



# El ambiente tectónico del intrusivo Limón, Morona Santiago, Ecuador

## The tectonic environment of the intrusive Limón, Morona Santiago, Ecuador

Christian W. ROMERO CÓNDOR<sup>1\*</sup>, Marilyn D. C. CASTILLO JARA<sup>2</sup>, Leyla L. OÑATE ACURIO<sup>3</sup>, Darwin P. CONDOY GUAIRACocha<sup>1</sup>, María E. VELIZ ZAMBRANO<sup>4</sup>, Paola D. PAZMIÑO AGUIAR<sup>3</sup>, Fausto R. CARRANCO ANDINO<sup>1</sup>, Ana B. GRAMAL AGUILAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Proyecto de Investigación Geológica y Disponibilidad de Recursos Minerales en el Territorio Ecuatoriano. Instituto de Investigación Geológico y Energético – IIGE. Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Facultad de Geología Minas Petróleos y Ambiental. Universidad Central de Ecuador. Quito, Ecuador.

<sup>3</sup> Departamento de Geología. Facultad de Geología y Petróleos. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

<sup>4</sup> Instituto de Geociências, Universidad Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, Brasil.

\* Autor de correspondencia: <christian.romero@geoenergia.gob.ec>

### RESUMEN

Al sur de la zona Subandina de Ecuador, el complejo intrusivo Zamora incluye un amplio espectro de granitoides, de afinidad calco-alcalina, que fueron interpretados como las raíces magmáticas de un arco volcánico de larga vida del Jurásico (180 a 145 Ma). Sin embargo, la cartografía geológica regional reporta al menos 32 cuerpos intrusivos subvolcánicos de gran dimensión que afectan al complejo intrusivo Zamora y fueron incluidos arbitrariamente dentro de este complejo, sin considerar las relaciones de corte entre rocas intrusivas y roca de caja, la naturaleza y posición estratigráfica de la roca de caja, el detalle petrográfico y geoquímico de rocas intrusivas. La ausencia de esta información impide la adecuada comprensión del magmatismo Jurásico y otros episodios magmáticos en esta región. Esta investigación discute el ambiente tectónico de un cuerpo intrusivo que aflora en las inmediaciones del poblado General Leónidas Plaza (Limón) denominado intrusivo Limón, en función del análisis litoestratigráfico regional, relaciones de corte, caracterización petrográfica y geoquímica. El intrusivo Limón aflora en la vía Limón a Chiviaza, consiste en un cuerpo central tipo domo y un conjunto de cuerpos periféricos tipo cúpulas, de orientación N-S y aproximadamente 3 km de longitud, desde el punto

► Ref. bibliográfica: Romero Cóndor, C. W.; Castillo Jara, M. D. C.; Oñate Acurio, L. L.; CondoY Guairacocha, D. P.; Veliz Zambrano, M. E.; Pamiño Aguiar, P. D.; Carranco Andino, F. R.; Gramal Aguilar, A. B. 2023. "El ambiente tectónico del intrusivo Limón, Morona Santiago, Ecuador". *Acta Geológica Lilloana* 34 (2): 129-152. doi: <https://doi.org/10.30550/j.agl/2023.34.2/1819>

► Recibido: 1 de julio 2023 – Aceptado: 30 de octubre 2023



► URL de la revista: <http://actageologica.lillo.org.ar>

► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

de vista litológico está compuesto por: granodioritas y cuarzomonzonitas. Las relaciones entre sílice y álcali indican que posee afinidad alcalina-cálcica a alcalina, de carácter magnesiano y perluminoso. Las concentraciones de Th y Co indican series calco-alcalinas de alto K. Las relaciones entre Th, Yb, Nb, Rb, Y, Yb, Hf y Ta indican que el intrusivo Limón proviene de un arco continental que se desarrolló en un dominio tectónico orogénico con corteza engrosada y evolucionó a un episodio post magmático intra-continental.

**Palabras clave** — Petrografía, Geoquímica, Magmatismo Jurásico, Limón, Zona Subandina.

## ABSTRACT

To the south of the Sub-Andean zone of Ecuador, the Zamora intrusive complex includes a broad spectrum of granitoid calc-alkaline affinity, interpreted as the magmatic roots of the Jurassic (180 to 145 Ma) long-lived volcanic arc. The regional geologic cartographic reports 32 subvolcanic intrusive bodies affected the Zamora intrusive complex. These subvolcanic rocks were arbitrarily mapped as these Zamora intrusive complex. The shear relationships between intrusive rocks and host rocks were not described. The nature and stratigraphic position of the host rock have not been analyzed. The petrographic and geochemical details of intrusive rocks were not considered. This information is necessary to ensure an adequate understanding of this region's Jurassic magmatism and other magmatic episodes. This research discusses, the tectonic environment of an intrusive body near the General Leónidas Plaza village (Limón), called Limón intrusive. Regional lithostratigraphic analysis, shear relationships, and petrographic and geochemical characterization support this work. The intrusive Limón outcrop on the Limón to Chiviaza road. It consists of a dome-type central body and a set of dome-type peripheral bodies, oriented N-S and approximately 3 km long. It is composed of a lithological including granodiorites and quartz monzonites. The relationships between silica and alkali indicate alkaline-calcic to alkaline affinity, with a magnesian and peraluminous character. The Th and Co concentrations indicate a high K calc-alkaline series. The relationships between Th, Yb, Nb, Rb, Y, Yb, Hf, and Ta indicate that the samples analyzed come from a continental arc developed in an orogenic tectonic domain of thickened crust, which evolved to an intra-continental post-magmatic episode.

**Keywords** — Petrography, Geochemistry, Jurassic Magmatism, Limón, Sub-Andean Zone.

## INTRODUCCIÓN

El registro litoestratigráfico de rocas intrusivas permite estudiar antiguos episodios magmáticos, es así como, la cartografía geológica emplea a la estratigrafía, geología estructural, petrografía, geoquímica y geocronología con el objetivo de proporcionar una adecuada descripción, caracterización e interpretación de cuerpos intrusivos (Jerram y Petford, 2011; Johannes y Holtz, 1996; Chakmouradian y Zaitsev, 2012).

A través de la historia geológica, la margen noroccidental de Sudamérica ha experimentado varios episodios de magmatismo vinculados a diferentes procesos tectónicos. El episodio magmático de mayor extensión que ocurrió a lo largo de la paleo-margen noroccidental de Sudamérica corresponde al plutonismo Jurásico. En la zona Subandina de Ecuador, el plutonismo Jurásico es representado por los complejos intrusivos de: Rosa Florida, Abitagua y Zamora (Spikings *et al.*, 2015; Bayona *et al.*, 2020). Estos complejos intrusivos son considerados el remanente estratigráfico de un arco magmático continental, de larga vida, desarrollado entre 189 y 162 Ma (Litherland *et al.*, 1994; Pratt *et al.*, 2005). Sin embargo, numerosos cuerpos ígneos no caracterizados y pobremente no cartografiados fueron vinculados geográficamente en los complejos intrusivos antes mencionados (BGS-CODIGEM, 1994; PRODEMINTICA, 2000). En específico, al sur de la zona Subandina, rocas ígneas del Jurásico son consideradas la roca de caja, en la cual, se emplazan los pórfidos Mirador, Mirador Norte, Chanco, San Carlos, Jerónimo, La Cruz, Counde, Naiza y Limón. Al mismo tiempo, estos cuerpos intrusivos son considerados parte del complejo intrusivo Zamora (Figura 1). Esta ambigüedad impide la adecuada caracterización y análisis del plutonismo del Jurásico y episodios magmáticos más jóvenes (Coder, 2001; Chiaradia *et al.*, 2009; Drobe *et al.*, 2013).

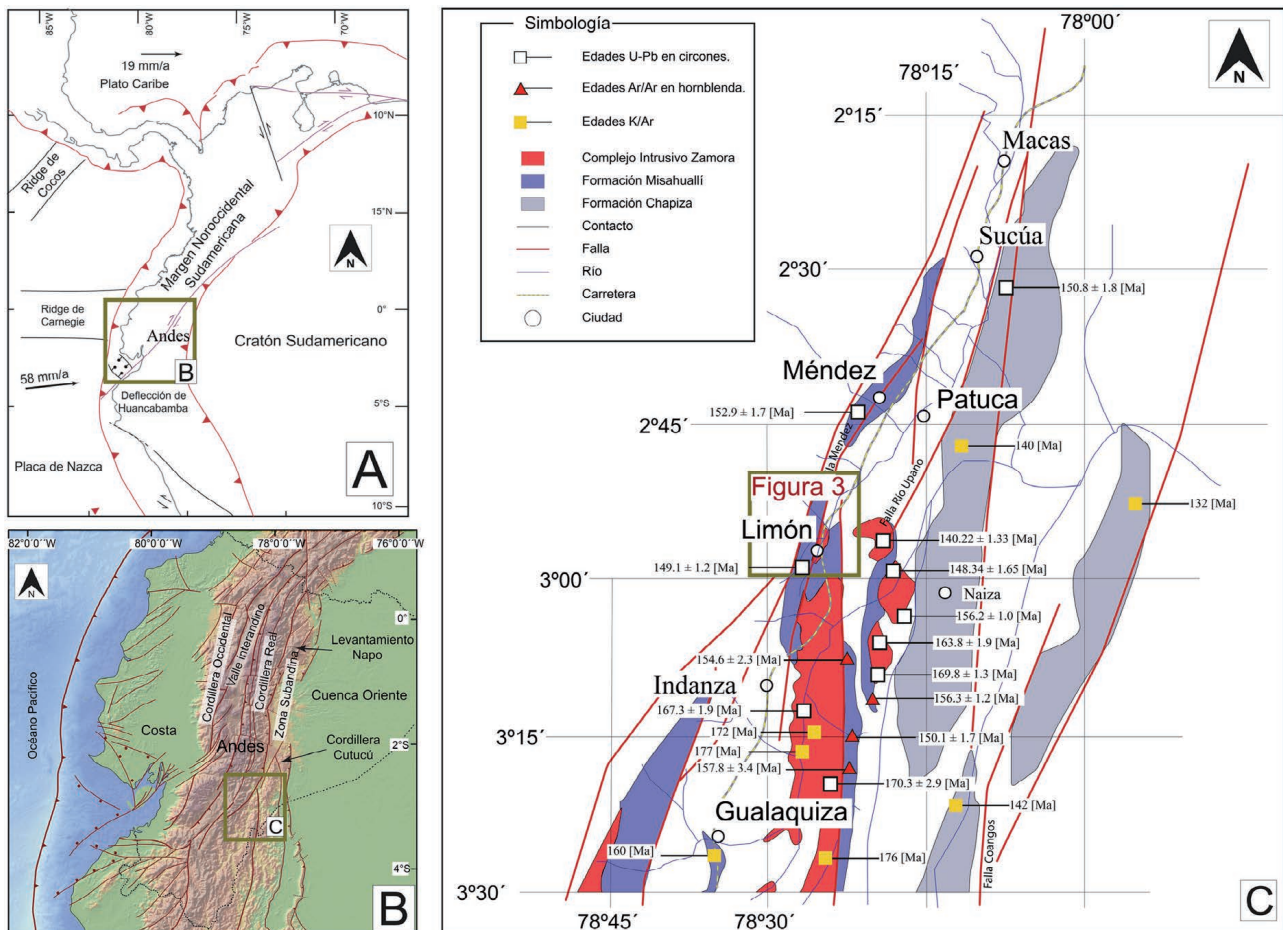
A nivel regional, pórfidos e intrusiones de alto nivel o subvolcánicas (cuerpos intrusivos emplazados a menos de 1 km de profundidad) que intruyen al complejo intrusivo Zamora tienen gran interés científico y económico, debido la amplia gama de mineralización metálica (Au, Au-Cu, Cu-Mo, entre otros) previamente reportada (Chiaradia *et al.*, 2009; Drobe *et al.*, 2013). En los alrededores al poblado General Leónidas Plaza conocido como Limón, CODIGEM, (1991) reportó la presencia de un cuerpo subvolcánico (Intrusivo Limón) emplazado en rocas volcánicas de la Formación Misahuallí (Figura 1). Por otra parte, DINAGE, (2001) reportó anomalías de Cu, Mo y Au en este intrusivo. Sin embargo, se desconoce: 1) las relaciones de corte entre el intrusivo y su roca de caja, 2) las características petrográficas y 3) el detalle geoquímico de este cuerpo intrusivo.

El desconocimiento de estas características impide proponer un modelo de evolución geológica que permita entender la génesis de los cuerpos subvolcánicos que afectan al complejo intrusivo Zamora; en este contexto, todos estos cuerpos fueron incluidos arbitrariamente dentro del mencionado complejo en la cartografía geológica regional.

Esta investigación discute el ambiente tectónico del intrusivo de Limón considerando: 1) relaciones de corte reportadas en la vía Indanza a Limón, 2) cartografía geológica escala 1:25.000, 3) nuevos datos petrográficos y, 4) geoquímicos de muestras recolectadas en la sección tipo. Los datos presentados en esta investigación constituyen la base geológica para campañas de exploración de yacimientos metálicos y estudios geocronológicos en la zona de estudio.

## MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Al norte de la deflexión de Huancabamba, la principal característica morfoestructural de la margen noroccidental sudamericana son los Andes del Norte (Figura 1A). Como se observa en la Figura 1B, en Ecuador, los Andes mantienen tendencia N-NE y están constituidos por la cordillera Occidental y la cordillera Real, separadas por el valle Interandino (Pratt *et al.*, 2005). El basamento de la cordillera Occidental y la planicie costera es considerado un terreno oceánico alóctono acrecionado a la margen noroccidental de Sudamérica a lo largo de la falla Calacalí – Pallatanga – Palenque (Luzieux *et al.*, 2005). El basamento ígneo máfico de la cordillera Occidental está cubierto por múltiples secuencias turbidíticas y volcánicas de edad Cretáceo Tardío a Mioceno (Vallejo *et al.*, 2019). Mientras que, la cordillera Real es considerada un núcleo de rocas metamórficas de edad Paleozoico a Cretáceo Superior (Spikings *et al.*, 2015).



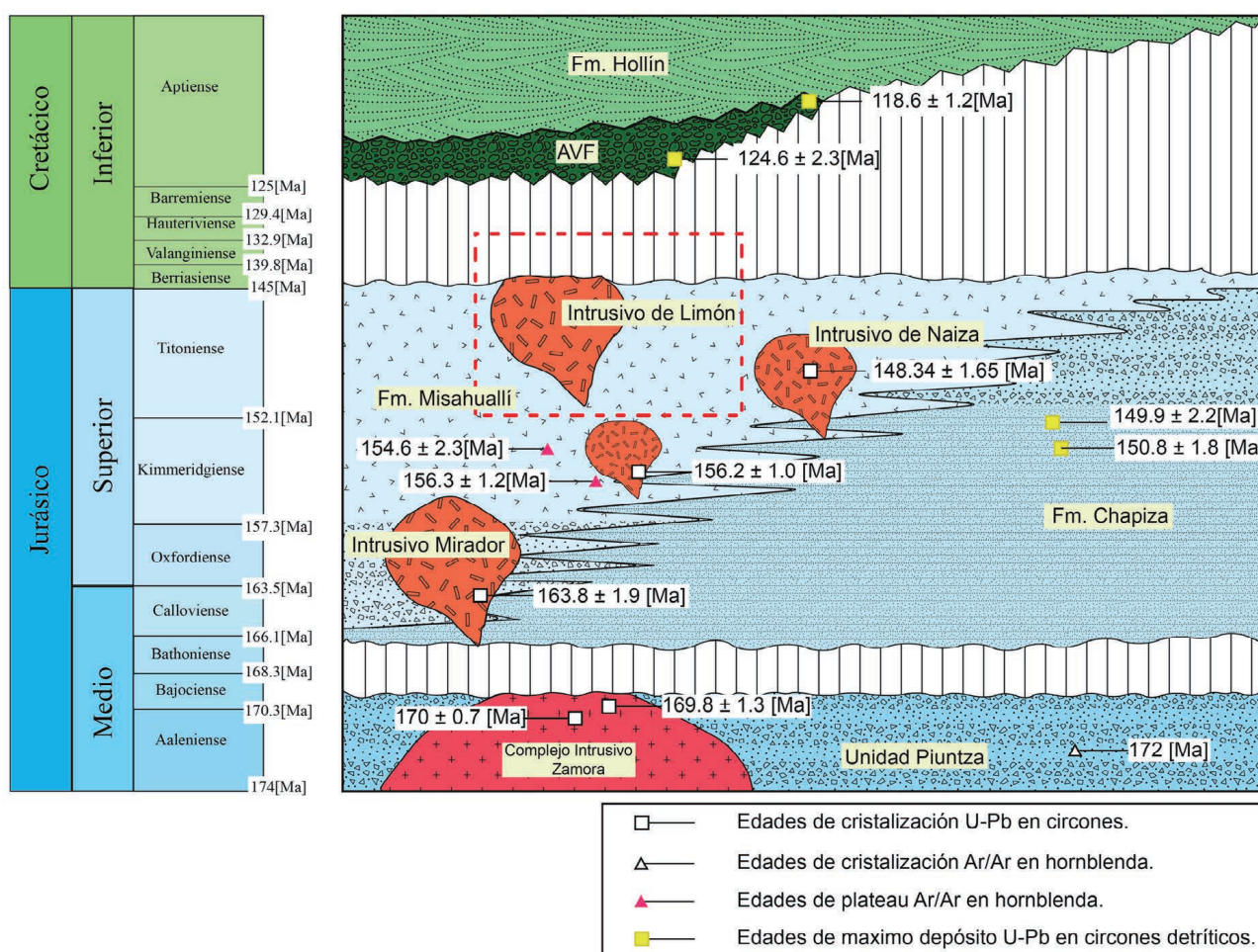
**Figura 1.** Esquema de ubicación. A. Marco geodinámico de la margen noroccidental sudamericana. B. Regiones morfo-tectónicas del Ecuador. C. Litoestratigrafía y geocronología regional previamente reportada. Modificado de Spikings *et al.* (2015); Chiaradia *et al.* (2009); Drobe *et al.* (2013); Cochrane (2013); Romero *et al.* (2020); Vallejo *et al.* (2021); Gramal *et al.* (2021).



## La Zona Subandina

El borde oriental de la cordillera Real es la zona Subandina, la cual, es considerada un cinturón corrido, plegado y exhumado, que representa una zona de transición entre rocas metamórficas de la cordillera Real y rocas sedimentarias e ígneas de la cuenca Oriente (Gutiérrez *et al.*, 2019; Gramal *et al.*, 2021). Como se observa en la Figura 1B, la zona Subandina es limitada estructuralmente de norte a sur por: el levantamiento Napo, la depresión Pastaza y la cordillera Cutucú (Baby *et al.*, 2013).

La litoestratigrafía de la zona Subandina integra megasecuencias de diferente origen separadas por discordancias regionales. En el sur de la zona Subandina, la Unidad Piuntza incluye rocas volcánicas y volcanoclásticas intercaladas entre lutitas fosilíferas con fauna del intervalo Triásico Superior a Jurásico Inferior (Litherland *et al.*, 1994). Como se observa en la Figura 2, la Unidad Piuntza es considerada la roca de caja del complejo intrusivo Zamora, que constituye un batolito elongado, de 200 km de ancho y 50 km de largo, compuesto por granodioritas, dioritas, granitos, tonalitas y granitoides de afinidad calco-alcalina, que representan las raíces magmáticas



**Figura 2.** Esquema litoestratigráfico regional. Considerando a Spikings *et al.* (2015); Drobe *et al.* (2013); Leary *et al.* (2016); Gutiérrez *et al.* (2019); Romero *et al.* (2019); Vallejo *et al.* (2021); Gramal *et al.* (2021).

del arco volcánico del Jurásico Inferior a Medio (Litherland *et al.*, 1994; Spikings *et al.*, 2015; Vallejo *et al.*, 2021). La expresión extrusiva del magmatismo Jurásico es la Formación Misahull , que incluye una amplia gama de andesitas basálticas, andesitas, dacitas, tobas y brechas volcánicas datadas en 172 Ma (Romeuf, 1994). La Formación Chapiza fue definida como una secuencia de limolitas, areniscas y conglomerados continentales intercalados con niveles volcánicos y volcanoc sticos en el tope de la secuencia (Tschopp, 1953). Intrusiones subvolcánicas emplazadas en la Formación Chapiza, fueron datadas en 156 Ma y 153 Ma, por otra parte, pórfidos pre-mineralización emplazados en la Formación Misahuallí fueron datados en 160 Ma y 132 Ma (Drobe *et al.*, 2013; Leary *et al.*, 2016). La Formación Hollín del intervalo Aptiano a Albiano se deposita en discordancia angular sobre un sustrato deformado que incluyen las formaciones Chapiza, Misahuallí, Santiago y cuerpos intrusivos del Jurásico y Cretácico (Vallejo *et al.*, 2021; Romero *et al.*, 2019).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Con la finalidad de identificar afloramientos y secciones tipo del intrusivo Limón se revisaron artículos académicos, mapas geológicos, reportes técnicos publicados y no publicados. La cartografía geológica considera la geo-referenciación de afloramientos tipo y la discriminación litológica; mientras que, la recolección de datos estructurales fue complementada con el análisis de imágenes satelitales, esto permitió redefinir lineamientos en la cartografía geológica del área de estudio (Bennison *et al.*, 2011).

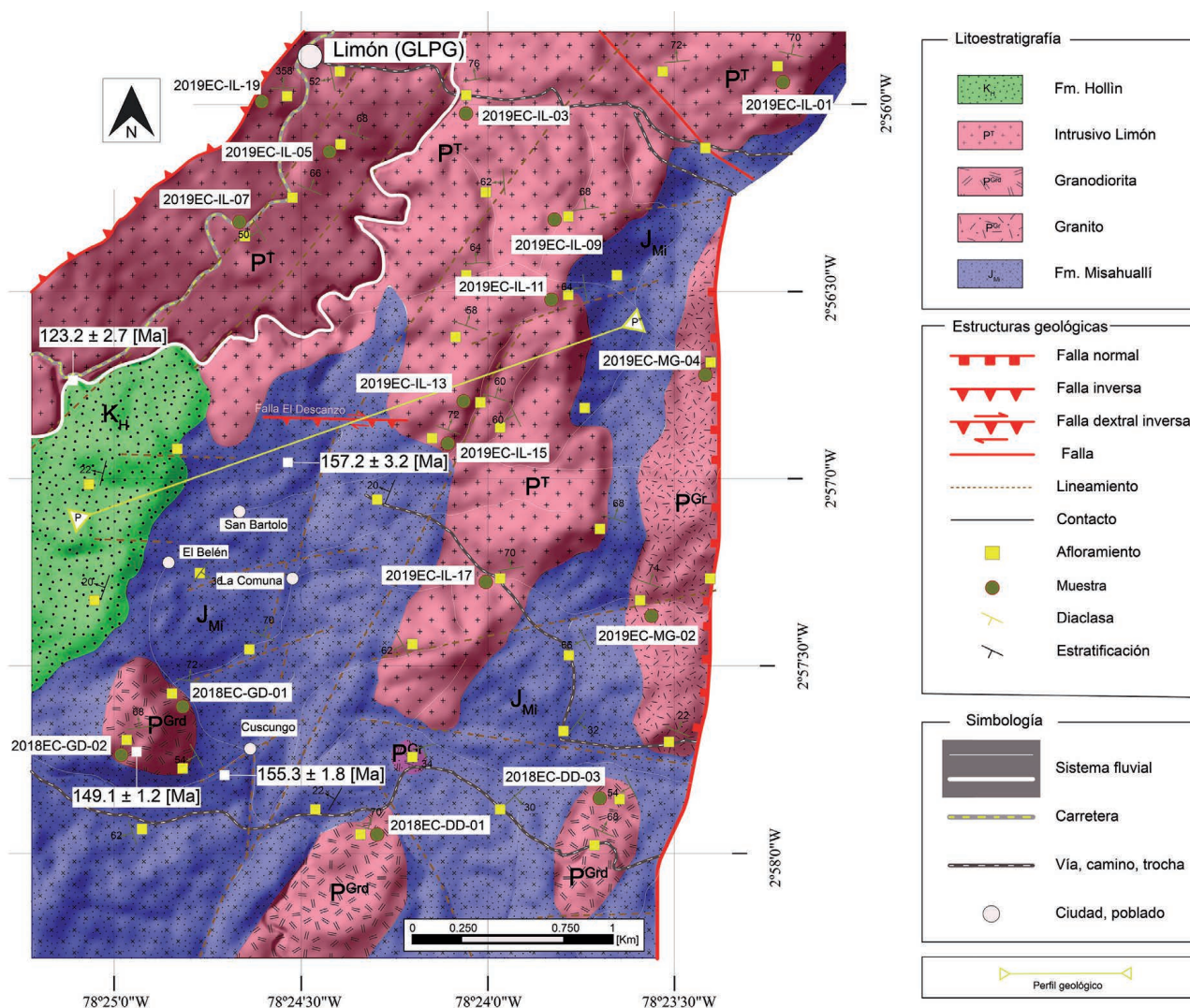
En los afloramientos tipo se recolectaron dieciséis (16) muestras que fueron utilizadas en secciones delgadas y analizadas con un microscopio petrográfico a luz polarizada, con el objetivo de identificar y cuantificar facies minerales y describir su micro textura, siguiendo los criterios descritos a detalle en Cox *et al.* (2013). Esta descripción fue complementada con el análisis semicuantitativo de difracción de rayos X; a partir de lo cual, se determinaron firmas de espectrometría en asambleas minerales (Bunaciu *et al.*, 2015). Los análisis geoquímicos incluyeron elementos mayores, traza y tierras raras. En el procesamiento de las muestras se utilizaron trituradoras y pulverizadoras con discos de carburo de tungsteno (Balaram y Subramanyam, 2022). Para el análisis de elementos mayores se utilizó fluorescencia de rayos X, XRF, con perla fundida (Oyedotun, 2018). Para elementos mayores y elementos traza, se aplicó espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente ICP-OES, con digestión total 4 ácidos (Kumar *et al.*, 2013). Para tierras raras se utilizó espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente, ICP-MS, con digestión por fusión alcalina (Pinto *et al.*, 2012). Los análisis de elementos mayores se realizaron en el laboratorio químico del Instituto de Investigación Geológica y Energética del Ecuador. Estos análisis fueron corroborados en el Instituto de Geociencias de la Universidad de Sao Paulo de Brasil; en donde, además se realizaron los análisis de elementos traza y tierras raras. Los datos reportados fueron evaluados en diagramas de discriminación litológica y tectónica, utilizando el software GCDKit 6.0 y siguiendo los procedimientos detallados en Janou ek *et al.* (2019).



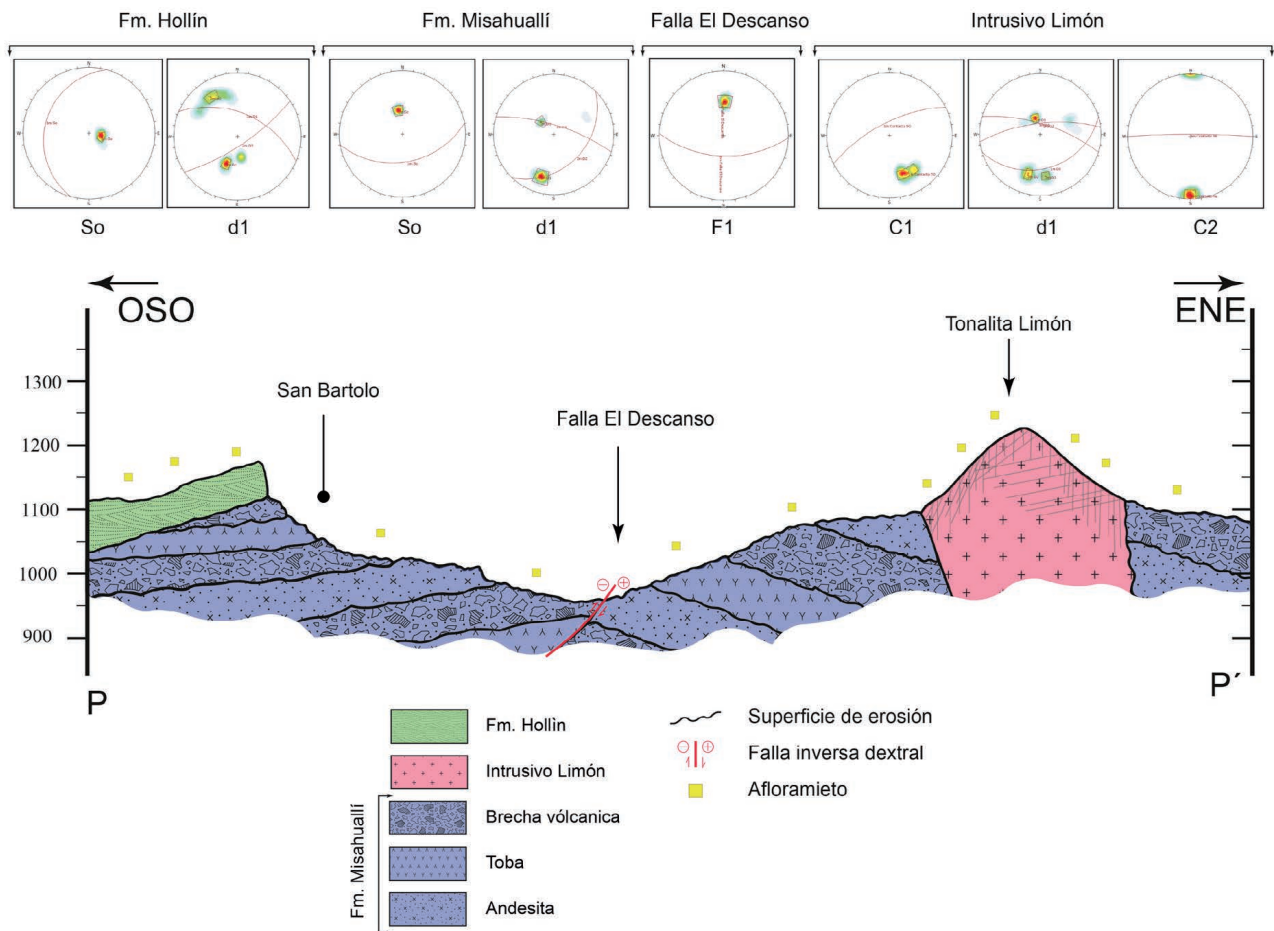
## RESULTADOS

### Relaciones de campo

**La Formación Misahuallí (JMi).**— En la carretera General Leónidas Plaza a quebrada San Bartolo (Figura 3), el relieve es dominado por potentes estratos de brechas volcánicas, clasto soportadas, oligomícticas, con fragmentos de 1 a 7 cm, angulares de baja esfericidad, de andesitas, dacitas y granitos (Figuras 3 y 4). En la cabecera de la quebrada San Bartolo, en la vía Limón a Mirador San Antonio y en la quebrada San Bartolo (Figura 3), andesitas porfíricas con fenocristales de plagioclasa y hornblenda intensamente diaclasadas se intercalan con brechas matriz soportadas monomícticas que contienen fragmentos angulares de andesitas porfíricas y tobas de cristales, de color gris verdoso (Figuras 3 y 4). En el camino hacia la cascada Colorado (Figura 3), secuencias monótonas de tobas grises y verdes con cristales rotos de plagioclasa alcanzan espesores de 40 m (Figuras 3 y 4). Observaciones morfológicas



**Figura 3.** Mapa geológico escala 1: 25.000 de Limón. Modificado de BGS–CODIGEM (1994); DINAGE (2001); IIGE (2019).



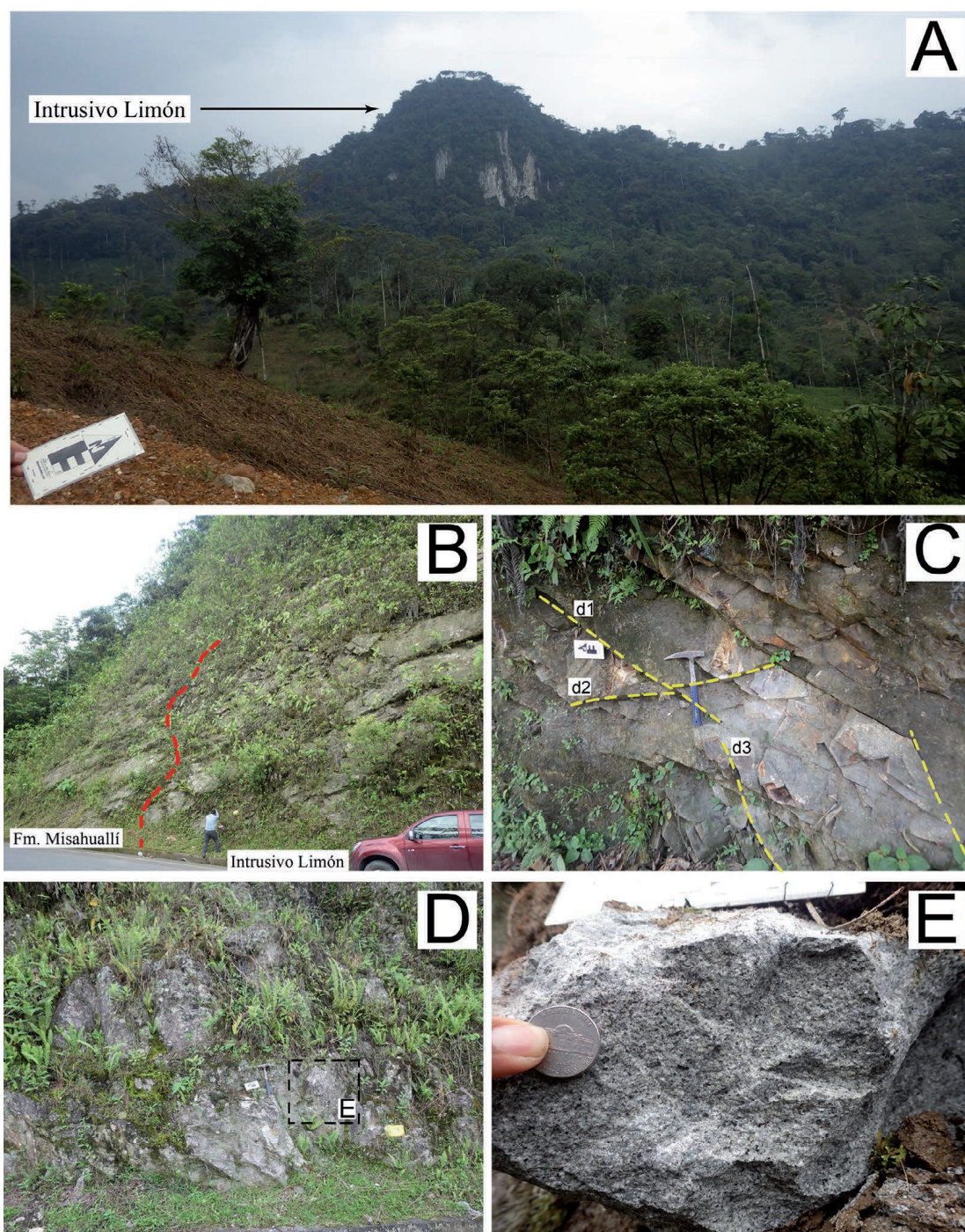
**Figura 4.** Sección geológica Limón - perfil P-P'. Sí: estratificación, D1: familias de diaclasas, F1: falla y C1-C2: contactos intrusivos.

y datos de altura GPS promedian el espesor de la Formación Misahuallí en 240 m en colinas con pendientes superiores a 20  (Figuras 3 y 4).

**Intrusivo Limón (IL).**— Al norte de Limón, en la vía Limón a Chivi za y al norte de Bijao (Figura 3), un cuerpo central tipo domo y una serie de cuerpos periféricos tipo c pula irregulares, de dirección norte-sur, de aproximadamente 3 km, de granitoides de color gris, de composición granodiorítica, de textura fanerítica, inequigranular, de grano medio a grueso, con cristales euhedrales de plagioclasa, hornblenda, magnetita y biotita se emplazan en andesitas verdes epidotizadas de la Formación Misahuallí (Figura 5).

**Formación Hollín (KH).**— En las vías: Limón a El Pescado y Limón a Yunganza (Figura 3), múltiples secuencias de cuarzo-areniscas con estratificación cruzada y gradación normal, cubren en discordancia angular a los granitoides del Intrusivo Limón y andesitas porfiríticas de la Formación Misahuallí (Figuras 3 y 4). En los sectores El Pescado y El Mirador, la Formación Hollín forma mesetas regulares con alturas superiores a 150 m (Figura 3).





**Figura 5.** Afloramiento tipo y litotipos del intrusivo Limón. A. Vista panorámica del Intrusivo de Limón. B. Contacto entre la Fm. Misahualí y el Intrusivo Limón. C. Intrusivo Limón intensamente diaclasado. D. Litotipo del Intrusivo Limón. E. Granitoide rico en plagioclasa.

### Sección geológica Limón (P-P')

La sección geológica Limón presentada en la Figura 4, tiene longitud de 2,7 km con dirección ENE-OSO; considera a las formaciones Misahualí y Hollín, al intrusivo Limón y a la estructura El Descanso. La estratificación en la Formación Misahualí fue medida en niveles de tobas y brechas volcánicas mostrando tendencia aproxi-

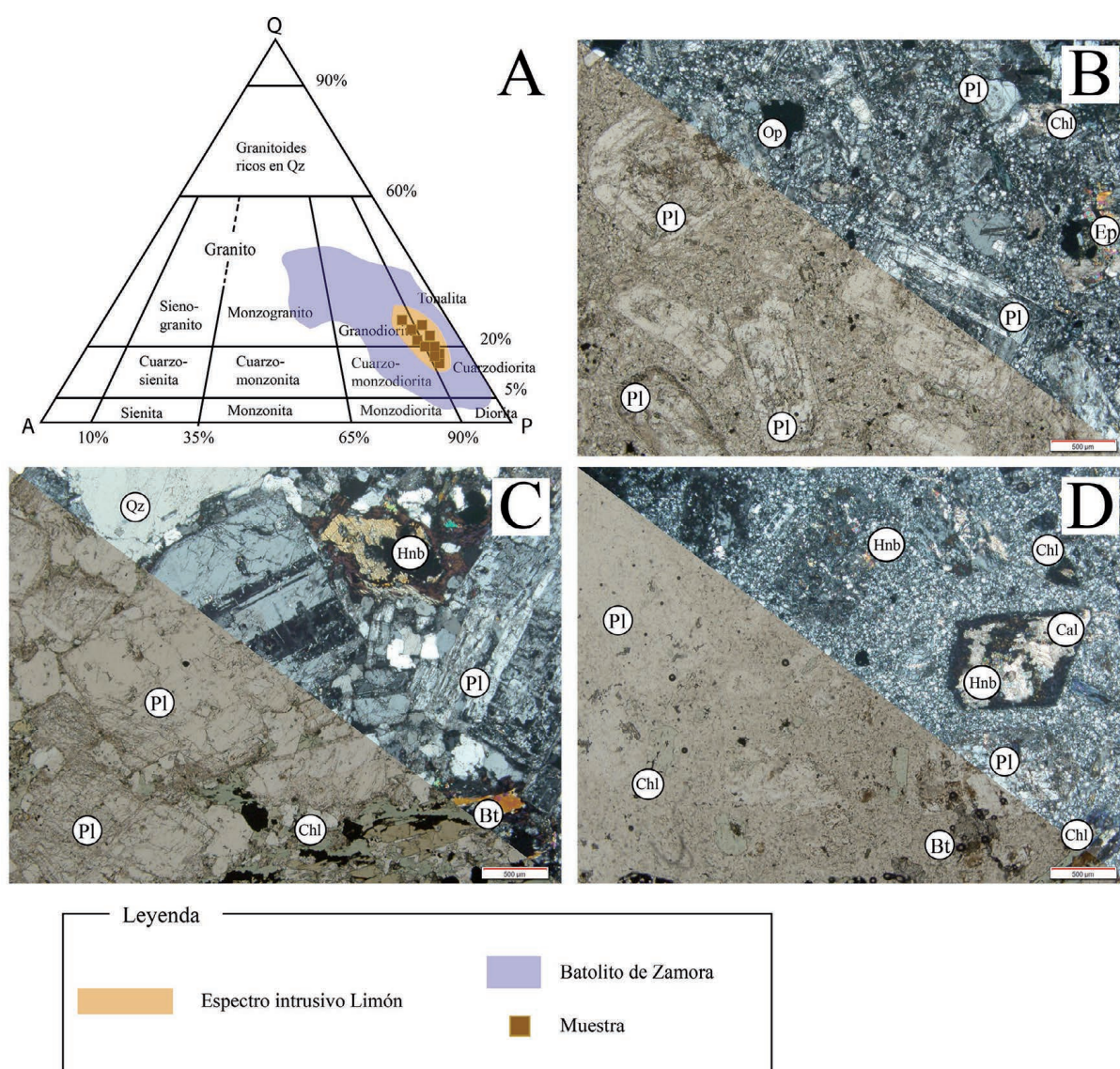
mada E-O, buzando al S; mientras que, la estratificación en la Formación Hollín presenta una tendencia N-S, buzando al O; este cambio en la dirección y buzamiento evidencia la presencia de una discordancia entre ambas secuencias (Figura 4). Datos de campo e imágenes satelitales indican que la estructura El Descanso corresponde a una falla inversa dextral de dirección E-O buzando al S, que afecta a andesitas y brechas volcánicas de la Formación Misahuallí (Figuras 3 y 4). Esta estructura fue asociada a dos familias de diaclasas oblicuas entre sí, de dirección 1) N-S buzando al O y 2) NE-SO buzando al SE (Figura 4).

Al norte de la falla El Descanso, el intrusivo Limón se emplaza en niveles de andesitas y brechas volcánicas de la Formación Misahuallí. Los contactos observados en campo cortan de manera oblicua a la Formación Misahuallí (Figura 4). Los efectos del metamorfismo térmico en la roca de caja no son fácilmente observables; sin embargo, se identificaron niveles silicificados en brechas volcánicas y reemplazamiento de calcita  $\pm$  epidota en andesitas porfíricas. Los contactos intrusivos tienen tendencia N-S buzando al E y E-O buzando subvertical al N. Tres familias de diaclasas son observadas en el intrusivo Limón de tendencia: 1) E-O buzando al N, 2) ESE-ONO buzando al NNE, 3) ENE-OSO buzando al SSE (Figura 4).

### Petrografía

El análisis petrográfico consideró dieciseis muestras tipo del intrusivo Limón; como se observa en la Figura 6A, el conjunto de muestras analizado fue ploteado en los campos de cuarzodioritas, tonalitas y granodioritas, según su contenido de cuarzo, plagioclasa y feldespato (Le Maitre *et al.*, 2002). La muestra 2019EC-IL-03 fue categorizada como una tonalita, presenta textura fanerítica, holocristalina inequigranular; la composición mineralógica incluye plagioclasa (60%), hornblenda (16%), clinopiroxeno (8%), cuarzo (7%), epidota (4%), clorita (3%) y minerales opacos (2%). La plagioclasa es el mineral más abundante en la muestra, con tamaño de cristales superiores a 6 mm, de habito tabular, con zonación y macla tipo albita y textura mirmequ tica; los anfíboles est n epidotizados y cloritizados, por otro lado, los piroxenos ligeramente cloritizados (Figura 6B). La muestra 2019EC-IL-11 fue ploteada en el campo granodiorita, presenta textura fanerítica de grano fino y holocristalina; su composición mineral incluye plagioclasa (37%), clinopiroxeno (18%), hornblenda (12%), cuarzo (10%), biotita (8%), clorita (5%), epidota (5%), pirita (3%) y magnetita (2%). En cristales euhedrales de plagioclasa se observaron maclas polisintéticas y zonación irregular. Cristales de clinopiroxeno presentan birrefringencia moderada y alto relieve. En cristales de hornblenda es común observar alto relieve, exfoliación bien marcada y alto pleocroismo (Figura 6C). La muestra 2019EC-MG-02 corresponde a una cuarzodiorita de textura hipocristalina, microlítica y poiquil tica, de grano fino a medio; su composición mineralógica incluye plagioclasa (40%), hornblenda (18%), clinopiroxeno (14%), epidota (10%), cuarzo (6%), clorita (5%), sulfuros masivos (3%), calcita (2%), biotita (2%) y minerales opacos (2%). Las hornblendas y piroxenos presentan epidotización y cloritización. También se observan inclusiones de clinopiroxeno y minerales opacos en anfíbol y plagioclasas (Figura 6D).





**Figura 6.** Análisis petrográfico de secciones delgadas del intrusivo Limón. A. Diagrama de discriminación litológica de Le Maitre *et al.* (2002). B. Sección delgada 2019EC-IL-03 tonalita del intrusivo Limón. C. Sección delgada 2019EC-IL-11 granodiorita del intrusivo Limón. D. Sección delgada 2019EC-MG-02 cuarzodiorita del intrusivo Limón.

## Geoquímica

El conjunto de muestras considerado en el análisis geoquímico fue recolectado en el cuerpo principal del intrusivo Limón. Se analizaron dieciséis muestras procurando que tuviese la mayor representatividad del cuerpo ígneo. Los resultados obtenidos a partir de los análisis geoquímicos se presentan en la Tabla 1. El conjunto de muestras analizado presenta valores de pérdida por ignición (LOI) que varían de 1,06 a 1,99. Los resultados muestran alto contenido de  $\text{SiO}_2$  (62,55% – 68,68%), álcali ( $7,00\% < \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 8,22\%$ ), y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (13,36% – 16,92%); bajos contenidos  $\text{TiO}_2$  (0,44% – 0,87%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (3,08% – 4,80%),  $\text{MgO}$  (1,08% – 2,20%),  $\text{MnO}$  (0,06% – 0,08%),  $\text{CaO}$  (1,82% – 2,62%) y  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,15% – 0,23%). En los diagramas de Harker se observa decrecimiento en  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{NaO}$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$  con el incremen-



Tabla 1. Geoquímica del Intrusivo Limón (1 de 2).

	Código															
	2018E C-DD-01	2018E C-DD-03	2019E C-IL-01	2019E C-IL-03	2019E C-IL-05	2019E C-IL-07	2019E C-IL-09	2019E C-IL-11	2019E C-IL-13	2019E C-IL-15	2019E C-IL-17	2019E C-IL-19	2019E C-MG-02	2019E C-MG-04	2020E C-GD-01	2020E C-GD-02
Long. (S)	2�57' 57,156"	2�57' 51,032"	2�55' 53,349"	2�55' 57,438"	2�56' 6,32"	2�56' 22,058"	2�56' 18,011"	2�56' 30,821"	2�56' 48,416"	2�56' 53,805"	2�57' 16,094"	2�55' 58,053"	2�57' 18,659"	2�56' 41,592"	2�57' 34,155"	2�57' 41,748"
Latit. (W)	78�24' 20,518"	78�23' 38,919"	78�23' 14,294"	78�24' 4,657"	78�24' 23,515"	78�24' 38,891"	78�23' 46,91"	78�23' 47,291"	78�24' 1,429"	78�24' 8,815"	78�23' 58,694"	78�24' 36,891"	78�23' 36,425"	78�23' 24,233"	78�24' 50,026"	78�24' 57,715"
Elementos mayores (%)																
SiO <sub>2</sub>	65,51	62,55	63,00	63,79	64,43	68,68	68,46	67,81	67,83	67,47	66,34	65,29	67,13	66,38	65,53	67,28
TiO <sub>2</sub>	0,66	0,78	0,76	0,84	0,87	0,55	0,57	0,59	0,44	0,51	0,63	0,66	0,52	0,69	0,71	0,73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,26	16,92	16,89	16,32	15,36	14,95	15,06	13,36	15,56	14,22	13,69	13,72	13,91	13,55	14,1	13,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,79	4,43	4,36	4,80	4,25	3,18	3,08	3,89	3,14	3,55	3,82	3,72	3,29	3,81	4,11	4,08
MgO	1,66	1,94	1,96	2,15	2,20	1,63	1,67	1,56	1,61	1,88	1,79	1,66	1,08	1,11	1,38	1,27
MnO	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,06	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
CaO	2,30	2,20	2,13	2,62	2,12	2,29	2,23	1,82	2,54	2,44	1,91	2,11	1,95	1,89	2,27	2,29
Na <sub>2</sub> O	2,86	3,40	3,44	3,51	3,56	3,13	3,16	3,39	3,30	3,39	2,98	3,11	3,27	3,31	3,26	3,38
K <sub>2</sub> O	4,14	4,13	4,48	4,12	4,66	4,47	4,55	4,10	4,59	4,05	4,55	4,62	4,28	4,37	4,19	4,22
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	0,16	0,19	0,21	0,23	0,18	0,19	0,17	0,19	0,18	0,17	0,21	0,15	0,17	0,18	0,17
Total	97,43	96,59	97,29	98,43	97,76	99,13	99,05	96,75	99,27	97,75	95,95	95,18	95,65	95,35	95,79	97,40
LOI	1,92	1,99	1,83	1,06	1,10	1,23	1,37	1,52	1,44	1,38	1,22	1,51	1,38	1,85	1,27	1,29
Elementos traza y Tierras raras (ppm)																
Sc	7,10	6,50	7,30	7,90	6,50	5,40	5,60	6,20	5,70	7,20	7,00	6,80	6,70	5,90	6,60	6,30
V	44,00	52,00	51,00	55,00	53,00	49,00	40,00	43,00	39,00	37,00	33,00	42,00	41,00	47,00	45,00	50,00
Cr	22,00	24,00	19,00	17,00	21,00	18,00	19,00	23,00	17,00	19,00	21,00	23,00	18,00	24,00	19,00	20,00
Co	9,40	11,00	10,90	11,90	12,50	7,90	8,50	7,70	9,50	10,30	8,00	7,40	7,20	8,90	9,10	8,40
Ni	8,70	6,80	6,80	7,40	7,20	7,20	6,10	6,60	7,60	7,40	8,10	8,60	10,80	9,30	9,10	8,50
Cu	12,30	11,70	15,60	14,60	10,40	11,50	12,80	13,10	10,90	12,50	12,80	12,20	10,70	13,50	12,90	11,60
Zn	85,00	87,00	94,00	90,00	99,00	101,00	70,00	71,00	88,00	80,00	76,00	74,00	82,00	79,00	80,00	77,00
Ga	21,10	22,40	22,90	23,50	24,20	19,85	21,70	22,70	23,75	19,25	21,30	22,50	21,70	19,80	23,40	22,70
Rb	75,60	85,40	77,70	73,70	78,60	74,50	91,40	86,80	91,50	96,80	97,50	99,30	78,60	90,40	91,50	99,60
Sr	401,00	432,00	467,00	462,00	492,00	466,00	375,00	395,00	372,00	348,00	358,00	408,00	395,00	397,00	410,00	422,00

Tabla 1. Geoquímica del Intrusivo Limón (2 de 2).

	Código															
	2018E C-DD-01	2018E C-DD-03	2019E C-IL-01	2019E C-IL-03	2019E C-IL-05	2019E C-IL-07	2019E C-IL-09	2019E C-IL-11	2019E C-IL-13	2019E C-IL-15	2019E C-IL-17	2019E C-IL-19	2019E C-MG-02	2019E C-MG-04	2020E C-GD-01	2020E C-GD-02
Y	16,70	14,60	12,40	12,30	13,70	13,10	13,40	11,30	16,50	17,80	15,80	16,50	15,70	14,60	13,50	13,80
Zr	205,00	201,00	193,00	201,00	204,00	196,00	199,00	190,00	204,00	210,00	208,00	197,00	196,00	205,00	203,00	186,00
Nb	11,20	12,40	12,20	12,60	12,40	13,90	13,90	11,20	12,50	13,30	13,10	12,80	12,60	12,40	11,80	13,10
Ba	430,00	570,00	470,00	410,00	560,00	540,00	530,00	525,00	510,00	490,00	470,00	456,00	482,00	467,00	491,00	463,00
La	21,60	24,00	25,50	21,20	29,00	23,30	31,60	36,90	31,20	33,00	37,80	26,50	24,10	27,80	29,60	33,20
Ce	75,20	86,30	75,80	75,10	77,60	78,10	93,20	94,40	86,30	74,90	83,90	80,40	79,60	81,50	83,50	82,60
Pr	5,43	6,43	6,81	5,64	7,04	6,70	8,64	9,00	8,53	7,60	8,74	8,10	7,50	7,10	8,20	8,40
Nd	31,80	34,20	34,60	29,70	28,90	34,10	34,20	33,50	31,20	37,70	36,60	30,70	29,80	28,60	32,50	30,60
Sm	4,44	5,70	5,29	4,81	5,63	5,79	5,42	5,65	4,79	4,86	5,69	6,78	6,10	4,80	4,90	5,10
Eu	1,34	1,36	1,38	1,46	1,63	1,42	1,10	1,28	0,96	1,05	1,15	1,09	1,32	1,41	1,29	1,52
Gd	3,97	4,02	4,12	3,97	3,99	4,24	4,23	3,75	3,83	4,06	5,01	4,93	4,19	3,82	3,76	4,05
Tb	0,60	0,53	0,56	0,59	0,67	0,63	0,58	0,49	0,58	0,71	0,80	0,66	0,63	0,59	0,68	0,72
Dy	3,58	2,65	3,01	2,91	3,56	3,25	3,22	2,65	3,48	3,18	3,71	3,96	3,82	3,64	3,85	3,96
Ho	0,70	0,44	0,50	0,48	0,59	0,56	0,54	0,48	0,61	0,79	0,87	0,81	0,83	0,49	0,61	0,66
Er	2,01	1,78	1,58	1,76	1,47	1,52	1,63	1,63	1,67	2,16	2,23	1,95	1,86	1,79	1,88	1,76
Tm	0,31	0,18	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23	0,24	0,18	0,23	0,25	0,26	0,24	0,22	0,21
Yb	1,83	1,68	1,18	1,14	1,21	1,39	1,32	1,19	1,52	1,42	1,29	1,34	1,32	1,42	1,22	1,38
Lu	0,30	0,26	0,28	0,26	0,21	0,20	0,21	0,18	0,20	0,29	0,30	0,25	0,22	0,24	0,23	0,26
Hf	5,10	5,70	4,90	5,20	5,90	5,60	6,10	5,60	5,70	5,60	4,90	5,10	5,00	5,30	5,20	5,40
Ta	0,76	0,85	0,92	0,82	0,68	0,93	0,64	0,75	0,66	0,65	0,68	0,61	0,73	0,81	0,72	0,69
Pb	10,50	13,00	12,00	10,00	13,00	14,20	14,60	15,00	15,40	16,60	14,10	13,80	13,60	14,20	13,80	14,50
Th	5,52	6,35	7,54	5,66	6,47	5,26	7,76	7,35	8,30	9,15	10,10	9,56	9,23	8,46	8,11	9,25
U	1,70	1,70	1,40	1,40	1,10	1,20	1,60	1,70	1,60	1,60	1,10	1,30	1,50	1,40	1,70	1,80
REE	203,71	214,34	209,95	213,19	211,82	202,66	195,04	198,82	193,41	192,10	187,15	197,72	190,73	202,38	197,21	204,38
LREE	26,94	28,97	28,86	29,47	27,57	25,25	25,28	24,08	26,22	25,54	24,26	24,40	23,57	23,74	25,18	25,00
HREE	176,77	185,37	181,09	183,72	184,25	177,41	169,76	174,74	167,19	166,56	162,89	173,32	167,16	178,64	172,03	179,38
LREE/ HREE	0,152	0,156	0,159	0,160	0,149	0,142	0,148	0,137	0,156	0,153	0,148	0,140	0,141	0,132	0,146	0,139

to de sílice sugiriendo la diferenciación del magma en el proceso de cristalización (Figura 7).

En el diagrama TAS (Middlemost, 1994), las muestras 2018EC-DD-03, 2019EC-IL-01, 2019EC-IL-03, 2019EC-IL-05, 2019EC-IL-19 fueron ploteadas en el campo de cuarzomonzonita, mientras que las muestras 2018EC-DD-01, 2020EC-GD-01, 2019EC-IL-17, 2019EC-MG-04, 2020EC-GD-02, 2019EC-IL-15, 2019EC-IL-11, 2019EC-IL-13, 2019EC-IL-09 y 2019EC-IL-07 fueron ploteados en el campo de granodiorita (Figura 8A). Las relaciones de Nb/Y (0,229 – 0,396) y Zr/Ti (0,391 – 0,077) ploteadas en el diagrama de Winchester y Floyd, (1997) que indican composición monzónica para el conjunto de muestras analizado (Figura 8B).

La relación entre álcali y CaO con respecto a SiO  evaluada en el diagrama de Frost (2001) indica afinidad alcalina-cálcica a alcalina (Figura 8C). Esto es consistente con el enriquecimiento en Th (5,26 ppm – 10,1 ppm) y Co (7,2 ppm – 12,5 ppm) observado en el diagrama de Hastie *et al.* (2007), que sugiere series calco-alcalina a calco-alcalina alto en K (Figura 8D). Las relaciones entre Fe O T, MgO y SiO  (Frost

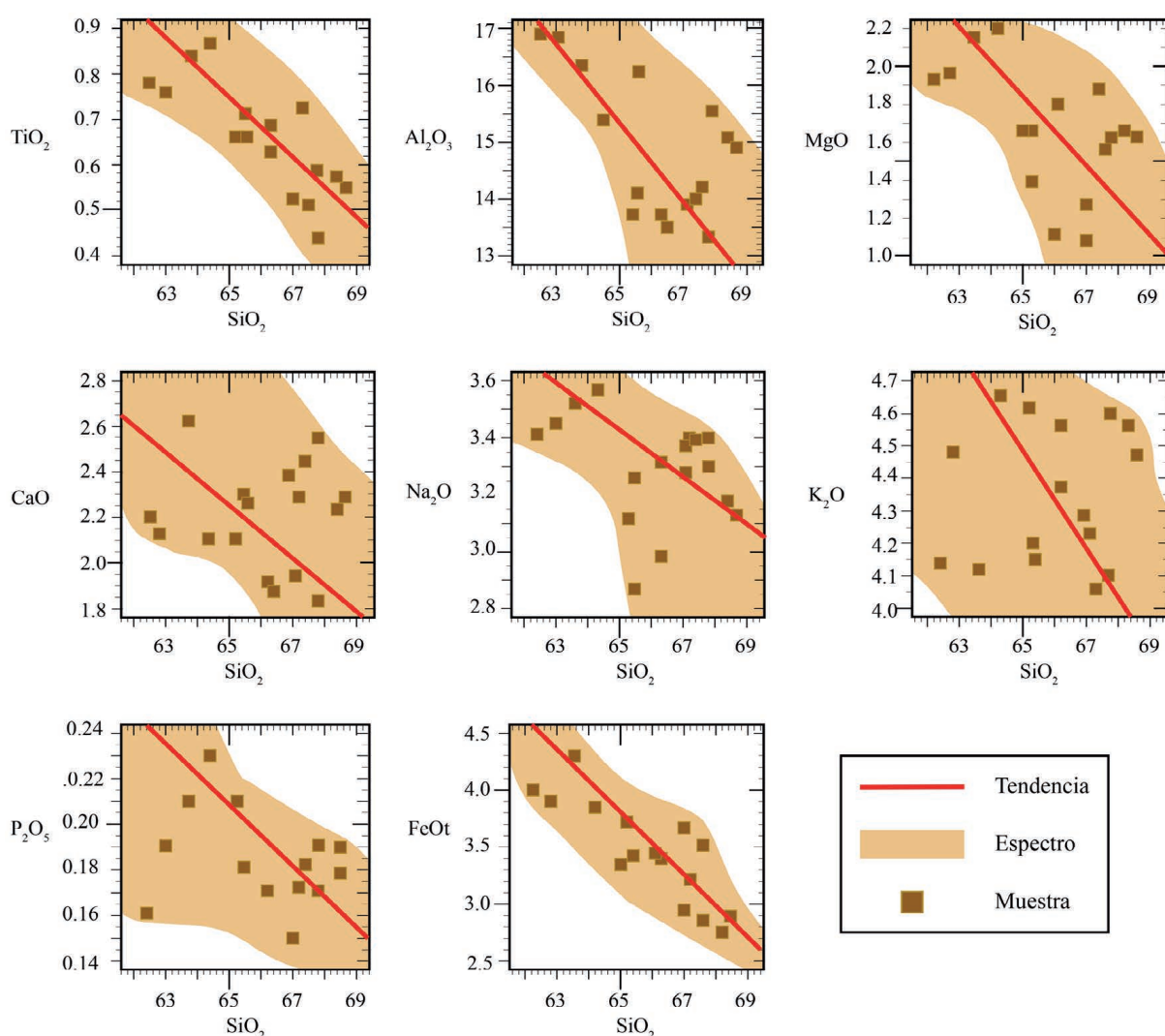
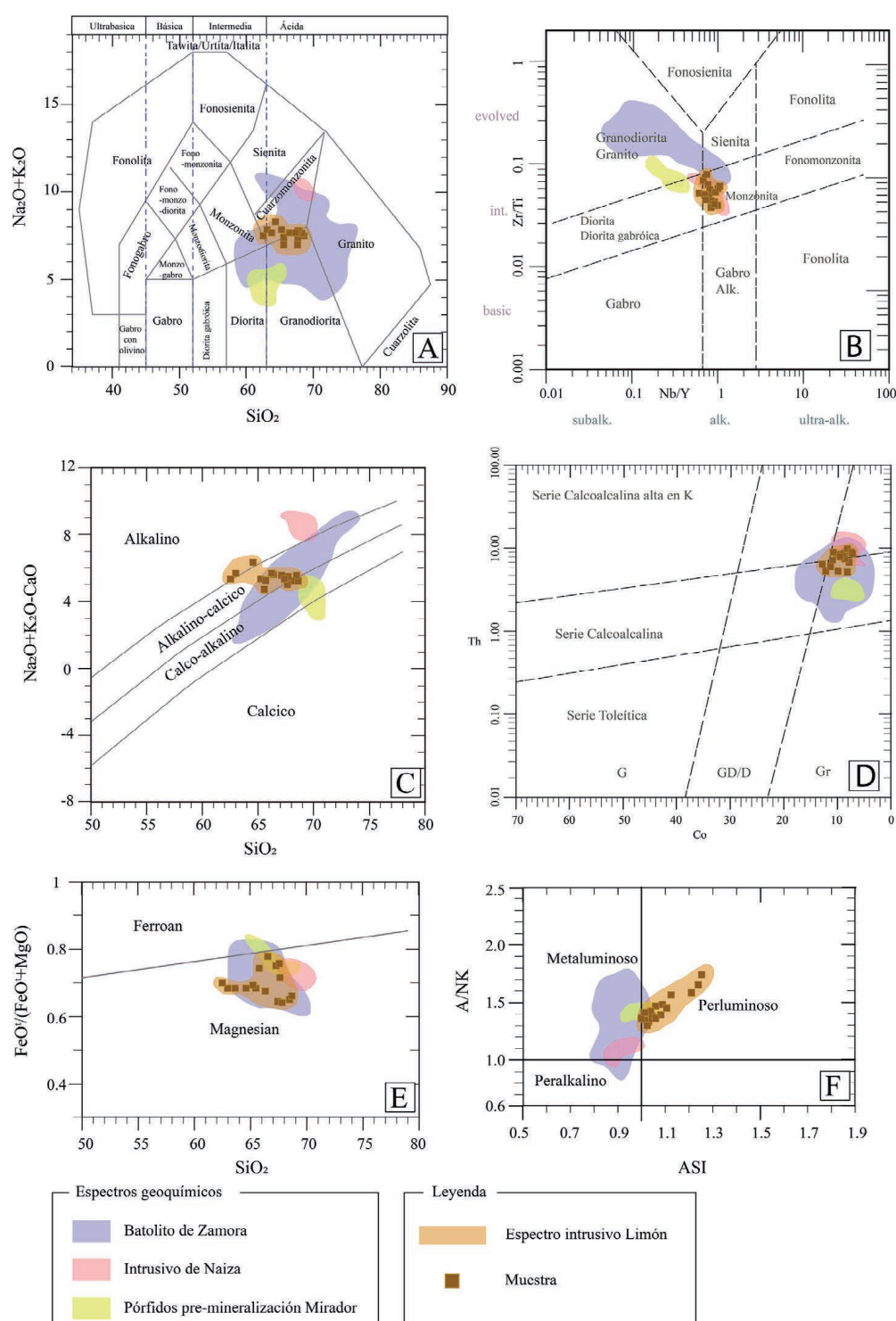


Figura 7. Diagramas de Harker óxidos mayores vs Sílice.

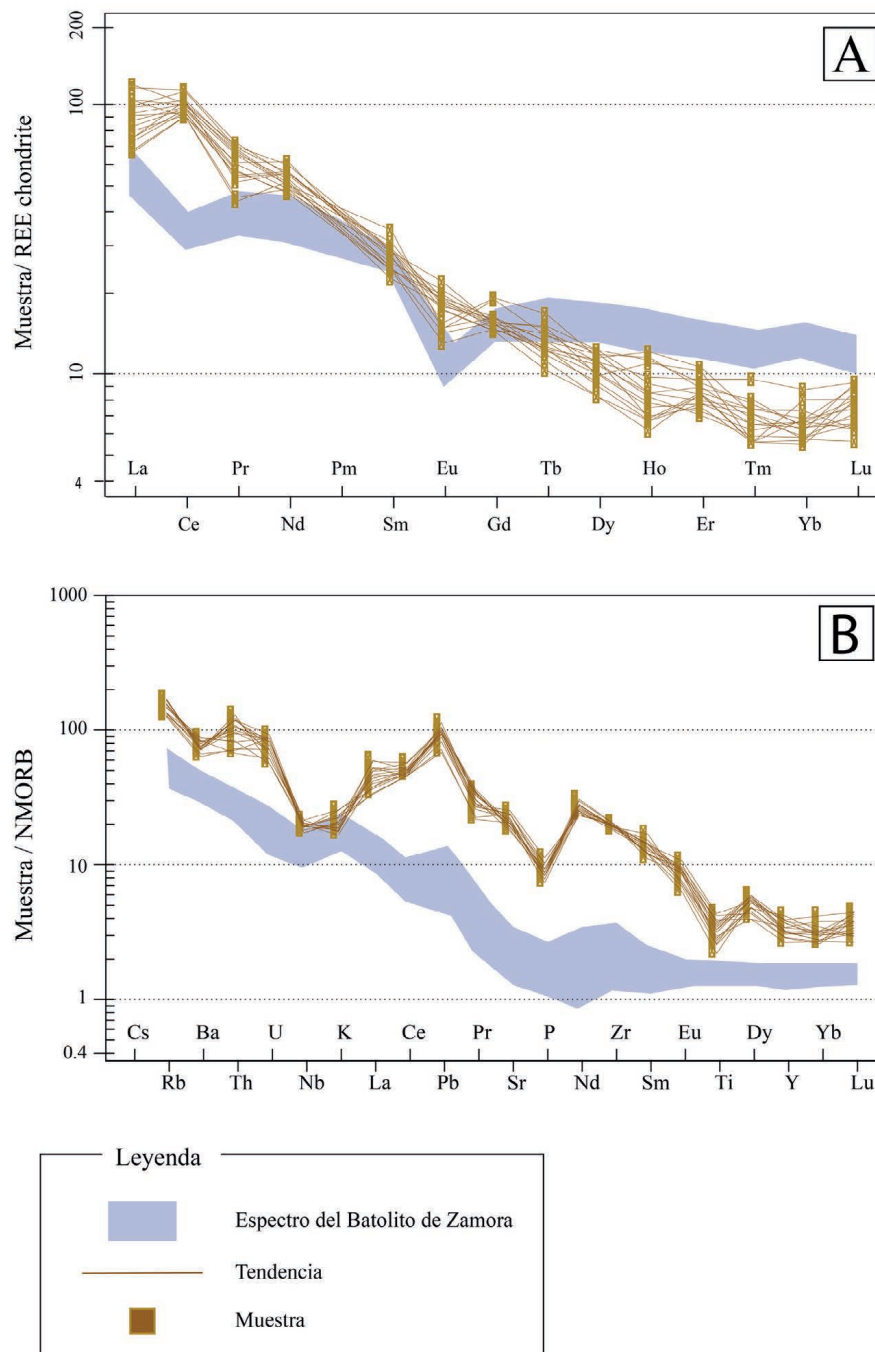




**Figura 8.** Geoquímica de elementos mayores del intrusivo Limón. A. Clasificación geoquímica de las rocas intrusivas en base al diagrama TAS (Middlemost, 1994). B. Diagrama de discriminación litológica en función de las relaciones de Nb/Y vs Sr/Ti (Winchester y Floyd, 1997). C. Diagrama de clasificación de granitoides según las relaciones de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$  vs  $\text{SiO}_2$  (Frost, 2001). D. Diagrama de afinidad química en base a las concentraciones de Th y Co (Hastie *et al.*, 2007). E. Diagrama de discriminación  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$  (Frost y Frost, 2010). F. Índice de saturación en alúmina (Maniar y Piccoli, 1989). El espectro geoquímico del batolito de Zamora incluye datos previamente reportados por Spikings *et al.* (2015) y Litherland *et al.* (1994); mientras que, el espectro geoquímico de pórfidos pre-mineralización Mirador incluye datos de PRODEMINTA (2000); Coder (2001); Chiaradia *et al.* (2009); Drobe *et al.* (2013); CODIGEM (1991) y Leary *et al.* (2016).

y Frost, 2010) indican carácter magnesiano (Figura 8E); mientras que, el índice de saturación en  lmina (Maniar y Piccoli, 1989) indica carácter peraluminoso (Figura 8F).

En el diagrama de normalización de REE a condrita (Boynnton, 1984), el conjunto de muestras analizado presenta enriquecimiento de LREE con respecto a HREE ( $\Sigma\text{LREE}=137,91\text{-}180,73/\Sigma\text{HREE}=10,6\text{-}14,44$ ; Figura 9A), con altas pendientes en



**Figura 9.** Diagramas de normalización de REE. A. Diagrama de normalización a condrita [43]. B. Diagrama de normalización a condrita (McDonough y Sun, 1995). De color gris azulado se presenta el espectro geoquímico del complejo intrusivo Zamora reportado por Spikings *et al.* (2015) y Litherland *et al.* (1994).

REE, mostrando relaciones  $(La/Yb)_N$  entre 7,96-20,91, y anomalías negativas de Eu ( $Eu/Eu^* = 0,87-1,05$ ; Figura 9A). En el diagrama de normalización de REE a manto primitivo (McDonough y Sun, 1995), se observan prominentes anomalías negativas de Nb, Ta, Sr, P y Ti (Nb= 11,2-13,9 ppm; Ta= 0,61-0,93 ppm) y anomalías positivas de Ba, K, Nd y Tb (Ba=410-570 ppm; Tb= 0,49-0,80 ppm; Figura 9B).

## DISCUSIÓN

### Control cronoestratigráfico de pórfidos y cuerpos subvolcánicos al sur de la zona Subandina

Debido al interés económico de un sin número de cuerpos intrusivos y pórfidos en las proximidades a las poblaciones de Indanza, Limón y Méndez, el estudio del estilo de mineralización permitió discriminar varios pulsos magmáticos a nivel regional (Coder, 2001; Drobe *et al.*, 2013; Vallejo *et al.*, 2021; Leary *et al.*, 2016).

En el complejo intrusivo Zamora, las edades de cristalización más antiguas (U-Pb de circones primarios) fueron reportadas de 173 a 165 Ma (Figura 1), definiendo este episodio magmático en el Jurásico Medio (Spikings *et al.*, 2015; Coder, 2001; Vallejo *et al.*, 2021).

Al sur de Limón, en el sector de Indanza edades de mineralización de 153 Ma a 156 Ma (Figuras 1 y 2) fueron reportados en diques dacíticos y andesíticos mineralizados (Drobe *et al.*, 2013); mientras que, en el sector de Naiza un granitoide fue datado en  $148,34 \pm 1,65$  Ma (Vallejo *et al.*, 2021), en el sector de Cuscungo y Mirador un pórfido granodiorítico fue datado en  $149,1 \pm 1,2$  Ma (Coder, 2001) y rocas volcánicas andesíticas mineralizadas vinculadas a la Formación Misahuallí, en el sector de San Bartolo fueron datadas en  $157,2 \pm 3,21$  Ma (McGregor, 2013) (Figura 3).

En la región Subandina y cordillera Real, en base a edades U-Pb de grandes cuerpos intrusivos y su posición geográfica Spikings *et al.* (2015) afirma que el eje del arco magmático migró hacia el oeste desde el Jurásico Medio al Cretácico Inferior, esta idea involucra un periodo de extensión y atenuación del espesor de la corteza. Por otro lado, las edades de cristalización de rocas subvolcánicas indican la existencia de un episodio magmático en el final del Jurásico Superior e inicio del Cretácico Inferior al este del arco magmático principal.

### Implicaciones estratigráficas del Intrusivo Limón

En las proximidades del poblado Limón, múltiples secuencias de andesitas porfiríticas, brechas volcánicas y tobas de cristales multicolores son agrupadas en la Formación Misahuallí, datos geoquímicos previamente publicados indican carácter calco-alcalino para esta secuencia y edades Ar-Ar en hornblendas y U-Pb en circones permiten ubicarla en el Jurásico Superior (Romeuf, 1994; Coder, 2001; Drobe *et al.*, 2013; McGregor, 2013; Vallejo *et al.*, 2021). El intrusivo Limón consiste en un gran cuerpo central tipo domo y varios intrusivos perimetrales tipo cúpulas de dirección N-S. Análisis petrográficos y datos de geoquímica indican que la composición lito-



lógica del intrusivo Limón varía de granodiorita a cuarzomonzonita (Figuras 8 y 6). Este cuerpo intrusivo se emplaza en rocas volcánicas de la Formación Misahuallí. Observaciones estructurales y morfológicas permiten caracterizar a la estructura El Descanso como una falla inversa dextral que afecta a la Formación Misahuallí. Esta estructura concuerda con el sistema de fallas E-O reportado en el prospecto Indanza (PRODEMINCA, 2000) y Chanco (Drobe *et al.*, 2013). El control estructural de zonas mineralizadas a nivel regional implica un cambio en el régimen tectónico y considerando que la roca caja de este tipo de intrusiones localmente corresponde a rocas volcánicas de la Formación Misahuallí, cuerpos intrusivos como Limón estarían vinculados al desarrollo de estructuras regionales.

### Características petrográficas del intrusivo Limón

La composición mineralógica previamente reportada para el complejo intrusivo Zamora incluye espectros composicionales que varían desde dioritas con abundante hornblenda y augita a monzogranitos con feldespato, cuarzo y plagioclasa (Litherland *et al.*, 1994; PRODEMINCA, 2000). El cuerpo central del intrusivo Limón es dominado por cuarzodioritas con plagioclasa, hornblenda, cuarzo, epidota y clorita de textura hipocristalina, microlítica y poiquilítica. En asociación, estas texturas sugieren asimilación magmática de la roca caja en el fluido (Moyen, 2020). En las periferias del cuerpo central del intrusivo Limón, granitoides tipo cúpulas presentan composición granodiorítica y tonalítica con abundante plagioclasa, hornblenda, clorita, epidota y proporciones variables de cuarzo, biotita y feldespato. Este cambio composicional es común en cámaras magmáticas someras bien diferenciadas con grandes tasas de contaminación cortical (Cox, 2013), típico de magmas que atraviesan cortezas continentales engrosadas (Ray *et al.*, 2011).

### Características geoquímicas del intrusivo Limón

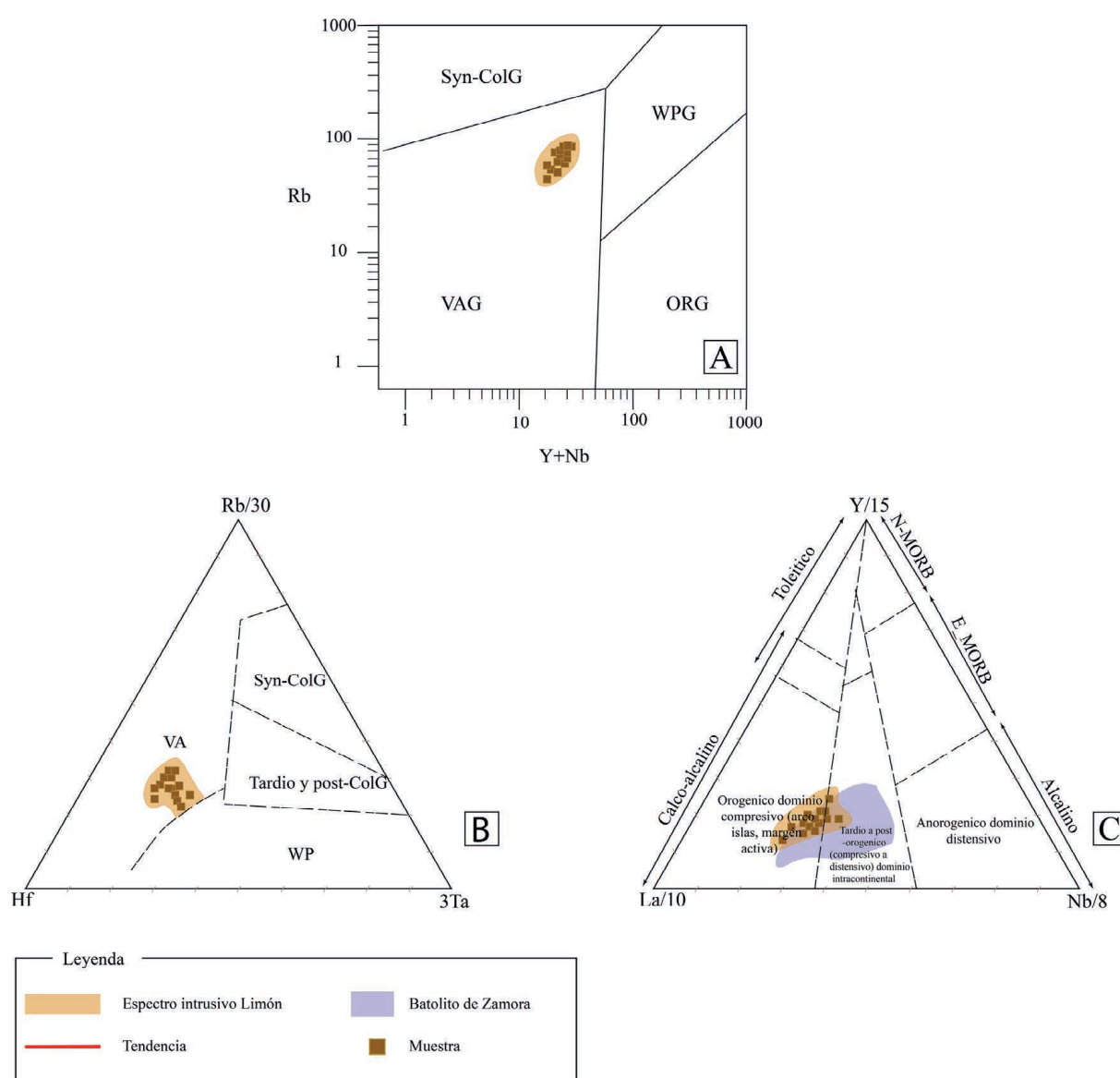
Anteriores autores reportan para el complejo intrusivo Zamora granitoides con un espectro composicional que incluyen granitos, granodioritas, monzonitas, cuarzomonzonitas y sienitas, de afinidad calco-alcalina, de carácter magnesiano a ferroano, peralcalino a metaluminoso, de arco volcánico (Litherland *et al.*, 1994; Spikings *et al.*, 2015). Mientras que, el intrusivo Limón integra granodioritas y cuarzomonzonitas, alcalinas-cálcicas y series calco-alcalinas de alto K, de carácter magnesiano y peraluminoso (Figura 8).

El detalle geoquímico del Intrusivo Limón indica:

- Las concentraciones de Y, Rb y Nb evaluadas en el diagrama de discriminación tectónica de Pearce *et al.* (1984), sugieren que el conjunto de muestras analizado proviene de un arco volcánico continental (Figura 10A).
- Las relaciones de Rb, Ta y Hf (Harris *et al.*, 1986), muestran que estas rocas intrusivas se formaron como producto de la subducción en una corteza continental engrosada (Figura 10B).

– Las relaciones Y, La y Nb (Cabanis y Lecolle, 1989), sugieren que el intrusivo Limón se formó en un episodio magmático orogénico que evolucionó a un episodio post magmático intra-continental (Figura 10C).

En asociación, estas condiciones indican un cambio de tectónica compresiva a extensiva, en la historia de la cámara magmática. Las características petrográficas y el detalle geoquímico reportado permiten evaluar la propuesta de arco volcánico de larga vida en el Jurásico (Litherland *et al.*, 1994) y aportan evidencias de un modelo de arco magmático Jurásico relacionado a una zona de subducción, en la cual, el



**Figura 10.** Discriminación tectónica del intrusivo Limón. **A.** Diagrama binario de discriminación tectónica de granitoides considerando las relaciones entre Rb, Y y Nb (Pearce *et al.*, 1984), Syn-ColG: Granitoides syn-colicionales, WPG: Granitoides de intra-placa, VAG: Granitoides de arco volcánico, ORG: Granito de Ridge Oceánico. **B.** Diagrama ternario de discriminación tectónica en base a Rb, Hf, Ta (Harris *et al.*, 1986), VA: Intrusiones de arco volcánico; SynColG: Intrusiones syn-colicionales, Tardío y post ColG: Intrusiones tardío o post-colisionales, WP: intrusiones de intra-placa. **C.** Diagrama ternario de discriminación tectónica considerando a Y, La y Nb (Cabanis y Lecolle, 1989).

eje del arco migró tanto hacia el oeste como al este, en diferentes líneas de tiempo, generando diferentes pulsos magmáticos tanto en periodos extensivos y compresivos, estos procesos tectónicos se reflejan en la cantidad de cuerpos intrusivos que se emplazan en el borde occidental de la zona Subandina.

## CONCLUSIONES

Al sur de la zona Subandina, en las inmediaciones de General Leónidas Plaza, el intrusivo Limón incluye a un cuerpo central tipo domo y un conjunto de cuerpos periféricos tipo cúpulas irregulares de orientación norte-sur, de aproximadamente 3 km de longitud, de composición granodiorítica a cuarzomonzonítica, emplazado en series de andesitas, brechas volcánicas y tobas de la Formación Misahuallí. La mineralogía del intrusivo Limón es caracterizada por altas proporciones de plagioclasa y hornblenda con concentraciones importantes de cuarzo, feldespato, clinopiroxeno, epidota y clorita. Datos geoquímicos indican que, este intrusivo tiene afinidad alcalina-cálcica a alcalina, con series calco-alcálicas de alto K, de carácter magnesiánica y peraluminosa. Patrones de REE muestran enriquecimiento relativo de LREE con respecto a HREE, con anomalías negativas de Nb, Ta, Sr, P y Ti y anomalías positivas de Ba, K, Nd y Tb, estos son patrones comunes en ambientes de arco magmático continental. Las relaciones Y, La y Nb indican un dominio tectónico orogénico con corteza engrosada que evolucionó a un dominio tectónico tardi-orogénico extensivo para el intrusivo Limón.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación Geológica y Disponibilidad de Ocurrencias Minerales en el Territorio Ecuatoriano, desarrollado por el Instituto de Investigación Geológico y Energético, anexo al Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, y producto directo del levantamiento de información geológica en la Hoja Topográfica de Méndez, escala 1:100.000, en los años 2018, 2019 y 2020. Extendemos también un agradecimiento al laboratorio Químico del Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador y al Instituto de Geociencias de la Universidad de Sao Paulo de Brasil.

## REFERENCIAS

- Baby, P., Rivadeneira, M., Barragán R. y Christophoul, F. 2013. Thick-skinned tectonics in the Oriente foreland basin of Ecuador. *Geological Society, London, Special Publications* 377(1): 59-76. Disponible en <https://doi.org/10.1144/SP377.1>
- Balaram, V. y Subramanyam, K. S. V. 2022. Sample Preparation for Geochemical Analysis: Strategies and Significance. *Advances in Sample Preparation* 32 (2): 15-32. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.sampre.2022.100010>



- Bayona, G., Bustamante, C., Nova, G. y Salazar Franco, A. 2020. Jurassic evolution of the northwestern corner of Gondwana: Present knowledge and future challenges in studying Colombian Jurassic rocks. In Gómez, J. y Pinilla-Pachon, A. O. (Eds.). *The Geology of Colombia Volume 2 Mesozoic*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 36: 171-207. Disponible en <https://doi.org/10.32685/pub.esp.36.2019.05>
- Bennison, G. M., Olver, P. A. y Moseley, K. A. 2011. *An introduction to geological structures and maps*. London. Routledge. Disponible en: <https://doi.org/10.4324/9780203783795> [Consultado 17-01-2023]
- BGS–CODIGEM (British Geological Survey - Corporación de Desarrollo e investigación geológico minero metalúrgica). 1994. *Geological and metal occurrence maps of the Cordillera Real and El Oro metamorphic belts, Ecuador*. Quito-Ecuador: Ministerio de Energía y Minas.
- Boynton, W. V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. En Henderson, P. (Ed.). *Developments in geochemistry*. Elsevier 2: 63-114. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42148-7.50008-3>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. G. y Aboul-Enein, H. Y. 2015. X-ray diffraction: instrumentation and applications. *Critical reviews in analytical chemistry* 45 (4): 289-299. Disponible en <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Cabanis, B. y Lecolle, M. 1989. Le diagramme La/10–Y/15–Nb/8; un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et/ou de contamination crustale. The La/10–Y/15–Nb/8 diagram; a tool for distinguishing volcanic series and discovering crustal mixing and/or contamination. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Serie 2, Mecanique, Physique, Chimie, Sciences de l'Univers, Sciences de la Terre* 309 (20): 2023-2029.
- Chakhmouradian, A. R. y Zaitsev A. N. 2012. Rare earth mineralization in igneous rocks: sources and processes. *Elements* 8 (5): 347-353. Disponible en <https://doi.org/10.2113/gselements.8.5.347>
- Chiaradia, M., Vallance, J., Fontboté, L., Stein, H., Schaltegger, U., Coder, J., Villeneuve, M. and Gendall, I. 2009. U–Pb, Re–Os, and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of the Nambija Au–skarn and Panguí porphyry Cu deposits, Ecuador: implications for the Jurassic metallogenic belt of the Northern Andes. *Mineralium Deposita* 44 (4): 371-387. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00126-008-0210-6>
- Cochrane, R. 2013. *U-Pb thermochronology, geochronology and geochemistry of NW South America: rift to drift transition, active margin dynamics and implications for the volume balance of continents*. Doctoral dissertation. University of Geneva.
- Coder, J. M. 2001. *Geologic setting, geochronologic relationships, and lithogeochemistry of the Panguí porphyry copper district, southeast Ecuador*. M.Sc. thesis. University of Alberta, Edmonton, Canada.
- CODIGEM (Corporación de Desarrollo e investigación geológico minero metalúrgica). 1991. *Informe final y perfil geológico de la Hoja Geológica de Indanza, Escala 1:100.000*. Quito-Ecuador: Ministerio de recursos no renovables del Ecuador. Informe inédito.

- Cox, K. G., Bell, J. D. y Pankhurst, R. J. 2013. The interpretation of igneous rocks. *Springer Science y Business Media*. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3373-1> [Consultado 17-1-2023]
- DINAGE (Dirección Nacional de Geología). 2001. *Informe económico de prospectos geológicos en la provincia de Morona Santiago, Ecuador*. Quito-Ecuador: Ministerio de recursos no renovables del Ecuador. Informe inédito.
- Drobe, J., Lindsay, D., Stein, H. and Gabites, J. 2013. Geology, mineralization, and geochronological constraints of the Mirador Cu–Au porphyry district, southeast Ecuador. *Economic Geology* 108 (1):11-35, 2013. Disponible en <https://doi.org/10.2113/econgeo.108.1.11>
- Frost, B. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology* 42(11): 2033-2048. Disponible en <https://doi.org/10.1093/petrology/42.11.2033>
- Frost, C. D. y Frost, B. R. 2010. On ferroan (A–type) granitoids: their compositional variability and modes of origin. *Journal of Petrology* 52 (1): 39-53. Disponible en <https://doi.org/10.1093/petrology/egq070>
- Gramal, A., Carranco, F., Romero, C., Pulupa, R., Calderón, D. y Toainga, S. 2021. Evidencias de canibalización de secuencias Cretácicas y Paleógenas de la Cuenca Oriente en la cuña orogénica de los Andes ecuatorianos. *Boletín de Geología* 43 (3): 15-34. Disponible en <https://doi.org/10.18273/revbol.v43n3-2021001>
- Gutierrez, E. G., Horton, B. K., Vallejo, C., Jackson, L. J. y George, S. W. 2019. Provenance and geochronological insights into Late Cretaceous-Cenozoic foreland basin development in the Subandean Zone and Oriente Basin of Ecuador. In Horton, B. K. y Folguera, A. (Eds.) *Andean Tectonics*. Elsevier, 237-268. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816009-1.00011-3>
- Harris, N. B., Pearce, J. A. y Tindle, A. G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. *Geological Society, London, Special Publications* 19 (1): 67-81. Disponible en <https://doi.org/10.1144/GSL.SP1986.019.01.04>
- Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A. y Mitchell, S. F. 2007. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th–Co discrimination diagram. *Journal of Petrology* 48 (12): 2341-2357. Disponible en <https://doi.org/10.1093/petrology/egm062>
- IIGE (Instituto de Investigación Geológico y Energético). 2019. *Memoria Técnica de la Hoja Geológica Méndez, escala 1:100.000*. Quito-Ecuador: Ministerio de Energía y Minas. Publicación no seriada.
- Janoušek, V., Moyen, J. F., Erban, V. y Hora, J. 2019. GCDkit goes platform independent!. *Abstracts of the Goldschmidt Conference*, Barcelona, European Association of Geochemistry, Geochemical Society.
- Jerram, D. y Petford, N. 2011. *The field description of igneous rocks*. (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Johannes, W. y Holtz, F. 1996. *Petrogenesis and experimental petrology of granitic rocks*. (1rs ed.). Berlín: Springer.
- Kumar, V., Kumar, S., Kumar, N. y Bangroo, P. N. 2013. Separation and pre-concentration of rare earth elements in geological materials using used green tea leaves and their determination by ICP-OES. *Journal of the Indian Chemical Society* 90 (11): 2147-2151.

- Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M. J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorensen, H. y Woolley A. R. 2002. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535581.001> [Consultado 17-01-2023]
- Leary, S., Sillitoe, R. H., Stewart, P. W., Roa, K. J. y Nicolson, B. E. 2016. Discovery, Geology, and Origin of the Fruta del Norte Epithermal Gold–Silver Deposit, Southeastern Ecuador. *Economic Geology* 111(5): 1043-1072. Disponible en: <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.5.1043>
- Litherland, M., Aspden, J. A. y Jemielita, R. A. 1994. *The metamorphic belts of Ecuador*. British Geological Survey, Overseas Memoir 11, BGS.
- Luzieux, L. D., Heller, F., Spikings, R., Winkler W. y Vallejo, C. 2005. Cretaceous block rotations in the coastal forearc of Ecuador: paleomagnetic, chronstratigraphic evidences, and implications for the origin and accretion of the blocks. *3rd Swiss Geoscience Meeting*, Zürich.
- Maniar, P. D. y Piccoli, P. M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological society of America bulletin* 101 (5): 635-643. Disponible en: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101%3C0635:TDOG%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101%3C0635:TDOG%3E2.3.CO;2)
- McDonough, W. F. y Sun, S. S. 1995. The composition of the Earth. *Chemical geology* 120 (3-4): 223-253. Disponible en [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
- McGregor, V. D. 2013. *Geological and economic analysis of the La Victoria Chica prospect*. Doctoral dissertation University Alberta.
- Middlemost, E. A. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-science reviews* 37 (3-4): 215-224. Disponible en [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- Moyen, J. F. 2020. Archean granitoids: classification, petrology, geochemistry, and origin. *Geological Society, London, Special Publications* 496 (1): 15-49. Disponible en <https://doi.org/10.1144/SP489-2018-34>
- Oyedotun, T. D. T. 2018. X-ray fluorescence (XRF) in the investigation of the composition of earth materials: a review and an overview. *Geology, Ecology, and Landscapes* 2 (2): 148-154. Disponible en <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1452459>
- Pearce, J. A., Harris, N. B. y Tindle, A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25 (4): 956-983. Disponible en <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>
- Pinto, F. G., Junior, R. E. y Saint’Pierre, T. D. 2012. Sample preparation for determination of rare earth elements in geological samples by ICP-MS: a critical review. *Analytical letters* 45 (12): 1537-1556. Disponible en <https://doi.org/10.1080/00032719.2012.677778>
- Pratt, W. T., Duque, P. and Ponce, M. 2005. An autochthonous geological model for the eastern Andes of Ecuador. *Tectonophysics* 399 (4): 251-278. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.12.025>

- PRODEMINCA (Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Evaluación de Distritos Mineros). 2000. *Potencial Minero Met lico y Gu as de Exploraci n Vol. 1*. Quito, Ecuador, Ministerio de Energía y Minas.
- Ray, J., Sen, J. y Ghosh, B. 2011. *Topics in igneous petrology*. Londres, Springer.
- Romero, C. W., Condo, D. P., Menéndez, B. y Gallardo, O. 2020. Provenience analysis in Mesozoic sequence in the cordillera Cutucu. En Gomez M., Filipussi D. y Lenzano, L. (Eds.). *Actas completas del 15  Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra*. Buenos Aires-Argentina. ISBN 978-987-1323-64-7.
- Romero, C., Gramal, A. B., Carranco, F. y Toainga, S. D. 2019. Asociación de facies: La clave para la identificación de la Formación Hollín en la región sur oriental del Ecuador. *Revista Científica GeoLatitud* 2 (1): 9-23. Disponible en: <https://geolatitud.geoenergia.gob.ec/ojs/ojs/index.php/GeoLatitud/article/view/31/65>
- Romeuf, N. 1994. *Volcanisme Jurassique et metamorphisme en Equateur et au Perou. Caractéristiques pétrographiques, minéralogiques et géochimiques. Implications géodynamiques*. Thèse de Doctorat d Université Unpublished. Université d'Aix-Marseille III, Editions de l'ORSTOM.
- Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van derLelij, R., Vallejo, C., Winkler, W. y Beate, B. 2015. The geological history of northwestern South America: from Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75 Ma). *Gondwana Research* 27 (1): 95-139. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.06.004>
- Tschopp, H. J. 1953. Oil explorations in the Oriente of Ecuador. *AAPG Bulletin* 37 (10): 2303-2347. Disponible en <https://doi.org/10.1306/5CEADD94-16BB-11D7-8645000102C1865D>
- Vallejo, C., Romero, C., Horton, B. K., Spikings, R. A., Gaibor, J., Winkler, W. y Mar  o, E. 2021. Jurassic to Early Paleogene sedimentation in the Amazon region of Ecuador: Implications for the paleogeographic evolution of northwestern South America. *Global and Planetary Change* 204 (1): 103555. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103555>
- Vallejo, C., Spikings, R. A., Horton, B. K., Luzieux, L., Romero, C., Winkler, W. y Thomsen, T. B. 2019. Late Cretaceous to Miocene stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic plateau fragment. In Horton, B. K. y Folguera, A. (Eds.) *Andean Tectonics*. Elsevier, 209-236. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816009-1.00010-1>
- Winchester, J. A. y Floyd, P. A. 1997. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical geology* 20 (1): 325-343. Disponible en [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(77\)90057-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(77)90057-2)