

ESTUDIO ESTRATIGRÁFICO DETALLADO DE LA FORMACIÓN LA PAILA, EN LA SECCIÓN LA URIBE-SEVILLA, POTENCIAL RESERVOIRIO DE HIDROCARBUROS EN LA CUENCA CAUCA-PATÍA

(Detailed stratigraphic study of La Paila formation in the La Uribe-Sevilla section, hydrocarbon potential reservoir in the Cauca-Patía basin)

Diana Lorena Castaño Dávila*, Paola Eugenia Cifuentes Echeverri

Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Caldas, Colombia *diana_lorena61@hotmail.com

(Recibido el 19 de mayo de 2009 y aceptado el 18 de junio de 2009)

Resumen:

La importancia de este análisis detallado de la formación La Paila en la sección Uribe - Sevilla (Valle), patrocinado por la ANH, radica en el aporte de información estratigráfica sobre las rocas cenozoicas que componen dicha formación, que corresponden principalmente a niveles clásticos gruesos, tobas, lodolitas verdes y restos de plantas. Esta formación está en vecindad con la formación Nogales, una unidad generadora de hidrocarburos, por lo que la formación La Paila podría constituir un potencial reservorio.

El análisis facial de esta sección indica que la sedimentación es aluvial. Se presentan conglomerados clastosoportados macizos (Flujos de escombros), conglomerados clastosoportados con imbricación, estratificación inclinada en artesa y con estratificación inclinada planar (barras de grava). Las arenitas con laminación plana paralela, lodolitas macizas y conglomerados clastosoportados con imbricación, se producen por flujos no canalizados cuando hay inundaciones. Estos sedimentos son originados tanto por flujos de corrientes como por flujos gravitacionales y corresponden a depósitos de abanico aluvial y corrientes trenzadas. Es probable que durante la sedimentación se presentara actividad volcánica, que está evidenciada en los niveles de tobas.

En estudios geológicos anteriores la formación La Paila ha sido correlacionada con diversas unidades litológicas del Valle del Cauca, debido a la escasa información estratigráfica, lo que ha generado confusiones en los mapas geológicos actuales. En la parte occidental de la sección se encontraron rocas con características diferentes a las aflorantes al oriente de la misma y están separadas por una falla importante, sugiriendo dos unidades litológicas diferentes.

Palabras clave: formación La Paila, cenozoico, abanico aluvial, corrientes trenzadas.

Abstract:

The importance of this detailed analysis of the La Paila formation in La Uribe - Sevilla (Valle) section, sponsored by the ANH, arises from the contribution of stratigraphic data on the cenozoic rocks that compose this formation, which correspond mainly to coarse clastic levels, tuffs, green lodolitas and plants remains; this formation is in the vicinity of the Nogales formation, a hydrocarbon generating unit, the reason why La Paila formation could constitute a potential reservoir.

The facial analysis of this section indicates that the sedimentation is alluvial. It reveals massive clast-supported conglomerates (debris flows), clast-supported conglomerates with imbrications, trough-cross-bedded and planar-cross-bedded conglomerates (gravel bars). The parallel-flat-laminated sands, the massive lodolitas and the clast-supported conglomerates with imbrications are produced by non-channelized flows when floods and correspond to deposits of alluvial fan and braided streams. During the sedimentation volcanic activity will take place, something from which evidence is found in the tuff levels.

In previous geologic studies the La Paila formation has been correlated with different litologic units of the Valle del Cauca due to the scarce stratigraphic data, which has generated confusions in the up-to-date geologic maps. In the west part of the section rocks with different characteristics from the superficial rocks on the east part were found and they are separated by an important fault, suggesting two different litologic units.

Key words: La Paila formation, cenozoic, alluvial fan, braided currents

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios geológicos realizados en la formación La Paila son, principalmente, cartográficos. En ellos se han descrito, de manera general, las características litológicas y estratigráficas de la Unidad.

Este trabajo busca realizar la descripción de la formación La Paila, basados en cartografía detallada (Escala 1:200), levantamiento de columnas estratigráficas, toma de muestras, y realización de análisis faciales y petrográficos, con el fin de determinar su ambiente de depósito. Además, es de resaltar que estas unidades, por sus características litológicas, han sido consideradas un potencial reservorio de hidrocarburos en la cuenca Cauca - Patía.

2. ANTECEDENTES

Los primeros estudios de la formación fueron realizados por Keiser, Nelson y Van Der Hammen (1955), en un

informe inédito donde introdujeron el nombre de formación La Paila (Van Der Hammen, 1958).

Nelson (1957) divide la formación La Paila en dos unidades: una unidad inferior, con un espesor aproximado de 200 m, compuesta por tobas dacíticas retrabajadas de color gris claro, posiblemente derivadas de erupciones en la cordillera central. Por tal motivo, el autor correlaciona dicha unidad con la formación Honda, además de asignarle una edad de mioceno basada en la comparación con la formación Combia de Grosse (1926), que descansa sobre depósitos del oligoceno Superior. La unidad superior, con un espesor de 400 m, consiste en depósitos fluviales de conglomerados, arenitas y arcillolitas arenosas con estratificación inclinada; hacia el techo de la formación se encuentran niveles de lignito. Los guijos de los depósitos gruesos son principalmente de diabasa, chert negro, rocas metamórficas, andesita y cuarzo. Para la edad, no se han realizado estudios palinológicos, pero se la ha asignado una edad de mioceno medio.

Van Der Hammen (1958) cita el trabajo inédito de Keizer et al. (1955) y divide la unidad en dos partes: la parte inferior, compuesta de tobas volcánicas, con un espesor de 200 m. La parte superior, de 400 m de espesor, está compuesta por conglomerados y areniscas sueltas, con intercalaciones de arcillas duras y, eventualmente, un lecho de lignito. El autor correlaciona esta unidad con la formación Honda.

Schwinn (1969) sugiere que la parte inferior de la formación La Paila es parcialmente equivalente a la formación Cartago, definida por geólogos de la compañía INTERCOL, en la carretera Cartago-Alcalá.

McCourt (1984) retoma el estudio realizado por Nelson (1957), señala la existencia de buenos afloramientos de la parte volcánica en las vías Uribe-Sevilla, Sevilla-La Paila y en el núcleo del anticlinal de Totoro. La parte sedimentaria tiene una buena exposición en la carretera paralela al río Guadalajara (este de Buga). De acuerdo a dataciones radiométricas K/Ar a rocas porfíricas de la cordillera central se obtuvieron edades de $19 + 2$, $18 + 1$ (Brook, 1984), que se extienden hasta $6-8 + 1$ Ma (González, 1980), aceptando que las edades más antiguas reflejan aproximadamente la edad de las intrusiones. De acuerdo con estas dataciones, se le dio una edad tentativa a la formación La Paila de mioceno inferior.

Keith et al. (1988) asignan a la formación La Paila un ambiente de abanicos húmedos y corrientes trenzadas, debido al levantamiento de porciones de la cordillera central (pre-mioceno) y sedimentos del oligoceno.

Aránzazu y Ríos (1989) integran bajo el único nombre de formación La Paila dos unidades: La Paila y La Pobreza (McCourt, 1984). Definen el contacto infrayacente de la formación La Paila con la formación Cartago, de tipo discordante angular, y fallado localmente con la formación Amaime. El contacto superior de la formación La Paila es discordante con la formación Armenia y la formación Zarzal.

Nivia (2001) describe de manera general los depósitos de la formación La Paila de acuerdo con sus características litológicas y estructurales; compuestos por conglomerados polimícticos de cantos de areniscas grueso granulares a conglomeráticas, cuya composición refleja la geología general de la cordillera central. Las estructuras sedimentarias más comunes son canales de relleno y estratificación cruzada. Las tobas dacíticas ocurren en estratos tabulares macizos interestratificados, con conglomerados y areniscas de grano grueso a medio y cuya composición sugiere una contribución volcano-detritica importante. En menor abundancia se presentan lodolitas arenosas de color amarillo ocre con laminación. Además, el autor señala que la formación La Paila suprayace discordantemente a Vijes e infrayace a la La Pobreza.

3. MARCO GEOLÓGICO

En lo relativo a la geología regional, la depresión del Cauca - Patía es una cuenca sedimentaria, principalmente continental, desde el paleógeno inferior, con depositación de tobas en el mioceno medio (Álvarez, 1963, En Flórez, 2003) indicando el inicio del volcanismo en el eje de la cordillera central. La presencia de materiales volcánicos aumenta en la parte norte de la cuenca (cuenca del Cauca) en relación con la parte sur de la misma (cuenca del Patía) (Flórez, 2003).

Según Nivia (2001), las rocas sedimentarias que constituyen la cobertura andina cenozoica se acumularon en el graben interandino Cauca-Patía - GICP (Acosta, 1970), desde el eoceno, y fueron deformadas posteriormente.

El área de estudio se ubica al noreste del departamento del Valle del Cauca, se presenta como una franja alargada en dirección N-S, y la sección de estudio se sitúa entre el corregimiento de La Uribe y el municipio de Sevilla (ver figura 1), unidad que se encuentra fallada y plegada. Al este se encuentra en contacto discordante con la formación La Pobreza, y al oeste, con depósitos cuaternarios del río Cauca.

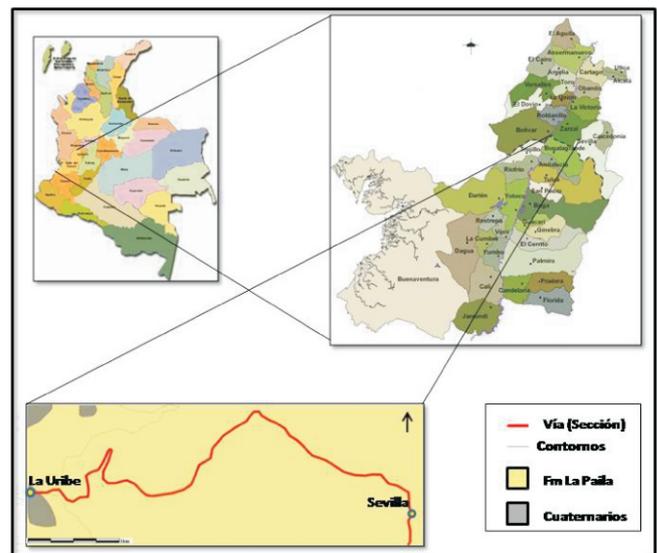


Figura 1. Mapa de localización

4. METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo presentó las siguientes etapas:

a) Búsqueda, recopilación y análisis de toda la información geológica existente sobre el área de estudio; y adquisición de información especialmente relacionada con los propósitos de este trabajo, como publicaciones, informes técnicos, mapas topográficos y geológicos.

b) Trabajo de campo: se levantó poligonal abierta con cinta y brújula, con proyección de estratos. Los puntos de inicio y fin de la poligonal se localizan con GPS. Se levantaron columnas estratigráficas a escala 1:200, amarradas a poligonales abiertas, siguiendo las normas de levantamiento de columnas estratigráficas. Los tramos cubiertos de gran extensión fueron levantados con GPS.

Para el procesamiento detallado por descriptiva y visualización en 3D, se realizó el dibujo de las poligonales en AutoCAD. Los espesores reales de las capas se calcularon con base en descriptiva y en los ajustes trigonométricos correspondientes.

Se hizo la descripción de la columna estratigráfica con el espesor, disposición estructural, descripción sedimentológica, ubicación de muestras y fotografías digitales tomadas.

c) Petrografía y análisis facial: se elaboraron secciones delgadas de las muestras más representativas. Para la clasificación de las arenitas, se utilizó el triángulo de Folk composicional (1968). Para la clasificación de las tobas se utilizó el triángulo de la IUGS subcomisión (1980). Para el análisis facial, se determinaron las facies de acuerdo con las características y estructuras sedimentarias presentes. A la mayoría se les asignaron códigos basados en Miall (1996) y, para las demás facies, se determinaron los códigos, con el fin de adaptarlos a las características de las rocas. Se establecieron las asociaciones faciales más características y, con base en éstas, se determinó el ambiente de depósito

d) Análisis de la información: interpretación de la información obtenida en campo, análisis de laboratorio y elaboración del informe final.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

En este trabajo se propone separar dos unidades litológicas: una unidad clástica, en la parte oriental de la sección, y una unidad tobácea, hacia la parte occidental.

La unidad clástica aflora a lo largo de la sección La Uribe-Sevilla, está compuesta por conglomerados, arenitas, lodolitas y algunos niveles tobáceos hacia el techo. La unidad tobácea aflora cerca al peaje de La Uribe, compuesta principalmente de tobas, arenitas, arenitas conglomeráticas con componentes volcánicos y lodolitas, en menor proporción. El contacto entre estas unidades es fallado.

5.1 Unidad clástica

Esta unidad corresponde a la sección levantada a lo largo de la vía principal que conduce de La Uribe hacia Sevilla; se destaca la presencia de dos estructuras sinclinales y una

estructura anticlinal que se hacen evidentes en la geomorfología abrupta de la zona.

5.1.1 Análisis Facial: para el análisis facial, se aplican con algunas modificaciones los códigos de Miall (1996) y, de acuerdo con su granulometría y estructuras sedimentarias, se describen tres grupos litofacies principales: conglomeráticas, arenosas y lodosas.

Las litofacies conglomeráticas son:

Gcm: conglomerados polimícticos, clasto-soportados macizos, en estratos decimétricos a métricos, de tamaño guijo a guijarro.

Gp: conglomerados matriz-soportados, con estratificación inclinada planar, de tamaño guijo, se presenta en estratos decimétricos a métricos.

Gh: conglomerados polimícticos clasto-soportados, levemente imbricados, de tamaño guijo a guijarro, en estratos decimétricos a métricos.

Gt: conglomerados polimícticos matriz-soportados, con estratificación inclinada en artesa, de tamaño guijo a guijarro, estratos decimétricos a métricos.

Las litofacies arenosas son:

St: arenita con laminación inclinada en artesa, de tamaño medio a grueso, y ligeramente conglomerática, en estratos decimétricos.

Sp: arenitas con laminación inclinada planar, de tamaño grueso, en estratos lenticulares.

Sh: arenitas con laminación plana paralela, de tamaño medio a grueso, en estratos decimétricos, tabulares y lenticulares.

Sr: arenitas con laminación inclinada en artesa, de tamaño grueso, en estratos decimétricos.

Sm: arenitas macizas de tamaño medio, grueso a conglomeráticas, en estratos decimétricos a métricos, tabulares y lenticulares.

Sgm: arenitas de tamaño grueso a ligeramente conglomeráticas macizas, en estratos decimétricos a métricos, tabulares y lenticulares.

Svf: tobas, que se presentan en estratos tabulares y macizos, con espesores decimétricos, de tamaño muy fino a medio, color crema.

Finalmente, las litofacies lodosas son *Fsm:* lodolitas macizas en estratos decimétricos y tabulares, sin estructuras internas, de color gris a gris verdoso.

5.1.2 Asociación facial: se presentan las asociaciones definidas como A1, A2 y A3, así:

a) *A1: Gcm, Gt, Gp, Gh:* en esta asociación, los procesos gravitacionales que generan los flujos de escombros, tienden a formarse donde éstos abandonan el confinamiento y hay un cambio importante en la superficie de depositación. La imbricación; la estratificación inclinada planar y en artesa de los conglomerados, y las arenas con geometría lenticular dentro de ellos, son típicas de barras de gravas asociadas a corrientes trenzadas proximales. La asociación A1 es correlacionada con el modelo 2 para estilos fluviales de Miall (ver figura 2).

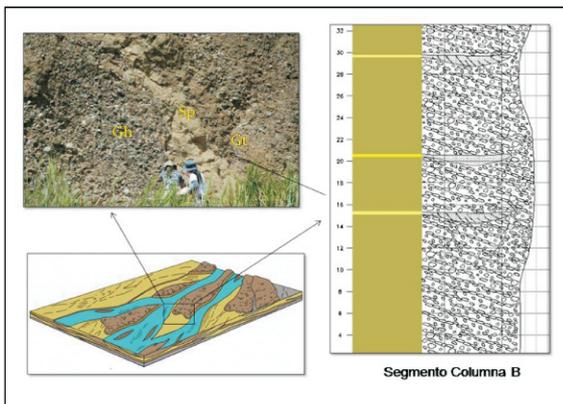


Figura 2. Modelo de depositación para la asociación facial A1 (Tomado de Miall, 1996).

b) *Asociación A2: Gh, Sgm, Fsm, Svf:* la asociación A2 se interpreta como formada en áreas intercanal, cuando se producen inundaciones y se depositan lodos sobre la superficie de las barras, en corrientes trenzadas proximales. El material volcánico puede tener una amplia distribución y ser depositado lejos del área fuente. Adicional a este transporte primario, el material suelto es frecuentemente retrabajado y redepositado por procesos fluviales, por lo que, de esta manera, el material volcánico puede ser mezclado con otros tipos de sedimentos (Einsele, 1992). La asociación A2 puede correlacionarse con el modelo 2 para estilos fluviales de Miall (1996) (ver figura 3).

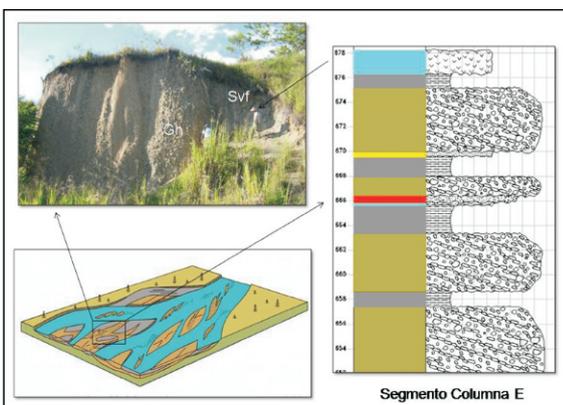


Figura 3. Modelo de depositación para la asociación facial A2 (Tomado de Miall, 1996)

c) *Asociación A3: Gcm, Gh, Sgm, Sh:* (Ver Figura 4): la asociación A3 es interpretada como inundaciones laminares que se producen a partir de inundaciones rápidas. Típicamente, la superficie interior es plana o levemente erosional (Miall, 1996). Las inundaciones laminares se desarrollan en flujos laminares poco profundos que no persisten muy lejos, que se deterioran en canales trenzados y barras, que disectan la superficie superior de las láminas de sedimentos (Collinson, 1979). La asociación A3 es correlacionable con el modelo 2 para estilos fluviales de Miall (1996).

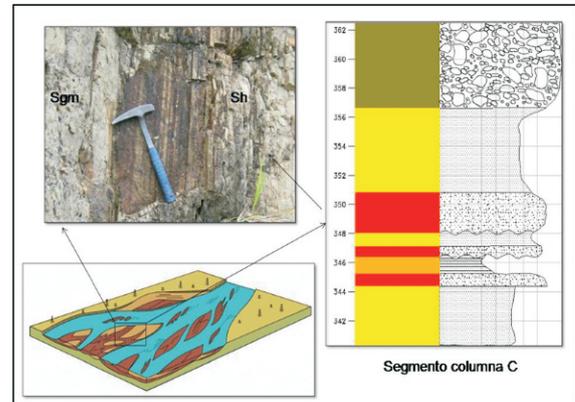


Figura 4. Modelo de depositación para la asociación facial A3 (Tomado de Miall, 1996)

5.1.3 Interpretación paleoambiental para la unidad clástica: en la sección La Uribe - Sevilla, se tienen depósitos que indican la presencia de flujos gravitacionales y de depósitos de acción fluvial.

Los conglomerados clastosoportados macizos corresponden a flujos de escombros y son atribuidos a abanicos proximales y corrientes trenzadas, dominadas por gravas con depósitos de sedimentos de flujos de gravedad (Modelo 1 de Miall). Los conglomerados clastosoportados levemente imbricados, conglomerados con estratificación inclinada en artesa, y los lentes de arenita con laminación plana paralela, arenitas con laminación inclinada en artesa, arenitas con laminación inclinada planar dentro de ellos, se relacionan a la parte media del abanico y a corrientes trenzadas poco profundas dominadas por gravas (Modelo 2 de Miall).

Las facies volcánicas asociadas con facies fluviales, sugieren que el material volcánico pudo haber sido retrabajado por corrientes y, posteriormente, redepositado en barras como depósitos volcánicos re-sedimentados, posiblemente originados a partir de un flujo piroclástico pre-existente.

La alternancia de flujos gravitacionales con depósitos de corrientes trenzadas dentro de la secuencia sugiere un ambiente de abanico aluvial, que muestra sedimentación de flujos gravitacionales y sedimentación dominada por procesos fluviales (ver figura 5, página siguiente).

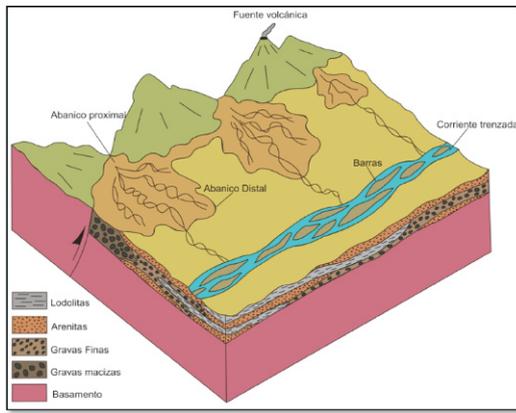


Figura 5. Bloque diagrama del ambiente de deposición de la Unidad Clástica.

5.1.4 *Análisis petrográfico para la unidad clástica:* se analizaron once secciones delgadas, de las cuales seis son arenitas (una arcosa, dos arcosas líticas, dos litoarenitas y una litoarenita feldespática), y cinco son tobas (una toba de cristales y cuatro tobas de vidrio). Las tobas también se clasificaron composicionalmente, en función de la abundancia de los minerales presentes, dando como resultado tobas dacíticas (ver figuras 6 y 7).

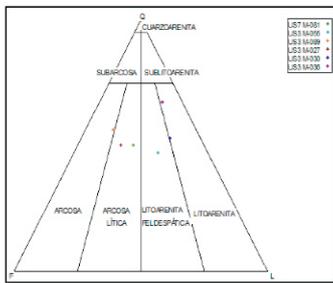


Figura 6. Clasificación arenitas para la Unidad Clástica (Folk, 1968)

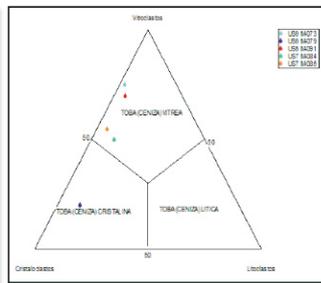


Figura 7. Clasificación tobas para la Unidad Clástica (IUGS Subcomisión, 1980).

5.2 Unidad tobácea

La unidad tobácea es una unidad litológica de geomorfología suave, con una disposición estructural de poca variación en la zona, y está dividida en dos segmentos: el primer segmento corresponde a la parte inferior de la columna, y está constituido por tobas blanquecinas de diferentes tamaños, que varían de finas hasta gruesas, en sectores con tamaños lapilli y pómez; el segundo segmento corresponde a la parte superior de la columna, y está compuesto por tobas, arenitas conglomeráticas, conglomerados de gránulos y lodolitas en estratos decimétricos.

5.2.1 *Análisis facial:* se presenta así:

a) *Tm:* estratos decimétricos de tobas de grano muy fino a medio, de color habano a blanco, macizas o con gradación normal.

b) *Gt:* conglomerados clastosoportados arenosos de gránulos y guijos, con estratificación inclinada en artesa, representada por niveles de clastos o magnetita.

c) *Sh:* arenitas de grano fino a grueso, con laminación plana paralela o levemente ondulosa, en estratos centimétricos y láminas.

d) *Fr:* arcillolitas limosas de color pardo o amarillo, macizas o con una incipiente laminación, con frecuentes marcas de raíces.

5.2.2 *Interpretación paleoambiental para la unidad tobácea:* la unidad tobácea (ver figura 8) representa una deposición en una cuenca en la que el fenómeno más importante es la actividad volcánica explosiva, evidenciada en la abundancia de niveles tobáceos, alternada con procesos de sedimentación fluvial como generación de barras (Facies Gt). A estos fenómenos se suma la formación de lagos temporales, con una sedimentación lodosa, seguida de períodos relativamente largos de exposición subaérea, con formación de suelos evidenciados en la presencia de arcillolitas perturbadas por raíces (facies Fr).

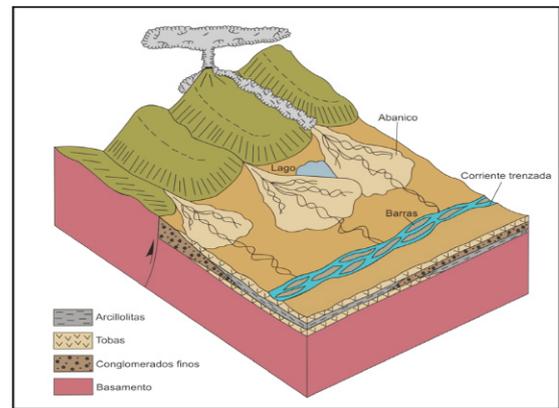


Figura 8. Bloque diagrama del ambiente de deposición de la unidad tobácea.

Arroyave y Ramos (2009), mediante análisis granulométricos y petrográficos realizados para el primer segmento de la unidad tobácea, lo interpretaron como un depósito volcánico primario y lo catalogaron como un flujo piroclástico. Además, debido a que presenta un enriquecimiento en arena, lo consideraron un depósito no cohesivo.

De acuerdo con los análisis faciales, granulométricos, petrográficos, geoquímicos y palinológicos, se considera que la unidad tobácea corresponde a un depósito volcánico primario, catalogado como un flujo piroclástico, alternado con procesos de sedimentación fluvial y lacustre, en un ambiente de arco continental.

5.2.3 *Análisis petrográfico para la unidad tobácea:* se analizaron siete secciones delgadas para el segundo segmento de la unidad tobácea, de las cuales una es

arenita (litoarenita madura) y seis son tobas (tres tobas vítreas y tres tobas de cristales de composición dacítica) (ver figuras 9 y 10).

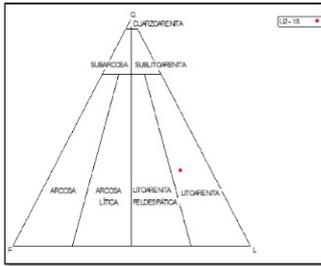


Figura 9. Clasificación arenitas para la unidad tobácea (Folk, 1968)

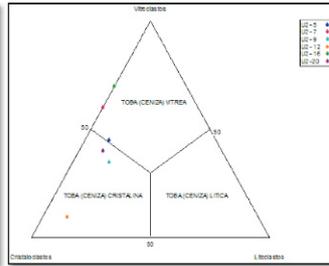


Figura 10. Clasificación tobas para la unidad tobácea (IUGS Subcomisión, 1980)

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Debido al contacto fallado entre la unidad tobácea y la unidad clástica, la relación estratigráfica entre ambas unidades no es clara. Dado que los análisis palinológicos arrojaron una edad mioceno para ambas, la relación entre estas unidades podría interpretarse como una variación lateral de facies, y la unidad tobácea representaría la parte más distal del abanico aluvial, donde la influencia volcánica se hace más notoria. La formación La Paila, en la sección La Uribe-Sevilla, está constituida por rocas con asociaciones faciales de ambientes fluviales, se encuentra en vecindad con la formación Nogales (Nelson, 1957), una unidad de edad cretácico inferior, compuesta por cherts, areniscas y conglomerados con algunas intercalaciones de basaltos, que es considerada una unidad generadora, por lo que la formación La Paila podría representar un potencial reservorio de hidrocarburos, formado en ambientes continentales.

7. CONCLUSIONES

En la sección de La Uribe-Sevilla, lo que ha sido denominado formación La Paila consta de dos unidades litológicas: una unidad clástica, al este, compuesta principalmente por conglomerados, arenitas, lodolitas y algunos niveles tobáceos hacia el final de la sección, y una unidad tobácea, al oeste, compuesta por tobas, arcillolitas, arenitas y conglomerados, en menor proporción. El contacto entre estas unidades es fallado, pero la relación estratigráfica no es clara. La unidad clástica está conformada por arcosas, arcosas líticas, litoarenitas, litoarenitas feldesáticas, tobas de cristales y tobas de vidrio de composición dacítica. La unidad tobácea posee tobas de cristales, tobas vítreas de composición dacítica y litoarenitas. El estudio de las facies de la unidad clástica permite interpretar depósitos de flujos de sedimentos por gravedad, barras de ríos trenzados y depósitos volcánicos retrabajados en un abanico aluvial. En la unidad tobácea se reconocen facies características de flujos piroclásticos asociados a vulcanismo de arco continental, que alternaron con

procesos de sedimentación fluvial y lacustre. Aunque no se observaron rezumaderos de hidrocarburos en la formación La Paila, sus características litológicas la hacen potencialmente importante como reservorios de hidrocarburos.

8. REFERENCIAS

- Acosta, C., 1970. El graben interandino colombo-ecuatoriano. I Congreso Latinoamericano de Geología. Lima
- Arroyave, C.P. y Ramos K., 2009. Caracterización geológica y análisis granulométrico de depósitos volcánoclasticos en la formación La Paila (secciones, La Paila - Sevilla, La Uribe - Sevilla, Andalucía - Galicia y Buga - La Habana), Tesis de Geología Universidad de Caldas, Colombia
- Aránzazu, J. M., y Ríos, P. A., 1989. Análisis litofacial del intervalo oligoceno- mioceno en el sector noreste de la subcuenca del Valle del Cauca, departamento del Valle, Tesis de Geología. Universidad de Caldas, Colombia
- Brook, M., 1984. New age radiometric data from SW Colombia. Ingeominas - Misión Británica, 10: pp 1-25
- Flórez, A., 2003. Evolución de sus relieves y modelados. Universidad Nacional de Colombia. Unibiblios, p. 38
- Folk, R. L., 1968. Petrology of sedimentary rocks. Austin, Texas, Hemphill
- González, H., 1980. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina). Boletín Geológico, Ingeominas. 23(1): pp 1-174
- Grosse, E., 1926. El terciario carbonífero de Antioquia. Dietrich Reimer (Ernst Vohsen), Berlín, p. 361
- Keith, J. F. J., Rine, J. M. y Sacks, P. E., 1988. Planchas 223/242 (El Cairo-Zarzal). Geology Map, Frontier basins of Colombia. Valle del Cauca field report. Earth Sciences and Resources Institute. University of South Carolina., pp. ESRI Technical report 88-0012
- Miall, a., 1996. The geology of fluvial deposits. sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology. Springer-Verlag. Italia. p. 482
- Mc Court, W.J., 1984. The geology of the central cordillera in the departments of Cauca's Valey, Quindío and NW Tolima. Ingeominas. Misión Británica. p. 300
- Nelson, H. W., 1957. Contribution to the geology of the central and western cordillera of Colombia in the section between Ibagué and Cali. Leidse Geologische Mededlingen 22: 1-76
- Nivia, A., 2001. Geología del departamento del Valle del Cauca. Cali, Ingeominas
- Schwinn, W. L., 1969. Guidebook to the geology of the Cali area, Valle del Cauca, Colombia. Bogotá, Colombian Society of Petroleum Geological and Geophysicists: 29
- Van Der Hammen, T., 1958. Estratigrafía del terciario. maestrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes colombianos geológico. Servicio geológico nacional. Bogotá, D.C., Colombia. Boletín Geológico Vol. 6, p. 150