor Lancones. El espectro de minerales pesados incluye: circón, turmalina, rutilo, monacita, anatasa, titanita, apatito, diópsido, enstantita, hipersteno, augita, actinolita, hornblenda, cianita, andalucita, sillimanita y granate. A continuación, se presenta el detalle de las principales características ópticas observados en los minerales pesados [2].

Circones

El circón tiene sistema cristalino tetragonal, se presenta en hábito tabular a prismático, puede presentar buen grado de redondez, es translúcido, sin embargo, según su composición química el color puede variar en rosa, morado, rojo, naranja, amarillo, azul o gris, presenta brillo intenso, tiene muy alto relieve, fuerte birrefringencia, usualmente se observan granos alargados, equidistantes, euhédricos con inclusiones, su exfoliación es indistinta y es fluorescente en luz ultravioleta [2, 10] (Figura 2A-2H).





Turmalina

La turmalina pertenece al sistema cristalino trigonal, uniaxial, se presenta en hábito prismático, euhédrico, se observa pleocroísmo moderado a fuerte, de relieve moderado, con colores marrones a cafés y bajo brillo (Figura 2I-2K).

Rutilo

El rutilo pertenece al sistema cristalino tetragonal, uniaxial, se observan cristales de hábito prismático, acicular, estriados, de color amarillo a marrón rojizo con pleocroísmo débil, extinción recta y relieve muy alto (Figura 2L-2O).

Monacita

La monacita pertenece al sistema cristalino monoclinico, biaxial, se observan cristales prismáticos, tabulares e irregulares, subhedrales a euhedrales, que pueden presentar alta redondez, es común observar granos con alto relieve, de brillo resinoso, de color amarillo a pálido, blanco ámbar y es común observar glóbulos aciculares en forma de inclusiones (Figura 2P-2S).

Anatasa

La anatasa pertenece al sistema tetragonal, uniaxial, se presenta en cristales de hábito tabular, de formas autogénicas, con geometría rectangular en vista de planta, pueden llegar a desarrollar alta redondez, su relieve es extremadamente alto, y tiene brillo sub-metálico, en colores metálicos azulados, grises y amarillos, los cristales desarrollan extinción paralela, alto pleocroismo y birrefringencia (Figura 2T-2V).



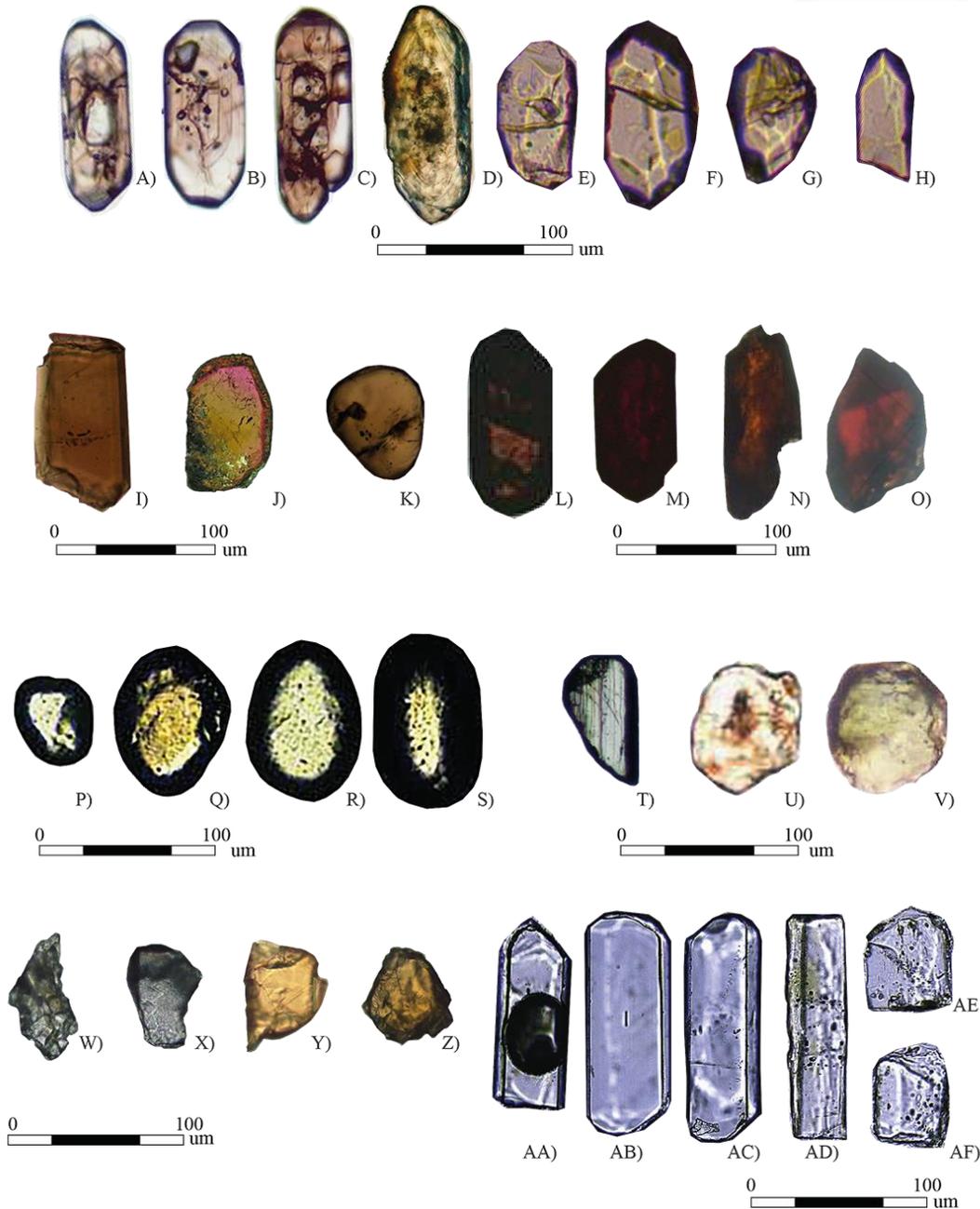


Figura 2. Lámina de minerales pesados 1. A-D. Circones euhedrales; E-H. Circones subredondeados; I. Turmalina euhedral; J. Turmalina subhedral; K. Turmalina redondeada; L. Rutilo euhedral; M-N. Rutilo subhedral; O. Rutilo redondeado; P-Q. Monacita subredondeada; R-S. Monacita redondeada; T. Anatasa subhedral; U-V. Anatasa redondeada; W. Titanita euhedral; X-Y. Titanita subhedral; AB. Titanita redondeada; AC-AD. Apatito euhedral; AE-AF. Apatito subhedral; AG-AH. Apatito redondeado.

Titanita

La titanita pertenece al sistema cristalino monoclinico biaxial, se observan cristales euhédricos romboidales, de muy alto relieve, con brillo resinoso y pleocroísmo amarillo a marrón. Los cristales pueden desarrollar moderada redondez con bordes irregulares, maclas bien desarrolladas y fractura sub concoidea (Figura 2W-2AB).

Apatito

El apatito pertenece al sistema cristalino hexagonal, uniaxial, se presenta en granos de hábito tabular, alargado, euhedral a subhedral, de relieve moderadamente alto, forma prismática, débil birrefringencia, incoloro, extinción recta y de bajo brillo (Figura 2AC-2AH).

Diópsido

El diópsido pertenece al sistema cristalino monoclinico, biaxial, se presenta en cristales prismáticos subeuhedrales, que pueden desarrollar redondez moderada. Los granos son incoloros a verdes pálidos, de brillo vítreo a mate, con colores de birrefringencia moderados a fuertes, con relieve moderado y alto ángulo de extinción (Figura 3A-3B).

Enstatita

La enstatita pertenece al sistema cristalino ortorrómbico, biaxial, se presenta en cristales de hábito prismático cortos y largos, con terminaciones irregulares, también se observan hábitos laminares y fibrosos. Los cristales son incoloros, sin embargo, en ocasiones se pueden observar color gris a verde, con lustre nacarado a vítreo. No tiene pleocroísmo y su extinción es paralela (Figura 3C-3D).

Hiperstena

La hiperstena pertenece al sistema cristalino ortorrómbico, biaxial, se presenta en cristales de hábito granular masivo que pueden desarrollar redondez moderada, de color blanco a gris verdoso, translúcido, de brillo vítreo a nacarado, de birrefringencia alta a moderada, con clivaje paralelo y extinción simétrica (Figura 3E-3G).

Augita

La augita pertenece al sistema cristalino monoclinico, biaxial, se presenta predominantemente en forma euhedral a subhedral, de prismas delgados cortos o largos con terminaciones irregulares. Aparece en varios tonos de verde, marrón o marrón amarillento, de brillo resinoso, traslúcido u opaco, fractura irregular, elongación positiva y birrefringencia moderada [2] (Figura 3H-3I).

Tremolita – Actinolita

La actinolita pertenece al sistema cristalino monoclinico, biaxial, los granos se presentan con hábito prismático, alargados o cortos, irregulares, subhedral, que



pueden desarrollar buena redondez. Los granos pueden ser incoloros o presentar colores verdes a grises pálidos, no tiene pleocroismo, el relieve es bajo y elongación positiva (Figura 3J-3k).

Hornblenda

La hornblenda pertenece al sistema cristalino monoclinico. Los miembros de la serie hornblenda son los más comunes en anfíboles detríticos. La morfología varía desde prismas cortos o delgados, fragmentos irregulares o rectangulares, hasta lascas largas y delgadas. Los colores característicos de la hornblenda son verde azulado, marrón verde y marrón, de brillo vítreo a mate y opacos. Tienen birrefringencia moderada a fuerte y elongación positiva (Figura 3L-3M).

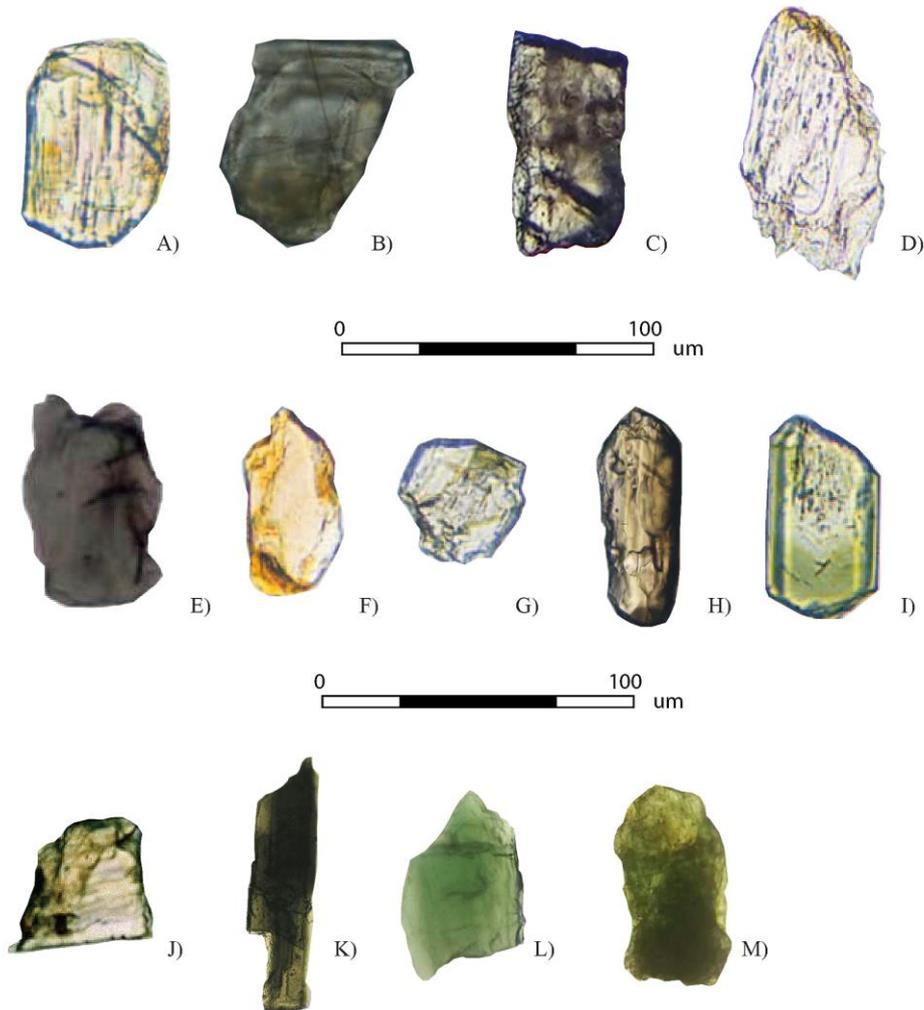


Figura 3. Lámina de minerales pesados 2. A-B. Diópsido subhedral. C. Enstatita euhedral; D. Enstatita redondeado; E-G. Hiperstena subhedral; H-I. Augita subhedral; J-K. Actinolita subhedral; L-M. Hornblenda subhedral.

Cianita

La cianita pertenece al sistema cristalino triclínico, biaxial. El hábito de la cianita es tabular, sin embargo, los granos detríticos de cianita se presentan en fragmentos y escamas irregulares de baja esfericidad. Los granos son predominantemente incoloros o rara vez azules, a menudo con una distribución de color desigual. Presentan alto relieve, birrefringencia media, colores de interferencia amarillos de primer orden y elongación positiva (Figura 4A-4B).

Andalucita

La andalucita pertenece al sistema cristalino ortorrómbico, biaxial. La morfología de la andalucita detrítica es angular irregular, ocasionalmente prismática, subredondeada y rara vez bien redondeada. Sus granos son incoloros o con un tinte rosáceo, con brillo vítreo a graso, además tiene relieve medio a bajo, con colores de interferencia de primer orden grises a blancos y elongación negativa (Figura 4, literal C).

Sillimanita

La sillimanita pertenece al sistema cristalino ortorrómbico, biaxial. Los cristales ocurren como prismas largos y delgados, fragmentos prismáticos cortos y robustos, granos equidistantes y fragmentos irregulares alargados fibrosos. Los granos prismáticos son incoloros. Los granos fibrosos tienen tonos verdes pálido o marrón pálido. Su brillo es vítreo a sedoso y tiene fractura irregular. Su birrefringencia es moderada a fuerte, presenta ligero pleocroísmo marrón pálido a amarillo pálido. (Figura 4D).

Granate

Los granates son minerales isométricos, se presentan en hábitos rómbicos o cúbicos. Los granates detríticos se presentan como cristales euhédricos, fragmentos irregulares afilados y granos sub redondeados a redondeados. Los granates pyralspites son incoloros, de color rosa pálido claro, rojo pálido o marrón rosado. La grosularia del grupo de la ugrandita es de incolora a verde pálido, la andradita es de color marrón claro a oscuro y la uvarovita es de color verde pálido. En general presentan brillo vítreo a resinoso, su fractura es concoidal a desigual y su exfoliación es indistinta (Figura 4E).



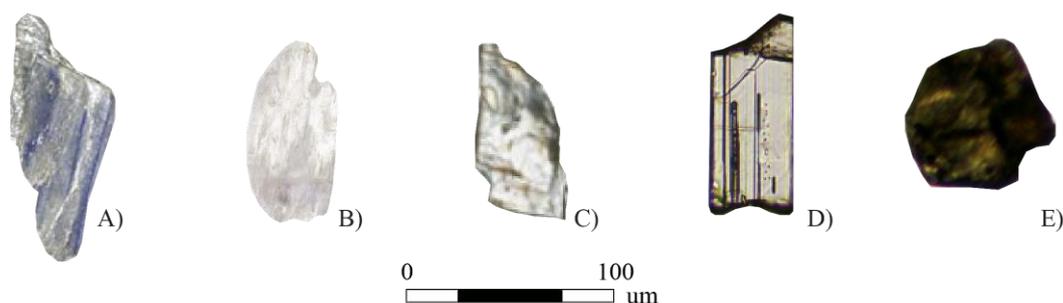


Figura 4. Lámina de minerales pesados 3. A-B. Cianita subhedral; C. Andalucita euhedral; D. Sillimanita euhedral; E. Granate subhedral.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

¿Qué son los análisis de procedencia y porque se utilizan minerales pesados?

Los análisis de procedencia buscan determinar el origen de las rocas, a partir del análisis de características físicas y químicas de las rocas [11]. En específico, en las rocas detríticas, los análisis de procedencia tienen como objetivo determinar el origen del detrito que las componen [12]. El detrito que compone las rocas proviene de una determinada zona fuente, que pueden ser caracterizadas mediante el análisis petrográfico, geoquímico o geocronológico de las rocas detríticas [11]. La cualificación y cuantificación de minerales pesados presentes en las rocas detríticas permiten caracterizar la composición mineralógica de las zonas fuente, debido a que los minerales pesados son altamente resistentes a la intemperie, además que resisten procesos de meteorización y erosión [2, 13]. La cuantificación de minerales pesados permite generar modelos estadísticos aplicados a la geología, que contribuyen a la comprensión de la historia geológica en el planeta [14].

Factores para considerar antes de utilizar el espectro de minerales pesados en análisis de procedencia

Los minerales pesados están ampliamente aceptados como indicadores valiosos de procedencia, también es evidente que la composición de un conjunto individual de minerales pesados depende de muchos otros factores, como son: 1) las reacciones químicas en la meteorización que conduce a la eliminación de minerales susceptibles a la oxidación o disolución ácida. 2) la disponibilidad del tamaño de grano debido a que los minerales que normalmente se presentan como cristales pequeños estarán subrepresentados en las arenas gruesas. 3) el transporte que conduce a la separación hidráulica de minerales con diferentes densidades y formas. 4) la diagénesis que conduce a la eliminación de minerales susceptibles a disolución por la circulación de aguas calientes en subsuelo [15].

Estos procesos pueden conducir a conjuntos detríticos de carácter muy diferente al de sus rocas fuentes, con algunos minerales ausentes y otros presentes en proporciones muy diferentes, a menos que estén presentes minerales muy

distintivos que puedan relacionarse con una roca fuente específica [16]. Esta modificación en el rango y la proporción de minerales puede generar una dificultad considerable en la interpretación de las firmas de proveniencia [14]. Por lo tanto, los procesos de disolución meteórica y diagenética de minerales inestables pueden resultar en la concentración de fracciones compuestas por pocos minerales ultraestables, típicamente circón, rutilo, turmalina y monacita [15]. Por el contrario, las asociaciones derivadas de una sola roca fuente pueden mostrar una variación sustancial en la composición respecto a los efectos de la disponibilidad del tamaño de grano y la clasificación hidráulica [14]. Debido a los efectos descritos anteriormente, la comparación de minerales pesados usando solo datos porcentuales puede ser muy poco confiable.

Morton [17] propuso utilizar índices minerales para minimizar los efectos de la clasificación hidráulica. Los índices minerales reflejan la abundancia relativa de minerales con un comportamiento hidráulico similar [16]. Un índice de dos componentes puede relacionarse con dos minerales diferentes o con dos variedades del mismo mineral [15]. Otra restricción propuesta por Morton [17] fue que el análisis de minerales pesados debería llevarse a cabo en una sola fracción de tamaño; eliminando así, los efectos de la disponibilidad de tamaño de grano. La fracción de arena muy fina utilizable es desde 64 micras a 125 micras, porque los minerales pesados de este tamaño se pueden obtener de areniscas de todos los tamaños de grano e inclusive de la matriz de arena de los conglomerados [15].

Índices minerales

Los efectos diagenéticos se minimizan mediante el uso de índices basados en minerales pesados resistentes a la alteración diagenética [4]. Los índices de minerales pesados se utilizan habitualmente en estudios de procedencia: circón-turmalina-rutilo, rutilo/circón, granate/circón, monacita/circón, y apatito/turmalina [2]. Estos se seleccionan debido a la resistencia de los minerales componentes a la disolución diagenética [15]. A continuación, se describen estos índices:

Índice de madurez circón-turmalina-rutilo (ZTR). – es una medida de la madurez mineralógica de minerales pesados [2]. Hace referencia al porcentaje de granos de circón, turmalina y rutilo presentes en el espectro de minerales pesados. Este porcentaje se normaliza aritméticamente y se evalúa sobre 100% [13]. El circón, la turmalina y el rutilo son particularmente resistentes tanto a la descomposición química como a la abrasión mecánica y pueden sobrevivir al reciclaje múltiple [4].

Índice rutilo/circón (RZi). - es un indicador de procedencia muy fiable, ya que tanto el rutilo como el circón son altamente estables [14]. Sin embargo, esta estabilidad también favorece el reciclaje, de forma que gran parte de la firma puede ser heredada de sedimentos anteriores [15]. El rutilo es un constituyente común de rocas ígneas básicas y pelíticas metamorfoseadas; mientras que, el circón es un mineral ampliamente distribuido en granitos y otras rocas plutónicas [2]. Por lo tanto, la



Compartir



Compartir

variación en los valores de RZi puede reflejar la variación en la proporción de la fuente metamórfica y plutónica [15].

Índice monacita/circón (MZi). - es un indicador de procedencia fiable ya que ambos minerales son muy estables y resistentes a cambios de temperatura [17]. La monacita se presenta como un constituyente menor en rocas plutónicas, por lo cual este índice será proporcional al contenido detrítico procedente de fuentes ígneas [15].

Índice granate/circón (GZi). - es un indicador confiable de la procedencia de rocas pelíticas metamorfoseadas [2]. El granate generalmente no se ve afectado por la intemperie, pero se disuelve en aguas subterráneas fuertemente ácidas y es susceptible de disolución en condiciones de enterramiento profundo [15]. Los granos en proceso de disolución se caracterizan por contornos de grano fuertemente grabados [17]. El índice es directamente proporcional a la cantidad de detrito procedente de fuentes metamórficas dominadas por pelitas.

Índice apatito/turmalina (ATi). - es un indicador potencial de procedencia ígnea evaluada en función de la fuente metamórfica [2], pero también está fuertemente influenciado por la meteorización, especialmente en condiciones de bajo relieve y meteorización húmeda [15].

Índice hornblenda/turmalina (HTi). - es un buen indicador de proveniencia a partir de rocas generadoras ígneas básicas y metamórficas básicas [2]. Es decir, este índice es proporcional al contenido detrítico vinculado a una fuente ígnea básica [15].

Índice de circón euhedral (eZi). - indica el porcentaje de circones con forma de cristal euhedral [2]. Para este propósito, el término euhédrico se aplica a todos los granos que muestran terminaciones piramidales bien definidas, incluyendo aquellos que presentan alguna abrasión de los ángulos interfaciales [15]. Es probable que la mayoría de los circones euhédricos así definidos sean primarios es decir derivados del magma origen. La variación en el índice de circón euhédrico puede reflejar diferentes grados de abrasión (madurez física) o diferentes procedencias [17].

A continuación, se expone un caso de estudio en donde a partir de la identificación y cuantificación de minerales pesados, se utilizan índices de minerales pesados en la discriminación de unidades litoestratigráficas en la cartografía geológica regional.

Caso de estudio: Discriminación de la Formación Cerro Mandango y la Unidad El Suro en la cuenca de Vilcabamba.

La Formación Cerro Mandango consiste en una secuencia de conglomerados matriz y clasto soportados, polimodales y polimícticos intercalados entre gruesos estratos de areniscas líticas que aflora al sureste de la cuenca de Vilcabamba al sur de la ciudad de Loja. Esta secuencia es interpretada como el registro estratigráfico de sistemas de ríos trenzados de alta energía desarrollados en el Mioceno Superior [18]. INIGEMM [19], reportó la presencia de una unidad litoestratigráfica diferente a la





Formación Cerro Mandango en la misma cuenca, la cual denomino Unidad El Suro, en donde se agruparon secuencias de paraconglomerados intercalados con tobas de lapilli (Figura 5A). En campo, las características físicas de estas dos unidades dificultan la identificación y discriminación de estas secuencias. En este caso, los análisis de proveniencia, específicamente el análisis de minerales pesados y el empleo de índices de minerales pesados pueden dar una guía para su correcta identificación e implementación.

Se recolectaron 13 muestras de la Formación Cerro Mandango y 10 muestras de la Unidad El Suro, en las cuales se realizó el procedimiento de separación cualificación y cuantificación de minerales pesados, en busca de evaluar los índices minerales y analizar su proveniencia. La tabla 1 y la figura 5 presentan los resultados obtenidos a partir de la cualificación y cuantificación de minerales pesados, los cuales son descritos a continuación.





Tabla 1. Concentraciones de minerales pesados normalizadas.

Código	Circón	Turmalina	Rutilo	Monacita	Anatasa	Titanita	Apatito	Diópsido	Augita	Hornblenda	Cianita	Granate
ES1	10,8	3,7	2,9	3,7	4,4	13,4	11,1	12,3	9,7	26,1	1,1	0,3
ES2	10,8	4,6	5,4	3,9	7,9	11,5	11,5	9,4	9,7	23,1	1,8	0
ES3	11,8	5,3	5,7	3,9	8,2	10,7	11,8	8,2	9,6	21,8	1,7	0,7
ES4	11,0	5,1	5,9	4,8	7,5	11,0	12,4	7,5	10	21,3	2,0	1,0
ES5	11,7	5,7	5,7	4,7	8,0	11,4	11,4	7,4	10,1	21,2	2,0	0,3
ES6	11,7	6,2	5,9	4,5	8,1	11,7	12,7	7,1	9,8	20,5	0,9	0,3
ES7	12,1	5,7	6,1	4,8	8,3	12,1	12,1	6,4	9,9	19,8	2,2	0
ES8	9,3	6,7	6,4	5,1	8,0	10,6	12,9	6,4	10,3	20,3	2,9	0,3
ES9	11,9	8,9	6,2	5,0	7,7	10,4	12,5	5,6	9,8	18,7	2,9	0
ES10	12,3	9,7	6,1	5,5	7,9	8,8	12	5,2	10	18,5	3,2	0,2
CM1	20,6	10,1	12,3	9,5	2,7	0	9,2	1,2	0	1,5	14,1	18,2
CM2	21,4	9,9	13,0	9,9	1,8	1,5	9	1,2	0,3	2,1	13,0	16,1
CM3	22,7	10,2	14,1	9,9	1,6	0	8,9	1,6	0	0,6	14,1	15,8
CM4	22,8	9,3	14,1	11,2	1,6	2,2	8,3	0,6	0	2,8	12,5	14,1
CM5	22,6	9,0	14,8	11,9	1,6	2,9	8,4	0,6	0,9	0,9	11,9	13,9
CM6	24,0	9,3	15,3	12,3	1,6	0	8	1,0	0	1,6	12,0	14,3
CM7	24,7	9,2	15,1	12,8	1,3	0	7,6	0,6	0,6	1,9	11,8	13,8
CM8	25,0	9,3	16,0	12,7	1,0	0	8,4	1,0	0	2,0	11,0	13,3
CM9	24,9	8,3	16,9	10,6	0,6	3,6	6,6	1,6	0,3	1,9	9,9	14,2
CM10	25,4	8,0	17,3	11,3	0,3	4,3	6,4	0,6	0	2,3	9,6	14,0
CM11	25,7	7,3	17,3	14,0	0,3	0	6,7	2,0	1,0	2,6	9,3	13,3
CM12	26,3	6,6	18	13,3	0	4	6	0,6	0	3	9	13
CM13	27,1	6,2	18,2	13,2	0	6,6	5,6	0,6	0,6	3,6	7,2	10,5

Valores normalizados al 100%

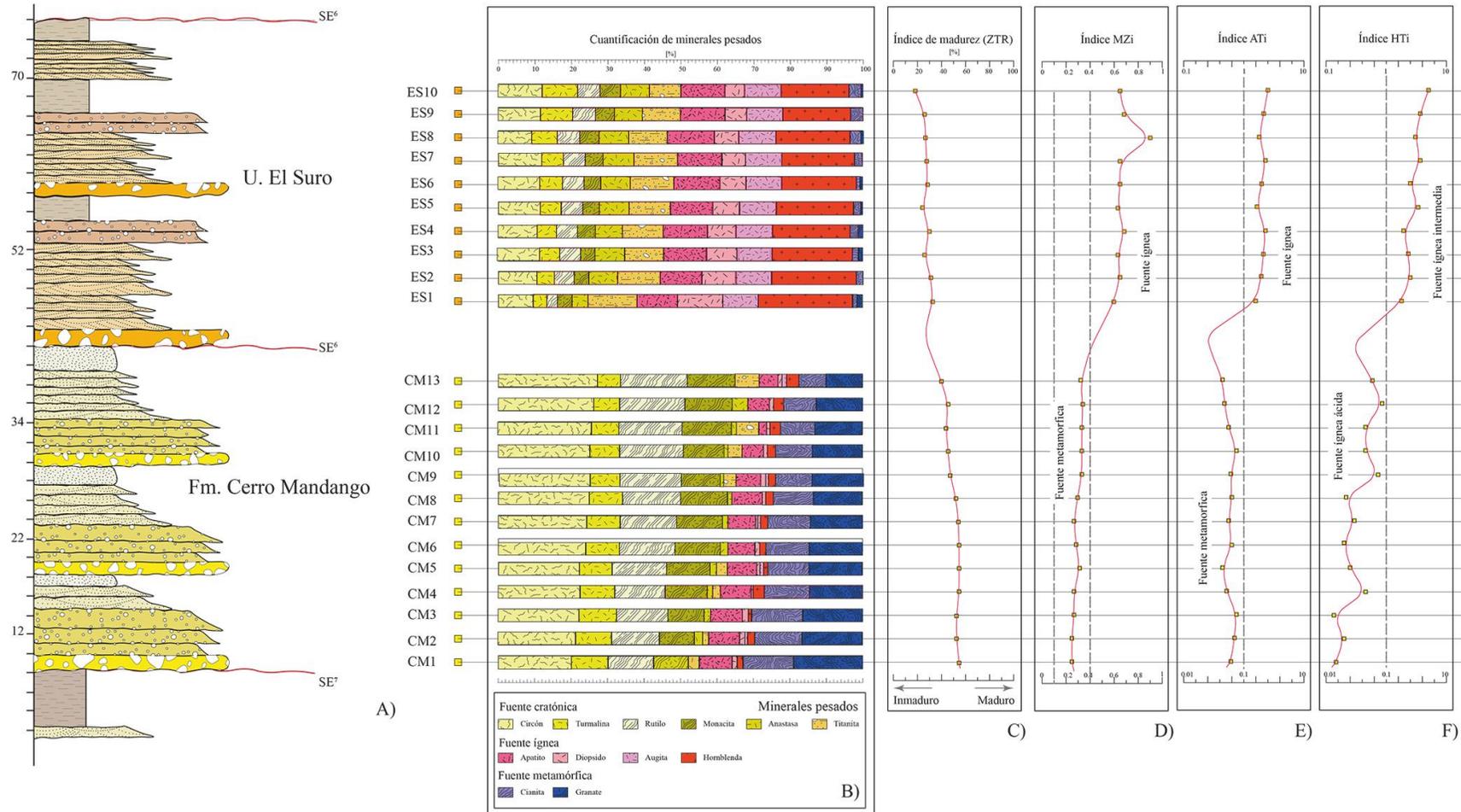


Figura 5. Índices de minerales pesados en la Formación Cerro Mandango y la Unidad El Suro.

Análisis de minerales pesados en la Formación Cerro Mandango

Los minerales pesados que dominan la composición detrítica de la Formación Cerro Mandango incluyen circón, turmalina, rutilo y monacita, minerales que indican un predominio de fuente cratónica; además se observan proporciones de granates y cianita que sugieren influencia de rocas metamórficas en la fuente. Minoritariamente se observan bajos porcentajes de apatito, hornblenda y diópsido que sugieren una esporádica e intermitente fuente ígnea (Figura 5B). El índice de madurez ZTR indica que el set de muestras analizado tiende a ser maduro (Figura 5C). Por otro lado, el índice Mzi varía de 0.1 a 0.4, lo que indica influencia de rocas metamórficas en la fuente (Figura 5D), esto concuerda con el índice ATi (<0.1) que tiende hacia fuente metamórfica (Fuente 5E). Por otro lado, el índice HTi (<0.1) indica fuente ígnea ácido (Figura 5F).

Análisis de minerales pesados en la Unidad El Suro

La Unidad El Suro presenta minerales pesados dominados por hornblenda, augita, diópsido y apatito, las cuales indican predominio de rocas ígneas en la fuente detrítica, mientras que bajas concentraciones de minerales como el circón, turmalina, rutilo, titanita y monacita indican una tenue influencia de fuentes cratónicas. Las concentraciones de minerales de origen metamórfico son despreciables (Figura 5B). El índice de madurez ZTR sugiere que el set de rocas analizadas presenta características inmaduras (Figura 5C). El índice Mzi es superior a 0.4 sugiriendo que rocas ígneas dominaron la fuente detrítica (Figura 5D), lo que es concordante con el índice ATi superior a 0.1, que se correlaciona a fuentes ígneas (Figura 5E). Finalmente, el índice HTi es superior a 0.1, lo que indica una fuente ígnea intermedia (Figura 5F)

Tabla 2. Comparación de índices de minerales pesados entre la Formación Cerro Mandango y la Unidad El Suro.

Unidad litoestratigráfica	Tipo de fuente	Índice ZTR	Índice MZi	Índice ATi	Índice HTi
Fm. Cerro Mandango	Domino cratónica con influencia metamórfica	Maduro	Fuente metamórfica	Fuente metamórfica	Fuente ígnea ácida
U. El suro	Dominio ígneo con influencia cratónica	Inmaduro	Fuente ígnea	Fuente ígnea	Fuente ígnea intermedia

Los índices de minerales pesados ZTR, MZi, ATi y HTi permiten discriminar secuencias conglomeráticas de similares características físicas presentes en la Formación Cerro Mandango y la Unidad El Suro (Tabla 2). Estos índices comprueban que son estas secuencias corresponden a dos unidades litoestratigráficas diferentes, con diferentes fuentes de detrito y permiten representarlas en un mapa geológico.

CONCLUSIONES

La metodología de separación de minerales pesados utilizada en el presente estudio incluye las siguientes etapas: 1) elaboración de columnas estratigráficas, 2) muestreo selectivo, 3) trituración primaria, 4) trituración secundaria, 5) tamizado de muestra, 6) secado de muestra, 7) decantación de muestra en líquidos densos, 8) elaboración de montaje de minerales pesados y 9) cualificación y cuantificación de minerales pesados.

Desde el año 2018 a 2022, se analizaron 339 montajes de minerales pesados que consideraron a 51 formaciones geológicas de la Cuenca Oriente, Zona Subandina, Cordillera Real, Valle Interandino y Cuenca Alamor Lancones.

Los 17 minerales más comunes encontrados en las regiones antes mencionadas son: circón, turmalina, rutilo, monacita, anatasa, titanita, apatito, diópsido, enstantita, hipersteno, augita, actinolita, hornblenda, cianita, andalucita, sillimanita, granate.

La aplicación en conjunto de los índices de minerales pesados ZTR, MZi, ATi y HTi, al comparar la Formación Cerro Mandango y Unidad El Suro, permitieron confirmar la discriminación de estas secuencias de conglomerados, con características idénticas en campo, contribuyendo a la construcción y fortalecimiento de un marco estratigráfico verificado en la cartografía geológica regional.

Se recomienda realizar estudios de proveniencia en el resto de las regiones del Ecuador, con el objetivo de completar el espectro de minerales pesados que puede complementarse con la elaboración de un atlas nacional de minerales pesados para caracterizar las posibles fuentes de detrito en las cuencas cuaternarias.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación Geológica y Disponibilidad de Recursos Minerales en el Territorio Ecuatoriano como un insumo técnico para las actividades de levantamiento cartográfico a escala regional.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

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

APORTE DEL ARTÍCULO EN LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Este artículo desarrolla la metodología de separación de minerales pesados adaptada a la realidad comercial y académica del Ecuador, también presenta el primer catálogo de minerales pesados del Ecuador, además se discute la utilidad de índices de minerales pesados necesarios en la discriminación de fuentes de detrito disponibles



para la sedimentación, exponiendo un caso de estudio aplicado a la cartografía geológica regional.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE CADA AUTOR

Romero, Oñate, Veliz y Castillo participaron en actividades de recolección de muestras, trabajo de laboratorio, análisis de datos. Todos los autores participaron en la redacción del artículo y formato para la publicación.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la participación del laboratorio de Metalurgia Extractiva del Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador, además la contribución de los estudiantes de la Facultad de Geología y Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional y la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador por su colaboración en la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1] B. Marcinkowski, and E. Mycielska-Dowgiało. "Heavy-mineral analysis in Polish investigations of Quaternary deposits: a review". *Geologos*, vol.19. no.2, pp. 5-23. 2013. <https://doi.org/10.2478/logos-2013-0002>
- [2] M. Mange, and H. Maurer. "Heavy minerals in colour". Springer Science & Business Media. vol. 2, no. 1. 2002.
- [3] I. Mounteney, A. Burton, A. Farrant, M. Watts, S. Kemp, and J. Cook. "Heavy mineral analysis by ICP-AES a tool to aid sediment provenancing". *Journal of Geochemical Exploration*. vol. 184, pp. 1-10. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.10.007>
- [4] S. Andò, E. Garzanti, M. Padoan, and M. Limonta. "Corrosion of heavy minerals during weathering and diagenesis: A catalog for optical analysis". *Sedimentary Geology*, vol. 280, pp. 165-178. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012.03.023>
- [5] S. Andò. "Gravimetric separation of heavy minerals in sediments and rocks". *Minerals*, vol. 10, no. 3, pp. 273. 2020
- [6] G. Ruiz, D. Seward, and W. Winkler. "Detrital thermochronology—a new perspective on hinterland tectonics, an example from the Andean Amazon Basin, Ecuador". *Basin Research*. vol. 16, no.3, pp. 413-430. 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2004.00239.x>
- [7] C. Vallejo, R. Spikings, B. Horton, L. Luzieux, C. Romero, W. Winkler, and T. Thomsen. "Late Cretaceous to Miocene stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic



Compartir

Romero-Cóndor, Oñate-Acurio, Veliz-Zambrano & Castillo-Jara. Catálogo de minerales pesados utilizados en análisis de proveniencia en la cartografía geológica del Ecuador desde el 2018 al 2022.

Enero - Junio 2024

<https://doi.org/10.33210/ca.v13i1.428>



Compartir

plateau fragment". In *Andean tectonics*. Elsevier. pp. 209-236. 2019.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816009-1.00010-1>

[8] C. Vallejo, C. Romero, B. Horton, R. Spikings, J. Gaibor, W. Winkler, J. Esteban, T. Thomsen. and E. Mariño. "Jurassic to Early Paleogene sedimentation in the Amazon region of Ecuador: Implications for the paleogeographic evolution of northwestern South America". *Global and Planetary Change*, vol. 204, no. 103555. 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103555>

[9] C. Romero. "Identificación y Caracterización de Facies de la Formación Hollín en Centro Shaima: El Registro de una Transición Fluvio-Marina en la Región Sur Oriental del Ecuador". Bachelor's thesis. Escuela Politecnica Nacional. Quito, Ecuador. 2018.
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19278>

[10] E. Garzanti, y S. Andò. "Heavy minerals for junior woodchucks". *Minerals*, vol 9 no. 3. pp. 148-159.

[11] R. Bateman, and J. Catt. "Provenance and palaeoenvironmental interpretation of superficial deposits, with particular reference to post-depositional modification of heavy mineral assemblages". *Developments in Sedimentology*, vol. 58, pp. 151-188. 2007.
[https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(07\)58005-2](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58005-2)

[12] W. Dickinson. "Discriminating among volcanic temper sands in prehistoric potsherds of Pacific Oceania using heavy minerals". *Developments in Sedimentology*, vol. 58, pp. 985-1005. 2007. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(07\)58039-8](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58039-8)

[13] E. Garzanti, and S.Andò. "Plate tectonics and heavy mineral suites of modern sands". *Developments in Sedimentology*, vol. 58, pp.741-763. 2007.
[https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(07\)58029-5](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58029-5)

[14] S. Passchier. "The use of heavy minerals in the reconstruction of ice-sheet drainage patterns: an example from the edge of the East Antarctic Ice Sheet". *Developments in Sedimentology*, vol. 58, pp. 677-699. 2007.
[https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(07\)58027-1](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58027-1)

[15] R. Knox, S. Franks, and J. Cocker. "Stratigraphic evolution of heavy-mineral provenance signatures in the sandstones of the Wajid Group (Cambrian to Permian), southwestern Saudi Arabia". *GeoArabia*, vol. 12, no. 4, pp. 65-96. 2007
<https://doi.org/10.2113/geoarabia120465>

[16] D. Smale. "Sediment trails in tectonically active islands: heavy minerals in use in New Zealand". *Developments in Sedimentology*, vol. 58, pp. 569-585. 2007.
[https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(07\)58022-2](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58022-2)

[17] A. Morton. "Heavy minerals in provenance studies". In, G.G. Zuffa (Ed.), *Provenance of Arenites*. Riedel,Dortrecht, 1985, pp. 249-277.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-2809-6_12



[18] D. Hungerbühler, M. Steinmann, W. Winkler, D. Seward, A. Egüez, D. Peterson, and C. Hammer. "Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador". *Earth-Science Reviews*, vol. 57, Nro.1, pp. 75-124. 2002.
[https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00071-X](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00071-X)

[19] Instituto de Investigación Geológico y Energético – IIGE. Mapa Geológico de Loja escala 1:100 000. Ministerio de Energía y Recursos No Renovables del Ecuador. Quito-Ecuador. 1(1). 2017.

NOTA BIOGRÁFICA



Christian Romero Córdor. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0001-9271-4323>
Recibió su título de Ingeniero en Geología de la Escuela Politécnica Nacional; tiene un Máster en Educación Superior Universitaria, dos diplomados: Geología del Cuaternario; Estratigrafía y Sedimentología Desde el 2019 es becario del Organismo Internacional de Energía Atómica. Actualmente trabaja en el Proyecto de Investigación Geológica y Disponibilidad de Ocurrencias Minerales en el Territorio Ecuatoriano.



Leyla Lisbeth Oñate Acurio. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0001-5614-1994>
Estudiante egresada de la Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional (EPN). Actualmente es la presidenta del Club de Geología EPN y miembro de la directiva de la Asociación de Estudiantes de Ingeniería Geológica. Participó como expositora en 17° Encuentro Internacional de Ciencias de la Tierra E-ICES 17 de la Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.



María Elena Véliz Zambrano. **ORCID ID**  <https://orcid.org/0000-0002-8863-685X>
Estudiante de Ingeniería en Geología en la Universidad Central del Ecuador. Realizó una investigación sobre Geomedicina en el Ecuador. En 2023 fue seleccionada para representar al Ecuador en la Cumbre de Líderes AAPG LACR (México). Actualmente realiza un intercambio en la Universidad Estadual de Campinas en Brasil y es coordinadora regional para el programa Imperial Barrel Award de la American Association of Petroleum Geologists.



Marilyn Del Cisne Castillo Jara. **ORCID ID**  <https://orcid.org/0000-0001-9406-2824>
Estudiante de Ingeniería en Geología en la Universidad Central del Ecuador. Cofundadora del club de vulcanología y geotermia de la UCE. Representante Estudiantil de la Facultad de Ingeniería en Geología. Participa activamente en el capítulo estudiantil Society of Exploration Geophysicist y fue expositora en el XIX Congreso Colombiano de Geología 2023.



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.

