

IDENTIFICACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE CRUDOS, UTILIZANDO EL MÉTODO GEOQUÍMICO "HUELLA DIGITAL" EN LAS FORMACIONES GUAFFITA Y NAVAY, CAMPO LA VICTORIA, CUENCA BARINAS APURE, VENEZUELA

IDENTIFICATION OF OIL DISTRIBUTION, USING THE "DIGITAL FINGERPRINTS" GEOCHEMISTRY METHOD IN THE GUAFFITA AND NAVAY FORMATIONS, LA VICTORIA FIELD, BARINAS BASIN - APURE, VENEZUELA

Edgar Chacín Benodetto¹, Ireneo Berrios²

Recibido: 31/3/09; Aprobado: 27/4/09

RESUMEN

El Campo La Victoria se encuentra en la región sur-occidental de Venezuela. Geológicamente, se localiza sobre el Arco de Arauca en la Subcuenca de Apure, donde la columna estratigráfica comprende las Formaciones río Yuca, Parángula y Guafita (Membros Guardulo y Arauca) del Terciario y Burgúita, Navay (Membros Ouevedo y La Morita), Escandalosa, Aguardiente y río Negro del Cretácico. En el área de estudio, la columna estratigráfica analizada abarca las Formaciones Guafita y Navay. El Miembro Ouevedo está constituido por dos unidades productoras: Ouevedo Superior y Ouevedo Inferior. A la vez, la unidad Superior se propone subdividir en tres subunidades productoras. El arco de Arauca ha originado, en su chamela, la erosión total de la Formación Burgúita y la erosión parcial de Ouevedo Superior. Por otra parte, el Miembro Arauca es también una unidad productora y suprayace, con discordancia angular, al Miembro Ouevedo. Las secciones estratigráficas, con dirección N40°E, muestran que en la parte central del campo se localiza el eje del Arco, lugar donde la subunidad inferior coalesce con el Miembro Arauca, lo cual permite formular la hipótesis de que ambas unidades forman una sola unidad de flujo. También se realizó el estudio de la fracción liviana a diferentes tipos de crudos en toda la columna productora del campo, reforzando tal aseveración, ya que ambas unidades estratigráficas contienen el mismo tipo de hidrocarburo. Esto permitirá emprender una campaña para probar la relación entre los yacimientos y reorientar el programa de perforación y rehabilitación de los pozos en el campo. Palabras clave: Apure, arco de Arauca, discordancia angular, erosión, Formación Navay.

ABSTRACT

La Victoria Field is located in the Venezuelan south western region. Geologically, it is situated on the Arauca Arc of the Apure sub-basin, where the stratigraphic column comprises the Río Yuca, Parangula and Guafita (Guardulo and Arauca Members), of Tertiary age, and Burgúita, Navay (Ouevedo and La Morita Members), Escandalosa, Aguardiente and Río Negro, of Cretaceous age formations. In the study area, the analyzed stratigraphic column includes the Guafita and Navay Formations. The Ouevedo Member is composed of two production units: Upper Ouevedo and Lower Ouevedo. Subdivision of Upper Ouevedo Member into three production subunits is proposed. The Arauca Arc has generated in its hinge, the total erosion of the Burgúita Formation and the partial erosion of Upper Ouevedo Member. On the other hand, the Arauca Member, which is also a production unit, overlies with angular unconformity the Ouevedo Member. Stratigraphic sections, with N40°E strike, show that the Arc's axis is located in the middle of the field, where the lower subunit coalesces with the Arauca Member, which allows formulating the hypothesis that both units constitute a single hydraulic flow unit. Besides that, several oil type light fraction studies had also been carried out on the entire field production column, reinforcing our hypothesis, since both units contain the same type of hydrocarbon. This will launch a campaign to clarify the relationship between deposits and redirect the drilling and rehabilitation programs of wells in the field. Key words: Angular unconformity, Apure, Arauca Arc, erosion, Navay Formation.

INTRODUCCIÓN

El Campo La Victoria está ubicado en la subcuenca de Apure, en Venezuela, aproximadamente a 620 km al suroeste de la ciudad de Caracas (Figura 1). Posee más de 50 pozos petroleros y consta de tres formaciones petrolíferas (Figura 2), dos pertenecientes al período Cretácico (Formaciones Escandalosa y Navay), y en el Terciario la Formación Guafita. Fue descubierto en el año 1984 con la perforación del pozo 1X (Figura 1) y delimitado con la perforación de otros cuatro pozos exploratorios. Estructuralmente, está formado por dos estructuras principales: a) un anticlinal orientado N-S, bien definido, que cierra al este contra una falla inversa cuyo rumbo aproximado es N15°E y que supera los 400 pies de desplazamiento, y b) por el Arco de Arauca, el cual atraviesa los campos La Victoria y Guafita en sentido N77°O (Figura 1). Sobre la chamela del arco puede observarse la mayor sección erosionada del Cretácico. Así, la Formación Burgúita ha sido profundamente erosionada, mientras que la Formación Navay

lo fue sólo en un 50 %. Esto ocasionó que la unidad productora de petróleo del Oligoceno, el Miembro Arauca de la Formación Guafita, repose directamente en discordancia angular sobre la unidad productora de la Formación Navay (Ouevedo Superior). Las secciones estratigráficas muestran que en dicho eje ambas unidades petrolíferas coalescen, lo que conlleva a formular la hipótesis: de que la subunidad inferior de Ouevedo Superior fue la vía principal de migración de hidrocarburo hacia el Miembro Arauca. Como elemento de comprobación de dicha hipótesis, se realizó el estudio de la fracción liviana a varios crudos provenientes de toda la columna productora del campo, lo cual refuerza tal aseveración, ya que ambas unidades estratigráficas contienen el mismo tipo de hidrocarburo. Esto permitirá emprender una campaña para precisar la relación entre los yacimientos en las formaciones Guafita y Navay, e

¹Geo¹, PDVSA División Centro Sur, e-mail: chacin@epdvsa.com

²Ing^oQuim^o, PDVSA Intevep, e-mail: berrios@pdvsa.com



Figura 1. Ubicación geográfica del campo La Victoria.



Figura 2. Columna estratigráfica y registro tipo.

estructurales y estratigráficas orientadas en sentido perpendicular a su chamela (Figura 5B y 7). La segunda estructura es un anticlinal de rumbo norte-sur, bien definido, que cierra al este contra una falla inversa, denominada falla La Victoria, cuyo rumbo aproximado es N15°E y que supera los 400 pies de desplazamiento (Figuras 1 y 3).

ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA FRACCIÓN LIVIANA DEL CRUDO

El petróleo es una mezcla compleja de cientos de compuestos y cada uno de éstos tiene su carácter particular, el cual puede ser modificado por la interacción con la roca, con los diferentes fluidos y las condiciones de temperatura y presión. Cuando un crudo permanece por un determinado tiempo geológico en un yacimiento, él tiene tiempo suficiente para homogeneizarse en dicho recipiente y, a la vez, adquirir ciertas características inherentes a dicho recipiente. Los yacimientos, aun cuando sean de una misma edad y con una misma litología, siempre presentan pequeñas diferencias, tales como contenido de finos, comontos y trazas de metales; adicionalmente, cada yacimiento o unidad de flujo puede ser afectada diferencialmente por diferentes factores, tales como lavado por agua (la presencia de agua, bien sea agua atrapada sin circulación (Aguas conativas) o aguas móviles en diferentes proporciones), biodegradación, fraccionamiento evaporativo, entre otros. Por otro lado, debe ser considerada la coexistencia producto del contacto discordante (en algunos casos angular), entre yacimientos de diferentes edades y características, que traen

igualmente reorientar el programa de perforación de desarrollo y rehabilitación de los pozos en el campo.

ESTRATIGRAFÍA

La figura 2, muestra la columna estratigráfica del área de estudio, la cual está representada por tres periodos geológicos: El Pre-Cretácico está formado por rocas de edad Jurásica. El Cretácico está representado por cuatro formaciones: 1) Formación río Negro (Neocomiense-Barremiense), 2) Formación Aguardiente (Albionse Medio); 3) Formación Escandalosa (Coniacionse - Turonense), esta formada por espesores decamétricos de areniscas, lentes de caliza y lutitas; y 4) Formación Navay (Coniacionse - Campaniense) dividida en el miembros La Morita, cuya principal litología es la lutita y el Miembro Quevedo compuesto por areniscas, calizas y lutitas. La Formación Burgulla está presente en la subcuenca de Apure sin embargo en este campo se encuentra erosionada. Finalmente, el Terciario comprende las formaciones Guafila, con sus Miembros Guardulfo y Arauca (Oligoceno-Mioceno Temprano), y Parángula y río Yuca (Mioceno - Plioceno) (Fco Cedeño et al., 1984; Kiser, 1992).

FORMACIÓN NAVAY

La Formación Navay está dividida en dos miembros Quevedo y La Morita (Kiser, 1992) con un espesor promedio en el campo La Victoria de 350 pies (107 m) (Figura 2). El Miembro Quevedo es dividido informalmente en tres unidades: Quevedo Superior, Quevedo Medio y Quevedo Inferior. A la vez, Quevedo Superior se propone dividirlo en tres subunidades (Sup., Mod. e Inf.), debido a la diferenciación que existe entre los crudos según los resultados obtenidos a través del análisis de la fracción liviana de los mismos. Para diciembre de 2008, la producción acumulada de Quevedo Superior era de 9,4 millones de barriles de petróleo (1,49 millones de m³), de los cuales, la subunidad superior representó el 85 %, la subunidad Media, el 12% y la subunidad Inferior, el 3%.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El campo La Victoria está dominado principalmente por dos elementos estructurales, el primero es el Arco de Arauca, ubicado cerca de la frontera Colombo-Venezolana, su eje tiene sentido Noroeste-Sureste, el cual atraviesa los campos Guafila y La Victoria (Kiser, 1989). Su expresión estructural ha sido detallada en el campo La Victoria por secciones

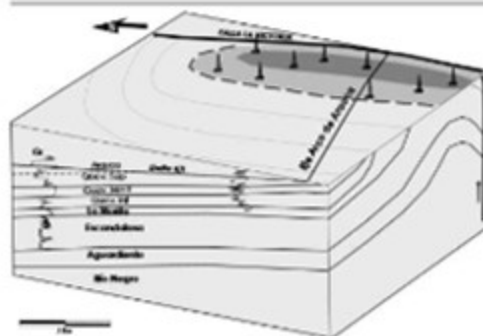


Figura 3. Representación estructural del campo La Victoria en bloque diagrama.

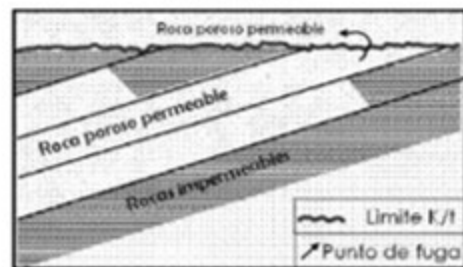


Figura 4. Punto lateral de fuga, controlado estratigráficamente. Modificado de Magoon et al. (1997).

dominada "matriz de similitud", que no es más que el producto de la resta positiva de cada una de las relaciones. Mientras más cercano a cero resulta esta diferencia, más similitud tendrá cada relación. En la figura 6, se resumen los resultados de este análisis, para efectos visuales, se tomaron las quince relaciones que presentaron las mayores diferencias y se graficaron en un diagrama estrella en forma logarítmica (Figura 7).

A través del análisis de la fracción liviana de los crudos, se infiere comunicación entre el Cretácico y el Terciario. Por ejemplo, el pozo B (productor en la base de Quevedo Superior), y los pozos D y E (productores en Arauca Inferior) (Figuras 5.B y 7) presentan características similares en el gráfico de estrella; esto quiere decir, que han tenido comunicación entre sí. Los pozos A, B y C pertenecen a diferentes subunidades del Miembro Quevedo Superior y los diagramas estrellas son distintos entre ellos, es decir, se encuentran en compartimentos diferentes. La sección estratigráfica muestra que las unidades donde se encuentran los intervalos cañoneados no pertenecen al mismo intervalo estratigráfico, es decir, no se correlacionan (Figura 7). Por este motivo, se recomienda separar el Miembro Quevedo Superior en tres subunidades operacionales (Inferior, Medio y Superior). Los resultados del análisis de la fracción liviana de los crudos que se realizó a la subunidad inferior de Quevedo Superior y el Miembro Arauca Inferior, nos permiten concluir que ambos han tenido comunicación entre sí ya que, la distancia

como consecuencia la posible comunicación vertical de unidades de flujo con propiedades diferentes (Labrador, 2007). El campo Pérez-Mingo de la subcuenca de Barinas, se caracteriza por presentar el sello erosionado del Miembro La Morita (Chacín et al., 2008), lo que originó un punto lateral de fuga de hidrocarburos (Magoon y Dow, 1997) hacia la formación Gobernador (Figuras 4 y 5.A).

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

En diferentes puntos del campo La Victoria, se recolectó 1 muestra de crudo en 9 pozos, identificados con las letras A hasta I, los crudos proceden de las unidades estratigráficas del Miembro Arauca de la Formación Guafita, de los Miembros Quevedo Superior e Inferior de la Formación Navay y de los Miembros Superior y Medio de la Formación Escandalosa. La técnica aplicada consistió en estudiar la fracción liviana de los crudos, debido a que esta fracción tiene el mayor coeficiente de movilidad (o capacidad de movimiento en el recipiente) y, además, es la más reactiva, porque está constituida por compuestos con moléculas pequeñas y mientras más pequeñas, por lo general, tienen una mayor reactividad relativa (o capacidad de modificarse y/o interactuar con su entorno). Estas diferencias son muy sutiles y se encuentran a niveles de trazas, pero se pueden detectar con las herramientas adecuadas. El conjunto de todas estas relaciones se denomina Huella Digital (fingerprints) y, como su nombre lo indica, es única para cada crudo. Una vez determinadas estas relaciones para cada crudo, se realizó un proceso matemático para compararlos entre sí. Con las huellas digitales conformadas por 250 relaciones, se formó una matriz de 250 filas, por el número de muestras de crudos estudiados (las cuales forman el número de columnas de la matriz), obteniéndose como resultado una matriz

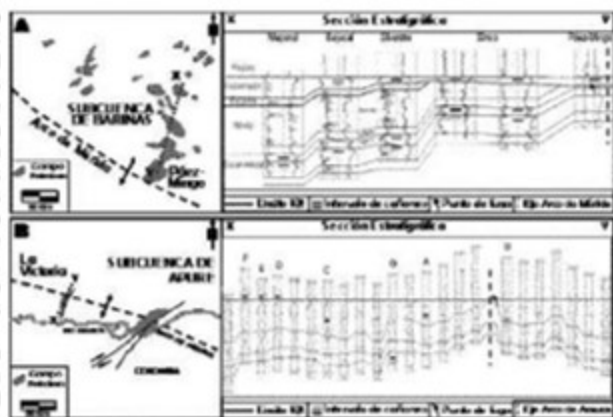


Figura 5.A. Sección estratigráfica Subcuenca Barinas. B) Subcuenca Apure, mostrando el lugar donde se origina el punto lateral de fuga.



Figura 6. Tabla de coeficientes críticos obtenidos de los análisis geoquímicos de la fracción liviana de los crudos estudiados.

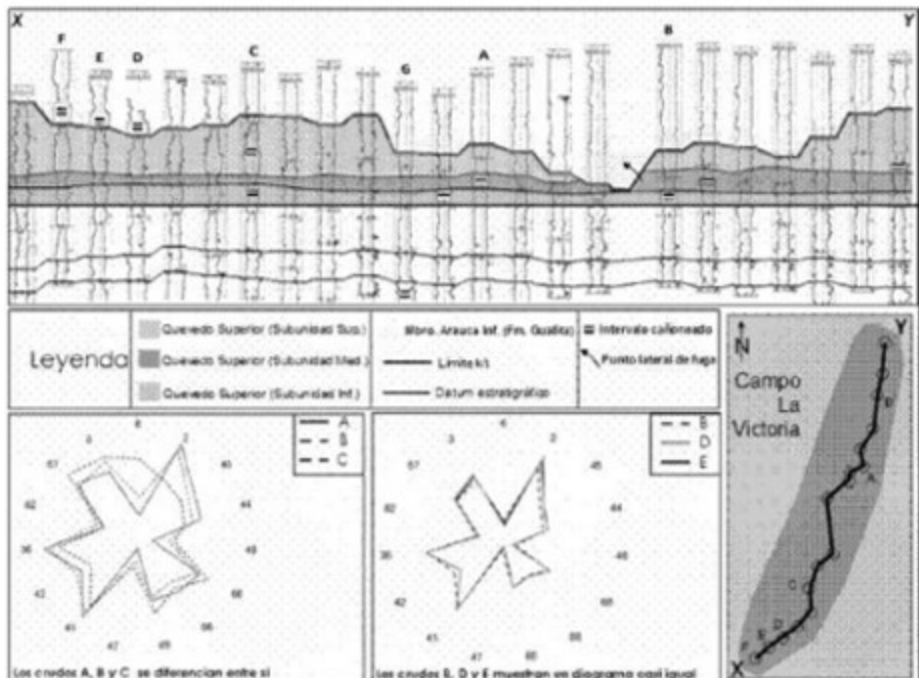


Figura 7. Correlación estratigráfica y diagrama estrella.

euclídea es la más cercana a cero. Adicionalmente y para argumentar aún más esta hipótesis, tenemos que hacia la parte central del campo, la discordancia angular pone en contacto ambas unidades, deduciendo que existe un punto lateral de fuga de hidrocarburos (Magoon y Dow, 1997), permitiendo la migración del hidrocarburo de una unidad a otra (Figura 7).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A pesar de la estructura compleja del campo La Victoria, el estudio de la fracción liviana de los crudos, muestra una buena relación entre los crudos de el pozo B ubicado en el centro del campo, y los pozos D y E hacia el sur. Estos resultados permiten concluir que existe una posible conexión entre la subunidad inferior de Quevedo Superior del Cretácico y el Miembro Arauca Inferior del Terciario

a través de la parte central del campo.

Los cruces de los pozos A, B y C difieren entre sí, es decir, se encuentran en compartimentos diferentes. Por esta razón se recomienda dividir el Miembro Quevedo Superior en tres subunidades operacionales (Inferior, Medio y Superior). Con esta nueva interpretación, la subunidad inferior de Quevedo Superior y Arauca Inferior, pudieran ser completadas en forma conjunta, en la parte central del campo, mediante la perforación y reacondicionamiento de pozos, permitiendo incrementar el potencial de producción de los yacimientos.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a PDVSA División Centro Sur por permitirnos y apoyarnos en la publicación de este trabajo.

REFERENCIAS

Chacín, E., Esteves, A. y Ángel, F. (2008). Búsqueda de hidrocarburos en la Formación Escandalosa del período

Cretácico en el campo Guafita, Cuenca Barinas - Apure, Venezuela. VII Congreso Geológico de España. Memoria 162: P. xx.

Cocido, F., Smith, G., Aboud, F., y Di Giacomo, N. (1984). *Basement and Paleozoic rocks of the Venezuelan Llanos Basins*. Geological Society of America. Memoria 162: P. 175-183.

Kiser, G. (1989). *Relaciones estratigráficas de la cuenca Apure-Llanos con áreas adyacentes Venezuela sureste y Colombia Oriental*: P 10

Kiser, G. (1992). *Geología de la Cuenca de Barinas*. No publicado. Corpoven, S.A.

Labrador, I. (2007). *Errores comunes que influyen en la cualificación de reservas de petróleo en yacimientos de rocas clásticas*. IX Congreso Geológico Venezolano. Memorias.

Magoon, L. y W.G. Dow (1997). *The Petroleum System from Source to Trap*: AAPG Memoir 60, P. 221.



UNA LECCIÓN DE GEOLOGÍA

LA CALLE DE PIEDRA EN CERRO AZUL, CIUDAD BOLÍVAR

Oswaldo De Sola¹

INTRODUCCIÓN

El Casco Histórico de Ciudad Bolívar, antigua Angostura, está construido sobre una península de topografía muy movida, rodeada cercanamente por colinas rocosas.

La tradición española para el trazado de ciudades imperó en la proeza realizada por Don Manuel Centurión y Guerrero al implantar una cuadrícula romana sobre el formidable afloramiento rocoso que estrecha el cauce del río Orinoco en esta parte.

Una de estas colinas periféricas es la existente en el sector El Porvenir de esta ciudad, llamado Cerro Azul, en la ribera de la laguna de El Porvenir, hoy casi desaparecida entre las instalaciones del Jardín Botánico.

En los tiempos coloniales esta colina impedía el paso directo desde la ciudad a las riberas de la laguna mencionada, donde existieron las sembraderas que suplían las hortalizas a los angostureños. Los hortaleros tenían que hacer un largo rodeo, hacia el Norte para acceder a la población por la Alameda o hacia el Sur para alcanzar la plaza del Convento, hoy Centurión.

En 1917, el prócer Manuel Piar, sirvió la ciudad e invitó a los realistas su rendición a las fuerzas republicanas que luchaban por la independencia de Venezuela. Los españoles usaron esta colina para instalar la Batería N° 5, que impidió el paso de la caballería patriota que pretendía alcanzar la Alameda bordeando la laguna y entrar a la ciudad.

En 1919, el Presidente del estado Bolívar, Marcelino Torres García, con motivo de cumplirse el Primer Centenario del Congreso de Angostura, ordenó la construcción de una trinchera en la prolongación de la calle El Progreso hacia el Este, para comunicarla con las riberas de la laguna El Porvenir. (Véase figura 1).

Desde el punto de vista geotécnico, ésta es una trinchera mal hecha, pues fue excavada por presos inoperarios dirigidos por los pobres facultados Coronel Chopo de Piedra de la época gomera. Sin embargo, la primitiva excavación y la formidable estructura del macizo rocoso aflorante, nos ofrece la oportunidad de utilizar el sitio como escenario para la enseñanza de los geólogos.

DESCRIPCIÓN DEL SITIO

Las rocas que constituyen a Cerro Azul, pertenecen a la parte más antigua del Complejo de Imataca (Precámbrico). Son granulitas máficas con escaso o ningún bandeado, intrusadas en partes, profusamente por

material félsico en forma de vetas pegmatíticas con bandas de alteración y estructuras *liparilit*.

La mayor parte de la roca es una granulita piroxénica negra equigranular gruesa con cristales de biotinita bien desarrollados.

El macizo rocoso aflora por una extensión de unos 50 metros a lo largo del extremo oriental de la calle El Progreso, llamada en ese sector la calle de Piedra, presenta varios sistemas de diaclasas muy bien desarrollados, que limitan las caras de bloques prismáticos de gran tamaño. Desde la calzada hasta la coronación del corte, media una altura irregular de 5 a 7 metros, aproximadamente.

La trinchera posee taludes sumamente irregulares tanto al Norte como al Sur, pues ellos son el resultado de los bloques rocosos que quedaron en equilibrio después de haber retirado el producto de la excavación hecha con barrenos de dinamita colocados sin ningún ordeno patrón.

La roca intacta usualmente constituye la totalidad de los taludes, con la sola excepción de unos 2 ó 3 metros de espesor de roca meteorizada hacia el extremo occidental de la calle (calle Daila Costa), donde se observa en el talud Norte la estructura típica de conchas de exfoliación causadas por los dramáticos cambios de temperatura entre la noche y el día experimentados en Ciudad Bolívar, que alcanzan con frecuencia hasta 15°C.

En la figura 2 se observa a ambos lados de la calle, las diaclasas que cortan el macizo rocoso.

ANÁLISIS DE LAS DIACLASAS

Los datos de campo recogidos en la calle de Piedra, se muestran en la figura 2, en la cual se anotan los rumbos y buzamientos de cada diaclasa, con sus respectivos valores y frecuencia.

En la figura 3, de manera gráfica, se destacan los sistemas conjugados de diaclasas y la combinación de ellos para formar los bloques rocosos que eventualmente podrían deslizarse o permanecer en equilibrio.

Un análisis más objetivo desde el punto de vista geotécnico, se realiza por medio de proyecciones estereográficas.

¹ Geólogo, Profesor Titular jubilado. Presidente Fundación Museo Histórico de Guayana, Ciudad Bolívar. e-mail: osola@extelmail.com