



XVIII Congreso Peruano de Geología

ANÁLISIS QUIMIOESTRATIGRÁFICO DE ROCAS SILICICLÁSTICAS DEL CRETÁCEO A LO LARGO DE LA CORDILLERA ORIENTAL Y LA FAJA SUBANDINA

Elvis Sánchez¹ y Rildo Rodríguez¹

¹ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Av. Canadá 1470 – San Borja-Lima; Perú (email - esanchez@ingemmet.gob.pe)

1. Introducción

La Quimioestratigrafía constituye una herramienta importante para caracterizar químicamente las rocas sedimentarias, lo cual es útil para establecer una correlación entre las secuencias sedimentarias basado en la caracterización química de estas. En el área de trabajo existe una controversia para ubicar el límite estratigráfico entre los grupos Goyllarisquiza y Oriente. En consecuencia, el presente trabajo busca establecer la caracterización química de las rocas sedimentarias de las unidades cretáceas anteriormente mencionadas, para establecer posibles controles geoquímicos existentes, entre dichas unidades, con el objetivo de poder encontrar un límite paleogeográfico entre las Cordillera Oriental y la Faja Subandina.

Sin embargo, los mayores problemas al utilizar la quimioestratigrafía es encontrar los elementos inmóviles durante todos los procesos sedimentarios que afectan a estas rocas (McLennan, 1989). Un método para determinar elementos inmóviles fue desarrollado por Fralick & Kronberg (1997), el cual consiste en encontrar los elementos químicos que posean buena correlación entre ellos debido a su potencial iónico (Railsback, 2003); por tanto utilizando este método podremos determinar los elementos inmóviles durante la sedimentación; debido a que, son importantes porque constituyen elementos que no sufren cambios y muestran el mismo comportamiento hidrodinámico a lo largo de todo el proceso de sedimentación.

Por lo tanto, se busca realizar una correlación geoquímica o quimioestratigrafía de las unidades cretáceas, basado en la composición química de elementos mayores y algunos elementos traza de 27 muestras de lutitas, recolectadas en 7 columnas estratigráficas a lo

largo de la Cordillera Oriental y la Faja Subandina, y con la ayuda de métodos de estadística descriptiva y multivariados, para ordenar, organizar y agrupar las diferentes variables geoquímicas obtenidas, lo cual permitirá una interpretación quimioestratigráfica confiable. El presente resumen es parte del marco de investigación del Proyecto GR6: "Geología de las rocas sedimentarias y volcánicas del Altiplano y Cordillera Oriental" de la Dirección de la Geología regional.

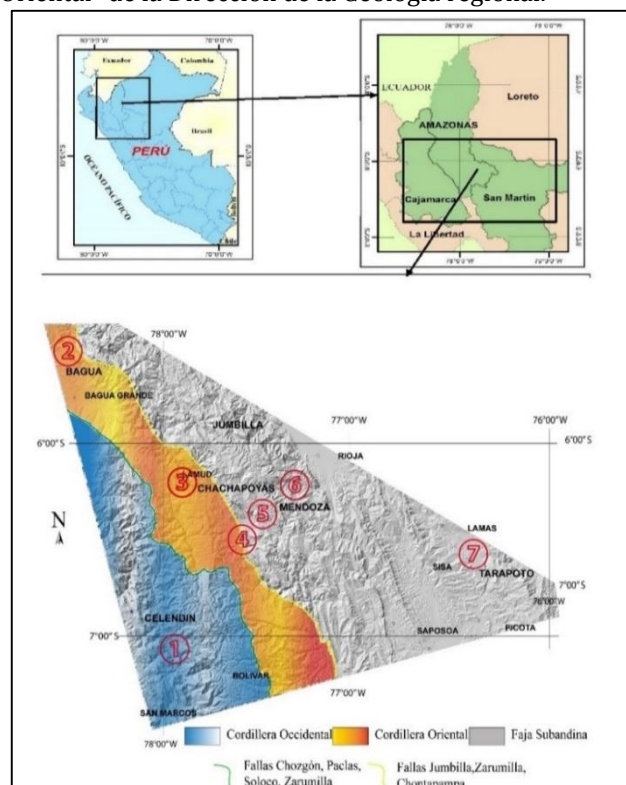


Figura 1. Mapa de ubicación de columnas estratigráficas en círculos rojos.

2. Contexto Geológico

El área de estudio está ubicado en los andes del norte de Perú, abarca el extremo oeste de la Cordillera Oriental y extremo este de la Faja Subandina, donde se tomaron 27 muestras en 7 columnas estratigráficas (Figura 1), las cuales son: 1: Lucma pampa, 2: Rentema; 3: Caclic; 4: Limabamba; 5: Rodríguez de Mendoza; 6: Galilea; 7: Chazuta (Figura1). Las unidades estratigráficas cretáceas en la Cordillera Oriental, las cuales están formadas por el Grupo Goyllarisquizga (Cretáceo inferior), la Formación Chulec (Cretáceo superior), seguida del Grupo Pullucana (Cretáceo superior). En la Faja Subandina, está formada estratigráficamente por el Grupo Oriente (Cretáceo inferior), Formación Chonta (Cretáceo superior); la Formación Vivian (Cretáceo superior)

3. Metodología y Resultados

Los análisis de los elementos mayores y trazas presentes de las lutitas del Cretáceo en el norte del Perú, se llevaron a cabo en el laboratorio del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) utilizando técnica del ICP-OES, donde se puede identificar y cuantificar todos los elementos de la tabla periódica, el cual consiste en la introducción continua de la muestra líquida, la cual

Es atomizada e ionizada generándose los espectros de emisión atómicos de líneas características de cada elemento de la tabla periódica. En consecuencia, otorga resultados de la composición en elementos mayores y trazas para las muestras analizadas (Tabla 1).

Para realizar una correlación quimioestratigráfica es necesario efectuar un análisis estadístico descriptivo y multivariable previo a los resultados químicos obtenidos, que consiste en:

Se necesita establecer la movilidad e inmovilidad de elementos, para ello se aplicó el método de Fralick & Kronberg (1997), el cual aplica el método de pares de elementos y consideran el empleo de diagramas de dispersión entre los elementos usualmente reconocidos como inmóviles (*p. ej.* Al, Ti, Y, Zr) y diagramas de dispersión vs SiO₂; los cuales consisten en encontrar los elementos químicos que posean buena correlación entre sí, por lo tanto se genera una matriz de correlación (Tabla 2); para lutitas el Al₂O₃, se utiliza como elemento patrón de inmovilidad, debido a que este elemento permanece inmóvil durante la diagénesis, intemperismo y metamorfismo (Cárdenas et al., 1996). En consecuencia, los elementos (mayores o trazas) que presentan una buena correlación positiva con el Al₂O₃, tuvieron un comportamiento inmóvil durante el proceso de sedimentación, esto permitirá una correlación geoquímica más confiable para el análisis

Tabla 1. Resultados de análisis geoquímicos de las 27 muestras de lutitas del Cretáceo, colectadas en 7 columnas estratigráficas, Re: Rentema, Ga: Galilea, Cha: Chazuta, Ro: Rodríguez de Mendoza, Lp: Lucma pampa, Ca: Caclic, Li: Limabamba.

Muestra	Al ₂ O ₃ %	CaO%	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O%	MgO%	MnO%	Na ₂ O%	P ₂ O ₅ %	SiO ₂ %	TiO ₂ %	Ba (ppm)	Co(ppm)	Cr(ppm)	Cu(ppm)	La(ppm)	Ni(ppm)	Zr(ppm)	Y (ppm)	V(ppm)
Limabamba																			
Li_1	17,13	0,08	9,66	5,67	2,81	0,05	0,09	0,05	53,00	1,03	361,72	16,92	71,19	5,05	34,05	25,94	153,11	28,41	199,53
Li_2	20,89	0,01	3,99	1,76	1,30	0,01	0,02	0,15	55,00	0,87	169,40	12,75	121,37	21,80	80,24	19,67	161,81	53,47	187,17
Li_3	10,97	0,06	1,51	2,91	0,78	0,00	1,49	0,02	78,20	0,39	564,81	5,20	20,56	13,19	19,25	10,92	58,76	17,65	54,34
Li_4	10,51	0,02	0,46	3,49	0,29	0,01	0,09	0,02	81,00	0,51	753,64	3,42	18,50	13,90	19,43	12,29	55,25	10,12	54,98
Li_7	14,34	0,05	6,91	3,42	1,58	0,01	0,02	0,08	63,70	0,86	332,07	15,17	52,94	20,05	25,21	24,15	90,07	10,16	139,93
Li_8	19,10	0,04	0,05	0,04	0,02	0,01	0,04	0,01	80,49	0,15	15,62	1,00	2,59	3,37	6,33	6,17	8,67	1,91	10,00
Rodríguez																			
Ro_1	18,73	0,29	9,12	4,64	2,45	0,04	0,02	0,26	58,50	0,86	992,77	15,34	66,14	7,13	120,11	27,88	143,91	37,88	152,34
Ro_3	17,05	0,26	8,30	4,22	2,23	0,04	0,02	0,24	57,90	0,78	242,09	17,39	67,39	28,32	27,50	16,92	125,81	12,21	166,04
Ro_4	17,29	0,01	1,33	3,30	0,42	0,01	0,01	0,08	69,30	1,70	17,56	1,00	4,07	3,89	11,61	2,05	21,21	2,79	10,00
Ro_7	18,06	3,06	5,87	2,90	1,71	0,05	0,67	0,15	54,60	0,83	234,83	19,04	51,44	18,80	52,79	27,29	113,46	25,43	120,71
Lucma pampa																			
Lp_1	14,86	0,10	7,84	2,31	0,79	0,03	0,05	0,07	65,00	0,93	125,02	18,40	45,48	26,38	26,88	17,74	102,12	23,93	177,24
Caclic																			
Ca_2	18,83	0,10	1,16	3,04	0,56	0,01	0,01	0,06	66,00	1,64	212,14	12,59	106,92	57,64	39,00	36,05	145,51	15,16	232,65
Ca_4	14,99	0,07	0,75	2,59	0,28	0,01	0,01	0,06	74,40	1,40	281,44	8,31	38,36	8,98	62,71	7,60	159,36	22,06	112,45
Ca_6	14,40	0,12	1,04	1,40	0,22	0,01	0,01	0,05	75,50	1,56	151,24	7,80	38,19	5,85	24,94	5,04	140,70	16,16	128,79
Ca_7	13,95	0,12	1,76	3,41	0,41	0,01	0,02	0,10	74,00	1,52	321,00	6,84	37,52	2,85	32,21	5,30	136,82	17,19	109,12
Galilea																			
Ga_7	12,90	18,68	4,84	2,21	1,22	0,09	0,16	0,18	36,60	0,59	31,22	2,00	2,49	2,00	3,63	3,81	20,19	2,45	10,00
Ga_6	21,75	0,24	3,87	4,72	1,24	0,01	0,14	0,10	52,80	1,06	172,81	21,26	67,10	15,41	48,13	47,81	103,74	21,19	149,02
Ga_5	17,24	0,02	0,99	1,44	0,26	0,01	0,01	0,06	69,90	1,23	148,23	10,11	61,89	23,03	63,72	14,62	121,40	23,45	166,64
Ga_4	14,72	0,37	6,33	4,01	2,26	0,02	2,12	0,17	63,40	0,88	496,06	16,08	52,77	9,63	24,55	31,42	85,93	16,34	134,18
Ga_1	20,18	0,69	7,84	5,91	3,01	0,08	1,45	0,21	59,35	1,27	545,70	15,42	49,87	4,77	30,06	30,09	118,98	18,88	156,65
Chazuta																			
Cha_2	20,94	0,02	0,93	1,12	0,19	0,01	0,02	0,08	66,60	1,59	187,76	11,42	93,59	42,55	23,18	8,12	75,57	10,96	192,03
Cha_3	14,64	0,03	6,05	4,55	0,52	0,01	0,04	0,09	67,10	1,12	684,48	11,02	26,99	11,74	57,83	9,45	96,16	20,24	84,72
Cha_4	11,74	0,02	1,03	4,86	0,28	0,01	0,06	0,06	77,70	0,90	562,71	216,18	18,00	144,40	41,05	26,21	87,97	14,40	49,79
Cha_7	13,63	0,16	1,11	4,23	0,38	0,01	0,72	0,05	72,90	0,76	563,37	5,81	28,36	11,65	21,02	6,73	63,64	11,61	72,89
Cha_8	21,76	0,23	3,86	4,73	1,25	0,01	0,13	0,10	52,50	1,06	200,63	10,06	67,38	15,43	59,07	16,80	96,92	28,97	150,07
Rentema																			
Re_3	18,30	0,16	0,93	3,76	0,62	0,01	0,11	0,14	68,50	1,24	138,23	8,76	59,36	26,40	32,68	10,65	61,17	6,91	126,41
Re_6	14,79	0,11	0,90	3,25	0,40	0,01	0,06	0,07	75,50	1,29	134,19	6,87	36,93	6,79	21,14	5,29	64,16	8,83	100,17
Re_8	20,96	11,18	4,84	3,71	2,40	0,02	0,37	0,13	55,43	0,96	91,03	12,83	49,79	20,38	19,53	19,09	81,74	16,88	106,01

Tabla 2 Matriz de correlación de los elementos mayores y trazas, en cuadros rojos se muestran los elementos inmóviles con el Al₂O₃.

r	Al2O3%	CaO%	Fe2O3%	K2O%	MgO%	MnO%	Na2O%	P2O5%	SiO2%	TiO2%	Ba	Co	Cr	Cu	La	Ni	Sr	V	Y	Zr	
Al2O3%	1.0																				
CaO%	0.0	1.0																			
Fe2O3%	0.3	0.1	1.0																		
K2O%	0.4	-0.1	0.5	1.0																	
MgO%	0.4	0.2	0.9	0.6	1.0																
MnO%	0.1	0.6	0.6	0.3	0.7	1.0															
Na2O%	0.0	0.0	0.2	0.3	0.4	0.3	1.0														
P2O5%	0.5	0.3	0.6	0.3	0.7	0.6	0.2	1.0													
SiO2%	-0.7	-0.5	-0.6	-0.4	-0.7	-0.6	0.0	-0.7	1.0												
TiO2%	0.6	-0.2	-0.2	0.1	-0.2	-0.2	-0.2	0.0	-0.1	1.0											
Ba	-0.1	-0.3	0.2	0.5	0.2	0.0	0.3	0.1	0.1	-0.3	1.0										
Co	-0.1	-0.1	-0.1	0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.1	-0.1	0.2	1.0									
Cr	0.7	-0.3	0.2	0.0	0.3	-0.1	-0.1	0.3	-0.4	0.3	-0.1	-0.1	1.0								
Cu	0.0	-0.1	-0.2	0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.9	0.1	1.0							
La	0.4	-0.3	0.2	0.2	0.2	-0.1	-0.2	0.3	-0.2	0.1	0.4	0.1	0.5	0.1	1.0						
Ni	0.4	-0.1	0.5	0.5	0.6	0.2	0.3	0.3	-0.4	0.0	0.2	0.3	0.5	0.3	0.4	1.0					
Sr	0.1	0.8	0.1	0.0	0.1	0.6	0.1	0.4	-0.6	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	1.0				
V	0.7	-0.3	0.4	0.1	0.4	0.0	-0.1	0.2	-0.4	0.4	0.0	-0.1	0.9	0.1	0.4	0.5	-0.2	1.0			
Y	0.5	-0.2	0.4	0.1	0.4	0.0	0.0	0.3	-0.4	0.0	0.3	0.0	0.6	0.0	0.8	0.4	0.0	0.6	1.0		
Zr	0.5	-0.3	0.3	0.2	0.3	0.0	-0.1	0.2	-0.3	0.4	0.2	0.0	0.7	0.1	0.7	0.4	-0.1	0.8	0.7	1.0	

4. Análisis Quimioestratigráfico

Con los elementos inmóviles encontrados (Tabla 3); se realizó el análisis Clúster (método de estadística multivariable), para agrupar elementos, tener la máxima homogeneidad, lograr la mayor diferencia entre grupos y así se determinó las relaciones químicas entre las unidades litoestratigráficas Cretáceas; para ese fin se utilizó el método del dendograma. En el dendograma las 27 muestras de lutitas se agruparon en 4 facies químicas o quimiofacies, las cuales denominaremos Q1, Q2, Q3 y Q4 (Figura 2).

Tabla 3 Elementos mayores y trazas inmóviles

Muestra	Al2O3%	P2O5%	TiO2%	Cr	V	Y	Zr
Limabamba							
U_1	17.13	0.05	1.03	71.19	199.53	28.41	153.11
U_2	20.89	0.15	0.87	121.37	187.17	53.47	161.81
U_3	10.97	0.02	0.39	20.56	54.34	17.65	58.76
U_4	10.51	0.02	0.51	18.50	54.98	10.12	55.25
U_7	14.34	0.08	0.86	52.94	139.93	10.16	90.07
U_8	0.19	0.01	0.15	2.59	10.00	1.91	8.67
Rodríguez							
Ro_1	17.05	0.24	0.78	66.14	152.34	37.88	143.91
Ro_3	17.05	0.24	0.78	67.39	166.04	12.21	125.81
Ro_4	17.29	0.08	1.70	4.07	10.00	2.79	21.21
Ro_7	18.06	0.15	0.83	51.44	120.71	25.43	113.46
Licma pampa							
Lp_1	14.86	0.07	0.93	45.48	177.24	23.93	102.12
Caclic							
Ca_2	18.83	0.06	1.64	106.92	232.65	15.16	145.51
Ca_4	14.99	0.06	1.40	38.36	112.45	22.06	159.36
Ca_6	14.40	0.05	1.56	38.19	128.79	16.16	140.70
Ca_7	13.95	0.10	1.52	37.52	109.12	17.19	136.82
Galilea							
Ga_7	12.90	0.18	0.59	2.49	10.00	2.45	20.19
Ga_6	21.76	0.10	1.06	67.10	149.02	21.19	103.74
Ga_5	17.24	0.06	1.23	61.8917	166.641	23.45	121.40
Ga_4	14.72	0.17	0.88	52.7662	134.18	16.34	85.93
Ga_1	20.18	0.21	1.27	49.87	156.648	18.88	118.98
Chazuta							
Cha_2	20.94	0.08	1.59	93.5894	192.03	10.96	75.57
Cha_3	14.64	0.09	1.12	26.9886	84.7242	20.24	96.16
Cha_4	11.74	0.06	0.90	18.0044	49.7891	14.40	87.97
Cha_7	13.63	0.05	0.76	28.3634	72.8906	11.61	63.64
Cha_8	21.76	0.10	1.06	67.38	150.07	28.97	96.92
Rentema							
Re_3	18.30	0.14	1.24	59.36	126.41	6.91	61.17
Re_6	14.79	0.07	1.29	36.93	100.17	8.83	64.16
Re_8	20.96	0.13	0.96	49.79	106.009	16.88	81.74

La relación de las facies químicas o quimioestratigráficas (Q1 Q2, Q3 y Q4) con las unidades litoestratigráficas del Cretáceo se colocaron en una sección este - oeste (Figura 3).

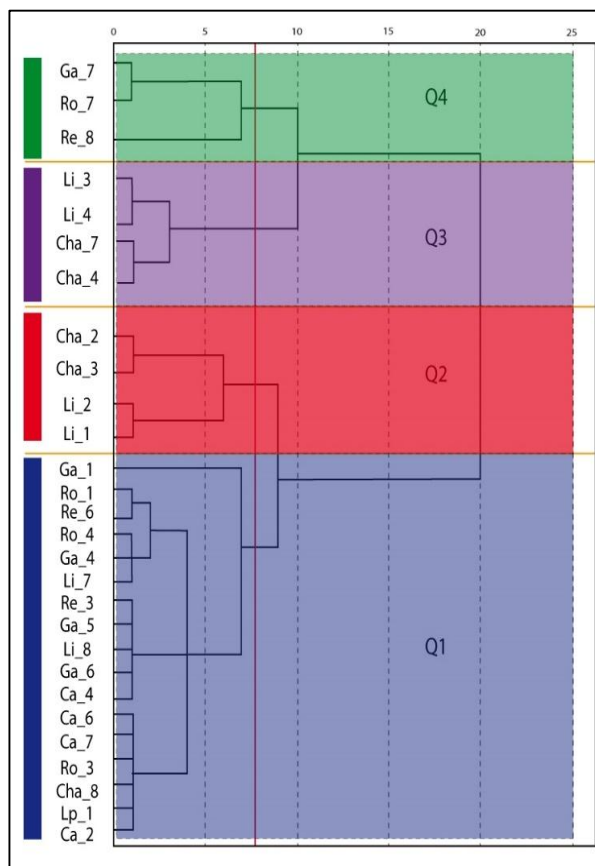


Figura 2. Dendograma donde se observan las muestras y las 4 Quimiofacies.

Como se puede observar la quimiofacie Q1 (color azul) aparece en las 7 columnas y está asociada a los grupos Goyllarisquizga, Oriente y las formaciones Chonta y Chulec; esta es la más extensa, hacia el este abarca la parte superior del Grupo Oriente y la parte inferior de la Formación Chonta; en tanto que en la parte central, en las columnas de Caclic, Limabamba y Rodríguez de Mendoza se encuentra asociada solamente con el Grupo Oriente; por otro lado en las columnas de Lucma pampa y Rentema se encuentran asociada al Grupo Goyllarisquizga y la Formación Chulec.

La quimiofacie Q2 (color rojo) está ligada a la Formación Sarayaquillo y a la base del Grupo Oriente, esto se observa en las columnas de Chazuta y Limabamba, se infiere que puede seguir a través de las columnas de Galilea y Rodríguez de Mendoza; lo que se puede corroborar es que la Q2 no aparecerá en la base del Grupo Goyllarisquizga (columna de Caclic). La quimiofacie Q3 (color violeta) está asociada a la Formación Sarayaquillo en las columnas de Limabamba y Galilea, y al Grupo Oriente en la columna de Chazuta. Por último, la quimiofacie Q4 está asociada en las columnas de Chazuta y Galilea a las lutitas negras de la parte superior de la Formación Chonta. En tanto que, en las columnas de Rodríguez de Mendoza y Caclic está asociada con lutitas de la parte inferior de las formaciones Chonta y Chulec. Mientras que más al oeste, en las columnas de Rentema y Lucmapampa se encuentran sobre la Formación Chulec, los grupos Pullucana y Quilquiñan, y las formaciones Cajamarca y Celendín.

5. Conclusiones

Se logró definir cuatro químicas o quimiofacies, las cuales están asociadas a diferentes unidades litoestratigráficas del Cretáceo. Después de realizar un análisis e interpretación de los resultados quimioestratigráficos se establece que las quimiofacies tienen un mismo patrón de variedad geográfica en relación con las asociaciones litológicas. En efecto, la relación quimiofacie – unidad litoestratigráfica, varía en las columnas de Rodríguez de Mendoza, Limabamba y Caclic.

Se infiere que existe un control estructural limitado por los sistemas de fallas inversas Triunfo, Chontapampa y Chachapoyas, lo cual lleva a suponer que el límite entre los Grupos Goyllarisquizga y Oriente se encuentra donde se levantaron las columnas de Rodríguez de Mendoza y Limabamba.

Para realizar estudios quimioestratigráficos se recomienda coleccionar muestras del subsuelo, debido a que las muestras de superficie, se encuentran expuestas a procesos de alteración, los cuales podrían alterar la composición geoquímica de las rocas. Sin embargo, si se realiza un adecuado muestreo y se combina estos resultados geoquímicos con estudios petrográficos, minerales pesados o isótopos; los resultados obtenidos son altamente confiables.

La quimioestratigrafía, ha probado ser una herramienta importante de correlación a escala regional,

cuando no se puede obtener un control litológico (similitud macroscópica y microscópica), bioestratigráfico (ausencia de fósiles) o se encuentra afectada por procesos tectónicos (fallas, plegamientos), los cuales no hacen posible una correlación clara entre diferentes unidades de rocas sedimentarias.

Referencias

- Cárdenas, A., Girty, G., Hason, A., Lahren, M. (1996). Assessing differences in composition between low metamorphic grade mudstones and high-grade shists using logratio techniques. *Journal Geology*. 104, 279-293.
- Fralick, P. & Kronberg, B., 1997. Geochemical discrimination of clastic sedimentary rock sources. *Sedimentary Geology*, Volumen 113, pp. 111-124.
- McLennan, S., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes.. En: B. Lipin & G. McKay, eds. *Geochemistry and Mineralogy of rare earth elements*. San Francisco, California: Mineralogical Society of America, pp. 169-200.
- Railsback, 2003. An Earth Scientist's Periodic Table of the Elements and Their Ions Department of Geology, University of Georgia Athens, Georgia, 30602-2501. U.S.A. <http://www.gly.uga.edu/railsback/PT.html>

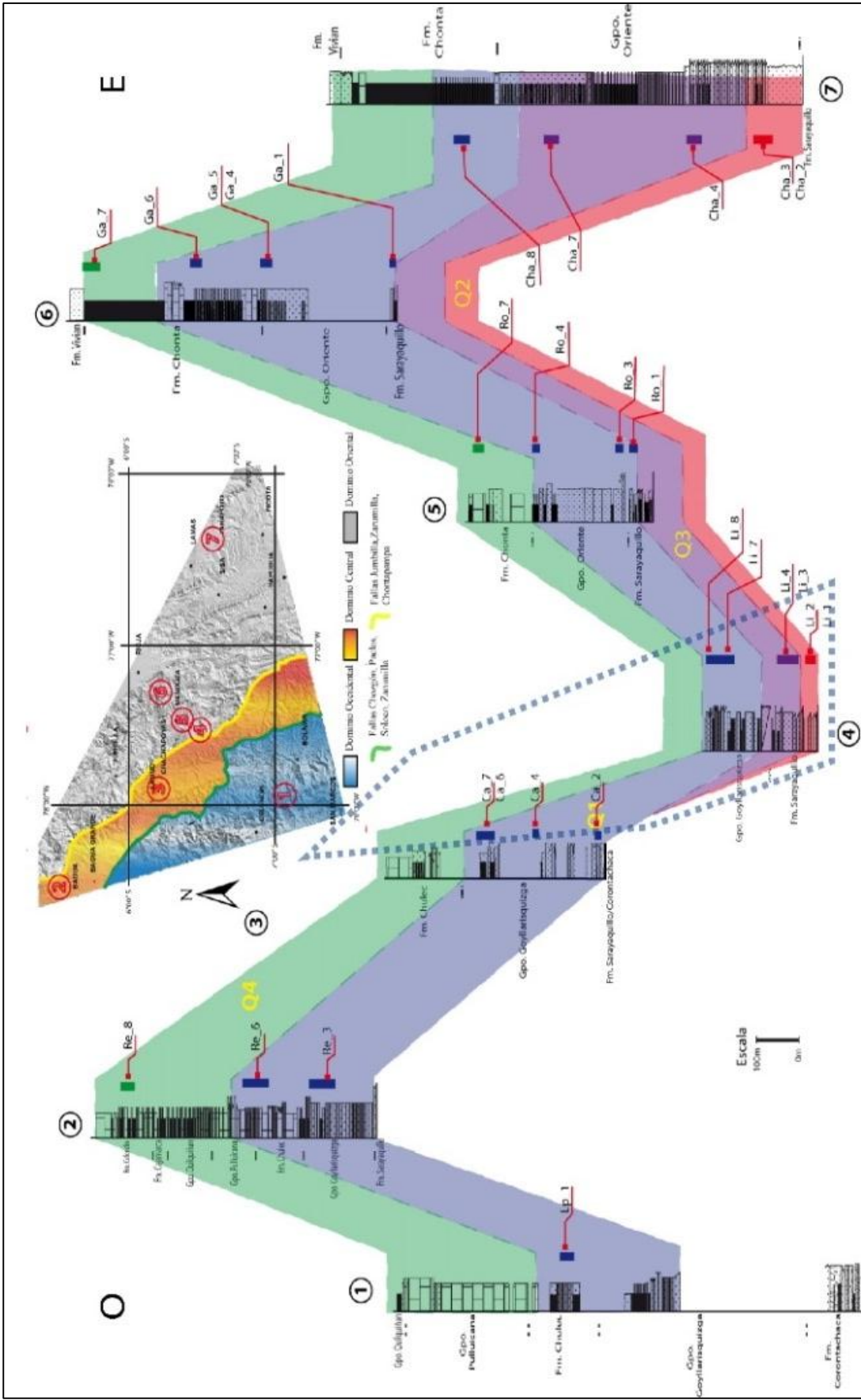


Figura 3.
Correlaciones
quimioestratigráfica;
1: Lucma pampa, 2:
Rentema; 3: Caclic; 4:
Limabamba; 5:
Rodríguez de
Mendoza; 6: Galilea;
7: Chazuta, en líneas
punteadas zona de
transición y límite
paleogeográfico entra
la Cordillera Oriental
y la Faja Subandina