

OCURRENCIA Y LITOLOGIA DEL TORO SHALE

RAFAEL BUENO S.*

RESUMEN

Este artículo presenta inicialmente una mirada general a la evolución del pensamiento geológico y las ideas que se tienen en la actualidad sobre el carácter litológico, origen y posición estratigráfica del Miembro Toro, de la Formación La Paz. Estos sedimentos han sido descritos, en diferentes ocasiones, como "lutitas alteradas", dolomitas, diques riolíticos, arcillolitas arenosas y piroclásticos, y no se ha logrado una opinión única en cuanto a su origen y verdadero carácter litológico. En la actualidad, la mayoría de los autores se refieren a esta unidad litológica con el nombre de "Toro Shale" y lo colocan, estratigráficamente en la base de la Formación La Paz, de edad eocena. Se presentan dos mapas que muestran la ocurrencia, distribución y espesor de este miembro, basados en datos de subsuelo y afloramientos, y se intenta dar a estos factores una explicación. Finalmente, el autor describe algunos análisis petrográficos, electro-microscópicos y de difracción por Rayos X adelantados en los Laboratorios de la Cities Service de Tulsa, Oklahoma.

ABSTRACT

This article first gives a general view of the evolution of thought and present ideas on the lithologic character, origin and stratigraphic position of the Toro member, La Paz Formation. These sediments have at various times being named "altered shales", dolomite, rhyolitic dike, sandy shale and pyroclastics and no consensus of opinion has been formed as to its origin and true lithologic character. Today most authors refer to it as the "Toro Shale" and place it stratigraphically at the base of La Paz Formation of Eocene Age. Two maps are offered, showing the occurrence, distribution and thickness of this member, based on subsurface and outcrop data and an explanation of this factors is intended. Finally, the author describes Petrographic, X-Ray Diffractometer and Electron Microscope analysis performed on Toro samples at the Cities Service Research Laboratory in Tulsa, Oklahoma.

* Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL).

RÉSUMÉ

Cet article présente un point de vue général, un sujet de l'évolution géologique, et des idées que l'ont possédé actuellement à propos du caractère lithologique, de la position stratigraphique et de l'origine du "Toro" (Formation La Paz).

Cette couche sédimentaire a été décrite en différentes occasions comme: "Shales", dolomites, inclusions volcaniques, argiles sableuses pyroclastiques, et on n'est pas arrivé à une opinion définitive sur son origine et son vrai caractère lithologique.

Actuellement la majorité des auteurs la nomment "Toro Shale" et la placent stratigraphiquement à la base de la Formation La Paz, d'âge Eocène.

On montre deux cartes qui présentent la position, la distribution et l'épaisseur de cette couche. Ces deux cartes sont basés sur les informations du sous-sol et de la superficie et l'on essaye de donner à ces caractéristiques une explication.

Enfin, l'auteur décrit quelques anomalies pétrographiques, quelques études au microscope électronique, et de diffraction aux Rayons X, effectuées dans les Laboratoires de la Cities Service de Tulsa, Oklahoma.

CONTENIDO

Introducción.

Discusión general.

<i>Ocurrencia del Toro Shale</i>	{	a) <i>En el subsuelo.</i>
		b) <i>Afloramientos.</i>
<i>Descripción de los análisis</i>	{	1. <i>Análisis petrográfico.</i>
		2. <i>Análisis de difracción por Rayos X.</i>
		3. <i>Análisis electromicroscópico.</i>
<i>Conclusión.</i>		

CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO DEL TORO, MIEMBRO INFERIOR DE LA FORMACION LA PAZ

INTRODUCCION

De acuerdo con la nomenclatura normalizada para el Valle Medio del Magdalena (Morales et al. 1955) el término Toro se aplica actualmente al miembro inferior de la Formación La Paz (Eoceno) que reposa, regionalmente, de manera inconforme sobre la Formación Lisama (Paleoceno) o sobre los sedimentos cretácicos cuando esta última unidad estratigráfica no está presente. A través de la literatura puede apreciarse cómo, tanto su clasificación litológica como la correcta determinación de su origen, ha constituido un interesante problema geológico, al cual diversos autores han dado soluciones diferentes.

En los primeros meses del año de 1962, el autor tuvo oportunidad de utilizar los modernos equipos de investigación localizados en los laboratorios de la "Cities Service Research Co." en la ciudad de Tulsa, Oklahoma, en desarrollo de un programa de entrenamiento pre-

parado por la Empresa Colombiana de Petróleos, con la colaboración de la compañía norteamericana atrás citada. Parte del trabajo investigativo consistió en analizar muestras del Toro, obtenidas a partir, bien de muestras de zanja o corazones de pozos, o de afloramientos. Sobre estas muestras se efectuaron análisis petrográficos, electromicroscópicos (utilizando el microscopio electrónico) y petro-mineralógicos por medio de la difracción de los Rayos X.

El presente estudio, a más de ofrecer algunas consideraciones generales sobre esta unidad lito-estratigráfica, describe los análisis efectuados según lo arriba expuesto, en la esperanza de que su publicación contribuya a un mejor conocimiento de sus características litológicas, su distribución, relaciones estratigráficas y posible origen, así como la importancia que tiene el Toro como marcador estratigráfico en aquellas áreas donde pueda determinarse su presencia.

DISCUSION GENERAL

El nombre Toro fue inicialmente usado por T. A. Link (1925) quien lo describió bajo el término "Altered Shales" en un informe inédito de la Tropical Oil Company. En su descripción, Link se refiere al Toro como a un "shale" (lutita) de color gris claro a gris azulado, duro, quebradizo, masivo, altamente fisurado y frecuentemente manchado de rojo. Afirma además que, en algunos lugares, las lutitas duras están en contacto con lutitas o arcillolitas blandas que tienen exactamente el mismo color y textura. El mismo autor define la relación estratigráfica de las "Altered Shales" cuando puntualiza que éstas se encuentran estratigráficamente suprayacentes a los sedimentos transicionales del Lisama, o a los del Umir cuando aquéllos no están presentes, y subyacentes a las areniscas de La Paz, y que, además se encuentran *invariablemente* cerca a planos de fallas.

Dentro de su informe, Link se refiere también a la diversidad de opiniones concernientes a la clasificación litológica y origen del Toro. Manifiesta, por ejemplo, que algún autor se refirió a éste como a un "dique riolítico" en la región de Peña de Loro. Otros lo han llamado dolomita o lutitas dolomíticas, y finalmente algunos lo han clasificado como "arcillolita arenosa" ("sandy shale") pero sin intentar explicar su origen.

Finalmente, T. A. Link expone su teoría sobre el origen de estos sedimentos, en la siguiente forma: (versión del original inglés por R. Bueno S.).

"Los requisitos para el desarrollo de estas lutitas alteradas, son los siguientes:

"1º Un estrato de arcillolita o lutita de composición química más o menos definida.

"2º Tal estrato colocado por debajo, arriba o entre estratos competentes.

"3º Desarrollo de fuerzas compresionales cuyo resultado altera estas arcillolitas o lutitas y las convierte en un estrato duro, quebradizo y fisurado. El proceso de alteración puede ser aumentado por solución causada por aguas subterráneas".

Más adelante, ya en el año de 1931, W. W. Waring (Informe inédito) dio a estos sedimentos el nombre de Formación Toro. Este autor también se refiere a la variedad de descripciones que se han hecho de estos sedimentos, entre las cuales menciona las de riolita, dolomita, arcillolita arenosa, lutitas alteradas, lidita y piroclásticos impuros. Manifiesta Waring su creencia de que esta última interpretación, inicialmente postulada por McGill ("Report on the San Luis Structure"; informe privado sin publicar) es la correcta. En su descripción, Waring se refiere a una brecha compuesta por fragmentos angulares y redondeados, cementados entre sí por una *toba* ("tuff") gris clara, fino granular y dura. Hacia su parte alta, continúa Waring, la formación se torna en una *limolita* o *pirolutita* de color gris claro, masiva, dura, quebradiza y muy fracturada. Sin embargo Waring la coloca en su columna estratigráfica como de edad cretácica superior y le asigna un origen marino. El autor basa esta última afirmación en el hecho de que, de acuerdo con un informe de Henderson se identificaron algunos foraminíferos en un corazón (núcleo) de la Formación Toro, obtenido en el área de Mugrosa. Termina Waring su referencia al Toro con la siguiente opinión: "Se cree que estos sedimentos sean el resultado de la actividad volcánica que acompañó los movimientos orogénicos que ocurrieron hacia el cierre del Cretáceo". (Versión del original en inglés, por R. Bueno S.).

Wheeler (1935) se refiere a estos sedimentos también con el nombre de Formación Toro y la describe como una lutita dura, densa, gris, muy fisurizada, quebradiza, frecuentemente masiva y ocasionalmente bien estratificada. Afirma que, cuando la formación está bien estratificada, su color varía de gris claro o blanco fino y que "sugiere grandemente a una toba" aun cuando "nunca se ha encontrado vidrio en esta roca". El mismo autor termina su referencia al Toro manifestando que su origen no es claro, pero que, en todo caso su característico endurecimiento debió ser alcanzado por la roca poco después de su depositación, teniendo en cuenta el hecho de que a veces ocurre un conglomerado basal formado por fragmentos duros de esta unidad litológica.

En la actualidad no parece haber duda alguna en cuanto a la posición estratigráfica del Toro como miembro inferior de la Formación La Paz, pero, por lo menos en conocimiento del autor, no existe aun unanimidad de criterios, ni siquiera ideas claras sobre el origen de estos sedimentos. En cuanto a su clasificación litológica, la tendencia actual es referirse a ellos con el término genérico de "Shale" (lutita) sin entrar en mayores detalles.

Gracias a la obtención de muestras de zanja y corazones en los numerosos pozos que en De Mares han penetrado el Toro, al presente se tiene un buen conocimiento de las características litológicas que se pueden determinar macroscópicamente o mediante el análisis con el microscopio binocular de 10 aumentos. En general el Toro aparece como una roca bastante endurecida, con una matrix de apariencia arcillosa, de color predominantemente crema, y con frecuencia manchada con tonos rojizos, pardos y en ocasiones amarillos. Dentro de esta masa se distinguen claramente granos aislados de cuarzo generalmente angular que aparecen a manera de fenocristales. Se fractura en forma característica y con frecuencia tiene un lustre parecido

al de la porcelana. Su color, sin embargo, no es constante en todas las localidades. En Galán, por ejemplo, adquiere tonalidades verdosas, pero mantiene sus demás características típicas. Hacia la base aparecen capas de lidita ("chert") de color amarillo, por lo general inmediatamente encima de la inconformidad basal del Terciario. Estas capas lidíticas se han determinado claramente en pozos de Galán y Llanito. Por otra parte, dentro del "shale" ocurren con frecuencia, en especial hacia la parte media, capas de areniscas que han mostrado en algunos casos saturación de aceite, pero aparentemente, por baja permeabilidad, no se ha obtenido producción comercial de petróleo.

En los registros eléctricos muestra una característicamente alta resistividad, circunstancia ésta que permite identificarlo claramente y lo convierte por tanto en un marcador estratigráfico de mucha importancia. Debe anotarse, sin embargo, que en ocasiones la presencia de fracturas, y el contenido de flúidos, lo hace aparecer con baja resistividad eléctrica.

Finalmente, bajo el fluoroscopio el Toro muestra una brillante fluorescencia de color amarillo a pardo, que parece tener origen mineral.

OCURRENCIA DEL TORO

a) *En el subsuelo.*

El mapa isópaco del Toro (figura 1) muestra la ocurrencia en el subsuelo de esta unidad litológica. Puede apreciarse que el Toro está presente sobre los anticlinales de Casabe-Galán y Llanito en donde alcanza espesores hasta de 150'; en la estructura de La Cira el mayor desarrollo se aprecia hacia los flancos, aunque es de anotar que en el Pozo La Cira-304, cuya posición se acerca bastante a la cúspide de la estructura pre-terciaria de La Cira, se determinó la presencia del Toro en espesor un poco inferior a 50'; en Infantas el Toro está presente únicamente hacia los flancos y lo propio sucede en Aguas Blancas. Hacia el este de la Concesión, el Toro ha sido determinado en el área de Lisama y en el pozo Putana-1, el pozo más al este perforado en la Concesión, se precisó un espesor cercano a los 200'.

De la observación del mapa, preparado con base en los datos suministrados por los numerosos pozos que han alcanzado la inconformidad basal del Terciario, se deduce claramente la ausencia del Toro en una gran faja que corresponde aproximadamente a las partes central y este del área actualmente explorada por la Empresa Colombiana de Petróleos. Salta además a la vista el aparente alineamiento que el área central de ausencia tiene con relación a la gran falla pre-terciaria de De Mares postulada por B. Taborda A. (1960, Ecopetrol, Informe privado).

Julivert (1961) explica los ciclos de sedimentación y erosión en el Terciario del Valle Medio del Magdalena como un fenómeno relacionado a la subsidencia de los bloques estructurales y a la emergencia de las áreas anticlinales, de tal modo que, cuando la subsidencia general era mayor que la tendencia a la elevación, se obtenían con-

diciones de sedimentación relativamente continuas, en tanto que cuando el fenómeno opuesto tenía lugar, resultaban condiciones, bien de erosión, de no sedimentación o de sedimentación reducida. De esta manera, en las áreas sinclinales resultó una sedimentación continua y por tanto una columna terciaria completa y concordante, mientras que en las áreas anticlinales la sedimentación se interrumpe y ocurre erosión parcial o generalizada. Anota asimismo el autor citado que "las variaciones de espesor y desaparición de niveles son fenómenos frecuentes en toda la parte inferior del Terciario, y no solo afectan a Lisama sino también a la parte baja de la Formación La Paz (Toro en la nomenclatura Shell). Toro sufre unos cambios enormes de espesor y constantemente se observa que mientras engruesa en las áreas sinclinales se estrecha considerablemente sobre los anticlinales". (Jullivert, 1961, p. 46).

De acuerdo con lo anterior, en las áreas anticlinales, el que se produjera erosión o sedimentación dependía esencialmente de que predominara el factor de subsidencia general o la tendencia a la elevación de los pliegues anticlinales. Por tanto es lógico pensar que en los anticlinales de Casabe-Galán y Llanito, la época Toro encontró condiciones de predominio relativo de la subsidencia general y tal fue la razón por la que cubrió prácticamente todas estas estructuras, aunque hacia las crestas de las mismas se nota de todos modos una disminución en el espesor de los depósitos, que engruesan, precisamente, hacia los flancos. En este mismo orden de ideas, habría que concluir que la ausencia del Toro en la vasta área central, obedece a que tal región tuvo un carácter positivo, bien durante la depositación del Toro, lo que resultaría en ausencia de depositación, o bien con posterioridad al depósito y entonces la erosión sería el proceso responsable de la desaparición de los sedimentos. A este respecto, es necesario hacer notar que en los anticlinales de Casabe-Galán y Llanito, si bien el Toro está presente, no sucede lo propio con los sedimentos arenosos del resto de La Paz, de tal modo que en muchas partes esta formación está tan solo representada por el Toro y suprayacente a éste encontramos sedimentos que se han identificado como típicamente correspondientes a la Formación Esmeraldas. Este hecho confirma el muy frecuente juego del ciclo subsidencia-emergencia, que determinó una gran cantidad de discordancias de toda clase de tipo eminentemente local y errático, con excepción de la gran inconformidad terciario cretácica.

Un último aspecto a señalar con respecto a esta área central de ausencia es su aparente relación de alineamiento con la falla preterciaria de De Mares. Es probable entonces que los fenómenos de orogenia y diastrofismo consecuentes con el desarrollo de este rasgo geológico de gran magnitud, como que vino a exponer en su flanco este los metasedimentos y facies intrusivas del Juratriásico, tuvieron alguna influencia en el establecimiento del carácter positivo de esta área.

Finalmente, la ausencia del Toro en el área de Lisama, al sur del Pozo 10, es motivo de especulación al presente. Se postula una probable área de ausencia, por cuanto la perforación de dicho pozo llevada por debajo de la profundidad que los estudios sismológicos asignaban para la inconformidad basal del Terciario no encontró sedimen-

tos que pudieran ser identificados como Toro. Sin embargo, será necesario esperar otras perforaciones antes de resolver este aspecto de la cuestión.

b) *Afloramientos.*

Los mejores afloramientos del Toro, ocurren, como lo muestra la figura 2 en las regiones sur y norte-este de la Concesión. En el área sur, los afloramientos están relacionados a las estructuras de Mugrosa y San Luis, en tanto que al nor-este se encuentra un excelente afloramiento relacionado a la gran falla de La Salina y posiblemente a la falla directa de Putana. En este afloramiento puede determinarse con claridad una inconformidad en el contacto Toro (La Paz) y Lisama.

Esta discordancia se marca no solamente por la angularidad del contacto sino principalmente por la presencia hacia la base del Toro de sedimentos retrabajados que han sido identificados sin lugar a dudas como pertenecientes al Lisama. Este hecho permite establecer la existencia de una discordancia en el tiempo entre Lisama y La Paz al menos en esta localidad.

DESCRIPCION DE LOS ANALISIS

Se hace en seguida una descripción de los exámenes que se adelantaron sobre muestras del Toro en los Laboratorios de la Cities Service Research Co. (Tulsa), y se describen los resultados obtenidos con cada uno de ellos.

1º *Análisis petrográfico.*

El análisis petrográfico del Toro, no indicó características diferentes a las ya conocidas. Gartner (Ecopetrol, Informe privado, 1966) adelantó un estudio petrográfico del Toro que ofrece más detalles. De su descripción, extractamos lo siguiente:

“Al microscopio se aprecia una pasta o matriz arcillosa clara a amarillo marrón. Se presentan pequeñas zonas en las cuales la matriz toma un carácter isotrópico. La matriz engloba una cantidad apreciable de granos de cuarzo, en parte con extinción ondulatoria. El tamaño de estos granos es bastante variable aunque predominan los finos; también se encuentran del tamaño de arena y varios gruesos que sobresalen en la matriz.

“En cuanto a los minerales secundarios el más común es el mineral de hierro. Generalmente se presenta en pequeños cristales (pirita, magnetita) diseminados en la matriz, y en masas (hematita, limonita) relleno de grietas y fracturas irregularmente distribuidas. Hay zonas en las cuales la concentración de la hematita y la limonita es muy notoria, lo que da a la matriz una tonalidad amarillo-rojiza.

“Otro de los minerales secundarios característicos es el carbonato de hierro, siderita, que se presenta en cristales bastante grandes, que muestran clivaje romboidal y acompañada generalmente de calcita

ya que la siderita ha sido formada por el reemplazamiento de la calcita por hierro. La siderita muestra fracturas muy pequeñas rellenas de hematita.

“La clorita y pequeños cristales de mica hacen parte de la matriz; así mismo, ocasionalmente se aprecian oolitos de calcedonia. Minerales microscópicos de tipo pesado como zircón, turmalina, epidota, también están presentes, aunque en muy poca cantidad.

“De acuerdo con su composición esta roca se podría clasificar como una *lutita arenosa*. No está por demás advertir que la roca no presenta al microscopio indicio alguno de estratificación, fisilidad, laminación u orientación de los componentes, cosa por demás típica en las lutitas o shales...”.

2º *Análisis de difracción por Rayos X.*

Para realizar este tipo de análisis, se preparan dos clases de muestras a saber: muestra completa y muestra fraccionada.

Verificado el análisis, se obtienen gráficos de difracción como el que se ilustra en la figura 3. Este gráfico tiene como abscisa ángulos 2ϕ a una escala apropiada y como ordenada una escala relativa de intensidad. Los ángulos a los cuales aparecen los diferentes picos permiten identificar los minerales o planos cristalográficos de los minerales que los producen. Puede entonces apreciarse poca calcita (?) o feldespatos, abundante cuarzo, abundante caolinita y halloisita y gran porcentaje de material amorfo, no identificado que es la masa que, en general constituye la matriz “afanítica” del Toro. Es bastante probable que un buen porcentaje de este material amorfo corresponda a minerales de hierro.

La presencia de los constituyentes antes mencionados, la existencia del material “amorfo” y las proporciones relativas de estos elementos en la constitución de la roca tienden a señalar un origen sedimentario pero no descarta la posibilidad de que estemos en presencia de un depósito de tipo volcánico.

3º *Análisis electromicroscópico.*

La figura 4 es una microfotografía del Toro, con una ampliación de 34.500 diámetros. En ella se observan abundantes cristales de cuarzo, algunos de ellos bastante meteorizados, así como cristales de caolinita y halloisita, escasos cristales de illita y abundante material amorfo de muy difícil identificación. La figura 5 es una fotografía de la misma muestra, ampliada a 42.400 diámetros. En ella se observa mejor el carácter meteorizado de los cristales de cuarzo, pero la resolución en general es bastante pobre. Sin embargo se observan con cierta claridad algunos cristales de caolinita, halloisita y unos pocos cristales de illita, típicamente alargados.

CONCLUSION

En este estudio se ha pretendido dar una visión general de los conocimientos que en la actualidad se tienen sobre el Toro así como

llamar la atención sobre el interesante problema que presenta el origen y correcta definición litológica de esta roca: Igualmente se han descrito los análisis efectuados sobre algunas muestras del Toro, y los resultados así obtenidos con el ánimo de que ello sirva de base a futuros estudios sobre este tema. En todo caso es opinión del autor que la evidencia acumulada tiende a señalar para el Toro un origen sedimentario y que la de *lutita arenosa* puede ser una buena clasificación litológica para el mismo.

REFERENCIAS

- JULIVERT, M. (1961). Las estructuras del Valle Medio del Magdalena y su significación; *Boletín de Geología*, Univ. Ind. de Santander, n. 6, pp. 33-50.
- MORALES, L. G. y OTROS (1958). General Geology and Oil Occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia, *Habitat of Oil*, Symposium Am. Ass. Petr. Geol., pp. 641-695, 29 fs., Tulsa.
- WHEELER, O. C. (1935). Tertiary Stratigraphy of the Middle Magdalena Valley, *Proc. Acad. Nat. Science, Philadelphia*, v. 87, pp. 7-39.