

SEDIMENTOLOGÍA Y GEOQUÍMICA SEDIMENTARIA DE LA FORMACIÓN EL PARAÍSO, CUENCA DE FALCÓN, VENEZUELA

OLGA REY¹, MANUEL MARTÍNEZ², MARÍA ROMERO¹, RICARDO VERA¹, MARÍA ARIZA¹,
RICARDO ALEZONES¹, JOSÉ GUTIÉRREZ²

¹Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica

²Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra

Recibido: junio de 2009

Recibido en forma final revisado: octubre de 2009

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar el ambiente sedimentario y la geoquímica sedimentaria de la Formación El Paraíso que aflora en la quebrada Purureche, estado Falcón. Para ello, se procedió con la descripción de campo de esta sección y se tomaron muestras a intervalos de 50 cm, a las cuales se les realizaron: lavado de arcillitas para la separación de microfósiles, análisis petrográficos de areniscas, determinación de los elementos mayoritarios, minoritarios y trazas (Al, Ba, Ca, Ce, Cr, Cu, Fe, La, Mg, Mn, Ni, Pb, Sc, Si, Sr, Ti, V, Y, Zn, Zr), S y COT. La Formación Paraíso está caracterizada por la presencia de arcillitas, limolitas y areniscas; se identificaron cuatro intervalos granocrecientes representados por intercalaciones de delgadas capas de arcillitas y limolitas que culminan con una arenisca de uno a dos metros de espesor (intervalos I y IV), o representados por arcillitas, intercalaciones de delgadas capas de arcillitas y areniscas que culminan con una arenisca de dos a tres metros de espesor (intervalos II y III). Las características sedimentológicas y el comportamiento de los elementos químicos permiten proponer un ambiente de sedimentación de frente deltaico – parte superior del prodelta para esta unidad en esta localidad. La fuente de sedimentos se asocia a un orógeno reciclado que colisionó con el extremo noroccidental de la placa Suramericana, la misma estaba conformada por rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas félsicas.

Palabras clave: Oligoceno, Orógeno reciclado, Barras de desembocadura, Prodelta, Asociaciones geoquímicas.

SEDIMENTOLOGY AND SEDIMENTARY GEOCHEMISTRY OF EL PARAÍSO FORMATION, FALCÓN BASIN, VENEZUELA

ABSTRACT

This paper focuses on the sedimentary environment and sedimentary geochemistry of El Paraíso Formation in Purureche section, Falcón state. This outcrop was studied and sampled every 50 cm for foraminifers analyses, petrography of sandstones, determination of major, minor and trace elements (Al, Ba, Ca, Ce, Cr, Cu, Fe, La, Mg, Mn, Ni, Pb, Sc, Si, Sr, Ti, V, Y, Zn, Zr), S and TOC. This unit is characterized by claystones, siltstones and sandstones and four coarsening-upward intervals were identified represented by thin-interbedded claystones and siltstones that ended with a sandstone of one to two meters thick (I and IV interval), or by claystones, thin-interbedding of claystones and sandstones ending with a sandstone of two or three meters thick (II and III interval). Sedimentological and geochemical results suggest a front delta - upper prodelta environment for the studied unit in this locality. Sediments provenance is associated with a recycled orogen that collided with the northwestern edge of South America; source rock was composed of metamorphic, sedimentary and felsic igneous rocks.

Keywords: Oligocene, Recycled orogen, Mouth bars, Prodelta, Geochemical associations.

INTRODUCCIÓN

La cuenca de Falcón se originó durante el Eoceno Tardío-Oligoceno y abarcó una gran porción de la región noroccidental de Venezuela durante el Terciario, en este período

fue principalmente una cuenca marina rodeada por zonas emergidas, excepto hacia el este y norte (Muessig, 1984; Audemard, 1997). Diversos estudios se han realizado para explicar su origen dentro de un contexto tectónico regional; en general, ha sido clasificada como una cuenca de tracción

(*pull apart*) generada sobre el límite de las placas Caribe y Suramericana (Case *et al.* 1984; Muessig, 1984; Macellari, 1995; Pindell *et al.* 1998). Audemard (1998) relacionó el origen de esta cuenca con el desarrollo de un *rift* detrás de un arco, con una dirección de extensión norte-sur. De acuerdo con Porras (2000), la cuenca de Falcón es el resultado de colapsos extensionales internos dentro de una cuenca detrás de arco, en un orógeno de flotación que colisionó oblicuamente con el extremo noroccidental de la placa Suramericana, dando origen a una serie de estructuras extensionales con un sentido principal este-oeste. Más recientemente, Bezada *et al.* (2008) indican que los estudios sísmicos y gravimétricos soportan un origen de rift para la cuenca de Falcón.

A partir del Mioceno Medio comenzó el efecto del levantamiento de los Andes sobre la cuenca de Falcón, provocando la inversión tectónica de la misma en forma progresiva desde el suroeste hacia el noreste, causando el cierre progresivo de la cuenca en este sentido, generándose el Anticlinorio de Falcón (Porras, 2000).

Los depósitos más antiguos que se conocen en el centro de Falcón corresponden a la Formación El Paraíso de edad Oligoceno (Díaz de Gamero, 1977). Esta unidad marca el inicio de la subsidencia de la cuenca de Falcón en esta zona y representa la fase inicial de la trasgresión oligocena que dará paso a la sedimentación de las lutitas marinas profundas de la Formación Pecaya (profundidades superiores a 1000 m). La Formación El Paraíso está caracterizada por intercalaciones de lutitas y areniscas con algunos carbones y conglomerados lenticulares (Ministerio de Energía y Minas, 1997). Díaz de Gamero (1977) indica un ambiente sedimentario de llanura deltaica para esta formación, pasando a condiciones marinas hacia el este (este del río Paraíso), observándose la alternancia de intervalos clásticos con lutitas marinas que marcan las oscilaciones de la línea de costa durante la sedimentación de esta formación. Leal & Rivero (2004), estudiaron la sección superior de la Formación El Paraíso en el río Paraíso y establecieron un ambiente de sedimentación lagunar a marisma.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el ambiente sedimentario y la geoquímica sedimentaria de la Formación El Paraíso, a partir de las características sedimentológicas y el comportamiento de diferentes atributos químicos en la sección de esta unidad que aflora en la quebrada Purureche.

METODOLOGÍA

Se realizó el levantamiento geológico de la sección de superficie de la Formación El Paraíso en la quebrada Purureche, para ello se construyó una poligonal con el uso de

un GPS, brújula y cinta métrica, se describieron los tipos litológicos especificando color fresco y meteorizado, características texturales y estructuras sedimentarias. Se tomaron muestras a intervalos de 50 cm, a las cuales se les realizaron los siguientes análisis:

1. Lavado de arcillitas vía húmeda utilizando un tamiz de 200 micrómetros, los residuos fueron secados y analizados con una lupa.
2. Análisis petrográficos convencionales utilizando un microscopio de luz polarizada a un total de 10 areniscas. Se aplicó el método de análisis modal propuesto por Yoris (1984), para ello se realizó un conteo de 300 puntos identificando componentes del esqueleto (cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca, minerales accesorios), matriz, cemento y porosidad. La información obtenida fue procesada con el programa de Análisis Modales de Yoris (1992) adaptado al ambiente Windows. Las muestras fueron clasificadas siguiendo los criterios de Pettijohn *et al.* (1972) y Mount (1984); para la determinación de procedencia y marco tectónico se utilizaron los triángulos propuestos por Dickinson & Zuczek (1979) y Dickinson *et al.* (1983).
3. Análisis químicos. De las 93 muestras recolectadas en la sección se escogieron 64; las restantes mostraron a nivel de laboratorio indicios de meteorización, eflorescencias o vetillas de mineralizaciones secundarias que enmascaran la huella geoquímica original. Los análisis químicos fueron realizados por el método de fusión alcalina utilizando un espectrómetro de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (EEO-IAP modelo ULTIMA 2 marca HORIBA Jobin Yvon), obteniéndose la concentración de los elementos Al, Ba, Ca, Ce, Cr, Cu, Fe, La, Mg, Mn, Ni, Pb, Sc, Si, Sr, Ti, V, Y, Zn y Zr. La calidad de los datos generados fue comprobada mediante disolución y análisis conjunto con las muestras de dos materiales de referencia certificados (granito USGS-G2 y andesita USGS AGV-1), además de materiales de referencia internos del laboratorio. Adicionalmente se determinó el porcentaje de azufre usando el analizador marca LECO modelo SC-432, y carbono orgánico total empleando el analizador marca LECO modelo C-144. Para el procesamiento de los resultados obtenidos se aplicaron análisis estadísticos univariantes (histogramas de frecuencia y diagramas de dispersión) y multivariantes (análisis de factores). La aplicación de los análisis estadísticos permitió la identificación de asociaciones geoquímicas.

FORMACIÓN EL PARAÍSO, QUEBRADA PURURECHE

La Formación El Paraíso en la quebrada Purureche aflora en el núcleo de un anticlinal y está caracterizada litológicamente por la presencia de areniscas y lutitas, la base no aflora y el tope es concordante y abrupto con las lutitas de la Formación Pecaya, este contacto se coloca en el tope de una arenisca masiva de 2 m de espesor perteneciente a la Formación El Paraíso. El espesor total que aflora de esta unidad es de 44 m y puede dividirse en cuatro intervalos granocrecientes (figura 1), los cuales se describen a continuación:

Intervalo I

Ubicado hacia la base de la secuencia, caracterizado por intercalaciones de arcillitas y limolitas. Las arcillitas son de color negro y meteorizan a gris plomo con espesores individuales de aproximadamente 10 cm, las limolitas son de color gris plomo y meteorizan a tonalidades rojizas, presentan espesores individuales de aproximadamente 5 cm, el espesor total de esta sección es de 5 m. El tope del intervalo I está caracterizado por una arenisca masiva de grano fino a medio, de color gris meteorizando a marrón rojizo, de un metro de espesor.

Intervalo II

Este intervalo se inicia con la presencia de arcillitas de color negro meteorizando a gris plomo, laminadas, de dos metros de espesor, sobre las cuales se observa una secuencia monótona de 6 metros de espesor de intercalaciones de areniscas y arcillitas, con espesores individuales muy delgados que oscilan entre 5 y 10 cm. Las areniscas son de color gris y meteorizan a marrón claro, presentan laminación paralela y gradación inversa pudiendo llegar a ser conglomeráticas, las arcillitas son de color negro y meteorizan a marrón parduzco, laminadas. El intervalo II culmina con una arenisca de 2 metros de espesor, de color gris meteorizando a marrón rojizo, de grano grueso a conglomerática hacia el tope, se identificaron clastos de cuarzo, fragmentos de rocas sedimentarias y metamórficas.

Intervalo III

La base de este intervalo está caracterizada por la presencia de arcillitas laminadas de 50 cm de espesor, de color gris oscuro meteorizando a pardo rojizo, seguidas por intercalaciones de areniscas y arcillitas similares a las descritas en el intervalo II, con la diferencia que en este caso incrementan, en proporción y espesor, las areniscas hacia el tope; las cuales adicionalmente, presentan concreciones y niveles

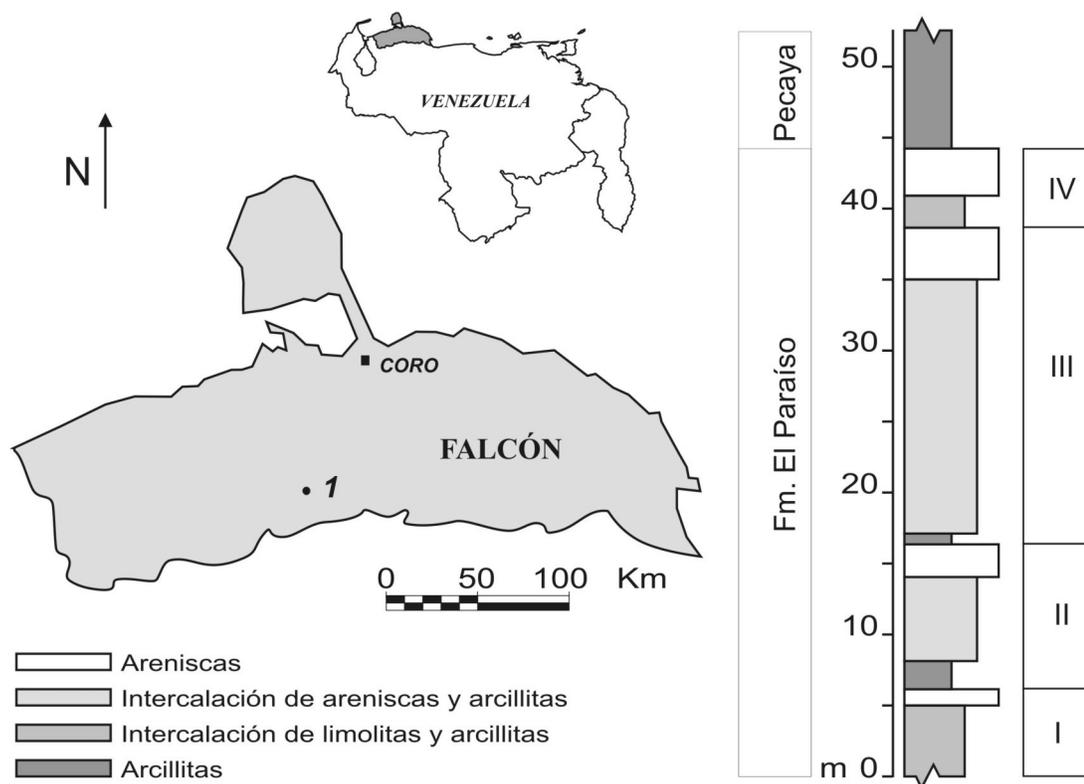


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio (1) y columna estratigráfica esquemática de la Formación El Paraíso. A la derecha se muestran los cuatro intervalos identificados en este estudio.

ferruginosos. El espesor total de las intercalaciones de areniscas/arcillitas es de 18,5 m. El intervalo III culmina con una arenisca de grano fino de 3 metros de espesor, masiva.

Intervalo IV

Este intervalo se inicia con intercalaciones de arcillitas y limolitas, similares a las descritas en el intervalo I, de un espesor aproximado de 4 metros debido a la deformación de la zona, hacia el tope se observó un lignito de 5 cm de espesor. El tope del intervalo está caracterizado por la presencia de una arenisca masiva, de grano fino, de color gris meteorizando a tonalidades rojizas, con un espesor de 2 metros.

Las arcillitas resultaron estériles, las mismas presentan jarosita de origen secundario.

Se realizó el análisis petrográfico a 10 muestras de areniscas. De acuerdo con la clasificación de Pettijohn *et al.* (1972) corresponden con subarcosas (5) y sublitanitas (3). Adicionalmente, dos de las muestras analizadas resultaron ser carbonatos de mezcla, de acuerdo con la clasificación de Mount (1984) se clasificaron como micrita arenosa y arenisca micrítica.

Mineralógicamente, las areniscas están conformadas por cuarzo (40 a 83%), con predominio de cuarzo monocristalino metamórfico y policristalino metamórfico, en menor proporción se observa la presencia de cuarzo monocristalino de origen ígneo; feldspatos (1 a 8%), dominando los feldspatos potásicos y alterados y en menor proporción las plagioclasas; y fragmentos de roca (1 a 9%), con dominio de fragmentos de ftanita seguido de fragmentos de rocas metamórficas (gneises, rocas metamórficas no foliadas, esquistos y filitas). La matriz es arcillosa (< 8%), el cemento está conformado por caolinita (<3%), esmectita-ilita (<3%), cuarzo (<2%, como sobrecrecimientos y microcristalino), calcita (trazas) y dolomita (trazas), como minerales accesorios se identificaron muscovita, epidoto y esfena. La porosidad es variable (2 a 40%), resultado de la disolución de granos y matriz/cemento.

En los carbonatos de mezcla el esqueleto está conformado por clastos detríticos con relaciones composicionales similares a los descritos para las areniscas, embebidos en una matriz micrítica, sólo en la muestra clasificada como micrita arenosa se observó un fragmento de molusco.

GEOQUÍMICA SEDIMENTARIA

Caracterización química de las lutitas de la Formación El Paraíso

Se compararon las concentraciones promedio de los elementos químicos medidos en las lutitas de la Formación El Paraíso con la composición de la lutita promedio mundial

(figura 2), para ello se consideraron los valores reportados por Turekian & Wedepohl (1961) y los valores más recientes de las lutitas australianas Post Arqueano (Cullers, 2002). Aunque en términos generales se observa solapamiento en los patrones de distribución, existen pequeñas diferencias en las concentraciones ($\mu\text{g/g}$) de los elementos Ba, Mg, Mn y Ca (empobrecimiento respecto a las lutitas de referencia), y Ce (ligero enriquecimiento respecto a las lutitas de referencia). Estas leves diferencias indican que las lutitas de la Formación Paraíso presentan menor carácter calcáreo que las lutitas promedio mundiales o postarqueanas. Por otro lado, el enriquecimiento relativo de Ce en las lutitas de la Formación El Paraíso indica la fuerte afinidad química de este elemento a la fracción limo-arcillosa, pero adicionalmente puede estar aportando indicios de la posible composición del tipo de fuente que originó los sedimentos que formaron estas rocas, debido a que el Ce es un elemento relativamente inmóvil y comúnmente se encuentra concentrado en rocas de composición félsica (Rollinson, 1994; Ng & King, 2004).

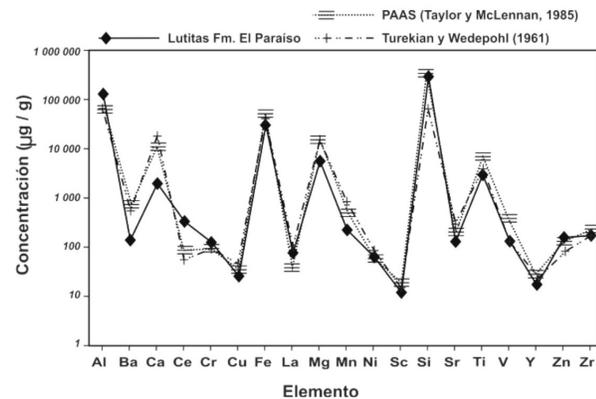


Figura 2. Comparación de las concentraciones promedio para las lutitas de la Formación El Paraíso con la lutita promedio mundial (Turekian & Wedepohl, 1961) y las lutitas australianas Post Arqueano (PAAS; Cullers, 2002).

Igualmente, se comparó los resultados químicos obtenidos en la Formación El Paraíso con respecto a los valores químicos de las lutitas suprayacentes de la Formación Pecaya reportados por Méndez (2006), a los fines de determinar la existencia de cambios significativos en la cuenca, bien sea en cuanto al aporte de los sedimentos, condiciones redox, entre otros (figura 3). Se observa un enriquecimiento relativo para los elementos Ba, Ca, Mg y Sr en la Formación Pecaya con respecto a las lutitas de la Formación El Paraíso, mientras que esta última presenta un enriquecimiento relativo de Ce y La. El mayor cambio que se observa entre estas formaciones es la presencia de material calcáreo en la Formación Pecaya atribuido a las condiciones marinas en que se depositó esta unidad, mientras que la Formación El Paraíso está relacionada con condiciones más continentales. Otra observación importante es que no se detectan cambios en la fuente de sedimentos para ambas formacio-

nes, dado el solapamiento que presentan los elementos Cr, Ni, Y y V, indicativos de proveniencia sedimentaria (Fralick & Kronberg, 1997; Pearce *et al.* 1999; Zhang *et al.* 2001).

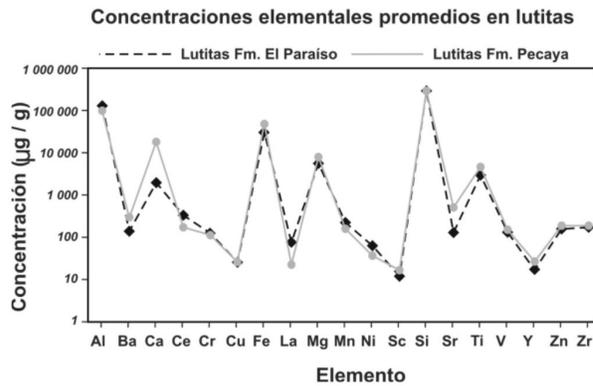


Figura 3. Comparación de las concentraciones promedio para las lutitas de la Formación El Paraíso con las lutitas de la Formación Pecaya (Méndez, 2006).

Proveniencia sedimentaria

Los diagramas de dispersión y/o relaciones interelementales representan herramientas muy útiles para hacer análisis de geoquímica sedimentaria. En este sentido, para discriminar la posible fuente de sedimentos que dieron origen a la Formación El Paraíso, se emplearon diagramas de dispersión postulados por diversos autores. El principio básico de estos diagramas, es que los mismos deben construirse con aquellos elementos que presenten relativa inmovilidad ante los procesos de meteorización, transporte y diagénesis dentro de los ambientes sedimentarios. En este trabajo se utilizaron los elementos Cr, Ni, Y, Ti y V, como indicadores de proveniencia, dada la correlación lineal que presentaron con respecto al aluminio, lo que les da carácter de inmovilidad (Fralick & Kronberg, 1997).

Para discriminar la fuente de los sedimentos entre las litologías de composición máfica, sedimentaria (intermedia) y félsica se utilizó el diagrama de dispersión del Ni vs. Cr (Asiedu *et al.* 2000), estos elementos se encuentran en concentraciones elevadas en las rocas máficas y ultramáficas, mientras que valores bajos delimitan el campo félsico-intermedio. Los valores de Ni y Cr obtenidos para la Formación El Paraíso indican una posible fuente de sedimentos constituida por rocas ígneas félsicas como granitos, granodioritas, dioritas y/o rocas sedimentarias preexistentes (figura 4).

El diagrama Ni vs. Cr analizado, sólo considera los campos definidos para las rocas ígneas y sedimentarias; por lo tanto, para obtener una evaluación más completa de la proveniencia sedimentaria para la Formación El Paraíso, es conveniente utilizar un diagrama que contemple el campo de las rocas metamórficas.

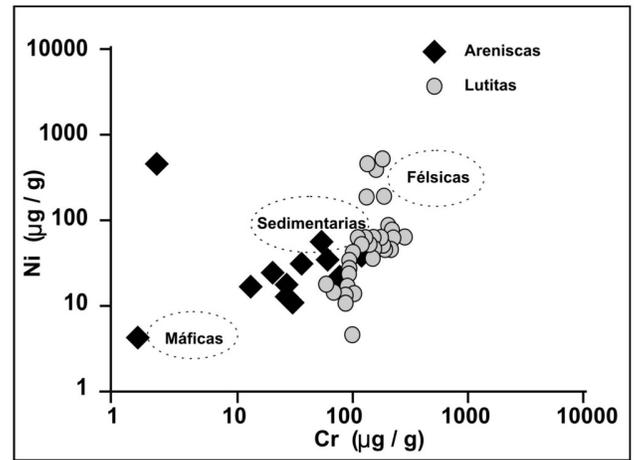


Figura 4. Relación Ni vs. Cr para discriminación de proveniencia, los campos de las rocas máficas, sedimentarias y félsicas presentados en la figura se obtuvieron a partir de los valores promedio de Ni y Cr en cada una de estas rocas, (modificado de Romero, 2007).

El diagrama Cr/V vs. Y/Ni representa una herramienta diagnóstica para discriminar fuente entre las rocas ígneas y metamórficas (Dinelli *et al.* 1999). Valores bajos de la relación Y/Ni junto con valores altos en la relación Cr/V indican una fuente ultramáfica, mientras que el caso contrario delimita el campo de las rocas con composición félsica. Para establecer los campos litológicos mostrados en la figura 5 se utilizaron las relaciones reportadas por Dinelli *et al.* (1999). Los valores en las relaciones de Cr/V vs. Y/Ni obtenidos para la Formación El Paraíso indican una fuente de sedimentos de composición félsica-metamórfica.

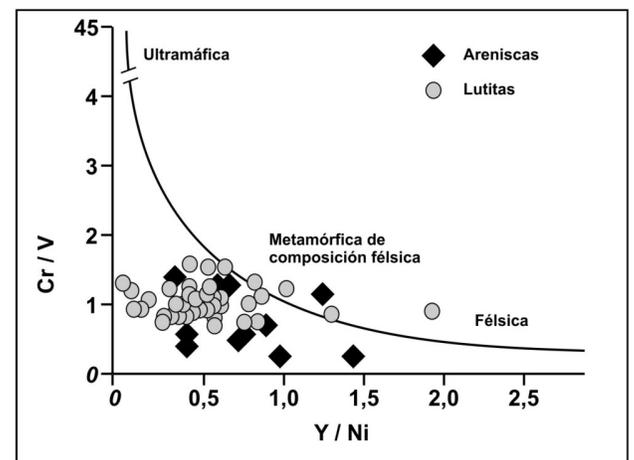


Figura 5. Relación Cr/V vs Y/Ni para discriminación de proveniencia (modificado de Romero, 2007).

Es importante destacar, que los dos diagramas empleados en este trabajo, comúnmente utilizados para discriminar proveniencia sedimentaria (Dinelli *et al.* 1999; Asiedu *et al.* 2000), presentan dos limitaciones al establecer con exacti-

tud los campos litológicos correspondientes a las rocas sedimentarias y metamórficas, dado a que es difícil establecer en sí una huella geoquímica diagnóstica para ambas litologías. En el caso de las rocas sedimentarias, éstas heredan la composición de la fuente original que las formó, por otro lado en el caso de las rocas metamórficas, debe considerarse que el metamorfismo representa una suma de procesos esencialmente isoquímicos, por lo tanto, este proceso ocasiona en principio cambios mineralógicos y texturales, más no químicos, en otras palabras, las rocas metamórficas adquieren la huella geoquímica del protolito que las originó (Dinelli *et al.* 1999).

La figura 6 muestra otro diagrama de discriminación, esta vez TiO_2 vs. Ni (Floyd *et al.* 1989), el mismo proporciona apoyo a los gráficos anteriores, ya que el cúmulo de puntos se ubica en el campo correspondiente a un protolito de composición félsica. Este campo puede corresponder ya sea a granitoides, a rocas metamórficas de esta composición, o a sedimentarias pre-existentes.

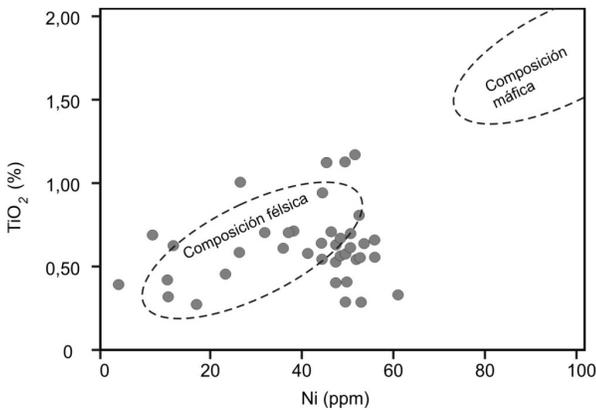


Figura 6. Relación TiO_2 vs. Ni para discriminación de proveniencia, según Floyd *et al.* (1989).

Estos resultados fueron comparados con los obtenidos a partir de los análisis petrográficos y la aplicación de los gráficos de Dickinson & Suczek (1979) y Dickinson *et al.* (1983). Es importante aclarar que en este estudio se utilizaron todas las muestras analizadas, sin restringirlo únicamente a las areniscas de grano medio tal como proponen estos autores. Los resultados obtenidos para la Formación El Paraíso permiten proponer una fuente de sedimentos de Orógeno Reciclado, específicamente, Reciclado Transicional y Reciclado Cuarzoso en el diagrama Qm-F-Lt, y entre Orógeno Reciclado y Cratón Interior en el diagrama Qt-F-L. Los fragmentos de roca se distribuyen en el gráfico de procedencia Qm-F-Lt sobre la franja de los orógenos reciclados, estos están constituidos mayoritariamente por fragmentos de ftanita, seguidos de fragmentos de rocas metamórficas no foliadas, esquistos y filitas (figura 7). Por otro lado, los cuarzos identificados permiten inferir una fuente de sedimentos metamórfica de bajo grado de acuerdo con el diagrama de procedencia propuesto por Basu *et al.* (1975).

Condiciones óxido-reductoras

Los elementos trazas frecuentemente utilizados como indicadores de cambios redox en las rocas sedimentarias son: Mo, V, Zn, Ni, Cr, Co, Mn, entre otros (Tribouillard *et al.* 2006). La forma más sencilla para determinar la sensibilidad de estos elementos a cambios redox es la correlación de ellos con el contenido de carbono orgánico total (COT) (Tribouillard *et al.* 2006). Debido al bajo porcentaje de COT determinado en las muestras no se pudo establecer esta correlación, indicando de manera general, condiciones oxidantes al momento de sedimentación de la Formación El Paraíso.

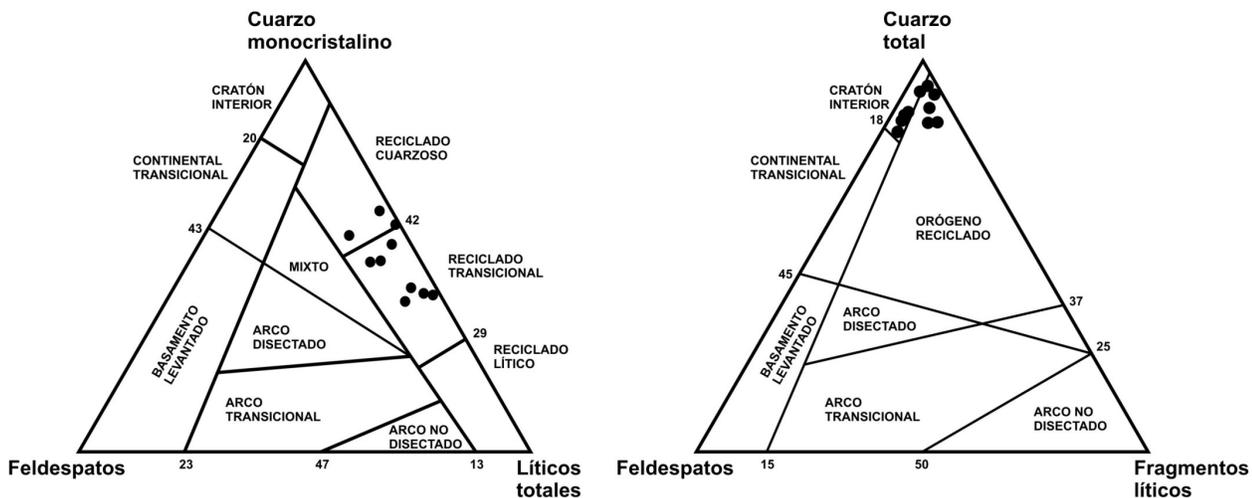


Figura 7. Diagramas de procedencia con la ubicación de las muestras estudiadas de la Formación El Paraíso, en la quebrada Purureche. La base de los diagramas fue tomada y modificada de Dickinson *et al.* (1983).

Indicadores químicos tales como: Ni/Co, V/Cr y V/(V+Ni) han sido utilizados en la evaluación de condiciones paleoredox (Jones & Manning, 1994; Tribouillard *et al.* 2006). Jones & Manning (1994), sugieren que valores en la relación V/Cr en lutitas menores a 2 permiten inferir condiciones oxidantes, valores entre 2 y 4,25 indican condiciones disóxicas, mientras que valores superiores a 4,25 reflejan condiciones subóxicas a anóxicas. Los resultados obtenidos en la relación V/Cr en la Formación El Paraíso varían entre 0,66 y 1,53 (promedio 1,08), indicando que las condiciones redox durante la sedimentación de esta unidad fueron oxidantes.

Este resultado es corroborado por los valores decididamente bajos de la relación Cu/Zn (Hallberg, 1976), propuesta como estimador aproximado del grado de paleooxigenación del ambiente sedimentario (figura 8).

Asociaciones geoquímicas

Para determinar las posibles asociaciones geoquímicas se utilizó la herramienta estadística multivariada conocida como análisis de factores. El objetivo de esta prueba fue obtener el número más pequeño de factores, los cuales contengan la mayor variabilidad en los 22 atributos químicos

evaluados. En este caso, tres (3) factores fueron seleccionados debido a su alta varianza y su significado geoquímico:

- *Asociación Clástica-Arcillosa (factor 1).*

Agrupar los elementos Al, Ba, Ce, Cr, Cu, La, Pb, Sc, Sr, V e Y. Estos elementos acompañan al aluminio, como elemento básico constituyente de las arcillas; por consiguiente, se trata de especies adsorbidas sobre estos minerales.

- *Asociación de Carbonatos (factor 2).*

Agrupar los elementos C, Mg y Mn, la ausencia del elemento Ca posiblemente sea resultado de movilización por alteración química y/o procesos diagenéticos.

- *Asociación Clástico-Arenosa (factor 3).*

Agrupar los elementos Si, Ti y Zr, dada la compatibilidad química que presentan estos elementos con la fracción arenosa y a la formación de minerales resistentes como el cuarzo y el zircón.

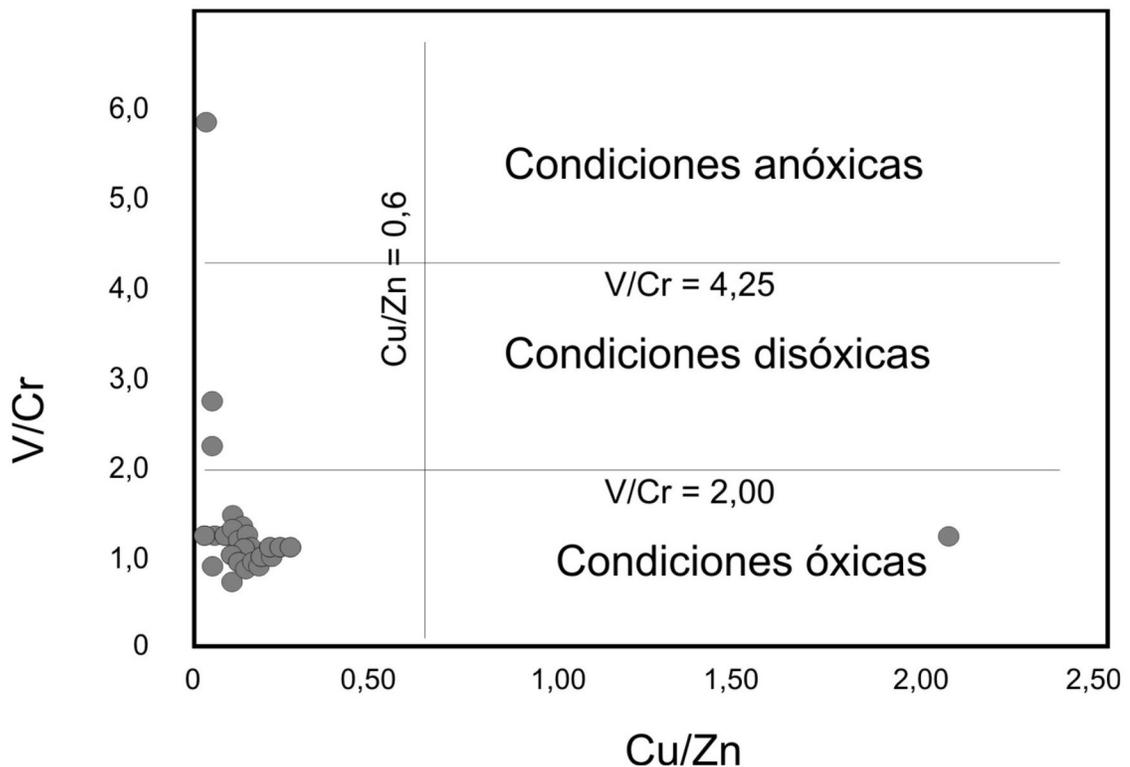


Figura 8. Relación V/Cr vs. Cu/Zn para establecer condiciones redox en las lutitas de la Formación El Paraíso. (Moificado de Jones & Manning, 1994 y Hallberg, 1976).

Tabla 1. Análisis de Factores sobre los datos de concentración de los distintos elementos en la Formación El Paraíso.

Factores	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
Varianza (%)	23	15	12	8	7	6
Varianza Acumulada (%)	23	38	50	58	65	71
Al	0.1991	0.1967	0.1272	0.0096	-0.2078	0.1692
BA	0.3687	-0.0990	-0.0711	-0.0092	-0.0834	-0.0118
C	-0.0993	0.4986	-0.1675	-0.0593	0.0730	-0.0080
Ca	-0.0631	0.0905	0.0578	0.4313	-0.0201	-0.0309
Ce	0.4787	0.0354	0.0300	-0.0759	0.0021	-0.0970
Cr	0.4410	-0.0053	0.1577	-0.0945	0.1912	0.0637
Cu	0.2618	-0.0217	-0.0928	0.0861	0.0451	-0.0270
Fe	0.1337	0.2930	0.0021	-0.3450	0.1481	0.3539
La	0.3683	-0.0792	0.0965	0.0918	0.1293	-0.1091
Mg	-0.0532	0.5389	-0.1803	0.1379	0.0916	-0.0396
Mn	-0.2035	0.4334	-0.1857	-0.0689	0.1023	-0.0968
Ni	0.1667	0.0715	0.0464	0.2605	-0.0664	0.1650
Pb	0.5230	-0.0224	0.1153	-0.1366	0.1393	-0.0166
S	0.0379	0.0725	0.1370	0.0379	-0.3772	0.2017
Sc	0.3613	0.2505	-0.1075	0.3613	-0.0694	-0.1241
Si	-0.1052	-0.0319	0.4504	-0.1052	0.3637	0.0376
Sr	0.3102	-0.0310	-0.0082	0.3102	-0.1596	-0.0572
Ti	-0.0107	0.2985	0.4669	0.0496	-0.1931	-0.1109
V	0.4013	0.1063	-0.1702	0.1029	-0.0508	0.0173
Y	0.3927	0.0968	-0.1060	0.1327	0.0502	-0.0387
Zn	0.0242	-0.0466	-0.0814	0.3129	0.1021	0.3617
Zr	-0.0450	0.2895	0.4984	-0.0653	-0.0163	-0.0621

AMBIENTE SEDIMENTARIO

Las características litológicas descritas para la Formación El Paraíso en la quebrada Purureche difieren de las presentadas por Díaz de Gamero (1977) y Leal & Rivero (2004), particularmente en lo que se refiere a la ausencia de carbones y lutitas carbonosas. Tal como se indicó en el punto de geoquímica sedimentaria, las relaciones entre los elementos redox indican condiciones oxidantes durante la sedimentación de esta secuencia.

Una característica resaltante de la sección de la quebrada Purureche es la repetición de intervalos granocrecientes representados de base a tope por: a) arcillitas, b) intercalaciones de delgadas capas de limolitas y arcillitas, o de areniscas y arcillitas, c) areniscas espesas de 1 a 3 metros de

espesor.

El ambiente sedimentario propuesto es de frente deltaico, parte superior del prodelta, donde las arcillitas descritas en los intervalos II y III representan la parte superior del prodelta, las intercalaciones de limolitas y arcillitas, o areniscas y arcillitas representan la parte distal de barras de desembocadura, y las areniscas masivas descritas hacia el tope de cada uno de los intervalos representan las crestas de las barras de desembocadura.

El incremento en el espesor de los intervalos I, II y III que se observa subiendo en la sección da indicios del carácter progradante del delta, disminuyendo hacia el tope de la formación para dar paso a la sedimentación marina profunda de la Formación Pecaya.

CONCLUSIONES

Las características sedimentológicas y geoquímicas observadas en la Formación El Paraíso en la quebrada Purureche permiten interpretar un ambiente de sedimentación de frente deltaico – parte superior del prodelta para esta unidad.

El prodelta está representado por arcillitas laminadas, con espesores que varían entre 2 m y 50 cm. El frente deltaico está representado por intercalaciones de delgadas capas de limolitas y arcillitas, o areniscas y arcillitas interpretadas como barras de desembocadura distales, y capas de areniscas masivas, de 2 a 3 m de espesor, que representan las crestas de las barras de desembocadura.

Se observa una fuerte correspondencia entre las asociaciones geoquímicas y las características litológicas presentes en esta sección.

Tanto los análisis químicos como el estudio petrográfico permitieron identificar una fuente de sedimentos conformadas por rocas metamórficas, sedimentarias y/o ígneas félsicas, que se asocian con un orógeno reciclado que colisionó con el extremo noroccidental de la placa Suramericana como resultado de la interacción entre esta placa y la placa del Caribe.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la U.C.V. por haber financiado este trabajo a través del Proyecto de Grupo PG-08-5646-2006. Igualmente se agradecen los comentarios de los doctores Marcos Escobar, María Teresa Izturiz y el árbitro anónimo, los cuales contribuyeron a mejorar la calidad del presente trabajo.

REFERENCIAS

- ASIEDU, D.K., SUZUKI, S., NOGAMI, K., SHIBATA, T. (2000). Geochemistry of Lower Cretaceous sediments, Inner Zone of South west Japan: Constraints on provenance and tectonic environment. *Geochemical Journal* 14, pp. 155-173.
- AUDEMARD, F. (1997). Tectónica activa de la región septentrional de la cuenca invertida de Falcón, Venezuela occidental. *Memorias del VIII Congreso Geológico Venezolano*. Tomo I, pp. 93-100.
- AUDEMARD, F. (1998). Evolution géodynamique de la façade nord sud-Américaine: Nouveaux apports de l'histoire géologique du bassin de Falcón, Venezuela. In: Presented at the 14th Caribb. Geol. Conference, Port of Spain, Trinidad, 1995.
- BASU, A., YOUNG, S.W., SUTTNER, L.J., JAMES, W.C., MACK, G.H. (1975). Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology* 45, pp. 873-882.
- BEZADA, M., SCHMITZ, M., JACOME, M.I., RODRÍGUEZ, J., AUDEMARD, F., IZARRA, C. (2008). Crustal structure in the Falcón Basin area, north western Venezuela, from seismic and gravimetric evidence. *Geodynamics* 45, pp. 191-200.
- CASE, J.E., HOLCOMBE, T.L., MARTIN, R.G. (1984). Map of geologic provinces in the Caribbean region, in Bonini W.E., Hangraves, R.B. and Shagam, R. (editors) *The Caribbean-South American plate boundary and regional tectonics*. Geological Society of America Memoir 162, pp. 1-20.
- CULLERS, R. (2002). The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos* 51, pp. 181-203.
- DÍAZ DE GAMERO, M. (1977). Estratigrafía y micropaleontología del Oligoceno y Mioceno Inferior del centro de la cuenca de Falcón, Venezuela. *Geos* 22, pp. 3-60.
- DICKINSON, W.R. & SUCZEK, C.A. (1979). Plate tectonics and sandstones compositions. *AAPG Bulletin* 63(12), pp. 2164-2182.
- DICKINSON, W.R., BEARD, L., BRAKENRIDGE, G., ERJAVEC, J., FERGUSON, R., INMAN, K., KNEPP, R., LINDGER, L., RIBBERG, P. (1983). Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin* 94, pp. 222-235.
- DINELLI, E., LUCCHINI, F., MORDENTI, A., PAGANELLI, L., (1999). Geochemistry of Oligocene-Miocene sandstones of the northern Apennines (Italy) and evolution of chemical features in relation to provenance changes. *Sedimentary Geology* 127, pp. 193 – 207.
- FLOYD, P.A., WINCHESTER, J.A., PARK, R.G. (1989). Geochemistry and tectonic setting of Lewisian clastic metasediments from the Early Proterozoic Loch Maree Group of Gairloch, N.W. Scotland: *Precambrian Research*, 45, pp.203-214.

- FRALICK, P.W. & KRONBERG, B.I. (1997). Geochemical discrimination of clastic sedimentary rock sources. *Sedimentary Geology* 113, pp. 11-124.
- HALLBERG, R.O. (1976). A geochemical method for investigation of palaeoredox conditions in sediments: *Ambio*, Special Report 4, pp. 139-147.
- JONES, B. & MANNING, D.C. (1994). Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleo-redox conditions in Ancient mudstones: *Chemical Geology* 111, pp. 111-129.
- LEAL, F. & RIVERO, O. (2004). Estudio de litofacies y quimioestratigrafía de la sección superior de la Formación El Paraíso como herramienta para determinar posibles características de potencialidad generadora y/o almacenadora de hidrocarburos en la sección geológica del río Paraíso, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Trabajo Especial de Grado, p. 196.
- MACELLARI, C. (1995). Cenozoic sedimentation and tectonics of the southwestern Caribbean pull-apart basin, Venezuela and Colombia, in Tankard, A.J., Suárez, R. and Welsink H.J. (editors) *Petroleum basins of South America*, AAPG Memoir 62, pp. 757-780.
- MÉNDEZ, A. (2006). Proveniencia de los sedimentos que dieron origen a la Formación Pecaya mediante su estudio quimioestratigráfico. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Trabajo Especial de Grado, p. 140.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (1997). *Léxico Estratigráfico de Venezuela*. Dirección General Sectorial de Servigeomin, Dirección de Geología, Publicación Especial 12, Tomo I, p. 411.
- MOUNT, J.F. (1984). Mixing siliciclastic and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification. *Sedimentology* 32, pp. 435-442.
- MUESSIG, K. (1984). Structure and Cenozoic tectonics of the Falcón basin, Venezuela and adjacent areas, in Bonini, W.E., Hangraves, R.B., Shagam, R. (editors) *The Caribbean-South American plate boundary and regional tectonics*, Geological Society of America, Memoir 162, pp. 217-230.
- NG, S.L. & KING, R.H. (2003). Geochemistry of Lake Sediments as a Record of Environmental Change in a High Arctic Watershed. *Chemie der Erde* 64, pp. 257-275.
- PEARCE, T.J., BESLY, B.M., WRAY, D.S., WRIGHT, D.K. (1999). Chemostratigraphy: a method to improve interwell correlation in barren sequences – a case study using onshore Duckmantian/Stephanian sequences (West Midlands, U.K.). *Sedimentary Geology* 124, pp. 197-220.
- PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E., SIEVER, R. (1972). *Sand and Sandstones*. Ed. Springer Verlag, p. 618.
- PINDELL, J.L., HIGGS, R., DEWEY, J.F. (1998). Cenozoic palinspastic reconstruction, paleogeographic evolution and hydrocarbon setting of the northern margin of South America, in Pindell, J.L. and Drake Ch. (editors) *Paleogeographic evolution and non-glacial eustasy, Northern South America*, SEPM Special Publication 58, pp. 45-83.
- PORRAS, L. (2000). Evolución tectónica y estilos estructurales de la región costa afuera de las cuencas de Falcón y Bonaire. VII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera de las Cuencas Subandinas, Tomo I, pp. 279-292.
- ROLLINSON, H. (1994). *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman, New York.
- ROMERO, M.F. (2007). Quimioestratigrafía y geoquímica sedimentaria en una sección de la Formación El Paraíso, quebrada Purureche, cuenca de Falcón, Venezuela. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Trabajo de Grado de Maestría, p. 167.
- TRIBOVIILLARD, N., ALGEO, T., LYONS, T., RIBOULLEAU, A. (2006). Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update. *Chemical Geology* 232, pp. 12-32.
- TUREKIAN, K.K. & WEDEPOHL, K.H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin* 72, pp. 175-192.
- VÉLEZ, R. (2007). Caracterización litoestratigráfica del límite Eoceno-Oligoceno de la zona surcentral de la cuenca de Falcón. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Trabajo Especial de Grado, p. 142.
- YORIS, F. (1984). Revisión de la estratigrafía regional del Cretácico Inferior en la franja de San Antonio de Maturrín-Caripito-Bolivita-Campo Alegre (estados Monagas y Sucre) y análisis petrográfico estadístico de areniscas al oeste del río San Juan. Universidad Central de Vene-

zuela. Facultad de Ingeniería. Trabajo de Ascenso a la categoría de Agregado, p. 1052.

YORIS, F. (1992). Análisis de secuencias clásticas por métodos petrográficos y estadísticos. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Tesis Doctoral, p. 1045.

ZHANG, X., LI T., ZHANG, F. (2001). Comprehensive constraint on the tectono-sedimentary setting of Late Paleozoic turbidites of the Kamuste area, eastern Junggar, Xinjiang. *Sciences in China (Series D)*, 44(12), pp. 1065-1078.