

**Litoestratigrafía, petrografía y geoquímica de la
Unidad Pachicutza en la cordillera del Cóndor.**

**Lithostratigraphy, petrography and geochemistry of the
Pachicutza Unit in the Cóndor cordillera**

**Juan Gonzalo Torres Cartuche¹, Christian Wladimir Romero Cóndor²,
Fausto Rodolfo Carranco Andino³, Ana Belen Gramal Aguilar⁴**

¹ Instituto de Investigación Geológico y Energético. Quito - Ecuador. , juan.torres@geoenergia.gob.ec

² Instituto de Investigación Geológico y Energético. Quito - Ecuador. wladimir.romero@geoenergia.gob.ec

³ Instituto de Investigación Geológico y Energético. Quito - Ecuador. fausto.carranco@geoenergia.gob.ec

⁴ Instituto de Investigación Geológico y Energético. Quito - Ecuador. ana.gramal@geoenergia.gob.ec

ISSN: 2661-6998

Fecha de recepción: 11-12-2020

Fecha de aceptación: 05-04-2021

RESUMEN

Al sur de la zona subandina ecuatoriana, en el centro-norte de la cordillera del Cóndor, múltiples intrusiones jurásicas se emplazaron en una roca caja (Unidad Piuntza) que involucra secuencias sedimentarias, volcánico-clásticas y volcánicas del Triásico. Series volcánicas dentro de esta secuencia han sido pobremente documentadas, es así que, recientemente rocas basálticas fueron discriminadas y agrupadas en la Unidad Pachicutza, no obstante, se desconocen las relaciones estratigráficas y el detalle petrográfico y geoquímico. En función de la discriminación litológica, documentación de superficies de erosión, descripción de arquitectura estratigráfica, recopilación de datos estructurales, análisis petrográficos y geoquímica de elementos mayores, elementos traza y tierras raras. Esta investigación presenta la caracterización lito-estratigráfica, petrológica y geoquímica de la Unidad Pachicutza en la cuenca alta del río Nangaritzza, en la quebrada Pachicutza. Así pues, en la base de la Unidad Pachicutza se observan secuencias de tendencia estrato-decreciente de conglomerados clasto-soportados con clastos de basaltos, areniscas, calizas y litoareniscas masivas; la parte media es caracterizada por niveles de arcillolitas masivas y tobas finas. Estas características indican ambiente de depósito vinculado a abanicos aluviales dominados por flujos de escombros, proximales a una fuente volcánica basáltica. Mientras que, el tope es dominado por brechas volcánicas, clasto y matriz soportado y potentes estratos de andesitas basálticas y basaltos, de series sub-alcalinas, de afinidad toleítica a transicional, de ambiente tipo MORB y tipo INTRA-PLACA, altas concentraciones de Th y Pb junto a bajas concentraciones de Nb, Ba y Sr, indican que estas lavas erupcionaron a través de una corteza continental atenuada, estas características son comunes en lavas originadas en un ambiente trans-arco con tectónica extensional.

Palabras clave: Unidad Pachicutza, volcanismo Triásico

ABSTRACT

To South of the Ecuadorian sub-Andean Zone, in the center-north of the Cóndor cordillera, multiples jurassic intrusions were emplaced in the host-rock (Piuntza Unit), that involves volcanic, volcanoclastic, and sedimentary sequences of Triassic and Lower Jurassic. The volcanic series within host-rock have been poorly documented, however, basaltic series have been discriminated, and grouped in the Pachicutza Unit, nevertheless, stratigraphic relationships and lithostratigraphic, petrographic, and geochemical detail are unknown. Based on lithological discrimination, documentation of erosion surfaces, a description of the stratigraphic architecture, compilation of structural data, petrographic, and geochemical analysis (major elements, trace elements and rare earth elements), This research reports the characterization lithostratigraphic, petrological and geochemical of the Pachicutza Unit in the Nangaritzza river basin, in the vicinity of the Pachicutza river. Thereby, at the base of the Pachicutza Unit, fining-upwards sequence of clast supported, conglomerates with basalts, sandstones, and limestone clasts and massive lithic-sandstones are observed, whereas, the middle part of the Unit is characterized by interbedding mudstone and fine-tuff. These characteristics indicate a depositional environment linked to alluvial fans dominated by debris flows, proximity to a basaltic volcanic source. Whilst, the top is dominated by clast and supported matrix, volcanic breccias, and thick beds of subalkaline, basaltic andesites and basalts, of tholeiitic and transitional affinity, MORB-type and Within-Plate lavas environment, high concentrations Th and Pb and low concentrations Nb, Ba and Sr suggest to an attenuated continental crust, these characteristics are common in back-arc environment with extensional tectonics.

Keywords: Pachicutza Unit, Triassic volcanism

1. INTRODUCCIÓN

Los Andes del norte constituyen el clásico ejemplo de un cinturón montañoso desarrollado frente a un borde convergente, en donde la placa de Nazca se subduce debajo de la placa Sudamericana [1]. El borde oriental de los Andes ecuatorianos es la zona subandina (ZSA), que representa el *wedgetop andino* [2], es decir, un cinturón de fajas corridas, plegadas y exhumadas, en donde se registra la tasa de levantamiento de los Andes y proporciona información de secuencias sedimentarias de la cuenca Oriente [3]. La ZSA se encuentra estructurada de Norte a Sur por el levantamiento Napo, la depresión Pastaza, la cordillera Cutucú y la cordillera del Cóndor [2] (Fig. 1). En el centro de la cordillera del Cóndor, se ubica el distrito de Nambija, delimitado por fallas normales de rumbo Norte-Sur, sub-verticales, que definen un graben, en el cual se han preservado bloques remanentes, en forma de colgajos con pendientes suaves compuesto por rocas sedimentarias y volcánicas de la Unidad Piuntza bordeado por el Complejo Intrusivo Zamora, que constituye un batolito elongado, de 200m de ancho y 50Km de largo, compuesto por granodioritas, dioritas, granitos, tonalitas, de afinidad calco-alcalina, asignadas al Jurásico Medio [4]. La importancia de la Unidad Piuntza recae en el interés económico que

representa para Ecuador, debido a que en esta Unidad se emplazan depósitos tipo *skarn* mineralizados, por lo cual ha sido estudiada por diferentes autores. [5], [6], [7], [8]. La Unidad Piuntza incluye: calizas, lutitas calcáreas, lutitas deformadas, areniscas, tobas de grano fino, flujos de lava y brechas de composición andesítica a dacítica [4], sin embargo, diferentes autores incluyen en esta unidad a las rocas volcánicas y volcano-clásticas afectadas por la intrusión o emplazamiento del Complejo Intrusivo Zamora [5], [6], [7], [8]. Por otro lado, en función de la presencia de bivalvos: *Hatobia doanella sp.* y *Entomonotis*, *Gostatoria sp.* y amonites *Entomonotis Richmondiana sp.*, la edad de la Unidad Piuntza fue asignada al Triásico Superior [9], [10]. En cuanto a las relaciones estratigráficas, al suroriente del distrito Nambija, la Unidad Piuntza descansa en inconformidad sobre la Unidad Isimanchi (Carbonífero?), que se componen de filitas y calizas deformadas y silicificadas [4], mientras que al norte la Unidad Piuntza es cubierta por areniscas, arcosas, conglomerados, limolitas arenosas y limolitas rojas, de ambiente continental, del Jurásico Superior, de la Formación Chapiza y flujos de lava andesíticos, de afinidad calco-alcalina, de la Formación Misahuallí asignada al Jurásico Medio a Superior [4], [11], [12].

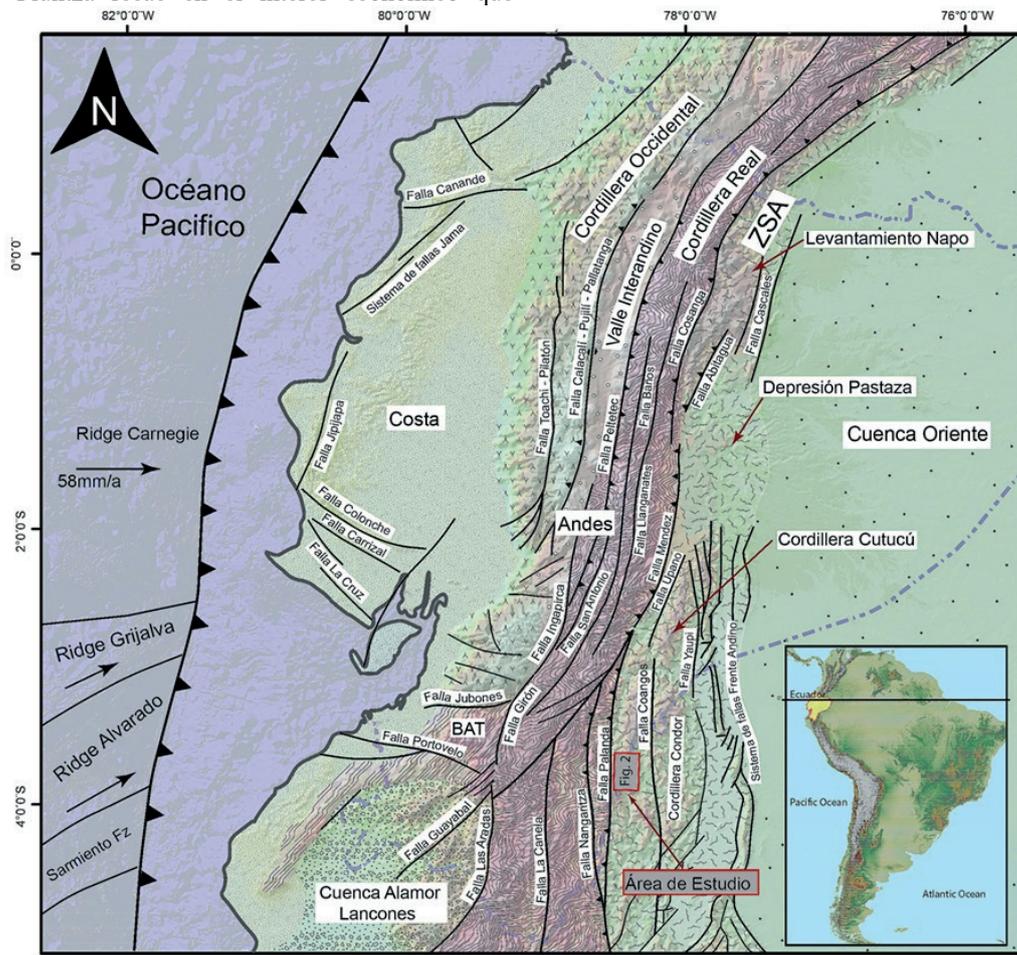


Figura 1. Esquema morfo tectónico del Ecuador. (Modificado del mapa geológico del Ecuador, 2017); se presenta la ubicación del área de estudio. BAT: Bloque Amotape Tahuín; ZSA: Zona Subandina.

(Inedita)

Al sur del distrito Chinapintza, se reportó la presencia de secuencias basálticas en rocas anteriormente vinculadas a la Unidad Piuntza y se agruparon estas secuencias en la Unidad Pachicutza discriminándola de la Unidad Piuntza, de esta manera la Unidad Pachicutza incluye a lavas basálticas de textura afanítica y microporfírica, la afinidad geoquímica N-MORB (reportada a partir del análisis de 2 muestras), tobas, brechas y conglomerados volcánicos, ocasionalmente afectados por metamorfismo de contacto [13], [14], [15]. Sin embargo, anteriores autores no reportaron relaciones estratigráficas, análisis lito-estratigráfico y el detalle geoquímico de esta unidad, por lo cual, la Unidad Pachicutza no ha sido interpretada en el contexto geodinámico regional.

Esta contribución presenta la documentación de relaciones estratigráficas, análisis lito-estratigráfico, el detalle petrográfico y geoquímico de la Unidad Pachicutza, en el centro-norte de la cordillera del Cóndor, con el fin de integrar esta información en el modelo geodinámico regional.

2. METODOLOGÍA

El levantamiento de información geológica incluyó: la discriminación litológica, documentación de superficies de erosión, descripción de arquitectura estratigráfica y recopilación de datos estructurales siguiendo los protocolos establecidos por Petit [16]. Con la finalidad de complementar la cartografía geológica en la zona de estudio, se realizó análisis geomorfológico y estructural a partir de la foto interpretación de imágenes satelitales de alta resolución considerando los patrones de análisis reportados por Spencer [17]. De esta manera se filtraron lineamientos de la cartografía regional y se redefinieron trazos de las fallas geológicas presentes en el área de estudio.

En afloramientos tipo o representativos se recolectaron muestras que fueron utilizadas en secciones delgadas con el objetivo de identificar y cuantificar facies minerales y describir su textura, este análisis fue complementado con análisis semi-cuantitativo de difracción de rayos – X, con el cual, se determinó firmas de espectrometría de facies minerales, esto permitió expresar porcentajes reales de facies minerales. Además, fueron recolectadas 8 muestras para análisis geoquímicos, que incluyeron elementos mayores, elementos traza y tierras raras, estos análisis fueron realizados en el laboratorio químico del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), del Ecuador; es así que, en el procesamiento de las muestras se utilizaron trituradoras y pulverizadoras con discos de carburo de tungsteno, para análisis de elementos mayores se utilizó *Fluorescencia de Rayos X – XRF* (con perla fundida), para elementos traza, *Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente – ICP-OES* (con digestión total 4 ácidos) y para tierras raras, *Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente – ICP-MS* (con digestión por fusión alcalina). Finalmente, para la generación de los diagramas de geoquímica se utilizó el software *GCDKit 3.2* siguiendo los protocolos reportados por Yu [18].

3. RESULTADOS

Las secciones analizadas se ubican en la quebrada Pachicutza (UTM: 765 927E, 9 545 834N), en la cabecera del río Pachicutza, en la cuenca alta del río Nangaritzza (Fig. 2). La Falla Nangaritzza es la principal estructura cinemática, la cual, controla la morfometría del río Nangaritzza y el crecimiento de depósitos aluviales en sus márgenes.

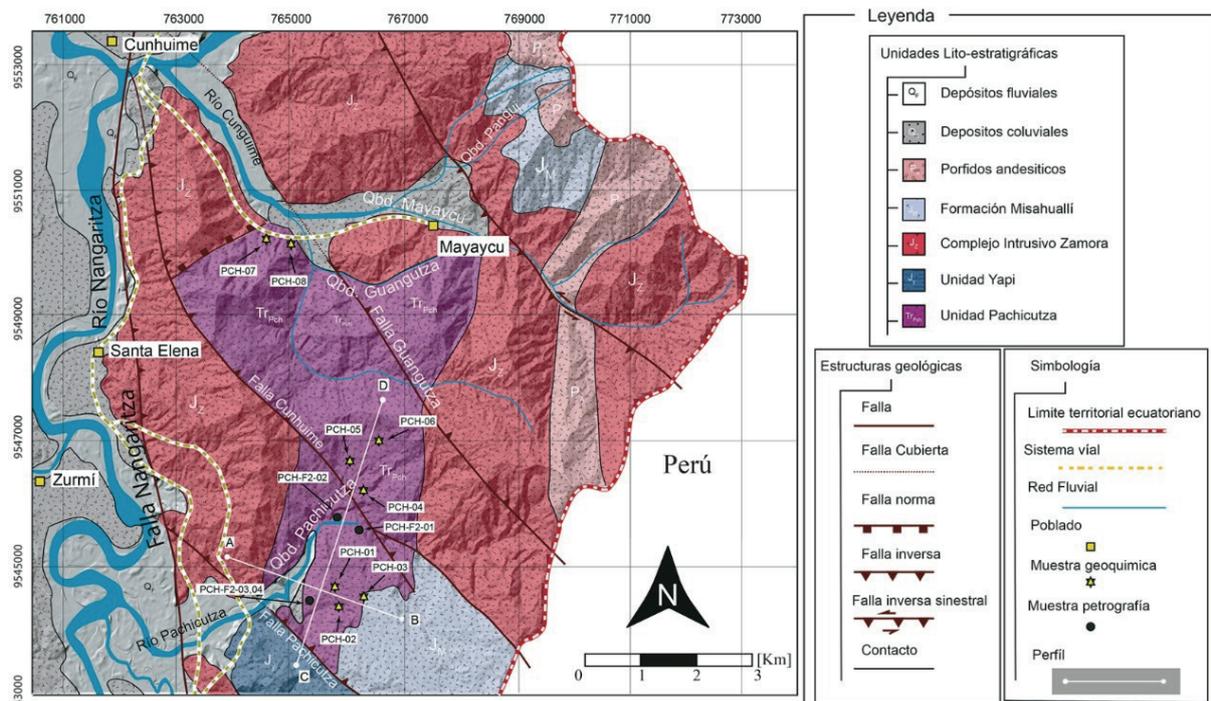


Figura 2. Mapa geológico del área de estudio. Se presenta la posición geográfica de los cortes geológicos y muestras analizadas.

La Unidad Pachicutza aflora en forma de *slices*, delimitados por fallas paralelas de dirección noroeste-sureste, inversas, inclinadas al noreste, (fallas: Pachicutza, Cunhuime, Guangutza; en el análisis de imágenes satelitales se observan la ruptura de patrones radiales y concéntricos, mientras que, a partir de datos tomados en campo, como estrías de falla y diaclasas se determina el movimiento, de estas estructuras; Fig. 2). Al sur-este de la quebrada Pachicutza, lavas andesíticas, porfíricas, con fenocristales de hornblenda y afinidad geoquímica calco-alcalina vinculadas a la Formación Misahuallí sobreyacen en discordancia a rocas volcanoclásticas de la Unidad Pachicutza (Figs. 2 y 3), mientras que, al noroeste de la quebrada Pachicutza, y en las inmediaciones del poblado Mayaycu, granitos con megacristales de feldespato, granodioritas de textura aplítica y tonalitas del Complejo Intrusivo Zamora se emplazan en rocas volcanoclásticas de la Unidad Pachicutza (Figs. 2 y 3).

3.1. LITOESTRATIGRAFÍA

Descripción:- El contacto inferior de la Unidad Pachicutza no ha sido observado. La sección descrita como la parte inferior de la unidad se compone de

secuencias estrato-decrecientes de conglomerados clasto soportado, polimodales, oligomícticos, con clastos subredondeados de baja esfericidad, su litología incluye a basaltos areniscos y calizas. Se observan niveles masivos, niveles con imbricación, gradación y estratificación (F-1; Figs. 3, 4 y 5A). F-1 se intercala con estratos finos, de litoareniscas gruesas a muy gruesas, masivas con abundantes clastos volcánicos, de composición basáltica (F-2; Fig. 3, 4 y 5A).

La parte media de la secuencia es dominada por intercalaciones de arcillolitas grises y negras masivas, niveles de tobas de grano fino (F-3; Tabla 1, Figs. 3 y 4) entre estratos métricos de litoareniscas medias a gruesas, masivas con esporádicos clastos andesíticos y andesítico basálticos (F-2; Tabla 1, Figs. 3 y 4). En la parte superior de la secuencia se observan niveles de brechas clasto y matriz soportadas, polimodales, monomícticos, con clastos arcillosos y andesíticos (F-4; Tabla 1, Figs., 3, 4 y 5B), intercalados entre estratos de 1m a 5m de andesitas basálticas, de color verde a gris claro, de textura porfírica con fenocristales de augita y plagioclasa; y afanítica con estructura vesicular y amigdaloides; en menor proporción se observan basaltos afaníticos y esporádicamente lavas almohadilladas (F-5; Tabla 1, Figs. 3, 4 y 5C).

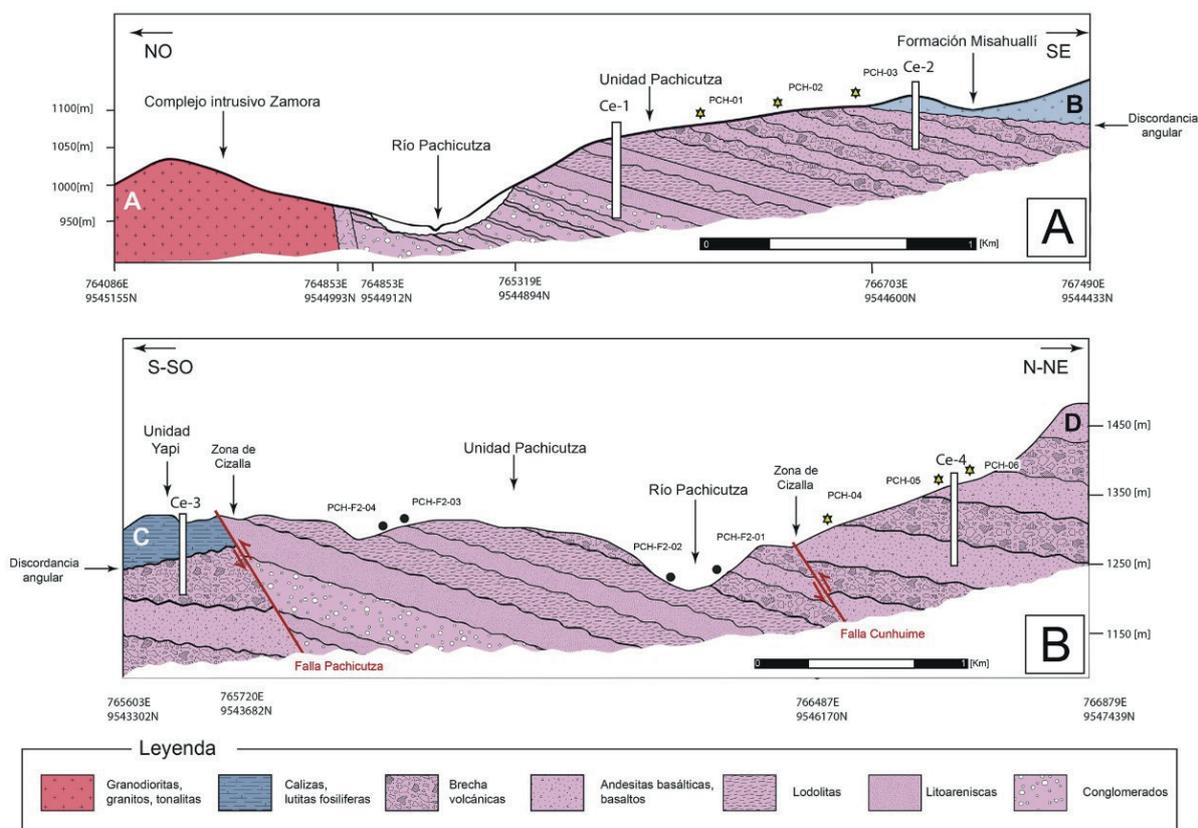


Figura 3. Cortes geológicos. **A.** Corte perpendicular a la Quebrada Pachicutza. **B.** Corte paralelo a la Quebrada Pachicutza, se muestra la posición geográfica de las columnas estratigráficas (Ce-1; Ce-2; Ce-3; Ce-4) y las muestras examinadas presentadas en la Fig. 4

Interpretación. – En la base de la Unidad Pachicutza **F-1** y **F-2** son dominados por clastos sub-redondeados de baja esfericidad, volcánicos de composición basáltica, esto indica la proximidad a una fuente ígnea básica. Niveles masivos indican el desarrollo de flujos de escombros hiperconcentrados [19], mientras que, niveles con imbricación, gradación y estratificación y de tendencia estrato-decreciente indican transporte de sedimento, estas relaciones son comunes en la superficie de abanicos aluviales, proximales a la fuente de detrito; es así que, periodos de rápida generación de espacio de acomodación, generan el desarrollo y dominio de flujos de escombros [20]. En el tope de la Unidad Pachicutza **F-3**, **F-4** y **F-5** involucran litologías volcánicas primarias: andesitas basálticas y basaltos en intercalación con volcánicos re-trabajados: brechas y tobas. La presencia de secuencias volcánicas primarias y secundarias indica la proximidad a centros volcánicos activos, por otro lado, la presencia de basaltos con estructuras almohadillas indicaría episodios de volcanismo subacuático [21].

Tabla 1. Resumen de facies

	Facies	Descripción	Interpretación
Parte inferior	F-1	Conglomerados clasto soportados, oligomicticos, con clastos de basaltos, areniscas y calizas, con abundantes niveles masivos y esporádicos niveles con imbricación, gradación y estratificación	Planicies aluviales dominados por flujos de escombros hiperconcentrados.
	F-2	Litoareniscas medias a gruesas, masivas con abundantes clastos volcánicos	
Parte media	F-3	Arcillolitas masivas y tobas de grano fino	Planicies de inundación con fuentes volcánicas activas contemporáneas
Parte superior	F-4	Brechas volcánicas clasto y matriz soportadas, monomicticos	Secuencias de arco volcánico
	F-5	Andesitas basálticas porfiríticas, basaltos masivos y esporádicas <i>pillow</i> lavas	

Los colores de la columna Facies corresponden al color de las facies en las columnas estratigráficas de la Fig. 4

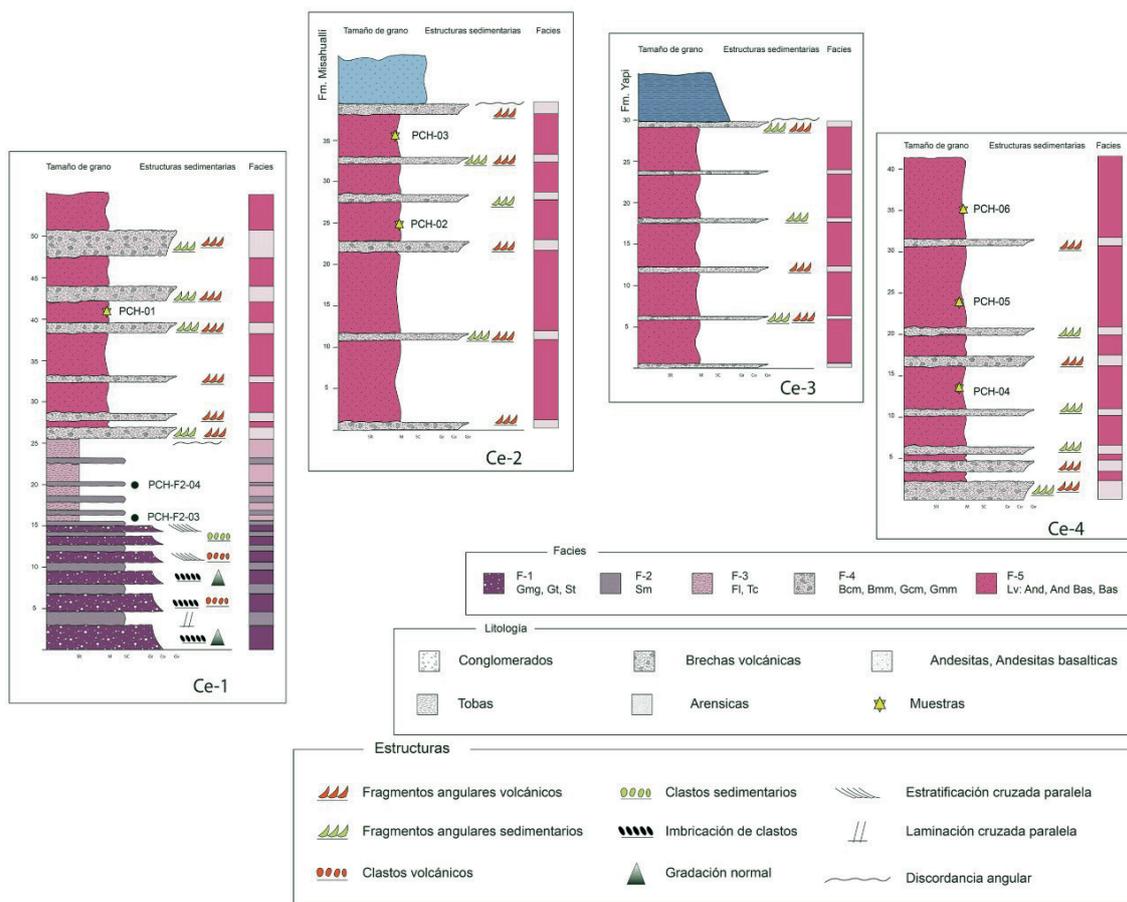


Figura 4. Columnas estratigráficas. Posición estratigráfica de las muestras analizadas. F-1, F-2, F-3, F-4, F-5 descritas a detalle en la Tabla 1.

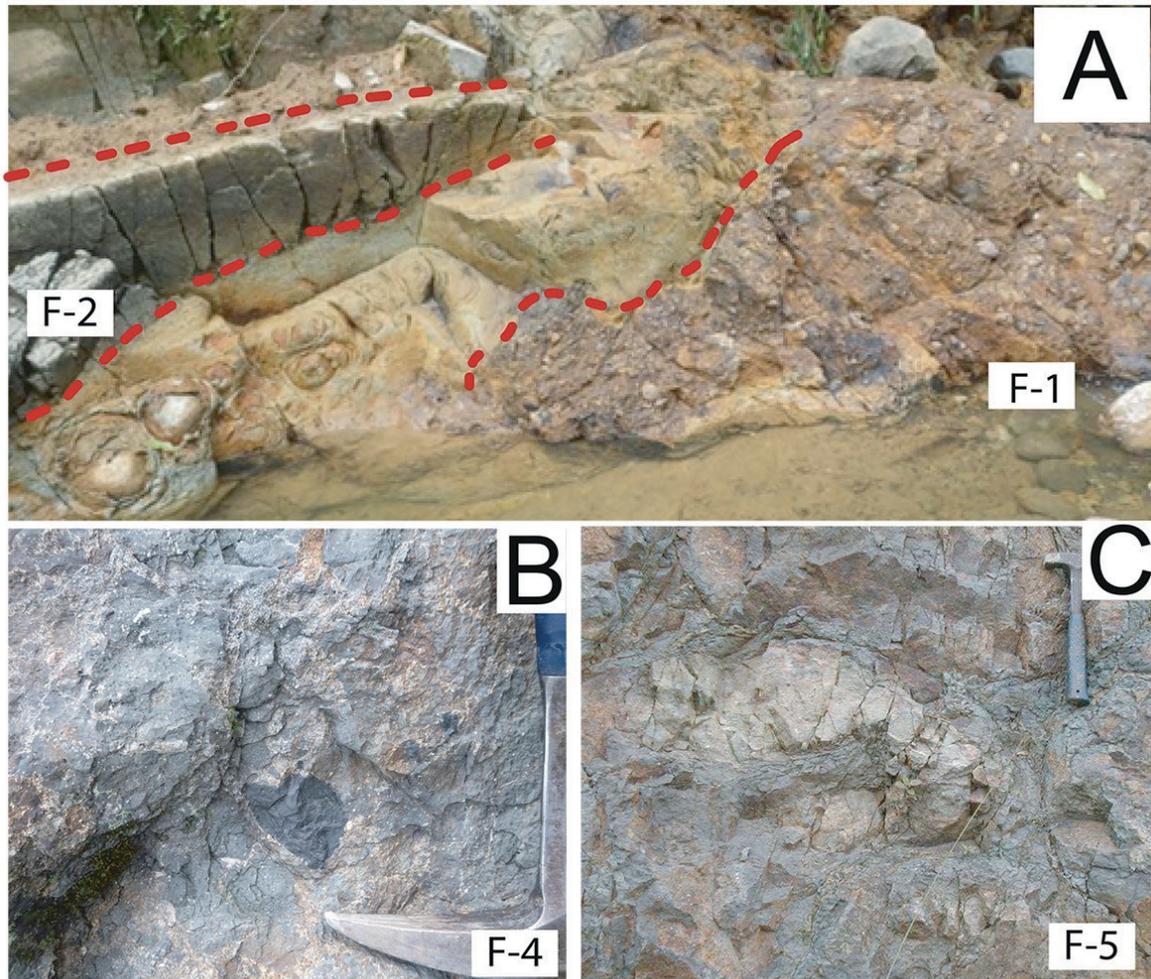


Figura 5. Afloramientos tipo de la Unidad Pachicutza. **A.** Secuencias de conglomerados y litoareniscas. **B.** Andesitas basálticas porfíricas [14]. **C.** Basaltos amigdaloides [14].

3.1. PETROGRAFÍA

En la base de la Unidad Pachicutza se observan facies clásticas, en estos niveles se analizaron 4 muestras que corresponden a litoareniscas [22], (Fig. 6A) de textura psamítica, de grano medio a grueso (F-2), estas muestras presentan minoritarias (<10%) a nulas proporciones de cuarzo y son dominadas por líticos volcánicos (30%) Los líticos volcánicos tienen: clorita (35%) y clinopiroxenos (45%). Los fragmentos líticos tienen textura microlítica y están soportados caóticamente en una pseudomatriz de arcilla y cemento ferruginoso. El grupo de muestras analizado indica una procedencia vinculada a un arco volcánico no disectado [23] (Fig. 6B).

Basaltos en el tope de la Unidad Pachicutza presentan fenocristales de enstatita (25%), clinopiroxenos (20%). La enstatita mantiene hábito automorfo, con prismas cortos y alargados, su sección presenta forma ortogonal, se observan maclas irregulares, posiblemente lamelar (Fig. 6.C). La matriz contiene alto porcentaje de vidrio (> 35%) y clorita ± arcillas (10%). La textura es porfírica a microporfírica y se observan vetillas de baritina sectorizadas. También se observan figuras concéntricas de calcita ± epidota (10%) relleno de vesículas, es común el desarrollo de cristales finos de hematita ± magnetita (10%) diseminados en la pasta (Fig. 6D). En muestras skarnificadas (Figs. 6E, 6F) se observa una textura granoblástica con fenocristales de hornblenda (15%), augita (10%), epidota (15%), granate (8%), calcita (10%) y hematita (10%).

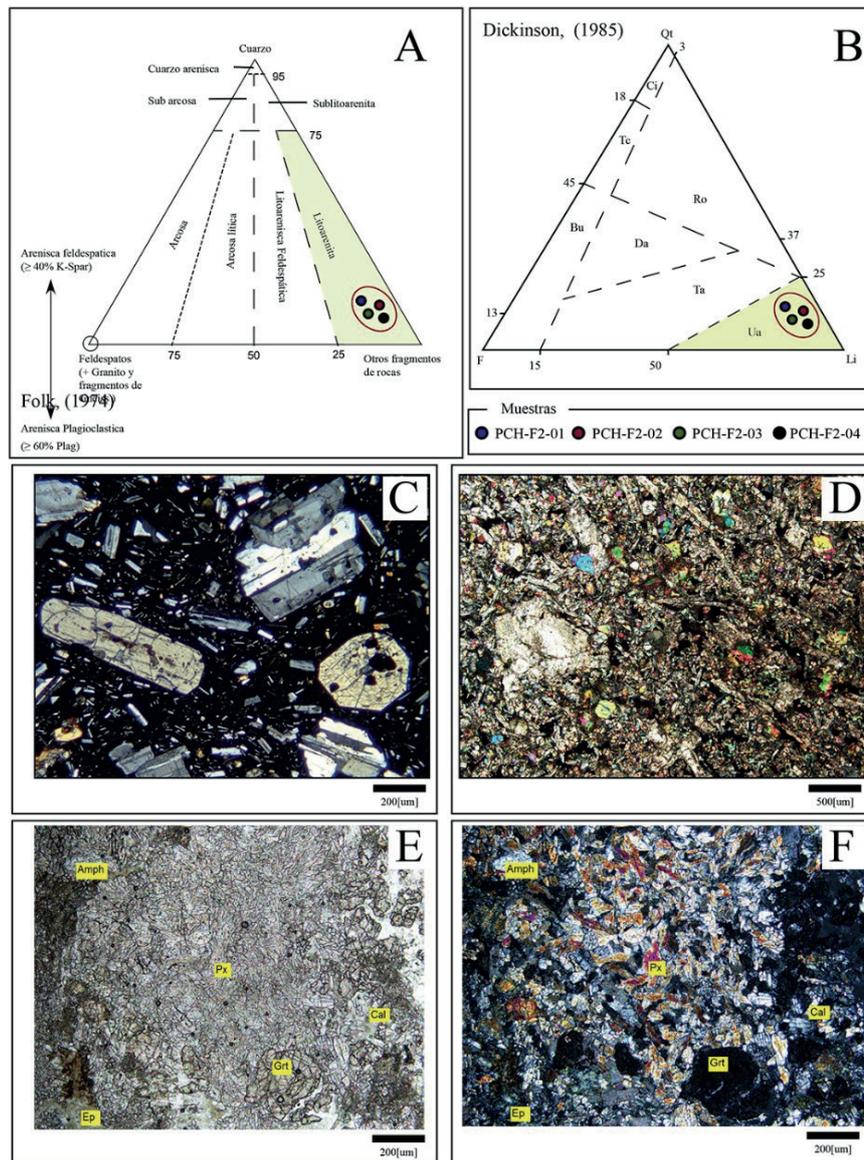


Figura 6. Microestructuras y diagramas de diferenciación petrográfica. **A.** Diagrama de clasificación litológica de Folk, (1974). **B.** Diagrama de clasificación tectónica de Dickinson, (1985), Ci: cratón interno; Tc: transición continental; Bu: basamento levantado; Da: arco disectado; Ta: arco transicional; Ua: arco no disectado; Ro: reciclaje orogénico. **C.** Sección delgada de andesita basáltica porfírica. **D.** Sección delgada de basalto microporfírico. **E.** Sección delgada de andesita basáltica skarnificada (luz natural). **F.** Sección delgada de andesita basáltica skarnificada (luz polarizada)

3.2. GEOQUÍMICA

Los resultados obtenidos a partir de los análisis geoquímicos se presentan en la Tabla 2; las muestras analizadas se caracterizan por presentar diversos grados de alteración que se reflejan en valores de pérdida por ignición (LOI) de 2,16 a 7,52%, por lo que no es recomendable utilizar esquemas tradicionales de clasificación de rocas volcánicas [24]. Razón por la cual, los datos reportados en esta investigación han sido analizados en función de diagramas de clasificación y discriminación que consideran elementos inmóviles: Zr/TiO₂ vs Nb/Y [25]; Th/Yb vs Zr/Y [26]; Th/Nb vs

La/Yb [27]; V vs 0.000Ti [28]; Ti vs Zr [29]; proporciones logarítmicas entre LREE/Th vs HREE/Th [30]; Th/Yb vs Nb/Yb [31]; TiO₂/Yb vs Nb/Yb [31].

En el grupo de muestras analizadas las relaciones Zr/TiO₂ varían desde 56,33 a 76,68, mientras que, las relaciones Nb/Y entre 0,22 a 0,32, estas proporciones evaluadas en el diagrama de Zr/TiO₂ vs Nb/Y [25] indican que las muestras analizadas corresponden a basaltos y andesitas basálticas subalcalinas (Fig. 7A); esto es coherente con las concentraciones en SiO₂ (45,51 wt% - 49,17 wt%), contenido de Al₂O₃ (10,19 wt% - 14,95 wt%), valores de MgO (5,84 wt% - 8,65 wt%), CaO (8,19 wt% - 10,14 wt%), y Na₂O/K₂O (3,21 wt% - 3,88 wt%) reportadas (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de análisis geoquímicos de las muestras analizadas

Datos geoquímicos								
Muestras	Unidad Pachicutza							
	Pch-01 765802E 9544663N	Pch-02 765882E 9544349N	Pch-03 766335E 9544509N	Pch-04 766308E 9546214N	Pch-05 766079E 9546682N	Pch-06 766595E 9547001N	Pch-07 764593E 9550218N	Pch-08 765042E 9550134N
Oxidos mayores (%W)								
SiO ₂	45,77	46,82	49,14	49,17	46,14	48,58	45,51	47,38
TiO ₂	1,51	1,64	1,76	1,82	1,88	1,91	1,95	1,83
Al ₂ O ₃	14,64	12,40	10,19	14,91	10,32	13,27	14,95	16,29
Fe ₂ O ₃	9,42	10,50	10,73	8,11	9,60	8,03	5,26	6,56
FeO	1,84	4,06	4,37	2,37	6,80	0,34	1,02	3,36
MgO	7,59	8,15	8,05	6,93	8,10	5,84	7,03	8,65
MnO	0,20	0,21	0,22	0,22	0,20	0,21	0,24	0,22
CaO	12,36	10,31	8,19	9,31	9,31	9,85	15,29	9,22
Na ₂ O	3,30	3,12	3,12	2,96	3,12	3,64	2,90	3,32
K ₂ O	0,28	0,26	0,23	0,31	0,27	0,24	0,31	0,20
P ₂ O ₅	0,15	0,19	0,23	0,19	0,21	0,39	0,35	0,31
LOI	2,16	2,40	2,80	3,52	4,10	7,52	4,60	2,60
Total	99,22	100,06	99,03	99,82	100,05	99,82	99,41	99,94
Elementos traza (ppm)								
Sc	21,00	23,00	50,00	44,10	43,50	27,00	24,60	27,00
Be	2,00	2,00	2,00	0,59	0,62	2,00	2,00	2,00
V	174,00	182,00	215,00	210,40	219,00	219,00	211,00	218,00
Cr	149,00	90,00	140,00	970,00	956,00	187,00	290,00	334,00
Co	36,00	37,70	39,20	41,30	38,30	31,26	31,24	32,00
Ni	91,00	38,00	70,00	581,00	111,20	74,00	177,00	63,00
Cu	58,00	40,00	70,00	122,00	95,30	61,20	64,20	62,20
Zn	62,00	252,00	120,00	83,00	110,20	63,00	65,00	66,00
Ga	29,00	19,00	21,00	16,30	16,50	27,40	18,70	23,00
Ge	3,00	2,00	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00
Rb	4,00	3,00	5,00	6,00	5,00	6,00	6,00	7,00
Sr	246,00	255,00	137,00	186,00	280,20	187,00	294,00	133,00
Y	29,40	32,40	33,80	32,20	31,40	35,00	31,60	32,00
Zr	115,80	116,80	124,60	108,60	119,20	107,60	114,60	104,30
Nb	9,60	7,20	8,60	9,80	9,90	9,80	9,80	9,70
Sn	1,00	2,00	2,00	1,30	1,40	1,00	1,00	1,00
Cs	2,80	2,10	1,90	2,10	1,80	1,40	1,60	1,50
Ba	53,00	39,00	44,00	49,00	36,00	35,00	39,00	41,00
La	12,20	11,90	11,50	11,20	13,20	10,37	11,40	10,60
Ce	31,40	33,60	28,50	29,00	31,20	35,80	32,70	29,00
Pr	4,20	4,00	4,18	4,32	4,25	4,30	5,10	5,20
Nd	14,70	18,90	21,70	16,50	16,20	14,40	17,40	12,10
Sm	3,93	3,10	3,77	3,37	3,68	3,40	3,90	3,63
Eu	1,22	1,52	1,42	1,47	1,51	1,21	1,03	1,72
Gd	4,10	6,30	5,50	4,86	4,81	5,80	5,57	6,01
Tb	0,70	0,90	0,82	0,72	0,69	0,80	0,81	0,70

Dy	5,15	5,75	5,85	5,80	5,70	5,86	5,30	5,21
Ho	1,37	1,35	1,52	1,25	1,18	1,42	1,34	1,36
Er	3,86	4,66	3,90	4,44	4,28	4,20	3,91	4,60
Tm	0,64	0,61	0,66	0,64	0,70	0,54	0,68	0,52
Yb	4,10	4,50	4,70	4,60	5,10	4,50	4,70	4,30
Lu	0,72	0,81	0,60	0,75	0,83	0,69	0,73	0,76
Hf	1,28	1,66	1,34	1,42	1,32	1,78	1,62	1,46
Ta	0,30	0,45	0,30	0,32	0,24	0,26	0,17	0,29
Pb	110,00	107,00	96,00	88,20	97,90	106,00	112,00	108,00
Th	1,04	1,08	1,02	0,98	1,04	0,96	0,95	1,06
U	0,36	0,32	0,30	0,30	0,34	0,28	0,33	0,35
Zr/TiO ₂	76,68	71,21	70,79	59,67	63,40	56,33	58,76	56,99
Nb/Y	0,32	0,22	0,25	0,30	0,31	0,28	0,31	0,30
Th/Yb	0,25	0,24	0,21	0,21	0,20	0,21	0,20	0,24
Th/Nb	0,11	0,15	0,12	0,1	0,10	0,09	0,09	0,11
La/Yb	2,975	2,64	2,44	2,43	2,58	2,30	2,42	2,46
Zr/Y	3,93	3,60	3,68	3,37	3,79	3,07	3,62	3,25
Ti	9052,45	9831,8	10551,2	10910,9	11270,6	11450,45	11690,25	10970,85
La/Th	11,73	11,02	11,27	11,43	12,69	10,80	12,00	10,00
Sm/Th	3,78	2,87	3,70	3,44	3,54	3,54	4,11	3,42
Yb/Th	3,94	4,17	4,61	4,69	4,90	4,69	4,95	4,06
Nb/Th	9,23	6,67	8,43	10,00	9,52	10,21	10,32	9,15
Sm/Th	3,78	2,87	3,70	3,44	3,54	3,54	4,11	3,42
Nb/Yb	2,34	1,6	1,82	2,13	1,94	2,17	2,08	2,25
TiO ₂ /Yb	0,36	0,36	0,37	0,39	0,36	0,42	0,41	0,42

Las proporciones de Th/Yb van de 0,20 a 0,25, mientras que, las relaciones entre Zr/Y son 3,07 a 3,93; las muestras representadas en el diagrama Th/Yb vs Zr/Y [26] indica una afinidad toleítica con ligera variación a transicional (Fig. 7B). Mientras que, las relaciones de Th/Nb van de 0,09 a 0,15 y las relaciones de La/Yb varían entre 2,30 a 2,97, estas proporciones evaluadas en el diagrama Th/Nb vs La/Yb [27], indica que las muestras analizadas se asemejan a basaltos generados en ambiente tipo MORB, sin embargo, las muestras Pch-03y Pch-07 tienden a ambiente de arco continental (Fig. 7C). Por otro lado, las concentraciones de V van de 174 ppm a 219 ppm y las concentraciones de Ti varían de 9 052 ppm a 11 690 ppm, estas proporciones representadas en el diagrama de V vs Ti/1000 [28], se ubican a lo largo de la línea discriminadora $Ti/V = 50$, siendo consistentes con el ambiente tipo MORB (Fig. 7D).

Las muestras presentan concentraciones Zr de 104 ppm a 119 ppm, estas concentraciones representadas en función de las concentraciones de Ti en el diagrama Ti vs Zr [29], coinciden en los campos de basaltos de ambiente tipo MORB y basaltos de intra-placa (Fig. 7E). Las relaciones entre La/Th (10-12), Sm/Th (2,87-4,1), Yb/Th (3,94-4,94), Nb/Th (6,67-10,31) y Sm/Th (2,87-4,10),

coinciden con basaltos de ambiente tipo MORB [30] (Fig. 7F).

Las relaciones de Th/Yb vs Nb/Yb, los valores de Nb/Yb oscilan entre 1.42 a 3.8 y los valores de Th/Yb están entre 0.06 a 1.31. Los datos se plotean próximos al campo de basaltos tipo E-MORB, indicando que tienen una fuente mantélica profunda y enriquecida; inclusive se puede asumir una composición isotópica heterogénea. En el ascenso del magma básico, se interpreta una ligera interacción con la corteza cortical debido que la mayoría de las muestras ploteadas están en el límite de la matriz MORB-OIB; corroborado mediante las dos muestras que se encuentran ploteadas fuera del área MORB-OIB [31], (Fig. 7G)

La relación TiO₂/Yb vs Nb/Yb, los valores de Nb/Yb están entre 1.42 a 3.8 y los valores de TiO₂/Yb oscilan entre 0.30 y 0.42. Las muestras ploteadas de la Unidad Pachicutza forman un arreglo lineal entre los campos E-MORB/N-MORB a manera de una migración de E-MORB hacia un N-MORB (Flecha roja), por lo cual, se presentan características similares entre N-MORB y E-MORB y se corroboran en función de la relación (TiO₂/Yb < 0.5), que se interpreta como interacción de la pluma mantélica [31], (Fig. 7H). La naturaleza toleítica

y características semejantes a N-MORB se interpreta en función de las relaciones ($Nb/Yb < 4$ y $Th/Yb < 0.5$). Los patrones de tierras raras (REE) normalizados a condrito [32], muestran un comportamiento ligeramente enriquecido en tierras raras livianas (LREE) con valores de $(La/Yb)_N = 1,54-1,98$; patrones menos fraccionados son caracterizados por la concentración de Pr y variabilidad de Nd. Las tierras raras pesadas (HREE),

muestran patrones relativamente planos con valores de $(Gd/Yb)_N = 0,79-1,11$ y $(Eu/Yb)_N = 0,77-1,14$ (Fig. 8A). La ausencia de la anomalía de Eu, indica que no hay plagioclasa involucrada, cerrando la fase de Eu^* con abundancias entre 10 y 30 veces con respecto a valores condriticos. Estos son parámetros característicos de basaltos tipo MORB [33], [34], [35].

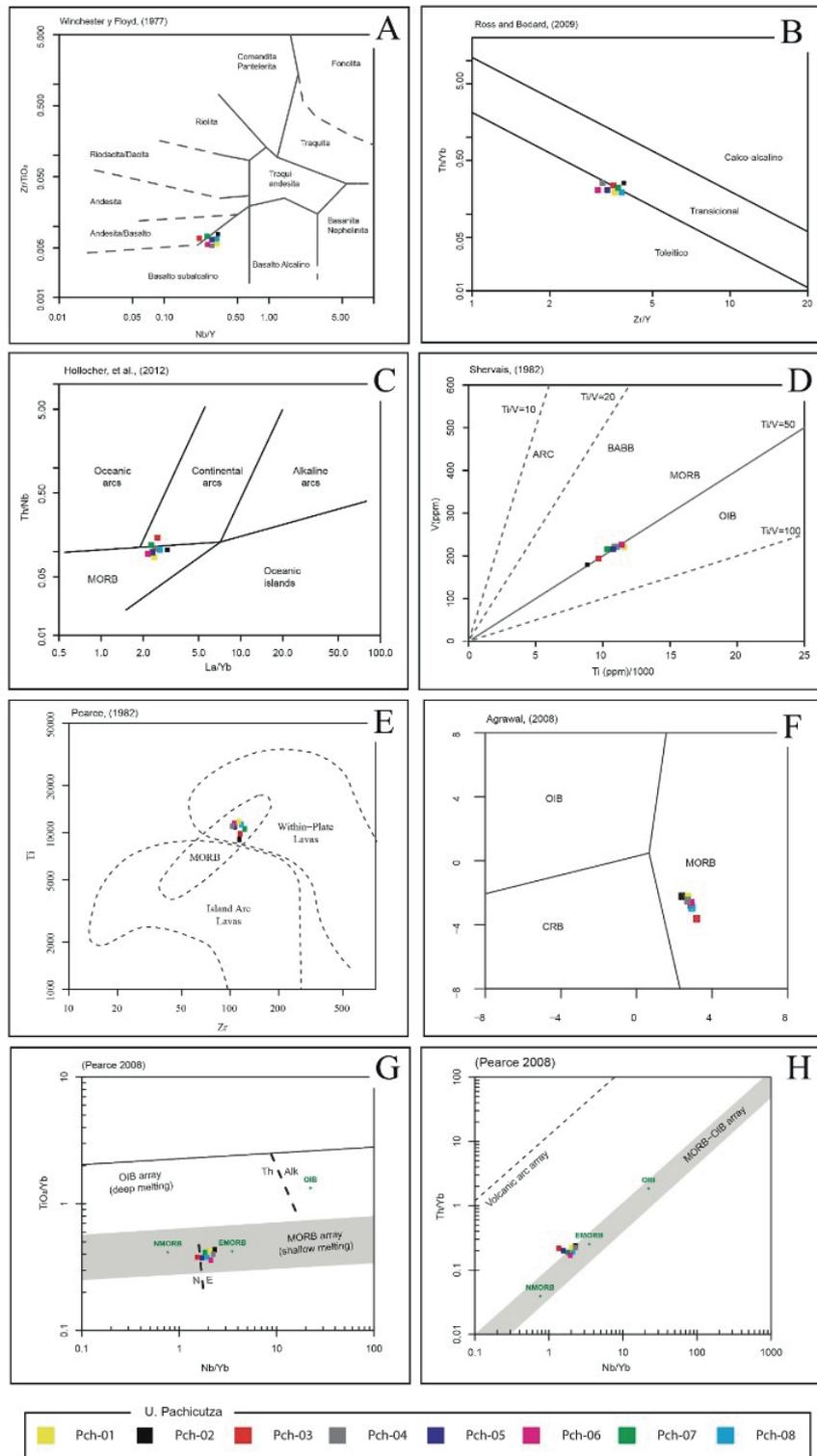


Figura 7. Diagramas de diferenciación geoquímica de la Unidad Pachicutza. **A.** Diagrama de discriminación litológica de Winchester, y Floyd, (1977). **B.** Diagrama de discriminación de afinidad geoquímica de Ross y Bédard, (2009). **C.** Diagrama de discriminación de ambiente de Hollocher, et al., (2012). **D.** Diagrama de discriminación de ambiente Shervais, (1982). **E.** Diagrama de discriminación de ambiente Pearce, (1982). **F.** Diagrama de discriminación tectónica para rocas volcánicas y ultrabásicas Agrawal, et al., (2008). **G.** Diagrama TiO_2/Yb versus Nb/Yb (Pearce, 2008). **H.** Diagrama Th/Yb versus Nb/Yb (Pearce, 2008).

Los patrones de multi-elementos evidencian enriquecimiento de Th y Pb y una evidente anomalía negativa de Nb y Ba que corresponden al fraccionamiento cristalino en la roca, como se observa en el diagrama *spider* normalizado a manto primitivo [36] (Fig. 8B). Las tierras raras pesadas (HFSE) evidencian patrones relativamente planos y cercanos a 10. Estas características son usuales para rocas originadas en un ambiente de tipo MORB y/o rocas originadas en un ambiente tras-arco con tectónica extensional [37], [38].

Las muestras ploteadas de la unidad Pachicutza en el diagrama Spider E-MORB muestran un espectro algo positivo (relación Rb/Lu), con valores que varían desde 0.6 a 2 [36], (Fig. 8C), observando un ligero empobrecimiento de elementos de iones litófilos (LILE) con respecto a los elementos de tierras pesadas (H-REE). Las anomalías positivas corresponden a los elementos de iones litófilos (LILE) de Cs y Pb con valores que superan las 50 a 200 veces respectivamente, con respecto a valores normales. Las anomalías negativas bien definidas corresponden a los elementos de iones litófilos (LILE) de Rb y Ba con valores inferiores a la unidad

De acuerdo al diagrama Spider N-MORB [36] las muestras presentan un espectro con pendiente negativa (relación Rb/Lu) con valores que varían de 10 a 1 (Fig. 8D), observando un enriquecimiento de elementos de iones litófilos (LILE) con respecto a los elementos de tierras pesadas (HREE). Las anomalías positivas corresponden a los elementos de iones litófilos (LILE) de Cs y Pb con valores que llegan entre 300 a 400 veces respecto a valores normales. Las anomalías negativas están poco marcadas y corresponden a los elementos de iones litófilos (LILE) de Rb, Ba, y Sr con valores que oscilan entre 1 a 10.

Con base a los diagramas MORB [36] se observa un enriquecimiento de los elementos trazas en el diagrama N-MORB (Fig. 8D) con respecto al diagrama E-MORB (Fig. 8E); por lo que, se interpreta que la Unidad Pachicutza tiene una fuente mantélica (manto superior) correspondiente a un MORB enriquecido, que de acuerdo a sus relaciones (Nb/Yb) indica una composición toleítica (Fig. 8G) e interactuó con la corteza cortical (Fig. 8H).

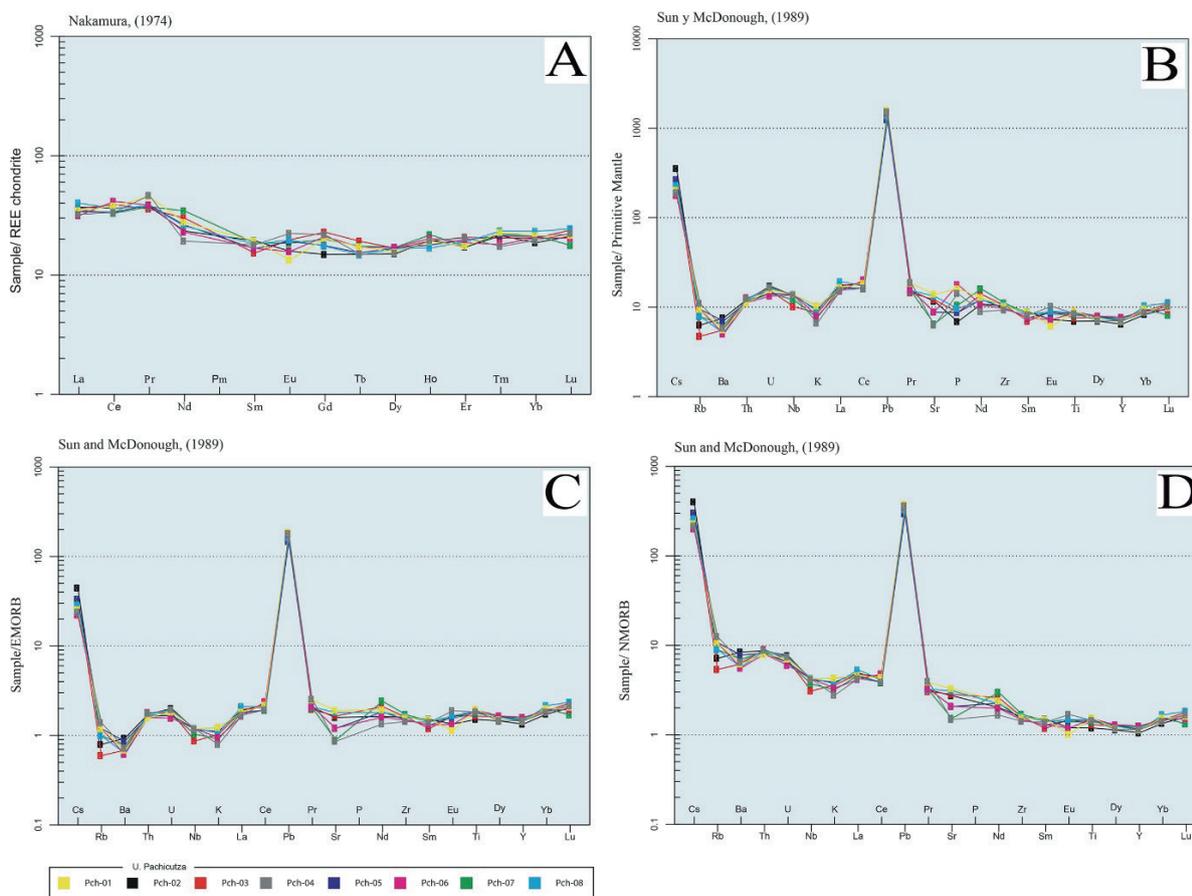


Figura 8. Diagramas spider de la Unidad Pachicutza. A; Diagrama de normalización a condrita de Nakamura, N. (1974) B; Diagrama de normalización a manto primitivo de Sun y McDonough (1989) C; Diagrama Spider N-MORB (Sun and McDonough, 1989). D; Diagrama Spider E-MORB (Sun and McDonough, 1989).

4. DISCUSIÓN

En la Unidad Piuntza, se reportaron secuencias de calizas y lutitas calcáreas deformadas, con brechas y lavas de composición andesítica a dacítica, de afinidad calcoalcalina, mapeadas en las proximidades del Complejo Intrusivo Zamora [4]. A partir del registro fósil (bivalvos y amonites) reportado esta unidad fue asignada al Triásico Superior [9], [10]. Debido al interés económico a causa de la presencia de depósitos de Skarn mineralizados [11], [39], [40] la unidad Piuntza ha sido ampliamente documentada en la cordillera del Cóndor [5], [6], [7], [8], [11], [12], [40], [41]. En esta línea, algunos autores [5], [8] afirman que la Unidad Piuntza corresponde a la roca caja en donde se emplazó el Complejo Intrusivo Zamora y pulsos magmáticos más jóvenes [4].

Dentro de este contexto, en el centro de la cordillera del Cóndor, en el distrito minero de Chinapintza, en áreas donde, anteriormente fue mapeada la Unidad Piuntza [4], [40], se reportaron secuencias basálticas intercaladas con brechas y conglomerados volcánicos, estas secuencias fueron discriminadas en la Unidad Pachicutza [13], [14], [16], [17]. Uno de los principales criterios para esta discriminación fueron análisis de geoquímica; es así que, la Unidad Pachicutza presenta una composición basáltica, de serie subalcalina, y la unidad Piuntza presenta una composición andesita basáltica, al parecer con series alcalinas y subalcalinas [16], [17] ambas unidades con afinidad toleítica que los relacionaría en un posible ambiente oceánico, sin embargo, en [16], [17] no se considera la relación estratigráfica, ni los posibles ambientes de depósito de las rocas sedimentarias y volcanoclásticas inter-estratificadas con estos niveles de lava.

Los resultados presentados en esta investigación indican la presencia de secuencias conglomeráticas, matriz soportadas, estrato-decrecientes en la parte inferior de la Unidad Pachicutza, vinculadas genéticamente a depósitos de abanicos aluviales dominados por flujos de escombros. Mientras que en el tope se observa inter-estratificación de brechas volcánicas y andesitas basálticas, esto indica que el abanico aluvial tuvo influencia de una fuente volcánica activa muy proximal, que contribuyó con detrito y flujos volcánicos. La transición se realizó desde abanicos aluviales a zonas con aporte volcánico, los cuales han sido ampliamente documentadas en las cuencas de trans-arco, en periodos de extensión [42], [43], [44].

Por otro lado, en la parte superior de la Unidad Pachicutza existen niveles de andesitas basálticas y basaltos, de series sub-alcalinas, de afinidad toleítica a transicional, de ambiente tipo MORB y/o tipo Intra-

placa; con altas concentraciones de Th y Pb junto a bajas concentraciones de Nb y Ba, estos son indicadores de contaminación cortical, por lo cual, proponemos que estos basaltos erupcionaron a través de una corteza continental muy atenuada [37].

Anteriores investigaciones afirman que la Unidad Piuntza corresponde a una secuencia volcano-sedimentaria continental y marina, depositada en una cuenca de *rift* triásica, que podría tener una relación genética con el terreno Loja [4]. Sin embargo, otras investigaciones indican que estos sedimentos fueron depositados en una cuenca de trans-arco muy atenuada, en un régimen extensivo entre 240 Ma y 225 Ma, que fue dominado por el progresivo adelgazamiento de la litosfera continental [42], [45]. Por otro lado, en función de un detallado análisis geoquímico y geocronológico, recientemente se reportó la *oceanización* de la corteza continental, debido a periodos de extensión en el trans-arco, en la margen noroccidental sudamericana, en el Triásico [46]. En este contexto regional, la interpretación del ambiente de depósito de la Unidad Pachicutza concuerda con periodos de extensión en el Triásico, que permitiría la progradación de abanicos aluviales en una cuenca de trans-arco, con una corteza continental atenuada y la interacción de pulsos basálticos hacia el tope de la secuencia.

5. CONCLUSIONES

- En el distrito minero Chinapintza, en la quebrada Pachicutza, la lito-estratigrafía de la Unidad Pachicutza puede ser analizada a detalle, es así que: en la parte inferior de la Unidad Pachicutza se observan secuencias estrato-decrecientes de conglomerados volcánicos, clasto soportados intercalados con litoareniscas masivas, la parte media es dominada por arcillolitas masivas y abundantes niveles de tobas, mientras que, la parte superior de la Unidad es dominada por intercalaciones de brechas volcánicas clasto soportadas y matriz soportadas entre andesitas basálticas y basaltos sub-alcalinos, de afinidad toleítica a transicional, de ambiente tipo MORB y/o tipo Intra-placa. También se observan altas concentraciones de Th y bajas concentraciones de Nb. Estas características son usuales para rocas originadas en ambiente de trans-arco con tectónica extensional.
- En función de las características litoestratigráficas y petrográficas observadas, se afirma que la parte inferior de la Unidad Pachicutza fue depositada en abanicos aluviales dominados por flujos de escombros, proximales a una fuente volcánica basáltica, vinculado a un arco no disectado,

mientras que en el tope de la Unidad Pachicutza este abanico aluvial se aproxima a un centro volcánico activo.

- En cuanto a las relaciones estratigráficas la Unidad Pachicutza es cubierta en discordancia por lavas andesíticas de la Formación Misahuallí, mientras el Complejo Intrusivo Zamora intruye a esta secuencia.

6. Bibliografía

- [1] Gansser, A. Facts and theories on the Andes. *Journal of the Geological Society of London*, vol. 129, pp. 93–13, 1973.
- [2] Baby, P., Rivadeneira, M., Barragán, R., & Christophoul, F., "Thick-skinned tectonics in the Oriente foreland basin of Ecuador," *Geological Society Special Publications*, vol. 377, no. 1, pp. 59-76, 2013.
- [3] Ruiz H., Seward D. y Winkler W., "Termocronología detrítica: una nueva perspectiva sobre la tectónica del interior, un ejemplo de la cuenca del Amazonas, Ecuador," *Basin Research*, vol. 16, no. 3, pp. 413 - 430, 2004..
- [4] Litherland, M., Aspden, J. A., y Jemielita, R. A., *The metamorphic belts of Ecuador*, vol. 11, Nottingham: British Geological Survey Overseas Memoir, 1994, p. 147.
- [5] Coder, J.M, *Geologic setting, geochronologic relationships, and litho geochemistry of the Panguí porphyry copper district, southeast Ecuador*, M.Sc. thesis, Univ. of Alberta, Edmonton, Canadá, 2001, p. 114.
- [6] Markowski, A., Vallance, J., Chiaradia, M., & Fontbote, L, "Mineral zoning and gold occurrence in the Fortuna skarn mine Nambija district, Ecuador," *Miner Deposita*, vol. 41, pp. 301-321, 2006.
- [7] Chiaradia, M., Vallance, J., Fontboté, L., Stein, H., Schaltegger, U., Coder, J., Richards, J., Villeneuve, M., and Gendall, I, "U-Pb, Re-Os, and 40Ar/39Ar geochronology of the Nambija Au-skarn and Panguí porphyry Cu deposits, Ecuador: Implications for the Jurassic metallogenic belt of the Northern Andes," *Mineralium Deposita*, vol. 44, p. 371–387, 2009.
- [8] Drobe, J., Lindsay, D., Stein, H., & Gabites, J, "Geology, Mineralization, and Geochronological Constraints of the Mirador Cu-Au Porphyry District, Southeast Ecuador," *Economic Geology*, vol. 108, pp. 11-35, 2013.
- [9] Iviney-Cook, H., & Morris, N, *Triassic bivalves from the province of Zamora Chinchipe in SE Ecuador*. British Geological Survey, *Geology and Mining*. London, Technical Rep. WH/89/28, 1989.
- [10] Wood, M. A., & Morris, N. J, *Identification and interpretation of collections macrofossils from Ecuador*. British Geological Survey, *Geology and Mining*. London, Technical Rep, 1992.
- [11] PRODEMICA, "Evaluación de distritos mineros del Ecuador (Colección): Potencial minero metalico y guias de exploración," DINAGE-BGS. ISBN-9978-41-376-6, Quito, 2000, vol. 1.
- [12] Vallance, J., Markowski, A., Fontboté, L., & Chiaradia, M, "Mineralogical and fluid inclusion constraints on the genesis of gold skarn deposits in the Nambija district (Ecuador). En D. Eliopoulos, Mineral Exploration and Sustainable Development," *Mineralium Deposita*, vol. 41 , pp. 301-321, 2003.
- [13] INIGEMM, "Memoria Técnica Hoja Geológica Zamora. Instituto geológico Minero Metalurgico. Version 1," Ministerio de Recursos no renovables del Ecuador, Quito-Ecuador, 2012.
- [14] INIGEMM, "Memoria Técnica Hoja Geológica Guayzimi. Instituto geológico Minero Metalurgico. Version 1," Ministerio de Recursos no renovables del Ecuador, Quito-Ecuador, 2012.
- [15] Villares, F., Eguez, A., & Yanez, E. (2014, May). Petrographic and geochemical characterization of the Triassic and Jurassic magmatic and volcanic rocks of southeastern Ecuador. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 13614).
- [16] Petit, J. P , "Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks," *Journal of structural Geology*, vol. 9, no. (5-6), pp. 597-608, 1987.
- [17] Spencer, E. W, *Geologic Maps: A Practical Guide to Preparation and Interpretation*. Waveland Press, 2017.
- [18] Yu, Q. Y., Bagas, L., Yang, P. H., & Zhang, D , "GeoPyTool: A cross-platform software solution for common geological calculations and plots," *Geoscience Frontiers*, vol. 10, no. 4, pp. 1437-1447, 2019.

- [19] Sohn, Y. K., Rhee, C. W., & Kim, B. C., "Debris flow and hyperconcentrated flood-flow deposits in an alluvial fan, northwestern part of the Cretaceous Yongdong Basin, Central Korea," *The Journal of Geology*, vol. 107, no. 1, pp. 111-132, 1999.
- [20] Nichols, G. J., & Fisher, J. A., "Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits," *Sedimentary geology*, vol. 195, no. (1-2), pp. 75-90, 2007.
- [21] Barreto, C. J. S., de Lima, E. F., Scherer, C. M., & Rossetti, L. D. M. M., "Lithofacies analysis of basic lava flows of the Paraná igneous province in the south hinge of Torres Syncline, Southern Brazil," *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 285, pp. 81-99, 2014.
- [22] Folk, R.L., *Petrology of Sedimentary Rocks*, 2nd ed., Austin: Tx: Hemphill Press, 1974, p. 182.
- [23] Dickinson, W. R., *Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones*. In *Provenance of arenites*, Dordrecht: Springer, 1985, pp. 333-361.
- [24] Dickin, A.P., *Radiogenic Isotope Geology*, 2nd ed., New York: Cambridge University Press, 2005.
- [25] Winchester, J. A., & Floyd, P. A., "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements," *Chemical geology*, vol. 20, pp. 325-343, 1977.
- [26] Ross, P. S., & Bédard, J. H., "Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams.," *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 46, no. 11, pp. 823-839, 2009.
- [27] Hollocher, K., Robinson, P., Walsh, E. & Roberts, D., "Geochemistry of amphibolite-facies volcanics and gabbros of the Storen Nappe in extensions west and southwest of Trondheim, western gneiss region, Norway: A key to correlations and paleotectonic settings," *American Journal of Science*, vol. 312, p. 357-416, 2012.
- [28] Shervais, J. W., "Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas," *Earth and planetary science letters*, vol. 59, no. 1, pp. 101-118, 1982.
- [29] Pearce, J. A., Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe R.S. (ed.) *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. John Wiley & Sons, Chichester, 1982, pp. 525-548.
- [30] Agrawal S, Guevara M, Verma S, "Tectonic discrimination of basic and ultrabasic volcanic rocks through log-transformed ratios of immobile trace elements," *International Geology Review*, vol. 50, p. 1057-1079, 2008.
- [31] Pearce, J. A. (2008). Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, 100(1-4), 14-48.
- [32] Nakamura, N, "Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites," *Geochimica et cosmochimica acta*, vol. 38, no. 5, pp. 757-775, 1974.
- [33] McCulloch, M. T., & Gamble, J. A., "Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism," *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 102, no. (3-4), pp. 358-374, 1991.
- [34] Shen, P., Pan, H., Xiao, W., & Shen, Y., "An Ordovician intra-oceanic subduction system influenced by ridge subduction in the West Junggar, Northwest China.," *International Geology Review*, vol. 56, no. 2, pp. 206-223, 2014.
- [35] Bustamante, C., Cardona, A., Archanjo, C. J., Bayona, G., Lara, M., & Valencia, V, "Geochemistry and isotopic signatures of Paleogene plutonic and detrital rocks of the Northern Andes of Colombia: A record of post-collisional arc magmatism.," *Lithos*, vol. 277, pp. 199-209, 2017.
- [36] Sun, S. S., & McDonough, W. F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes," *Geological Society, London, Special Publications*, vol. 42, no. 1, pp. 313-345, 1989.
- [37] Stern, R.J.; Lin, P.N.; Morris, J.D.; Jackson, M.C.; Fryer, P., Bloomer, S.H.; Ito, E, "Enriched back-arc basin basalts from the northern Mariana Trough: implications for the magmatic evolution of back-arc basins," *Earth and Planetary Science Letter*, vol. 100, no. (1-3), pp. 210-225, 1990.
- [38] Xia, L., & Li, X, "Basalt geochemistry as a diagnostic indicator of tectonic setting," *Gondwana Research*, vol. 65, pp. 43-67, 2019.
- [39] Egüez, A., Alvarado, A., Sanchez, A., & Vaca, E, "Geocronología en los Andes Ecuatorianos: Principales eventos de metamorfismo, magmatismo y volcanismo," *Boletín Geológico Ecuatoriano*, vol. 4, no. 1, pp. 55-83, 1997.

- [40] CODIGEM. , *Hoja Geológica de Zamora escala 1:50.000. CORPORACIÓN DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO MINERO METALÚRGICO*, Quito, 1994.
- [41] CODIGEM, *Hoja Geológica de Zamora Escala 1:100.000. CORPORACIÓN DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO MINERO METALÚRGICO*, Quito, 1996.
- [42] Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., & Beate, B, "The geological history of northwestern South America: from Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75 Ma)," *Gondwana Research*, vol. 27, no. 1, pp. 95-139, 2015.
- [43] Jolivet, L., Gorini, C., Smit, J., & Leroy, S. (2015). Continental breakup and the dynamics of rifting in back-arc basins: The Gulf of Lion margin. *Tectonics*, 34(4), 662-679.
- [44] León, S., Cardona, A., Mejía, D., Botello, G. E., Villa, V., Collo, G., ... & Avellaneda-Jiménez, D. S. (2019). Source area evolution and thermal record of an Early Cretaceous back-arc basin along the northwesternmost Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 94, 102229.
- [45] Cochrane, R., Spikings, R., Gerdes, A., Ulianov, A., Mora, A., Villagómez, D. & Chiaradia, M, "Permo-Triassic anatexis, continental rifting and the disassembly of western Pangaea," *Lithos*, vol. 190, pp. 383-402, 2014.
- [46] Villares, F., Garcia-Casco, A., Blanco-Quintero, I. F., Montes, C., Reyes, P. S., & Cardona, A, "The Peltetec ophiolitic belt (Ecuador): a window to the tectonic evolution of the Triassic margin of western Gondwana," *International Geology Review*, pp. 1-25, 2020.