



## XVIII Congreso Peruano de Geología

# UTILIDAD DE LA LITOGEOQUÍMICA EN LA DEFINICIÓN DE LA PROCEDENCIA SEDIMENTARIA Y AMBIENTES DE SEDIMENTACIÓN EN LAS SECUENCIAS CRETÁCEAS DEL NORTE DE PERÚ

Elvis Sánchez<sup>1</sup> & Rildo Rodríguez

<sup>1</sup> Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Av. Canadá 1470 – San Borja-Lima; email: esanchez@ingemmet.gob.pe

## 1. Introducción

Se considera que la litogeoquímica de las rocas sedimentarias o geoquímica sedimentaria, está en función de la naturaleza de las rocas de aporte, intensidad, duración de la meteorización, características climáticas, reciclado sedimentario, selección física y la diagénesis actuante (Middleton, 1960; Bhatia, 1983; Shao *et al.*, 2001), estos procesos modifican química y físicamente a los sedimentos, lo cual hace difícil establecer la procedencia (Johnsson, 1993).

La litogeoquímica en rocas sedimentarias tiene diversos usos en el campo de la Geología Regional, entre los más importantes se encuentran estudios de procedencia sedimentaria, discriminación de ambientes tectónicos y condiciones redox durante la sedimentación, paleoclima, así como búsqueda de recursos naturales, lo cual constituye un aspecto importante para realizar análisis de cuencas sedimentarias en el territorio peruano. El presente trabajo tiene como objetivo analizar la composición química a escala regional de las secuencias siliciclásticas cretáceas (27 muestras de lutitas) y mostrar información que contribuya a los estudios de procedencia sedimentaria y ambientes de sedimentación de las unidades cretáceas en el norte del Perú; y que pueda ser replicada en otras partes del territorio peruano.

El presente trabajo 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.

## 2. Contexto Geológico

En el norte del Perú se encuentran unidades estratigráficas de edad Cretáceo superior, las cuales se

depositaron sobre un basamento compuesto de rocas de edad Paleozoico a Jurásico. Posteriormente se influenciaron por fallas de componentes normales. Estas fallas se invirtieron a partir del Cretáceo superior dando lugar a las actuales morfoestructuras que se encuentran a lo largo de los Andes (Baby *et al.*, 1999). Estas fallas afectan a diferentes unidades estratigráficas que varían litológicamente desde la Cordillera Oriental hasta la Zona Subandina.

## 3. Resultados

Mediante el análisis químico ICP-OES (Dirección de Laboratorios, INGEMMET), se busca establecer las concentraciones de elementos mayores y trazas presentes en las 27 muestras de lutitas (Tabla 1) tomadas en unidades litoestratigráficas cretáceas del norte del Perú.

### 3.1. Procedencia sedimentaria, Ambiente Tectónico, Condiciones Redox y Paleoclima.

Para determinar el ambiente tectónico y condiciones redox de las secuencias siliciclásticas se emplea las proporciones de los diferentes elementos químicos de las rocas sedimentarias, los cuales son plotados en diagramas establecidos a lo largo de los diferentes estudios de litofacies. En el caso de las areniscas cretáceas del norte del Perú, según los diagramas de Roser & Korsch (1986), el Gpo. Goyllarizquisga y Gpo. Oriente se depositaron en un margen activo-pasivo, la Fm. Chonta en un ambiente margen activo y arco de islas, mientras que la Fm. Chulec y el Gpo. Pullucana en un ambiente de margen pasivo (Figura 2A). Estas declaraciones son corroboradas con el diagrama de funciones discriminantes (Figura 2B), pero con una discrepancia en la Fm. Chonta.

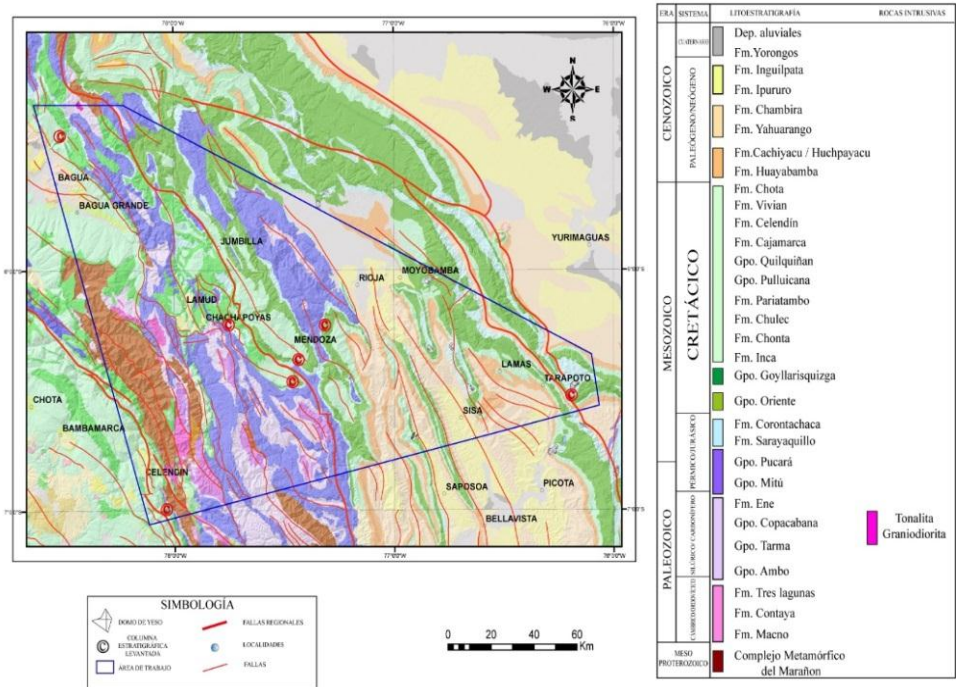


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio y en círculos rojos. Se muestra la ubicación de las 7 columnas estratigráficas realizadas (INGEMMET, 2015).

Tabla 1. Resultados obtenidos en el ICP-OES de 27 muestras colectadas de las unidades cretáceas.

Muestra	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	K <sub>2</sub> O%	MgO%	MnO%	Na <sub>2</sub> O%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Ba (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	La (ppm)	Ni (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	V (ppm)
<b>Limabamba</b>																			
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
<b>Rodríguez</b>																			
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
<b>Licma pampa</b>																			
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
<b>Caclic</b>																			
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
<b>Galilea</b>																			
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
<b>Chazuta</b>																			
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
<b>Rentema</b>																			
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

Por otro lado, la comparación entre Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> vs Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO (%) del diagrama de Bathia (1983) indica que los Grupos Goyllarizquisga y Oriente se depositaron en un ambiente de margen pasivo; sin embargo las otras unidades Cretáceas, no se asocian a un campo específico. De igual manera, sucede en el diagrama de Roser & Korsch (1988) donde utiliza funciones discriminantes D1 vs D2 (Figura 2B). Por otra parte, los diagramas de Bathia (1983), para discriminar la procedencia de sedimentos (Figura 2C); se observa que las muestras de los grupos

Goyllarizquisga y Oriente, se plotean en el campo tectónico de margen pasivo.

Otro aspecto importante, es determinar las condiciones de paleoredox (Figura 2D) que es importante para establecer la materia orgánica que se encontraba en los sedimentos, se utiliza los elementos trazas como indicadores (Jones & Manning, 1994); donde observamos que la mayoría de muestras se encuentran en un campo óxido.

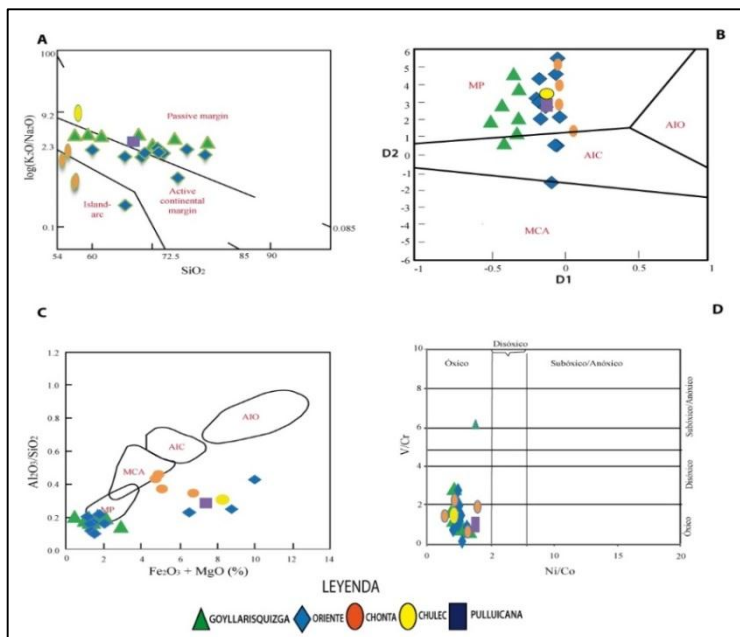


Figura 2. Diagramas binarios para determinar ambiente tectónico (Roser & Korsch, 1988; Bathia, 1983) y condiciones redox (Jones & Manning, 1994). MP: Margen pasivo. AIC: Arco de Islas continental, AIO: Arco de islas oceánico. MCA: Margen continental activo.  $D1 = -0.447SiO_2 - 0.972TiO_2 + 0.008Al_2O_3 - 0.267Fe_2O_3 - 3.082MnO + 0.14MgO + 0.195CaO + 0.719Na_2O - 0.032K_2O + 7.51P_2O_3 + 0.303$ .  $D2 = -0.421 SiO_2 + 1.988 TiO_2 - 0.526 Al_2O_3 - 0.551 Fe_2O_3 + 2.72 MnO + 0.881 MgO - 0.907 CaO - 0.177 Na_2O - 1.84 K_2O + 7.244 P_2O_3 + 43.57$ .

Figura 3. Gráficas A-Nesbitt y Young (1984); B-Jinliang & Xing (2008); C- Roy et al, (2008).  $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100$ ;  $PIA = [(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)] \times 100 + 0.008Al_2O_3 - 0.267Fe_2O_3 - 3.082MnO + 0.14MgO + 0.195CaO + 0.719Na_2O - 0.032K_2O + 7.51P_2O_3 + 0.303$ .  $D2 = -0.421 SiO_2 + 1.988 TiO_2 - 0.526 Al_2O_3 - 0.551 Fe_2O_3 + 2.72 MnO + 0.881 MgO - 0.907 CaO - 0.177 Na_2O - 1.84 K_2O + 7.244 P_2O_3 + 43.57$ .

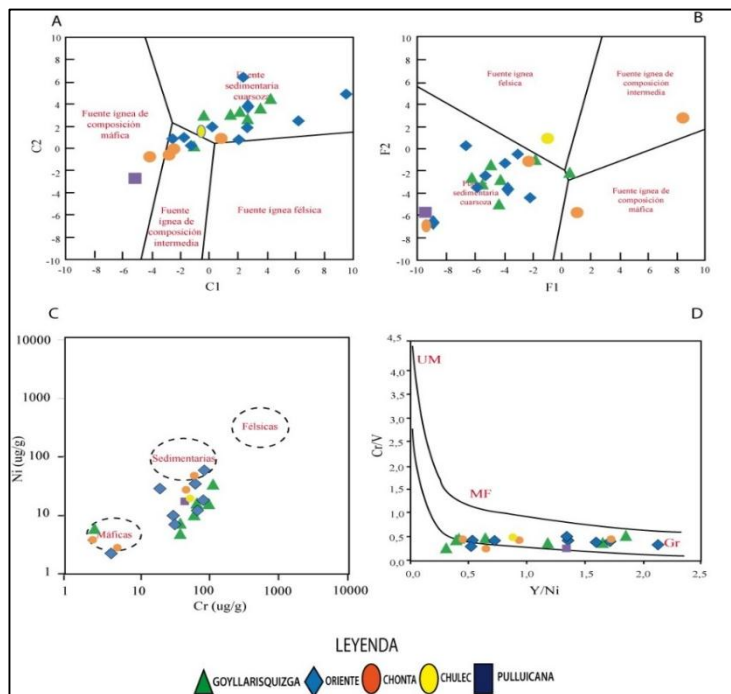


Figura 3. Gráficas A y B- Roser & Korsch (1988), C-Modificado de Romero (2007), D- Hiscott (1984), donde UM: Ultramáfica, MF: Metamórfica de composición félsica, Gr: Félsico.  $C1 = 30.638 TiO_2 / Al_2O_3 - 12.541 Fe_2O_3 (total) / Al_2O_3 + 7.329 MgO / Al_2O_3 + 12.031 Na_2O / Al_2O_3 + 35.402 K_2O / Al_2O_3 - 6.382$ .  $C2 = 56.5 TiO_2 / Al_2O_3 - 10.879 Fe_2O_3 (total) / Al_2O_3 + 30.875 MgO / Al_2O_3 - 5.404 Na_2O / Al_2O_3 + 11.112 K_2O / Al_2O_3 - 3.89$ .  $F1 = -1.773 TiO_2 + 0.607 Al_2O_3 + 0.76 Fe_2O_3 (total) - 1.5 MgO + 0.616 CaO + 0.509 Na_2O - 1.22 K_2O - 9.09$ .  $F2 = 0.445 TiO_2 + 0.07 Al_2O_3 - 0.25 Fe_2O_3 (total) - 1.142 MgO + 0.438 CaO +$

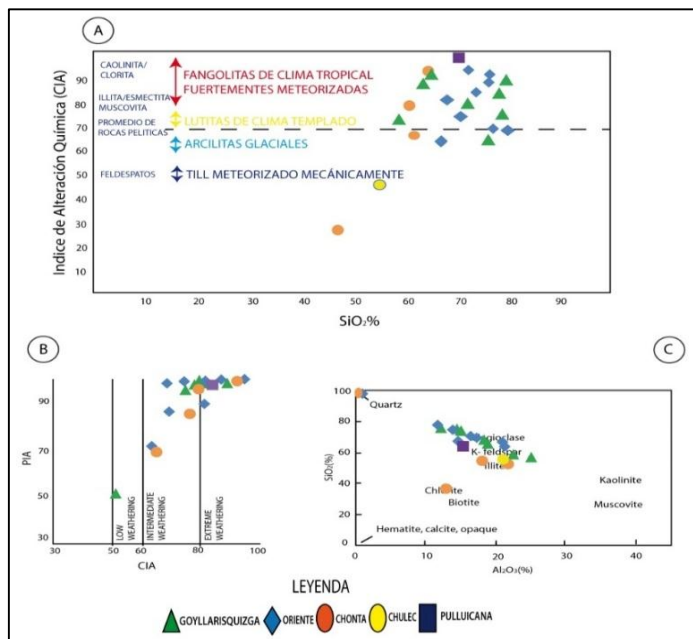


Figura 4. Gráficas A y B- Roser & Korsch (1988), C-Modificado de Romero (2007), D- Hiscott (1984), donde UM: Ultramáfica, MF: Metamórfica de composición félsica, Gr: Félsico.  $C1 = 30.638 TiO_2 / Al_2O_3 - 12.541 Fe_2O_3 (total) / Al_2O_3 + 7.329 MgO / Al_2O_3 + 12.031 Na_2O / Al_2O_3 + 35.402 K_2O / Al_2O_3 - 6.382$ .  $C2 = 56.5 TiO_2 / Al_2O_3 - 10.879 Fe_2O_3 (total) / Al_2O_3 + 30.875 MgO / Al_2O_3 - 5.404 Na_2O / Al_2O_3 + 11.112 K_2O / Al_2O_3 - 3.89$ .  $F1 = -1.773 TiO_2 + 0.607 Al_2O_3 + 0.76 Fe_2O_3 (total) - 1.5 MgO + 0.616 CaO + 0.509 Na_2O - 1.22 K_2O - 9.09$ .  $F2 = 0.445 TiO_2 + 0.07 Al_2O_3 - 0.25 Fe_2O_3 (total) - 1.142 MgO + 0.438 CaO +$

Asimismo, se pueden utilizar otros diagramas de funciones discriminantes para diferenciar las áreas fuentes, por ejemplo los introducidos por Roser & Korsch (1988) que comparan las funciones **C1 vs. C2** (Figura 3A); y la que se muestra en la Figura 3B que, utiliza las siguientes funciones **F1 vs F2**: en donde los elementos químicos indican que los grupos Goyllarizquisga, Oriente y Pullucana provienen de una fuente sedimentaria cuarzosa. La Fm. Chonta de fuentes cuarzosa, sedimentaria y máficas. La Fm. Chulec de una fuente ígnea félsica.

Otros gráficos complementarios utilizados aquí, son los propuestos por Romero (2007) y Hiscott (1984), en donde se observa que la mayoría de muestras se plotean en un área fuente sedimentaria. Por otra lado, la intensidad y duración de meteorización afectan los sedimentos siliciclásticos se deduce que la cuantificación de la meteorización química; calculando el Índice de Alteración química (**CIA**) y de Plagioclasas (**PIA**). Cuando se plotean los resultados obtenidos en el diagramas binarios de Nesbitt & Young (1984) y Jinliang & Xing (2008); para los sedimentos en términos generales del Cretáceo se plotean en la zona de Illita/Esmectita. De igual forma, en el gráfico de Roy et al., (2008) las muestras de todas las unidades Cretáceas se plotean entre las zonas de plagioclasas, feldespatos y cuarzo; las formaciones Chulec y Chonta las muestras se plotean en la zona de Illita (Figura 4 A, B y C).

#### 4. Conclusiones

Se tiene dos principales conclusiones. (i) El análisis de los resultados sobre litogeoquímica, procedencia sedimentaria, ambiente tectónico, condiciones redox y paleoclima nos indica que la procedencia de las unidades cretáceas corresponderían a un basamento levantado u orógenos exhumados e interior de cratones, los cuales estuvieron sometidos a condiciones oxidantes durante la sedimentación y/o a un moderado intemperismo. (ii) La litogeoquímica en rocas sedimentarias, es una herramienta confiable, contundente y rápida en la geología regional, debido a que proporciona datos relevantes para realizar interpretaciones preliminares en el análisis de cuencas sedimentarias. Los resultados pueden ser posteriormente contrastados, reforzados y/o refinados con estudios de minerales pesados, conteo modal de granos de cuarzo (QFL), estudios isotópicos y/o geocronológicos.

#### Referencias

- Baby, P.; Rivadeneira, M; Christophoul, F. & Barragán, R. 1999. Style and timing of deformation in the Oriente Basin of Ecuador. En: International Symposium on Andean Geodynamics, 4, Göttingen, 1999. *Géodynamique Andine: résumés étendus*. Paris: IRD, p. 68-72
- Bathia, M., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstone. *Journal of Geology*, 91(6), pp. 611-627.
- Hiscott, R., 1984. Ophilitic source rocks for Taconic-age flysch: trace- elements in rocks and mineral standards. *Rend. Soc. Ital. Mineral, Pretrol*, Volumen 323, pp. 497-510.
- Jinliang, Z., Xin, Z., 2008. Composition and Provenance of Sandstones and Silstones in Paleogene, Huimin Depression, Bohai Bay Basin, Easer China.. *Journal of China University of Geociencias*, 19(3), pp. 252-270.
- Johnsson, M., 1993. The system controlling the composition of clastic sediments. *Geological Society American Special*, Volumen 284, pp. 1-19.
- Jones, B., Manning, D., 1994. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox condition in ancient mudstone. *Chemical Geology*, Volumen 11, pp. 11-129.
- Middleton, G., 1960. Chemical composition of sandstone. *Geological Society of America Bulletin*, Volumen 71, pp. 1011-1026.
- Nesbitt, H., Young, G., 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations.. *Journal of Geology*, Volumen 48, pp. 1523-1534.
- Romero, H., 2007. Quimiestratigrafía y geoquímica sedimentaria en una sección de la Formación Paraiso, quebrada Purureche, cuenca Falcón. *Trabajo de Grado de Maestría*, p. 167.
- Roser, B., Korsch, R., 1988. Provenance signature of sandstone - mudstone suite determine using discriminant function analysis major element data. *Chemical Geology*, Volumen 67, pp. 119-139.
- Roy, P., Caballeros, M., Lozanoc, R., Smykatz-Kloss, W., 2008. Geochemistry of late quaternary sediments from Tecumulco lake, central Mexico: Implication to chemical weathering and provenance. *Chemie der Erde*, Volumen 68, pp. 383-393.
- Shao, L., Stattegger, K., Garbe-Schoenberg, C., 2001. Sandstone petrology and geochemistry of the Turpan Basin (NW China): Implications for the tectonic evolution of a continental basin. *Journal of Sedimentary Petrology*, Volumen 71, pp. 37-49.