



El origen del intrusivo Potrerillos (Macará, Ecuador)

The origin of the intrusive Potrerillos (Macará, Ecuador)

Christian W. ROMERO CÓNDOR^{1*}, Marilyn D. C. CASTILLO JARA², Leyla L. OÑATE ACURIO³, Fausto R. CARRANCO ANDINO¹, Tito S. VÉLEZ SUQUILANDA¹, Juan G. TORRES CARTUCHE¹, Dayana M. GÓMEZ ESTÉVEZ², Héctor G. FREIRE CABRERA³, Vanessa L. ESCOBAR DUCHE⁴, Ana B. GRAMAL AGUILAR¹, Darwin P. CONDOY GUAIRACOA¹, Anibal R. PULUPA VELA¹, Diego A. BARONA DÍAZ¹

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

² Facultad de Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Universidad Central de Ecuador. Quito, Ecuador.

³ Departamento de Geología, Facultad de Geología y Petróleos, Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

⁴ Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. Salamanca, España.

* Autor corresponsal: <wladimir.romero@geoenergia.gob.ec>

RESUMEN

Recientes campañas de cartografía geológica en la cuenca Alamor – Lancones reportaron al intrusivo Potrerillos, al este de Macará. Este intrusivo se emplaza en rocas volcanoclásticas de la Formación Ciano, sin embargo, se desconoce la petrografía, la geoquímica y la edad del intrusivo. Este trabajo discute el ambiente tectónico del intrusivo Potrerillos en función de nuevos datos litoestratigráficos, petrográficos y geoquímicos, recolectados en la sección Bocana La Laja – Vicin. La cuarzomonzonita Potrerillos consiste en un cuerpo tipo domo, de dirección NE y 1,5 km de longitud. Su mineralogía incluye: albita, oligoclasa, microclina, cuarzo, hornblenda, augita y biotita, con textura fanerítica, holocristalina, inequigranular. Concentraciones de óxidos mayores indican afinidad calcoalcalina potásica, series magnesianas, perluminicas a metaluminicas saturadas en sílice. Bajas concentraciones de Ta, P, Yb, Nb, Ti, Ni, Cr, las relaciones Th/Yb, Ta/Yb, Th/Ta, Th/Hf, Ta/Hf, enriquecimiento relativo en LREE y ligeras anomalías negativas de Eu indican que el ambiente de

► Ref. bibliográfica: Romero Cóndor, C. W.; Castillo Jara, M. D. C.; Oñate Acurio, L. L.; Carranco Andino, F. R.; Vélez Suquilanda, T. S.; Torres Cartuche, J. G.; Gómez Estévez, D. M.; Freire Cabrera, H. G.; Escobar Duche, V. L.; Gramal Aguilar, A. B.; Condoy Guairacocha, D. P.; Pulupa Vela, A. R.; Barona Díaz, D. A. 2023. "El origen del intrusivo Potrerillos (Macará, Ecuador)". *Acta Geológica Lilloana* 34 (1): 1-26. doi: <https://doi.org/10.30550/j.agl/2023.34.1/2023-02-24>

► Recibido: 22 de enero 2023 – Aceptado: 24 de febrero 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.

formación del intrusivo Potrerillos se vincula al desarrollo de un arco volcánico en margen activa continental.

Palabras clave — Petrografía, Geoquímica, Cuenca Amor Lancones, Ecuador.

ABSTRACT

New geological mapping campaigns in the Amor-Lancones basin reported the Potrerillos intrusive east of Macará. This intrusive intrudes volcanoclastic rocks of the Ciano Formation. However, the intrusive's petrography, geochemistry, and age are unknown. This paper discusses the tectonic setting of the Potrerillos intrusive based on new lithostratigraphic, petrographic, and geochemical data collected in the Bocana La Laja to Vicin section. The quartz monzonites Potrerillos consist of a dome-like body, trending NE and 1.5 km long. Its mineralogy includes albite, oligoclase, microcline, quartz, hornblende, augite, and biotite, with a phaneritic, holocrystalline, and unequigranular texture. Major oxide concentrations indicate calc-alkaline potassium affinity, magnesium series, peraluminic to metalluminic, saturated in silica. Low concentrations of Ta, P, Yb, Nb, Ti, Ni, Cr, and ratios Th/Yb, Ta/Yb, Th/Ta, Th/Hf, Ta/Hf, and relative enrichment in LREE and slight negative anomalies of Eu indicate that the Potrerillos intrusive is linked to a volcanic arc on an active continental margin.

Keywords — Petrography, Geochemistry, Amor Lancones Basin, Ecuador.

INTRODUCCIÓN

Al norte de la deflexión de Huancabamba, los Andes del Norte representan la principal característica morfoestructural de la margen noroccidental de Sudamérica (Romero *et al.*, 2022). En Ecuador, los Andes del Norte tienen tendencia nor-noreste a sur-suroeste y presentan una cuenca de ante-arco (Costa) y una cuenca de tras-arco (Oriente) adyacentes (Gutiérrez *et al.*, 2019). Los Andes ecuatorianos están estructurados por la cordillera Occidental y la cordillera Real, separadas por la depresión Interandina (Figura 1). Al sur del Ecuador, la zona de la falla dextral Guayabal separa la cordillera Real del bloque Amotape – Tahuín, de tendencia este – oeste, que es considerado una cuña de la cordillera Real rotada (Riel *et al.*, 2014).

Entre la cordillera Real y bloque Amotape – Tahuín se localiza la cuenca de antearco Amor-Lancones y el Arco Celica (Jaillard *et al.*, 1999). Múltiples secuencias volcánicas y volcanoclásticas indiscriminadas fueron incluidas en el arco volcánico Celica datado al Cretácico (Winter, 2008). Varios cuerpos intrusivos se emplazan en esta secuencia, principalmente granitoides del complejo intrusivo Tangula, además de varios cuerpos porfiríticos y subvolcánicos. Entre ellos los pórfidos Linderos y Curiplaya, que fueron datados en $87,5 \pm 1,6$ Ma y $92,0 \pm 1,0$ Ma respectivamente, restringiendo la edad del magmatismo al Coniaciano (Schutte, 2009). Sin embargo,

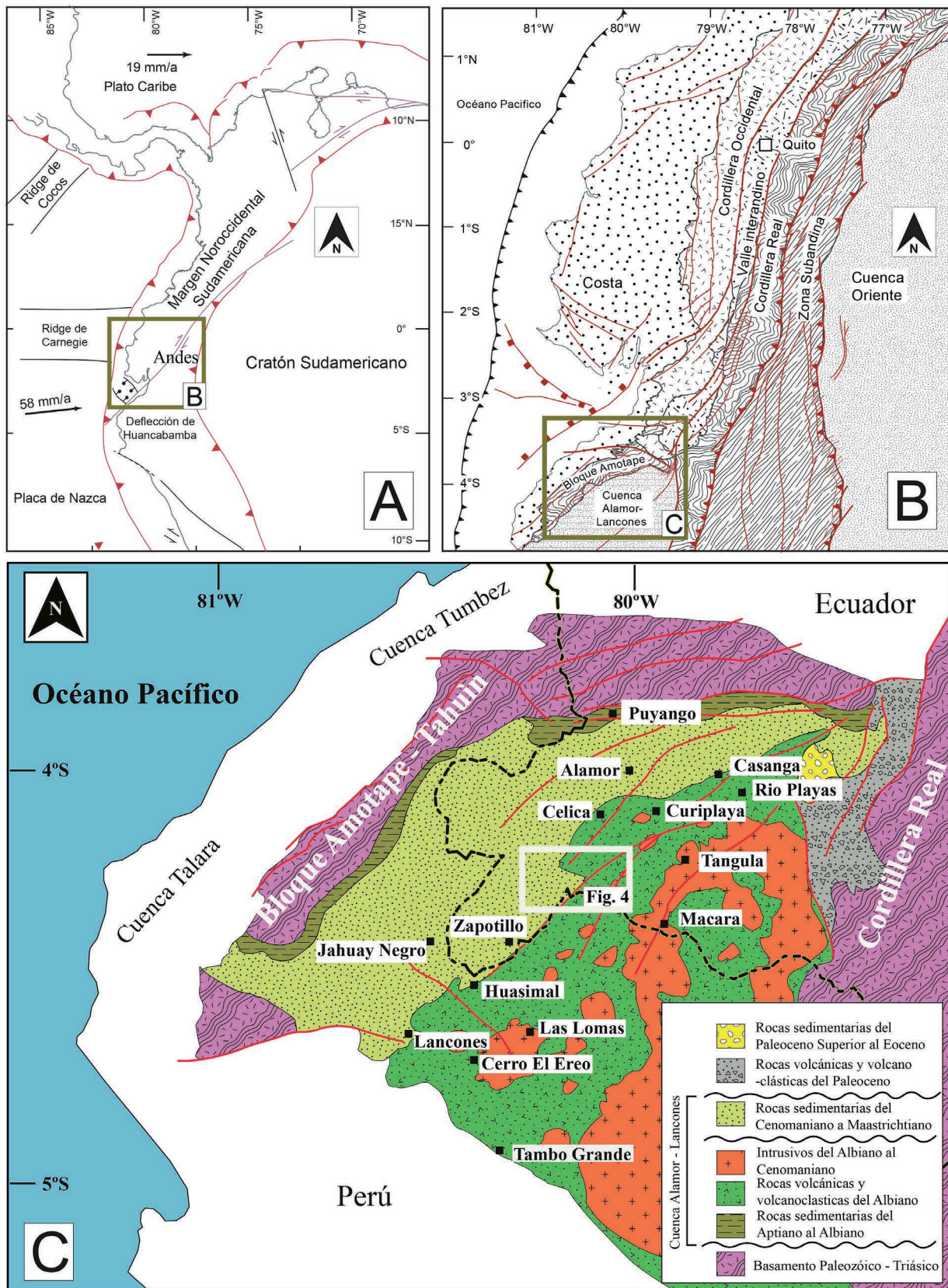


Figura 1. Mapa de ubicación. A. Esquema tectónico de la margen noroccidental de Sudamérica, modificado de Romero *et al.* (2022). B. Regiones morfo-tectónicas del Ecuador; modificado de Jaillard *et al.* (1999) y Romero *et al.* (2021). C. Mapa geológico de la cuenca Almor – Lancones, indicando la posición del arco Celica; modificado de Valarezo *et al.* (2019).

en Ecuador dataciones confiables de la secuencia volcánica Celica y de rocas intrusivas no han sido reportados.

En este contexto, al este del poblado de Macará, en la sección Bocana La Laja – Vicin, el intrusivo Potrerillos fue reportado por INIGEMM (2016a), como un pórfido de composición granítica, sin embargo, la naturaleza de la roca de caja, las relaciones de corte, petrografía, geoquímica y edad del intrusivo no han sido reportadas. La ausencia de esta información imposibilita la interpretación en el contexto geodinámico regional de este cuerpo intrusivo. El objetivo de este trabajo es discutir el ambiente de formación del intrusivo Potrerillos a partir de nuevos datos litoestratigráficos, petrográficos y geoquímicos, recolectados en la sección Bocana La Laja – Vicin, en el sector Potrerillos.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El arco Celica se ubica al sureste de la cuenca Alamor – Lancones, limitada al este por la cordillera Real y noroeste por el bloque Amotape – Tahuín (Figura 1). Estos bloques de rocas metamórficas son considerados el basamento de la cuenca (Figura 2). Los depósitos volcánicos de la cuenca Alamor – Lancones consisten en intercalaciones de rocas volcanoclásticas y lavas andesíticas de afinidad calcoalcalina, asignadas al Cretácico Superior (Kennerley, 1973; Bristow y Hoffstetter, 1977; Feininger y Bristow, 1980; Lebrat 1985; Aguirre, 1992; Carrasco, 2018). En la base de la secuencia Celica, anteriores autores reportaron la presencia de andesitas basálticas y andesitas de afinidad toleítica (Figuras 2 y 3), estas rocas fueron nombradas Unidad Punta de Piedras (Pilatasig *et al.*, 2013; INIGEMM, 2016a). Sin embargo, en Ecuador no se ha reportado la litoestratigrafía detallada y formal de la Formación Celica, incrementando la incertidumbre en cuanto a la comprensión de la génesis y evolución del arco Celica. Por otro lado, distintas series de rocas intrusivas fueron agrupadas en el complejo intrusivo Tangula (Figura 3), la litología de estas series intrusivas varía desde gabros a granitoides ricos en cuarzo y se emplazan en diferentes niveles volcánicos de la Formación Celica (INIGEMM, 2016a; INIGEMM, 2016b; INIGEMM, 2016c; INIGEMM, 2016d). Edades K-Ar, Ar-Ar y U-Pb reportadas para estas series intrusivas varían desde 115 Ma a 38 Ma (Winter, 2008; Schutte, 2009; Kennerley, 1973; Urlich, 2005). Esto implica que diferentes episodios magmáticos fueron cartografiados en el complejo intrusivo Tangula (Figura 3), por ejemplo: al norte de Macará, edades de cristalización U-Pb en circones obtenidos del complejo intrusivo Tangula varían de 111 a 103 Ma (Winter, 2008; Schutte, 2009; Urlich, 2005), el pórfido diorítico Curiplaya fue datado mediante U-Pb en circones a 92 ± 1.0 Ma (Schutte, 2009). El pórfido granodiorítico Linderos indican una edad de cristalización U-Pb en circones de $87,5 \pm 1,6$ Ma (Winter, 2008). Mientras que, el pórfido Tierra Blanca agrupa a granitoides ricos en cuarzo con edades U-Pb que indican cristalización de $66,1 \pm 1,2$ Ma (Carlotto *et al.*, 2009).

En Perú, los depósitos volcánicos de la Cuenca Alamor-Lancones fueron cartografiados en cuatro formaciones (Figura 2): Cerro San Lorenzo, Cerro El Ereó, La Bocana y Lancones (Winter, 2008). En la Formación Cerro San Lorenzo fueron

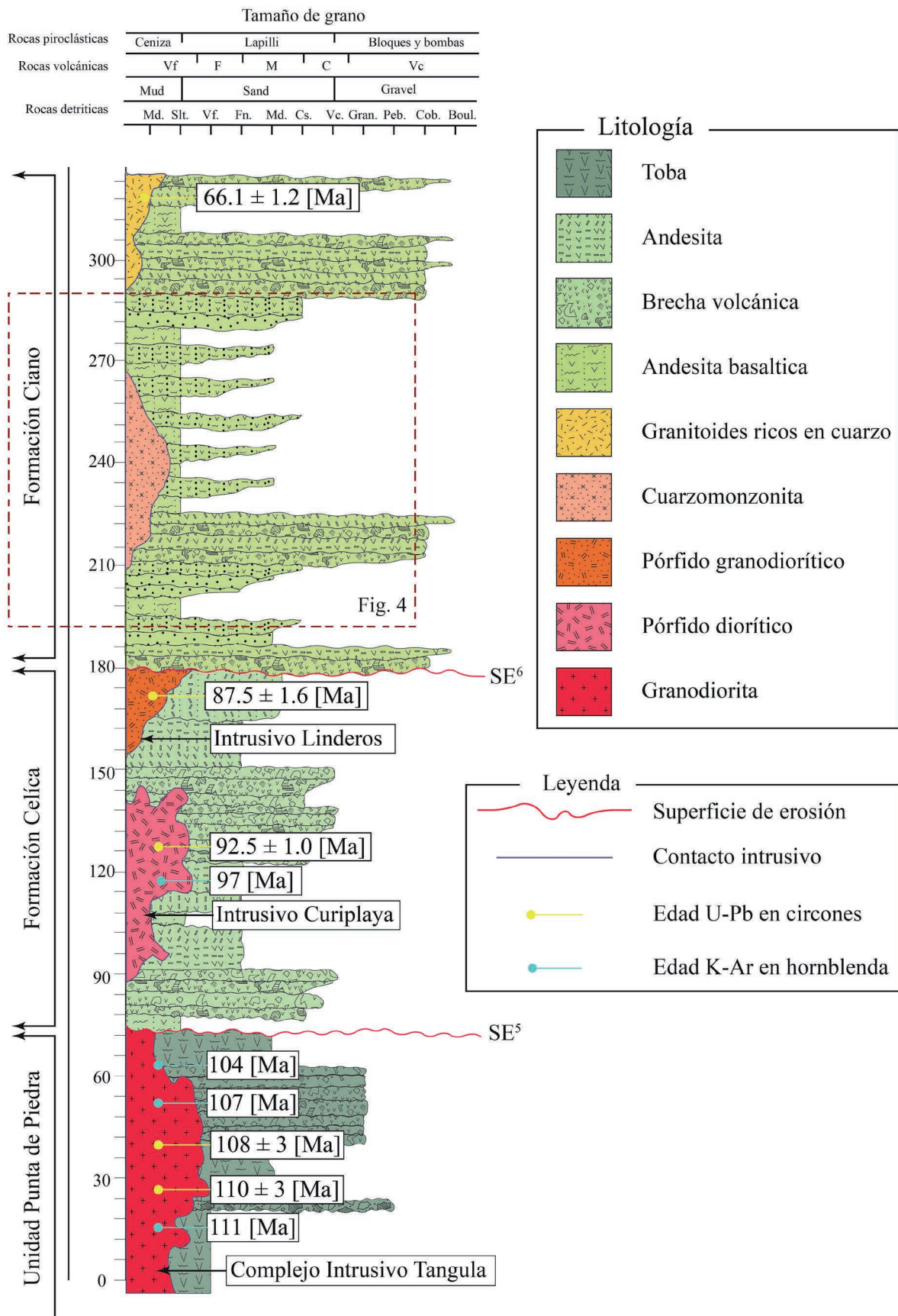


Figura 3. Columna estratigr6fica regional. Modificado de INIGEMM (2016a) y Carrasco (2018).

2016b). Depósitos masivos de areniscas y conglomerados de la Formación Tronco Quemado cubren a la Formación Chaquino (INIGEMM, 2016c).

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación las características tectónicas de antiguos episodios magmáticos son estudiadas en el registro estratigráfico de rocas ígneas intrusivas a través de: 1) análisis de la naturaleza de la roca caja, 2) relaciones de corte entre el cuerpo intrusivo y su roca caja, 3) petrografía, 4) geoquímica y 5) geocronología de las series intrusivas involucradas (Bennison *et al.*, 2011; Cox *et al.*, 2013).

Se realizaron actividades de compilación de información, control de campo, muestreo para petrografía y geoquímica e interpretación de datos. La compilación de información incluyó: bases de datos topográficos, mapas geológicos históricos a diferentes escalas (1:25.000, 1:50.000 y 1:100.000), imágenes satelitales, informes técnicos publicados e inéditos y artículos científicos. El análisis de datos bibliográficos concluyó en la georreferenciación de afloramientos tipo, en donde se levantaron secciones y columnas estratigráficas. Ciento cincuenta (150) datos estructurales fueron recolectados y considerados en el análisis de la sección. Estos datos incluyen estratificación (S0), diaclasas (D), fallas (F), contactos netos (C) y discordancias (D). Además, estos datos fueron proyectados en imágenes satelitales y permitieron redefinir lineamientos en la cartografía geológica regional y local (Bennison *et al.*, 2011).

Para el análisis petrográfico se recolectaron siete (7) muestras tipo (Tabla 1), se elaboraron secciones delgadas, en las cuales, se describieron facies minerales y micro texturas, en cada sección delgada se contaron 300 granos minerales, considerando las proporciones normalizadas de cuarzo (Q), plagioclasa (P) discriminando las relaciones entre albita y anortita, feldespato de potasio (A). Estas proporciones se presentan en la Tabla 2 y fueron ploteadas en diagramas de discriminación litológica (Le Maitre *et al.*, 2002; Stanley, 2017). El análisis semicuantitativo de difracción de rayos X de las siete muestras seleccionadas permitió definir firmas de espectrometría en ensamblajes de minerales (Bunaciu *et al.*, 2015), estas proporciones minerales fueron ploteadas en el diagrama de comparación normativa mineral (Streckeisen y Le Maitre, 1979).

Tabla 1. Coordenadas de muestras analizadas.

Muestras	UTM-X	UTM-Y	Petrografía	Geoquímica
22IP-01	598475E	9527996N	X	X
22IP-02	598388E	9528043N		X
22IP-03	598543E	9527931N	X	X
22IP-04	598622E	9527927N	X	X
22IP-05	598539E	9527946N	X	X
22IP-06	598635E	9527959N		X
22IP-07	598721E	9528113N	X	X
22IP-08	598514E	9528175N		X
22IP-09	597868E	9528254N	X	X
22IP-010	597489E	9528380N		X
22IP-011	597474E	9528630N	X	X

Tabla 2. Resultados del conteo modal de facies minerales en secciones delgadas del intrusivo Potrerillos.

Muestras	Q	A	P	Total	Q _N (%)	A _N (%)	P _N (%)	N (%)	ANOR
22IP-01	57	96	147	300	19	32	49	100	41
22IP-03	51	99	150	300	17	33	50	100	37
22IP-04	54	102	144	300	18	34	48	100	33
22IP-05	45	90	165	300	15	30	55	100	36
22IP-07	36	99	165	300	12	33	55	100	38
22IP-09	30	90	180	300	10	30	60	100	42
22IP-011	33	93	174	300	11	31	58	100	44

Once (11) muestras del intrusivo Potrerillos fueron consideradas en el an3lisis geoqu3mico (Tabla 1). La trituraci3n primaria de cada una de las muestras se realiz3 a mano, en un ambiente libre de contaminaci3n, los fragmentos fueron lavados en 3cido clorh3drico al 0,05% y agua purificada tipo II. Los fragmentos limpios se secaron y se trituraron en seco con ayuda de molinos de mand3bulas y discos de 3gata hasta alcanzar una dimensi3n menor a 200 micras, en lo posterior fueron pulverizados en una c3mara rotatoria de cilindro.

Para el an3lisis de elementos mayores se utiliz3 fluorescencia de rayos X, XRF, con perla fundida (Oyedotun, 2018). Para elementos traza, se aplic3 espectrometr3a de emisi3n 3ptica con plasma acoplado inductivamente ICP-OES, con digesti3n total de cuatro (4) 3cidos (Kumar *et al.*, 2013). Para tierras raras se utiliz3 espectrometr3a de masas con plasma acoplado inductivamente, ICP-MS, con digesti3n por fusi3n alcalina (Pinto *et al.*, 2012). Los resultados de los an3lisis geoqu3micos se presentan en la Tabla 3. La exactitud y precisi3n de los an3lisis XFR se estim3 en 1% para los 3xidos mayores. La precisi3n anal3tica es superior al 5 % para elementos con concentraciones >200 ppm y del 5 al 10 % para aquellos <200 ppm. Los resultados anal3ticos de los 3xidos y oligoelemento fueron cuantificados a partir de est3ndares internacionales (Qi *et al.*, 2000) en el laboratorio qu3mico del Instituto de Investigaci3n Geol3gica y Energ3tico del Ecuador. La data adquirida fue evaluada, en muestra anhidra y reportada en diagramas de discriminaci3n litol3gica y tect3nica utilizando el software GCDKit 6.0 (Janoušek *et al.*, 2019).

RESULTADOS

Relaciones de campo

El levantamiento de informaci3n geol3gica fue realizado en la antigua v3a Macar3 a Zapotillo (v3a E69, 590 021E, 9 527 834N; 602 066E, 9 527 100N), desde el sector Bocana La Laja (590 227E, 9 528 789N) a Vicin (600 838E, 9 529 060N), abarcando un 3rea de 49 km², a escala de trabajo 1: 25.000 (Figura 4).

Al este del 3rea de estudio en el trayecto Linderos (596 475E, 9 527 282N) a Vicin, el relieve es dominado por intercalaciones de brechas volc3nicas, tobas finas y andesitas verdes, afectadas por m3ltiples intrusiones de granitoides controladas por fallas. Mientras que, al oeste en el trayecto desde Bocana La Laja a Jaguay Grande

Tabla 3. Resultados del análisis geoquímico del intrusivo Potrerillos.

Muestra	22IP-01	22IP-02	22IP-03	22IP-04	22IP-05	22IP-06	22IP-07	22IP-08	22IP-09	22IP0-10	22IP0-11
Óxidos mayores (%)											
SiO ₂	65,69	67,62	66,34	66,29	66,75	66,8	68,57	67,89	66,92	66,62	65,79
TiO ₂	0,57	0,53	0,49	0,53	0,44	0,51	0,43	0,49	0,5	0,53	0,63
Al ₂ O ₃	15,03	16,16	15,68	15,6	16,13	15,58	15,89	15,8	15,87	16,03	15,27
Fe ₂ O ₃	3,28	3,15	3,13	3,48	2,85	3,18	2,64	3,46	3,49	3,69	3,95
MgO	1,24	1	1,06	1,23	0,92	1,1	0,91	0,92	1,3	1,15	1,37
MnO	0,04	0,08	0,08	0,09	0,07	0,08	0,08	0,13	0,07	0,09	0,08
CaO	1,95	1,94	2,65	2,71	2,72	2,73	2,78	2,26	2,84	1,48	1,62
Na ₂ O	3,69	4,59	4,27	4,26	4,48	4,37	3,85	3,91	4,12	4,57	3,98
K ₂ O	4,53	4,54	4,07	4,25	3,99	3,98	4,44	4,98	4,28	4,5	4,86
P ₂ O ₅	0,21	0,2	0,2	0,22	0,18	0,19	0,16	0,15	0,22	0,24	0,22
Total	96,23	99,81	97,97	98,66	98,53	98,52	99,75	99,99	99,61	98,9	97,77
LOI	2,54	1,12	0,55	0,66	0,43	0,54	0,62	0,48	0,78	0,36	0,53
Elementos traza y REE (ppm)											
Sc	4,94	4,27	4,55	5,53	4,21	4,75	4,13	8,02	11,42	12,85	13,09
V	61,3	61,7	59,7	70,2	58,6	66,1	51,5	113,8	176,3	215,4	199,1
Cr	3,91	2,47	5,74	4,23	4,92	5,36	4,11	5,72	5,32	6,07	5,14
Co	5,03	5,66	6,04	6,95	5,72	5,95	5,92	7,22	7,69	7,64	7,04
Ni	2,95	2,16	4,23	3,34	3,55	3,94	3,19	3,39	4,95	4,7	3,8
Cu	27	25	31,2	33,8	32,6	29,4	33,7	27,4	36,5	26,8	26,8
Zn	68,3	67,5	60	59,2	64	66,5	63,8	59,7	61,4	62,5	60,8
Ga	20,85	21,94	21,04	22,82	21,92	22,28	21,06	24,75	25,17	25,11	24,36
Rb	189,6	177,8	152,8	175,5	147,3	169	185,2	191,8	145,4	93,1	106,2
Sr	474	703	567	615	635	622	541	590	774	1062	940
Y	17,78	15,8	13,14	16,56	15	15,49	12,88	17,47	18,19	15,18	15,52
Zr	302	273	226	289	249	267	232	352	342	250	263
Nb	18,67	17,53	15,23	18,54	16,89	17,01	14,97	19,15	17,11	14,17	16,08
Ba	1096	1183	982	1176	1002	1040	968	1494	1118	1049	1193
La	55,32	51,56	47,71	53,51	49,3	54,27	52,72	53,91	53,43	46,09	49,38
Ce	104,2	98,06	89,34	104,62	91,74	100,97	92,39	100,94	104,86	94,48	101,11
Pr	10,58	9,88	8,9	10,2	9,19	10,19	8,9	10,58	11,83	10,2	10,2
Nd	37,6	34,2	30,09	36,01	32,59	35,88	30,95	39,08	43,66	39,54	38,25
Sm	5,58	5,24	4,31	5,26	4,71	5,18	4,39	5,91	7,05	6,41	6,08
Eu	1,21	1,36	1,21	1,33	1,25	1,29	1,15	1,64	1,78	1,83	1,76
Gd	4,09	3,84	3,22	3,93	3,54	3,81	3,22	4,47	5,26	4,68	4,57
Tb	0,54	0,5	0,41	0,52	0,48	0,5	0,42	0,57	0,64	0,57	0,57
Dy	3,46	3,09	2,57	3,29	2,86	3,19	2,59	3,52	3,92	3,29	3,33
Ho	0,75	0,65	0,58	0,68	0,62	0,66	0,55	0,76	0,81	0,67	0,71
Er	2,27	2,06	1,77	2,13	1,86	2,04	1,66	2,29	2,32	1,95	1,93
Tm	0,32	0,29	0,24	0,31	0,29	0,29	0,24	0,31	0,3	0,26	0,28
Yb	2,07	2,05	1,65	2,12	1,97	1,96	1,63	2,1	2,06	1,74	1,81
Lu	0,32	0,3	0,26	0,33	0,29	0,28	0,25	0,3	0,29	0,24	0,27
Hf	7,14	6,76	5,58	6,96	6,04	6,69	5,74	8,41	8,45	6,29	6,52
Ta	1,21	1,09	0,91	1,16	1,12	1,16	1	1,22	0,98	0,8	0,92
Pb	19,73	23,25	22,17	46,05	25,21	21,09	26,28	23,54	18,07	15,57	16,05
Th	21,26	18,78	17,67	22,99	20,17	21,25	21,65	16,28	15,13	9,39	10,64
U	4,38	3,41	3,06	5,48	4,16	6,97	3,02	3,57	3,84	2,78	2,83
Ti	3417,1	3177,3	2937,5	3177,3	2637,8	3057,4	2577,8	2937,5	2997,5	3177,3	3776,8
REE	228,31	213,08	192,26	224,24	200,69	220,51	201,06	226,38	238,21	211,95	220,25
LREE	214,49	200,3	181,56	210,93	188,78	207,78	190,5	212,06	222,61	198,55	206,78
HREE	13,82	12,78	10,7	13,31	11,91	12,73	10,56	14,32	15,6	13,4	13,47
LREE/HREE	15,5	15,6	16,9	15,8	15,8	16,3	18,0	14,8	14,2	14,8	15,3

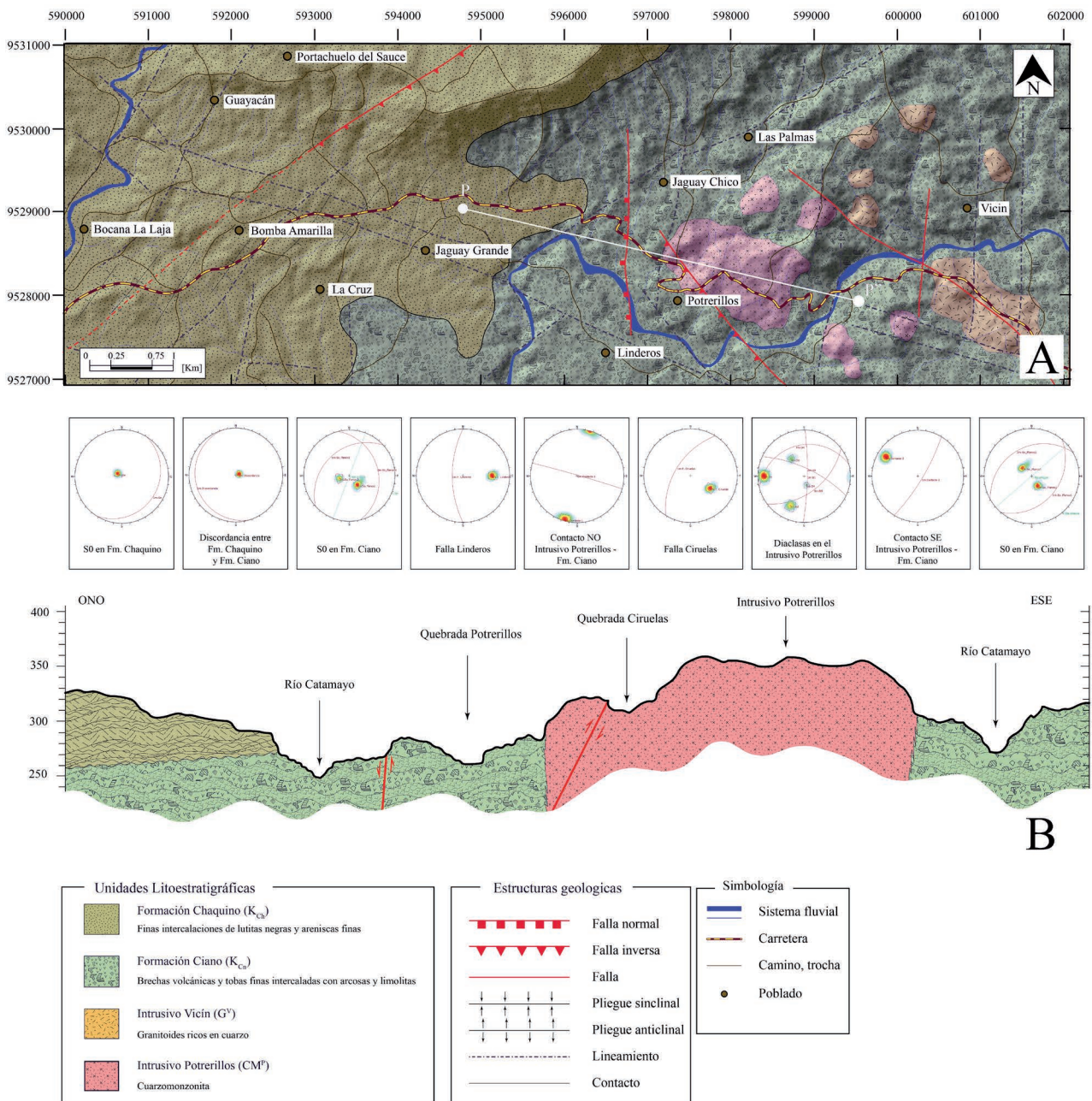


Figura 4. Mapa y perfil geológico del área de estudio. **A.** Mapa geológico de la sección Bocana La Laja - Vicin. **B.** Sección geológica del Jaguay Grande - Vicin. Modificado de INIGEMM (2016a).

(594 318E, 9 528 527N), el relieve es dominado por intercalaciones de areniscas limosas finas intercaladas con lutitas negras calcáreas. El principal accidente geográfico es el río Catamayo que erosiona pe as y planicies exponiendo de manera amplia y continua la litoestratigrafía de la zona de estudio, la cual, es descrita a continuación:

La Formación Ciano (K_{Cn}). En la zona de estudio, las mejores exposiciones de la Formación Ciano se observan en ambas márgenes del río Catamayo (599 226E, 9 528 058N; 599 471E, 9 528 044N) y en el trayecto Jaguay Chico a Potrerillos (596 967E, 9 528 952N). En estas secciones no se observó la base de la secuencia, sin embargo, litofacies documentadas incluyen: 1) brechas volcánicas, matriz soportada, oligom c-

ticas, con fragmentos angulares a subangulares, de andesitas y andesitas basálticas, la matriz contiene abundante clorita y sericita; 2) arcosas de grano fino a medio, de color verde a gris, con laminación paralela, gradación inversa y abundantes clastos subangulares a subredondeados, andesíticos; 3) grawvacas limosas, de color negro a verde, de grano fino, masivas; 4) tobas finas, de color verde con cristales rotos de plagioclasas, hornblendas y augita; 5) brechas volcánicas, clasto soportadas, polimícticas, con fragmentos angulares de basaltos, andesitas basálticas, andesitas, dacitas, limolitas y arcosas; 6) andesitas masivas con textura porfirítica, de color verde con fenocristales de plagioclasa, la matriz contiene altas proporciones de sericita, clorita y epidota. Estas litofacies se organizan en secuencias de tendencia estrato-creciente, lateralmente discontinuos, de geometría lobular a convexa (Figura 5A). El espesor de esta secuencia supera los 150 m en peñas con pendientes superiores a 10°. Esta secuencia es afectada por una amplia variedad de intrusiones tipo domo, diques, cúpulas y cuerpos irregulares. Hacia el sur de Jaguay Chico (596 150E, 9 529 039N), la Formación Ciano es cubierta en discordancia por lutitas calcáreas de la Formación Chaquino (Figura 4).

Intrusivo Potrerillos (CMP). En las proximidades a Potrerillos (598 475E, 9 527 996N) granitoides de color gris con tonalidad verde, de composición cuarzomonzonítica a cuarzodiorítica se emplazan en rocas de la Formación Ciano (Figura 5B). Este cuerpo intrusivo presenta textura fanerítica, de grano fino a medio, alotriomórfica granular, inequigranular, leucocrática a mesocrática, su composición mineralógica incluye: cuarzo, plagioclasa, hornblenda, feldespato de potasio, biotita, epidota, clorita y sulfuros diseminados (Figura 5C). Es común observar xenolitos negros de composición basáltica y andesítica (Figura 5D). Localmente se observan textura aplítica, con abundante plagioclasa y textura porfiríticas con cristales de cuarzo, plagioclasa y hornblenda. Morfológicamente, este intrusivo forma un cuerpo central tipo domo, de dirección NE y 1,5 km de longitud (Figura 4). Al norte del cuerpo central, cuerpos intrusivos de la misma composición litológica, con dimensiones menores a 500 m, de morfología irregular fueron considerados parte de esta intrusión (Figura 4).

Intrusivo Vicin (GV). Al sur de Vicin (601 012E, 9 528 119N), granitoides ricos en cuarzo, de color blanco a gris, se emplazan en brechas de la Formación Ciano. Estos cuerpos se presentan en forma de sills y tienen textura fanerítica de grano grueso a muy grueso, inequigranular, leucocrático, su mineralogía es dominada por cuarzo, moscovita, plagioclasa y presenta zonas con enriquecimiento en malaquita y cuprita.

Formación Chaquino (KCh). Al oeste de Jaguay Grande (592 256E, 9 528 503N; 595 438E, 9 528 676N), secuencias de lutitas calcáreas intercaladas entre areniscas limosas finas con estructuras de carga, cubren en discordancia a rocas volcanoclásticas de la Formación Ciano. En el trayecto desde la Bocana La Laja a Jaguay Grande, la Formación Chaquino forma pliegues sinclinales y anticlinales de bajo ángulo (Figura 4). También se observan abundantes niveles fosilíferos con improntas de amonites y bivalvos.



Figura 5. Afloramiento tipo y litotipos del intrusivo Potrerillos. **A.** Relaci3n de corte entre el intrusivo Potrerillo y rocas volcanocl3sticas de la Fm. Ciano. **B.** Afloramiento tipo del intrusivo Potrerillos. **C.** Granitoide de textura faner3tica en el Intrusivo Potrerillo. **D.** Xenolito m3fico en el intrusivo Potrerillos.

Secci3n geol3gica Jaguay Grande -Vicin

La secci3n geol3gica Jaguay Grande a Vicin presentada en la Figura 4B tiene longitud de 5 km, en direcci3n ONO-ESE. Esta secci3n incluye a las formaciones Ciano y Chaquino, al intrusivo Potrerillos y a las estructuras Linderos y Ciruelas.

Al sureste de Jaguay Grande, cincuenta y un (51) estaciones fueron analizadas en la Formaci3n Ciano, la estratificaci3n (S0) fue documentada en niveles de arcosas, grawvacas, limolitas y brechas volc3nicas. La estratificaci3n en la Formaci3n Ciano

presenta dos tendencias: 1) NE-SO buzando al NO y 2) NNO-SSE buzando al NE. En la Formación Chaquino se analizaron veinte estaciones (20), la estratificación fue medida en estratos de areniscas y lutitas. La estratificación (S0) en la Formación Chaquino indica tendencia NNE-SSO con suaves buzamientos al SO. El contacto entre la Formación Ciano y la Formación Chaquino corresponde a una discordancia, documentada en cuatro (4) estaciones, esta superficie de erosión tiene tendencia OSO-ENE buzando ligeramente al oeste (Figura 4).

La estructura Linderos corresponde a una falla normal, de tendencia E-O, subvertical, que afecta a secuencias volcanoclásticas de la Formación Ciano y controla morfológicamente el curso del río Catamayo en el sector Linderos (Figura 4). Al este de la falla Linderos, el intrusivo Potrerillos se emplaza en rocas volcanoclásticas de la Formación Ciano. Los contactos son verticales a subverticales, de tendencia ESE-ONO. Cuatro (4) familias de diaclasas fueron documentadas en cuarenta y cuatro (44) estaciones del intrusivo Potrerillos, las tendencias documentadas son: 1) N-S, buzamiento subvertical, ligeramente buzando al E; 2) NE-SO, de buzamiento SE, 3) NE-SO, con buzamientos suaves al NNO, y 4) ONO-ESE buzando fuertemente al SSE. El Intrusivo Potrerillos es afectado por la estructura Ciruelas que es una falla inversa de dirección NE-SO y buzamiento al NO. En el sector de Vicin, en el puente sobre el río Catamayo, el contacto entre el intrusivo Potrerillos y las rocas volcanoclásticas de la Formación Ciano tienen tendencia NE-SO y buzamiento fuerte al SE (Figura 4).

Petrografía

El conjunto de muestras analizadas incluye a siete (7) muestras recolectadas en afloramientos tipo del intrusivo Potrerillos (Tabla 2). Las muestras corresponden a cuarzomonzonitas, su composición promedio incluye como minerales principales a: cuarzo (10% - 19%), plagioclasa (48% - 60%), feldespato alcalino (30% - 34%); minerales secundarios: hornblenda (5%-10%), clinopiroxeno (3%-5%); como minerales de alteración epidota (3%-12%), clorita (2%-5%), calcita (<2%), y minerales accesorios apatito, circón, turmalina.

En la sección delgada 22IP-01, se observa textura fanerítica y holocristalina (Figura 6A). La plagioclasa se presenta en forma euhedral a subhedral, con macla tipo albita, tipo Carlsbad y zonación compuesta, también se observan ángulos de extinción cercanos a 15° sugiriendo la presencia de oligoclasa. El feldespato alcalino corresponde a ortosa en asociación con microclina.

En la sección delgada 22IP 05, se observa textura granular (Figura 6B), de color blanco con manchas gris verdosas, compuestas en su mayor parte por cuarzo, plagioclasa, feldespato y anfíbol. El feldespato alcalino es ortosa, se encuentra en cristales anhedrales a euhedrales con inclusiones de clorita, apatito, titanita y circón. La plagioclasa es oligoclasa, con relieve menor al del bálsamo. El cuarzo ocurre en cristales subhedrales a intersticiales anhedrales de menor tamaño que los feldespatos.

En la sección delgada 22IP-09, se observa textura hipidiomórfica a alotriomórfica inequigranular y ocasionalmente muestran intercrecimientos gráficos y desmezclas

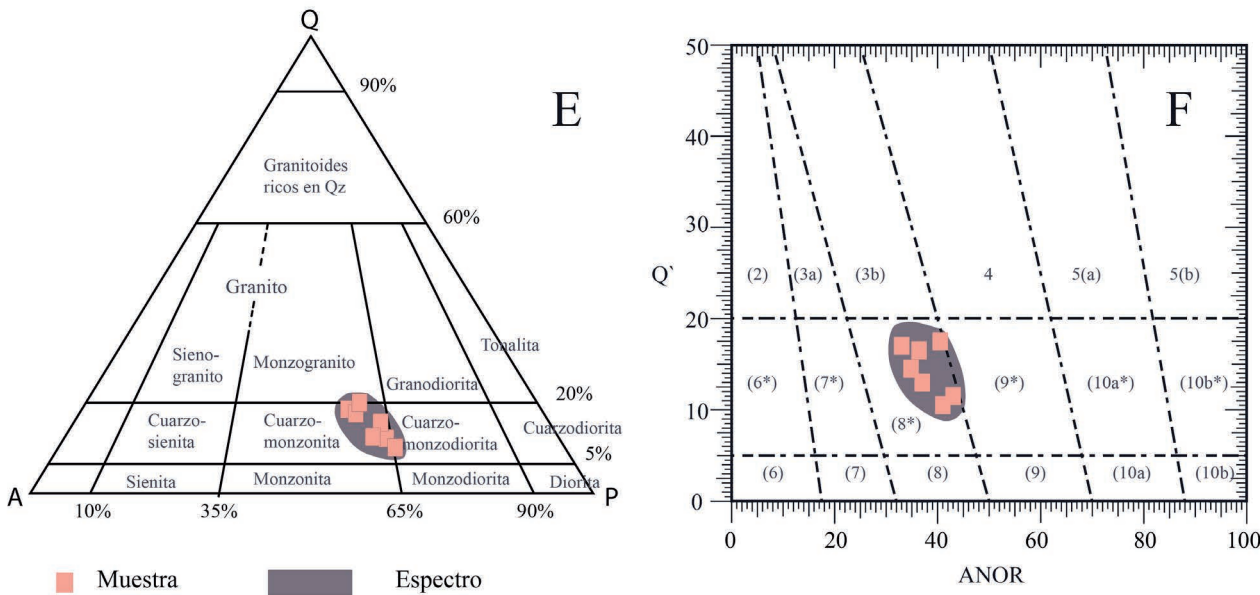
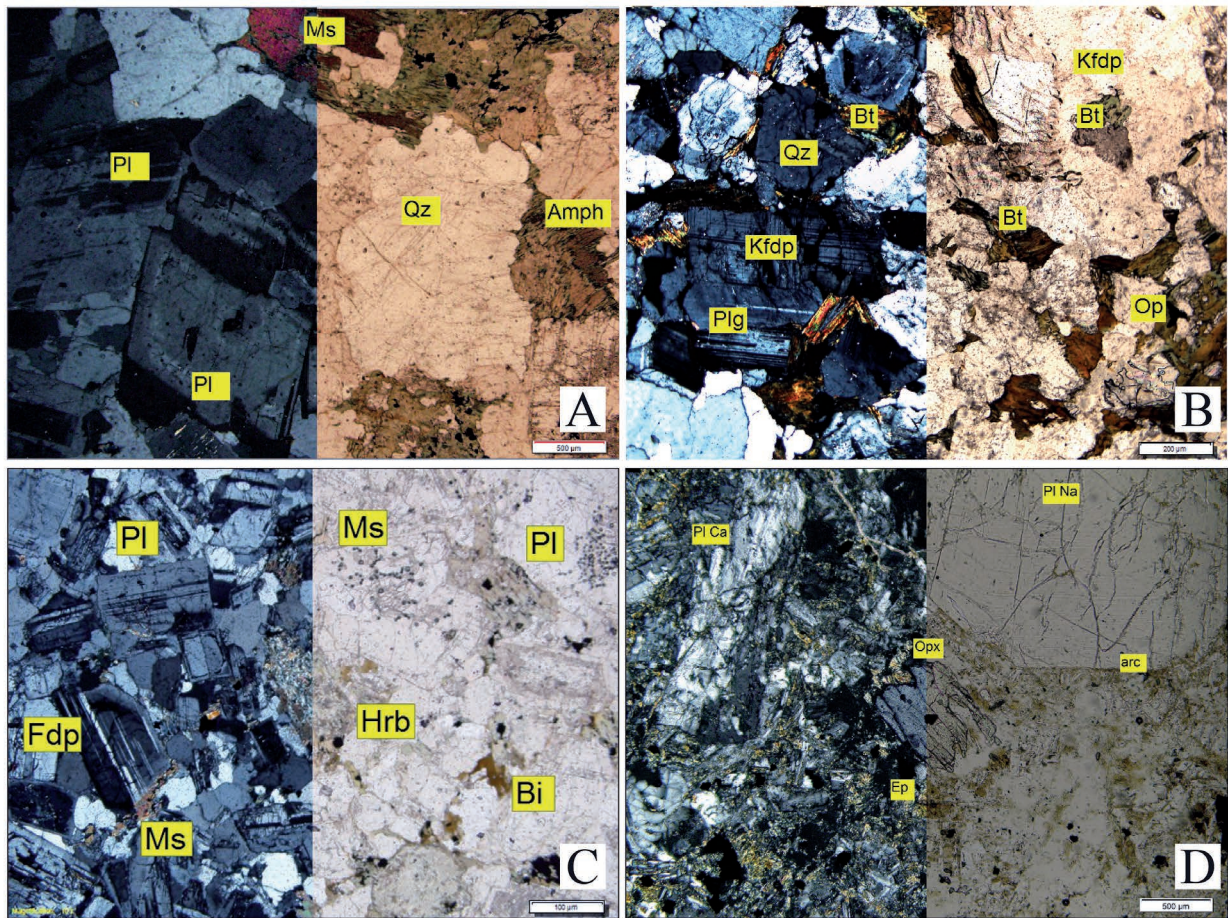


Figura 6. Secciones delgadas y análisis petrográfico del intrusivo Potrerillos. **A.** Sección delgada 221P-01 **B.** Sección delgada 221P 05. **C.** Sección delgada 221P-09. **D.** Sección delgada 221P-011. **E.** Diagrama ternario de clasificación litológica de Le Maitre *et al.* (2002) considerando a Stanley (2017). **F.** Diagrama de clasificación normativa Q'ANOR de Streckeisen y Le Maitre (1979).

pertíticas en parches de feldespato alcalino (Figura 6C). En la sección delgada 22IP-011, se observa textura holocristalina y ofítica (Figura 6D); la plagioclasa es de tipo oligoclasa, se presenta en cristales anhedrales a subhedrales con maclas de albita, periclina y Carlsbad. Los cristales de plagioclasa están alterados parcialmente a agregados de epidota. Los minerales opacos aparecen en cristales anhedrales con bordes irregulares a lobulados, de tamaños menores a 0,4 mm.

La tabla 2 presenta los resultados del conteo modal de cuarzo (Q), feldespato alcalino (A) y plagioclasa (P), normalizados y evaluados en el diagrama triangular de discriminación litológica de Le Maitre *et al.*, (2002). Estas proporciones minerales indican que el conjunto de muestras analizadas corresponde a cuarzomonzonitas (Figura 6E). Esto concuerda con las concentraciones semicuantitativas (XRF) de las facies minerales: cuarzo, oligoclasa, albita, anortita, augita, hornblenda, actinolita, biotita y moscovita en relación con el índice ANOR de Streckeisen y Le Maitre, (1979), las cuales también fueron ploteadas en el campo de cuarzomonzonitas (Figura 6F).

Geoquímica

El conjunto de muestras sometido a análisis geoquímico se compone de once (11) muestras recolectadas en el cuerpo central del intrusivo Potrerillos. La tabla 3 presenta los resultados de óxidos mayores, elementos traza y tierras raras analizados. Los valores de pérdida por ignición (LOI) del conjunto de muestras varían desde 0,36 a 2,54. Todas las muestras presentan enriquecimiento de sílice, con proporciones de SiO₂ que varían entre 65,69% y 68,57%, se observan también contenidos moderados a relativamente altos en álcali (8,22% < Na₂O + K₂O < 9,13%) y Al₂O₃ (15,03% – 16,16%), además bajas concentraciones de TiO₂ (0,43% – 0,63%), Fe₂O₃ (2,64% – 3,95%), MgO (0,91% – 1,37%), MnO (0,04% – 0,13%), CaO (1,48% – 2,84%) y P₂O₅ (0,21% – 0,22%). El comportamiento de óxidos mayores fue evaluado en función del SiO₂ (Figura 7), las concentraciones de Al₂O₃, Na₂O, K₂O y CaO crecen con el incremento del SiO₂ mientras que, las concentraciones de TiO₂, MgO, P₂O₅, Fe₂O₃ disminuyen con el incremento de SiO₂.

Las concentraciones de álcalis y sílice evaluadas en el diagrama de discriminación litológico TAS (Middlemost, 1994) indican que el conjunto de muestras analizado corresponde a cuarzomonzonitas (Figura 8A); mientras que, en la Figura 8B las relaciones entre FeO_T, MgO y SiO₂ (Miyashiro, 1974) sugieren carácter calcoalcalino para este conjunto de muestras. Altas concentraciones de K₂O y SiO₂ fueron ploteadas en los campos de la serie calcoalcalina potásica y serie shoshonítica en el diagrama de Peccerillo y Taylor (1976) (Figura 8C); esto concuerda con las concentraciones de Co (5,03 ppm -7,69 ppm) y Th (9,39 ppm – 22,99 ppm) que marcan series calcoalcalinas con alto contenido de K (Hastie *et al.*, 2007) (Figura 8D).

Las proporciones de Na₂O, K₂O, CaO y SiO₂ (Figura 9A) indican series alcalinas cálcicas a alcalinas en el diagrama de Frost (2001); mientras que, en la Figura 9B las relaciones entre FeO_T, MgO y SiO₂ fueron ploteadas en el campo magnesiano (Frost y Frost, 2008). El índice ASI evaluado en función de SiO₂ sugiere carácter

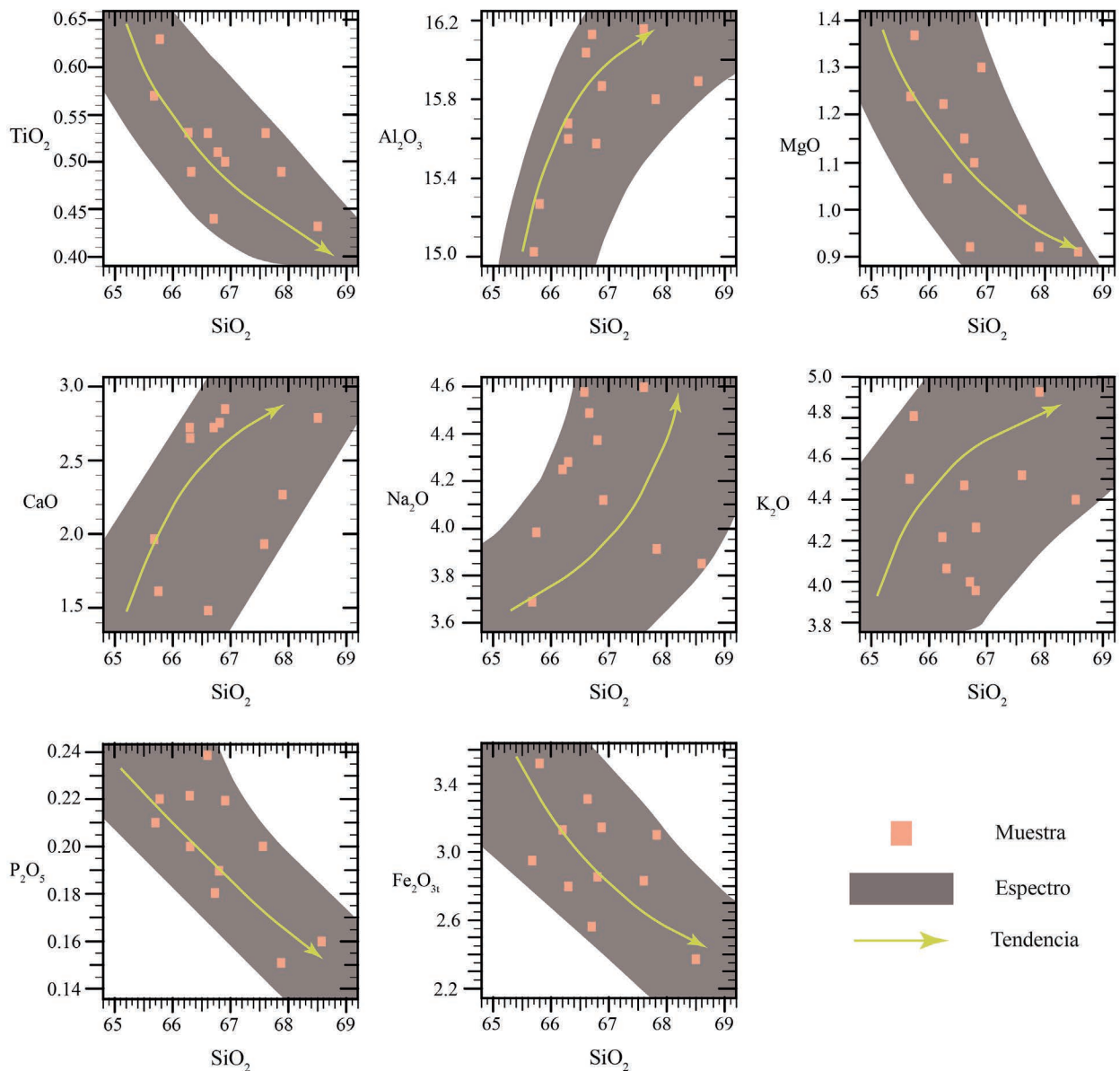


Figura 7. Diagrama tipo Harker, variaci3n de 3xidos vs SiO_2 para el intrusivo Potrerillos. Considerando a Faure (2013).

peraluminoso y metaluminoso (Figura 9C); por otro lado, los 3ndices AI y FSSI indican saturaci3n en s3lice (Frost y Frost, 2008) (Figura 9D).

La Figura 10A muestra el diagrama de multi elementos normalizado a manto primitivo (McDonough y Sun, 1995), en el cual, se observan anomal3as negativas de Nb, Ta, P y Ti y pronunciadas anomal3as positivas de Rb, Th, U, Pb, LREEs, Zr y Hf. Los patrones de REE normalizadas a condrito (Boynnton, 1984), en la Figura 10B muestran relativo enriquecimiento en LREE con altas proporciones de $(\text{La}/\text{Yb})_N$ que var3an de 16,87 a 21,81 y ligeras anomal3as negativas de Eu (1,15 ppm – 1,83 ppm).

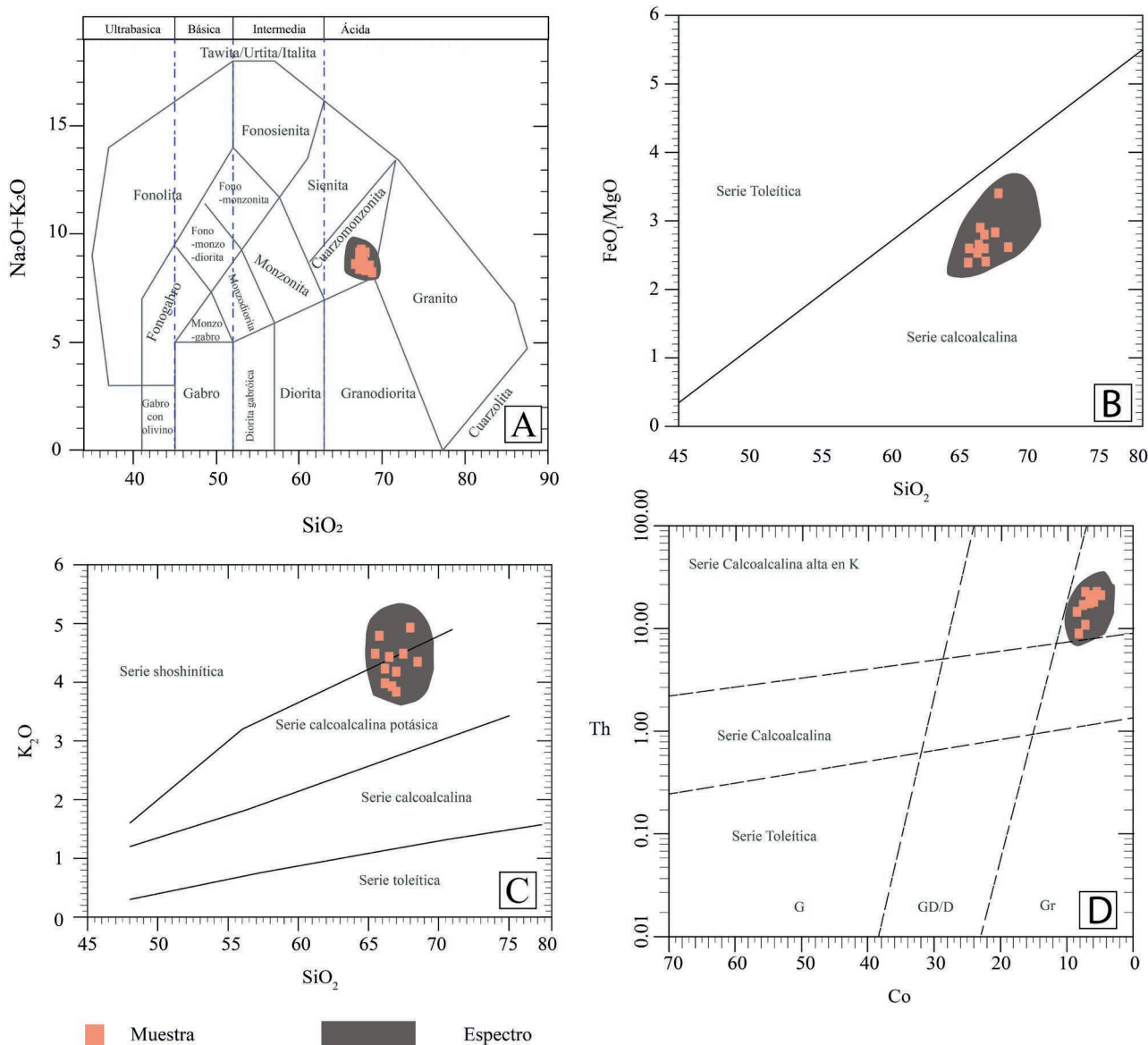


Figura 8. Geoquímica discriminación litológica del intrusivo Potrerillos. **A.** Clasificación geoquímica de las rocas intrusivas en base al diagrama TAS (Middlemost, 1994). **B.** Diagramas de discriminación entre series magmáticas en base a las relaciones FeOT vs. SiO₂ (Miyashiro, 1974). **C.** Diagrama de discriminación de afinidad magmática en función a las proporciones de K₂O y SiO₂ (Peccerillo y Taylor, 1976). **D.** Diagrama de afinidad química en base a las concentraciones de Th y Co (Hastie et al., 2007).

DISCUSIÓN

Relaciones de corte del Intrusivo Potrerillos

En la cuenca Alamor – Lancones, existen pocos datos acerca de las relaciones de corte entre cuerpos intrusivos y la roca caja. Anteriores autores, reportaron gran variedad de litologías en el complejo intrusivo Tangula desde gabros hasta granitoides ricos en cuarzo (Winter, 2008; Schutte, 2009; INIGEMM, 2016a; Kennerley, 1973; Bristow y Hoffstetter, 1977; Feininger y Bristow, 1980; Lebrat, 1985; Aguirre, 1992;

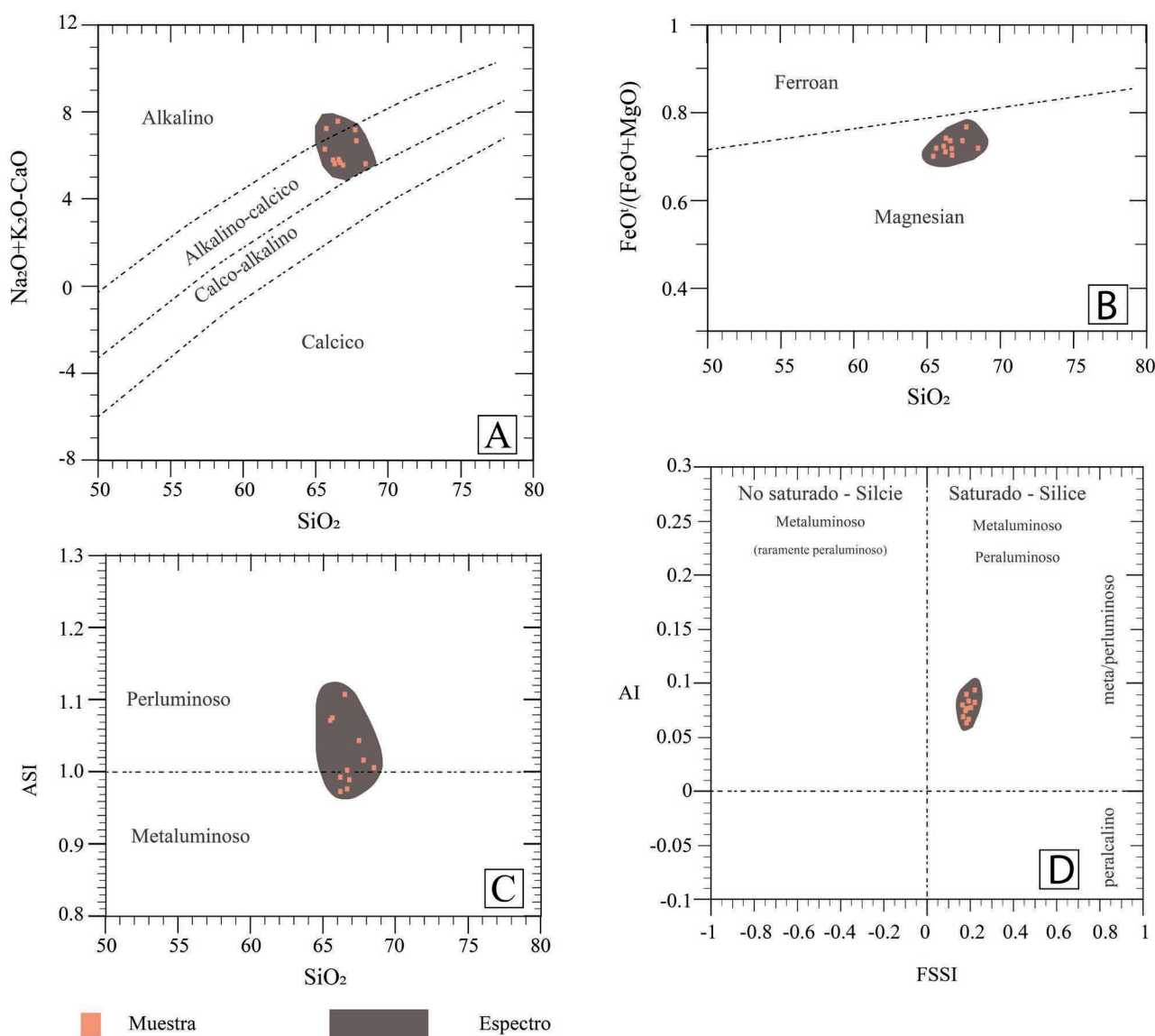


Figura 9. Diagrama de discriminación de afinidad y series magmáticas del intrusivo Potrerillos. **A.** Diagrama de clasificación de granitoides según las relaciones de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$ vs SiO_2 (Frost, 2001). **B.** Diagrama de clasificación de granitoides según las relaciones de $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$ vs SiO_2 (Frost, 2001). **C.** Diagrama de clasificación de granitoides según las relaciones de ASI ($\text{Al}/(\text{Ca} - 1.67\text{P} + \text{Na} + \text{K})$) vs SiO_2 (Frost y Frost, 2008). **D.** Diagrama de clasificación de granitoides según las relaciones de AI ($\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$) vs FSSI ($(\text{Q} - (\text{Lc} + 2(\text{Ne} + \text{Kp}))/100)$) (Frost y Frost, 2008).

Carrasco, 2018). Al sur este del área de estudio, el pórfido granodiorítico Linderos se emplaza en secuencias volcánicas compuestas por tobas finas verdes intercalados con andesitas grises porfiríticas y andesitas basálticas negras afaníticas (Schutte, 2009). Estas secuencias fueron cartografiadas como la Formación Celica (Pilatasig *et al.*, 2013). Mientras que, al este del área de estudio, el pórfido Tierra Blanca se emplaza en secuencias masivas de tobas finas verdes y grises intercaladas con areniscas volcánicas verdes, incluidas en la Formación Celica. Los contactos reportados son oblicuos y se describen sectores con alteración argilítica avanzada e intensamente silicificados (Carlotto *et al.*, 2009). El principal problema al describir las características

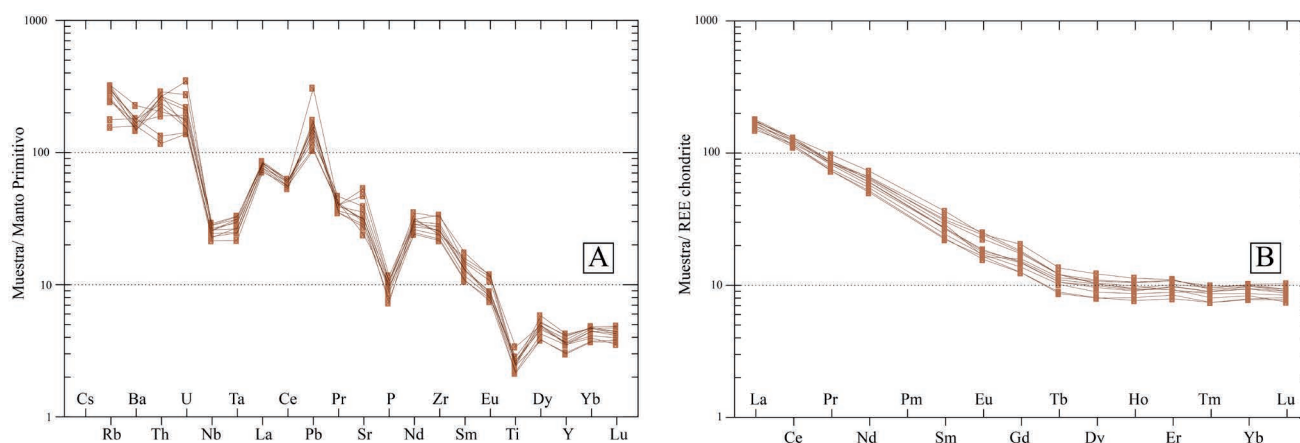


Figura 10. Diagramas de normalización de REE. **A.** Diagrama de normalización a Manto primitivo (McDonough y Sun, 1995). **B.** Diagrama de normalización a condrita (Boynnton, 1984).

de la roca caja del Intrusivo Potrerillos, se relaciona a la ausencia de una descripción litoestratigráfica formal de la Formación Celica. Además, se desconoce el detalle de litotipos volcánicos y facies volcanoclásticas. Tampoco existen reportes detallados sobre la geoquímica y geocronología de esta secuencia.

Esta investigación sigue la definición inicial de la Formación Celica que incluye solamente a andesitas basálticas, andesitas, tobas y brechas volcánicas en esta secuencia (Kennerley, 1973; INIGEMM, 2016e). Mientras que, en la Formación Ciano son agrupadas rocas epiclásicas como: arcosas, grawvacas, limolitas con fragmentos volcánicos que se intercalan entre tobas y brechas volcánicas (Kennerley, 1973; INIGEMM, 2016a; Carrasco, 2018). Las relaciones estratigráficas reportadas indican que la Formación Ciano cubre en discordancia a la Formación Celica. Bajo estas consideraciones el intrusivo Potrerillos se emplaza en rocas volcanoclásticas de la Formación Ciano. Esto implica un primer criterio de discriminación entre cuerpos intrusivos, debido a que el complejo intrusivo Tangula afecta a rocas volcánicas de la Formación Celica o más antiguas, mientras que, el intrusivo Potrerillos afecta a rocas de la Formación Ciano, que estratigráficamente es más joven que la Formación Celica. Por otro lado, los contactos observados en campo son verticales a subverticales, tendencia ESE-ONO y NE-SO, estas direcciones coinciden con estructuras regionales como la falla inversa Linderos.

Implicaciones petrográficas del Intrusivo Potrerillos

En esta investigación se define al intrusivo Potrerillos como una cuarzomonzonita y su composición incluye: albita, oligoclasa, microclina, cuarzo, hornblenda, augita y biotita, con textura fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica a alotriomórfica inequigranular, ocasionalmente porfirítica, grafitosa y granular. Estas características texturales son frecuentes en cámaras magmáticas someras (Faure, 2013). La presencia de xenolitos de composición básica indica altas tasas de contaminación cortical y asimilación magmática (Cox *et al.*, 2013).

Características geoquímicas del Intrusivo Potrerillos

Las relaciones de Th/Yb (5,39 - 13,28), Ta/Yb (0,45 - 6,61), Th/Ta (11,56-21,65), Th/Hf (1,49-3,77), Ta/ Hf (1,49-3,77) y bajas concentraciones de Yb (1,63 ppm – 2,12 ppm), Nb (14,17 ppm – 19,15 ppm) y Ti sugieren que el intrusivo Potrerillos se form3 en una margen continental activa (Schandl y Gorton, 2002) (Figura 11). Las concentraciones de Hf (5,58 ppm – 8,45 ppm), Rb (93,1 ppm – 191,8 ppm), Y (12,88 ppm – 18,19 ppm), Ta (0,8 ppm – 1,22 ppm) y Nb, indican que el intrusivo Potrerillos se form3 en un arco volc3nico continental (Harris *et al.*, 1986; Pearce *et al.*, 1984) (Figura 12). Los factores de discriminaci3n R1 y R2 (Batchelor y Bowden, 1985) fueron planteados en el campo de orogenia tardía en ambiente intra-continental (Figura 13A); mientras que, en la Figura 13B los factores F₃, C y ACF del intrusivo

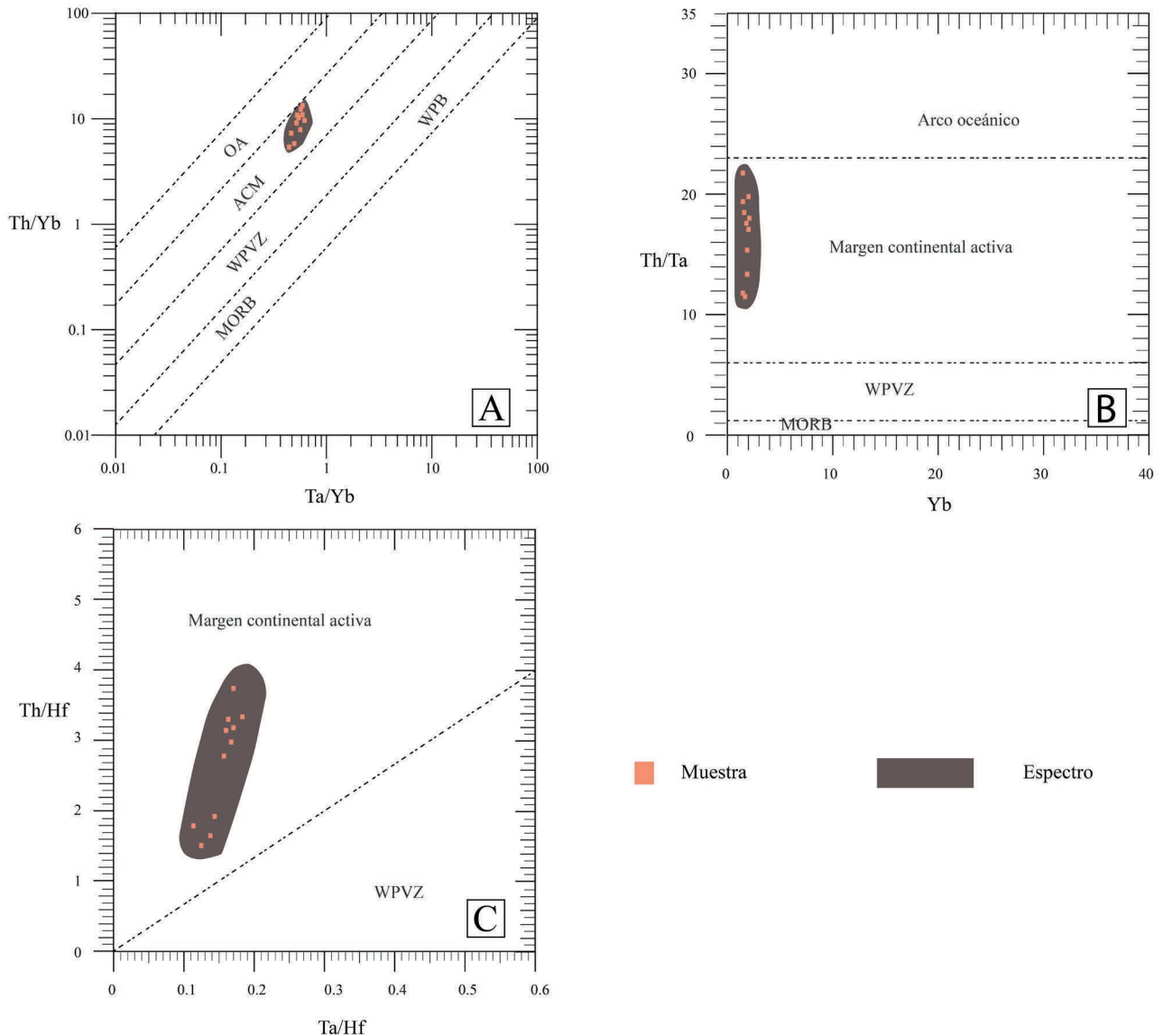


Figura 11. Diagramas de clasificaci3n tect3nica (1) del Intrusivo Potrerillos. **A.** Diagrama binario Th/Yb vs. Ta/Yb (Schandl y Gorton, 2002). **B.** Diagrama binario Th/Ta vs. Yb (Schandl y Gorton, 2002). **C.** Diagrama binario Th/Hf vs. Ta/Hf (Schandl y Gorton, 2002).

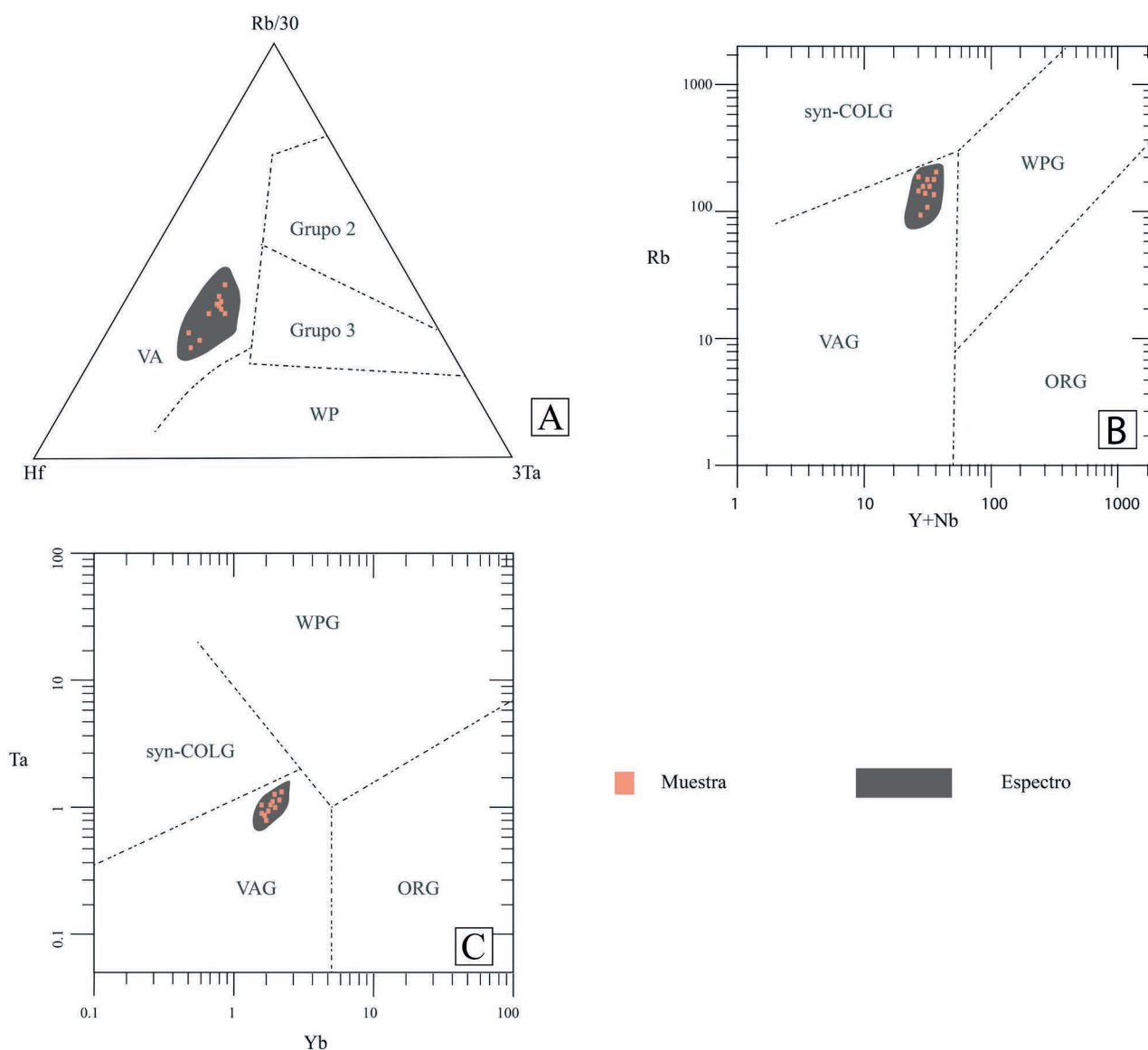


Figura 12. Diagramas de clasificación tectónica (2) del Intrusivo Potrerillos. **A.** Diagrama ternario Rb-Hf-Ta (Harris *et al.*, 1986). **B.** Diagrama binario Rb vs. Y + Nb (Schandl y Gorton, 2002). **C.** Diagrama binario Ta vs. Yb (Pearce *et al.* 1984).

Potrerillos indican que pertenecen al campo de granitos post-orogénicos (Maniar y Piccoli, 1989).

Bajas concentraciones de Ni (2,16 ppm - 4,95 ppm) y Cr (2,47 ppm - 6,07 ppm) junto a altas concentraciones de Zr (226 ppm - 352 ppm) sugieren que el fraccionamiento de olivino y piroxeno fue insignificante. Por otro lado, la cristalización fraccional de titanita y/o rutilo en el magma parental no solo produciría anomalías negativas de Nb, Ta y Ti, sino que también conduciría al empobrecimiento de Zr y Hf y al enriquecimiento de las relaciones Nb/Ta (Klemme *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2014). Esto es inconsistente con altas anomalías claramente positivas de Zr y Hf del intrusivo Potrerillos, lo cual, indica que el empobrecimiento de Nb, Ta y Ti es una firma característica de la fuente de magma parental (Yu *et al.*, 2009).

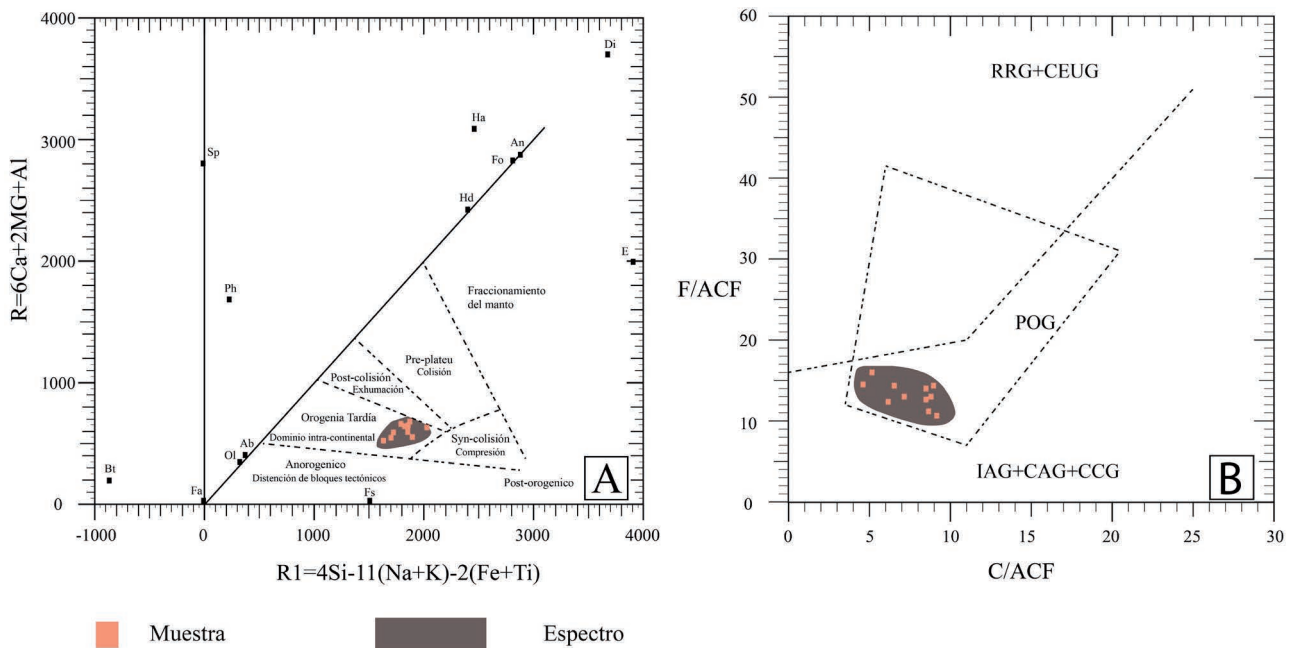


Figura 13. Diagramas de clasificación tectónica (3) del Intrusivo Potrerillos. **A.** Diagrama binario R vs. R1 (Batchelor y Bowden, 1985). **B.** Diagrama binario F/ACF vs. C/ACF (Maniar y Piccoli, 1989).

Las relaciones de Nb/Ta en el intrusivo Potrerillos (14,66 a 17,71) son consistentes con el rango de corteza continental (Barth *et al.*, 2000). Anomalías negativas de Eu indican fraccionamiento de feldespato o asimilación de la corteza continental mediante cristalización fraccional (Tchameni *et al.*, 2001). La correlación positiva de Zr/Y (16,46 – 20,14) sugiere un bajo grado de fusión parcial (Zhao *et al.*, 2004). En los diferentes modelos petrogenéticos reportados a nivel mundial, se espera que los magmas generados directamente de la fusión parcial del manto sean de composición basáltica en lugar de andesítica. Por lo tanto, la cristalización fraccionada debe haber jugado un papel importante en la evolución magmática del intrusivo Potrerillos, particularmente en las primeras etapas evolutivas en profundidad (Yu *et al.*, 2009; Barth *et al.*, 2000; Tchameni *et al.*, 2001). Las tendencias de diferenciación calcoalcalina y las composiciones andesíticas generalmente se interpretan como producidas por cristalización fraccionada de magmas basálticos en condiciones hídricas (Zhao *et al.*, 2004; Cui *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Al este de Macará, en el trayecto desde la Bocana La Laja a Vicin, en el sector Potrerillos, el intrusivo Potrerillos consiste en un cuerpo intrusivo de composición cuarzomonz nico, emplazado en rocas volcanoclásticas de la Formación Ciano.

La mineralogía del intrusivo Potrerillos es dominada por plagioclasa, feldespato de potasio y cuarzo, de textura fanerítica, inequigranular y holocristalina.

El detalle geoquímico sugiere afinidad calcoalcalina potásica, de series magnésiana, peraluminica a metaluminica saturada en sílice. Su ambiente de formación se vincula a un arco volcánico en margen continental activa.

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 las hojas geológicas de Macará, Alamor y Zapotillo, escala 1: 100.000, entre los años 2016 a 2023.

REFERENCIAS

- Aguirre, L. 1992. Metamorphic pattern of the Cretaceous Celica Formation, SW Ecuador, and its geodynamic implications. *Tectonophysics* 205 (1-3): 223-237.
- Barth, M.G., McDonough, W.F. y Rudnick, R.L. 2000. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust. *Chemical Geology* 165: 197-213.
- Batchelor, R. A. y Bowden, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical geology* 48(1-4): 43-55.
- Bennison, G. M., Olver, P. A. y Moseley, K. A. 2011. An introduction to geological structures and maps. Disponible en: <https://doi.org/10.4324/9780203783795> [Consultado 17-01-2023]
- Boynton, W. V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. En Henderson, P., Ed. *Developments in geochemistry*. Elsevier 2: 63-114.
- Bristow, C.R. y Hoffstetter, R. 1977. Lexique Stratigraphique International; Amérique Latine: Ecuador. (Ed.), *Centre National de la Recherche Scientifique*. Paris, 5: 412 p.
- 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.
- Carlotto, V., Quispe, J., Acosta, H., Rodríguez, R., Romero, D., Cerpa, L., Mamani, M., Martínez D. E., Navarro, P., Jaimes, F., Velarde, T., Lu, S. y Cueva, E. 2009. Dominios geotectónicos y metalogénesis del Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* 103: 1-89.
- Carrasco, H. F. 2018. Análisis litoestratigráfico y de procedencia de los depósitos sedimentarios cretácicos de la Cuenca Alamor-Lancones. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19568> [Consultado 17-01-2023].
- Cox, K. G., Bell, J. D. y Pankhurst, R. J. 2013. The interpretation of igneous rocks. *Springer Science & Business Media*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3373-1> [Consultado 17-1-2023].

- Cui, Y.R., Xie, Z., Chen, J.F., Yu, Y.W. y Hu, L.H. 2010. SHRIMP U–Pb dating of zircons from the late Mesozoic basalts in eastern Zhejiang province and its geological significance. *Geological Journal of China Universities* 16: 198-212.
- Faure, G. 2013. Origin of igneous rocks: the isotopic evidence. Disponible en: <https://books.google.gm/books?id=VKfvCAAQBAJ&printsec=copyright> [Consultado 17-01-2023].
- Feininger, T. y Bristow, C. R. 1980. Cretaceous and Paleogene geologic history of coastal Ecuador. *Geologische Rundschau* 69(3): 849-874.
- Frost, B. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology* 42(11): 2033-2048.
- Frost, B. R. y Frost, C. D. 2008. A geochemical classification for feldspathic igneous rocks. *Journal of Petrology* 49(11): 1955-1969.
- Gutiérrez, 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. En: Horton, B. K. y Folguera, A. Eds. *Andean Tectonics*. Elsevier, pp. 237-268.
- 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.
- 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.
- Pilatasig, L., Ibadango, E. y Torres, C. 2013. Síntesis litoestratigráfica, estructural, geoquímica y evolución de Cuenca Alamor-Punta de Piedra, sector Zaruma-Cariamanga. *INIGEMM-SENESCYT*, Quito, Ecuador, 172 p.
- Instituto Nacional de Investigación Geológica, Minero, Metalúrgico – INIGEMM. 2016a. Mapa geológico Río Catamayo, escala 1:50.000. Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. Inédito.
- Instituto Nacional de Investigación Geológica, Minero, Metalúrgico – INIGEMM. 2016b. Mapa geológico de Macará, escala 1:100.000. Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. Inédito.
- Instituto Nacional de Investigación Geológica, Minero, Metalúrgico – INIGEMM. 2016c. Mapa geológico de Alamor, escala 1:100.000. Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. Inédito.
- Instituto Nacional de Investigación Geológica, Minero, Metalúrgico – INIGEMM. 2016d. Mapa geológico de Cariamanga, escala 1:100.000. Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. Inédito.
- Instituto Nacional de Investigación Geológica, Minero, Metalúrgico – INIGEMM. 2016e. Mapa geológico de Zapotillo, escala 1:100 000. Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. Inédito.
- Jaillard, E., Laubacher, G., Bengtson, P., Dhondt, A. V. y Bulot, L. G. 1999. Stratigraphy and evolution of the Cretaceous forearc Celica-Lancones basin of southwestern Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences* 12 (1): 51-68.
- Janoušek, V., Moyen, J. F., Erban, V. y Hora, J. 2019. GCDkit goes platform independent!. *Goldschmidt2019*. Barcelona: European Association of Geochemistry, Geochemical Society.

- Kennerley, J.B. 1973. Geology of the Loja Province, Southern Ecuador. *London Institute of Geological Sciences Report 23*, 34 p.
- Klemme, S., Prowatke, S., Hametner, K. y Gunther, D. 2005. Partitioning of trace elements between rutile and silicate melts: implications for subduction zones. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 69: 2361–2371.
- 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].
- Lebrat, M. 1985. *Caracterisation géochimique du volcanisme anté-orogénique de l'Occident équatorien: implications géodynamiques*. Doctoral Thesis Université des sciences et Techniques du Languedoc, France, 118 p.
- Liu, L., Qiu, J. S., Zhao, J. L. y Yang, Z. L. 2014. Geochronological, geochemical, and Sr–Nd–Hf isotopic characteristics of Cretaceous monzonitic plutons in western Zhejiang Province, Southeast China: new insights into the petrogenesis of intermediate rocks. *Lithos* 196: 242-260.
- Maniar, P. D. y Piccoli, P. M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological society of America bulletin* 101(5): 635-643.
- McDonough, W. F. y Sun, S. S. 1995. The composition of the Earth. *Chemical geology* 120(3-4): 223-253.
- Middlemost, E. A. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-science reviews* 37(3-4): 215-224.
- Miyashiro, A. 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American journal of science* 274(4): 321-355.
- 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.
- 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.
- Peccerillo, A. y Taylor, S. R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to mineralogy and petrology* 58(1): 63-81.
- 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.
- Qi, L., Hu, J. y Gregoire, D.C., 2000. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Talanta* 51: 507-513.

- Riel, N., Martelat, J. E., Guillot, S., Jaillard, E., Monie, P., Yuquilema, J., Duclaux, J. y Mercier, J. 2014. Fore arc tectonothermal evolution of the El Oro metamorphic province (Ecuador) during the Mesozoic. *Tectonics* 33(10): 1989-2012.
- Romero, C. W., Carranco, F., Gramal, A., Pulupa, R., Velez, T., Cerny, N., Dvořák, M., Granja, J. y Pazmiño, P. 2022. Discriminación de la secuencia meta-sedimentarias del río Oyacachi, en San Marcos, Ecuador. *Revista Científica GeoLatitud* 5(2): 1-13.
- Romero, C., Píjmení, A., Granja, J., Escobar, V., Gramal, A., Carranco, F., Condo, D. y Calderón, E. 2021. Las características geoquímicas y significado geodinámico del Miembro Yaupi de la Formación Chapiza en la Cordillera Cutucú. *Revista Científica GeoLatitud* 4(2): 1-10.
- Schandl, E. S. y Gorton, M. P. 2002. Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments. *Economic geology* 97(3): 629-642.
- Schutte, P. 2009. *Geochronology, geochemistry, and isotopic composition (Sr, Nd, Pb) of Tertiary porphyry systems in Ecuador*. Doctoral Thesis University of Geneva, Switzerland, 182 p.
- Stanley, C. 2017. Litho-geochemical classification of igneous rocks using Streckeisen ternary diagrams. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 17(2): 63-91.
- Streckeisen, A.L. y Le Maitre, R.W. 1979 A Chemical Approximation to the Modal QAPF Classification of the Igneous Rocks. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen* 136: 169-206.
- Tchameni, R., Mezger, K., Nsifa, N.E. y Pouclet, A. 2001. Crustal origin of Early Proterozoic syenites in the Congo Craton (Ntem Complex), South Cameroon. *Lithos* 57: 23-42.
- Urlich, T. D. 2005. *Summary Report on Ar/Ar Dating for MAP: GAC. Activity PE – 05 Peru*. Laboratory Pacific Centre for Isotopic and Geochemical Research Earth & Ocean Sciences, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Valarezo, M. E., Vallejo, C., Horton, B. K., Gaibor, J., Esteban, J., Jackson, L. J., Carrasco, H. y Beate, B. 2019. Sedimentological and provenance analysis of the Río Playas stratigraphic section: Implications for the evolution of the Almor-Lancones Basin of southern Ecuador and northern Peru. *Journal of South American Earth Sciences* 94: 102239.
- Winter, L.S. 2008. *The genesis of "giant" copper-zinc-gold-silver volcanogenic massive sulphide deposits at Tambogrande, Peru: Age, tectonic setting, paleomorphology, litho-geochemistry and radiogenic isotopes*. Doctoral Thesis University of British Columbia, Vancouver, Canada, 260 p.
- Yu, J.H., Wang, L.J., O'Reilly, S.Y., Griffin, W.L., Zhang, M., Li, C.Z. y Shu, L.S. 2009. A Paleoproterozoic orogeny recorded in a long-lived cratonic remnant (Wuyishan terrane), eastern Cathaysia Block, China. *Precambrian Research* 174 (3-4): 347-363.
- Zhao, J.H., Hu, R.Z. y Liu, S. 2004. Geochemistry, petrogenesis, and tectonic significance of Mesozoic mafic dikes, Fujian Province, Southeastern China. *International Geology Review* 46: 542-557.