

## Modelo sedimentológico de los yacimientos G9 y G10 del campo Guafita Norte, área Apure, Venezuela

### Sedimentological model for G9 and G10 reservoirs. North Guafita field, Apure area, Venezuela

Hurtado, Maria<sup>1</sup>; Delgado, Maria<sup>1</sup>, Palacios, Zonia<sup>1\*</sup> y Escalante, José<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Geológica. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Venezuela.

<sup>2</sup> PDVSA. División Centro Su. Superintendencia de Yacimientos. Estudios Integrados Apure.

\*zoniap@ula.ve

Recibido: 26-04-2007

Revisado: 11-02-2008

#### Resumen

*El campo Guafita se encuentra situado a unos 43 km al suroeste de la población de Guasqualito en el Estado Apure. Este campo está dividido en Guafita Norte y Guafita Sur por una falla mayor, denominada Guafita Caño Limón. El objetivo principal de este trabajo, es el de generar un modelo sedimentológico para los Yacimiento G9 y G10 del campo Guafita área Norte, perteneciente al miembro Arauca de la formación Guafita. Para generar el modelo sedimentológico de los yacimientos se procedió a realizar la descripción macroscópica de los núcleos. Así mismo, se realizaron las correlaciones estratigráficas para determinar base y tope de los yacimientos y observar la continuidad lateral de los cuerpos de arena, a partir de los cuales se generaron los mapas de electrofacies que conllevaron a la realización de los mapas de facies, para los que se identificaron 4 asociaciones: canales distributarios, barras de desembocadura, llanuras interdistributarias, y complejo de canales distributarios. Para validar los mapas de facies se realizó una revisión del modelo petrofísico, a partir de los cuales se realizaron los mapas de isopropiedades que se cotejaron con la interpretación de facies. Finalmente los yacimientos fueron modelados en 3D logrando visualizar que el mayor desarrollo de canales para G9 y G10 se ubica hacia la parte central y noreste de los campos. A partir de la información recopilada se puede concluir que el ambiente de deposición descrito para los yacimientos G9 y G10 fue el de un sistema deltaico progradante con dominio de marea.*

**Palabras clave:** Guafita, miembro Arauca, sedimentológico, delta, marea.

#### Abstract

*The Guafita field is located 43 km southwest of Guasqualito in Apure state. This field is divided in south and north Guafita by the greater fault, Guafita Caño Limón. Present work goal, is to make a sediment model for the G9 and G10 deposits in Guafita field north area, pertaining to the Araucan member in Guafita formation. In order to generate the deposits sediment model we proceeded initially to make the nuclei macroscopic description. Then to determine the deposits cap and top and to observe sand bodies lateral continuity, stratigraphic correlations were performed. In facies maps realized from electrofacies we identified 4 associations: distributary channels, opening bars, interdistributary plains, and distributary channel complex. To validate facies maps from which the isopropieties maps that were cross-checked with the facies interpretation were made, a reconsideration of the petrophysical model was made. Finally the deposits were modeled in 3D and we observed that the greater development of channels for G9 and G10 is located towards fields' central and northeast area. From obtained information can be concluded that the deposition atmosphere described for G9 and G10 deposits was that of a deltaic system with tide dominion.*

Key words: Guafita, Arauca member, sedimentologic, delta, tidal.

## 1 Introducción

La integración multidisciplinaria de los modelos estático que se estructura del análisis del modelo geofísico, estructural, sedimentológico, estratigráfico y petrofísico, que conlleva a generar el modelo estocástico y el modelo dinámico con el objetivo de generar un plan de explotación óptimo que garantice buenos resultados, es la finalidad del estudio integrado de un yacimiento.

El modelo sedimentológico se establece en base a una metodología cuyo objetivo principal es definir la geometría, orientación, distribución y calidad física de los cuerpos. La caracterización sedimentológica comienza con la descripción macroscópica de muestras de roca, ya sea de núcleo, muestras de pared o de canal en el caso que estén disponibles. La información que se obtiene de los núcleos es calibrada con los perfiles eléctricos a fin de extrapolar la información a pozos vecinos, a partir de la cual se identifican las distintas facies presentes a lo largo del yacimiento. El objetivo del análisis de facies es la construcción de un modelo geológico que describe un ambiente sedimentario determinado, cuya identificación es de gran importancia ya que este incluye el lugar y conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas en que se realiza la acumulación de sedimentos, lo cual va a condicionar las propiedades de las facies y por lo tanto el entrapamiento y circulación de hidrocarburos.

Para la realizar el modelo estocástico final de los yacimientos G9 y G10 del campo Guafita Norte se hará una revisión del modelo estructural, petrofísico, geofísico y estratigráfico del área con el fin de validar dicha información para integrarla al modelo sedimentológico y lograr visualizar en 3D el conjunto de propiedades presentes en dichos yacimientos.

## 2 Antecedentes

El campo Guafita Norte, como se puede observar en la Fig. 1, está ubicado a 43 Km, Sur-Oeste de la Población de Guasdualito, Municipio El Amparo, Distrito Páez, Estado Apure, Venezuela y presenta una Extensión de 9907.4acres (41093003.1750 m<sup>2</sup>). CORPOVEN, S.A. realizó la perforación del primer pozo exploratorio del área en 1984, el Guafita-1X, este pozo probó 2000 Barriles Netos de Petróleo por día (BNPD) de 29,8° API, siendo así el pozo descubridor de este campo de crudo mediano completado por flujo natural. Los primeros cuatro pozos exploratorios de CORPOVEN, S.A., fueron perforados en el bloque norte del Campo Guafita, del lado levantado de la falla Guafita – Caño Limón, con resultados exitosos pero solamente atravesando una delgada columna petrolífera de aproximadamente 40 pies de espesor, correspondientes a los Yacimientos G9 y G10.

Entre los trabajos de investigación realizados previamente sobre los yacimientos G9 y G10; y que han aportado información valiosa, se destacan:

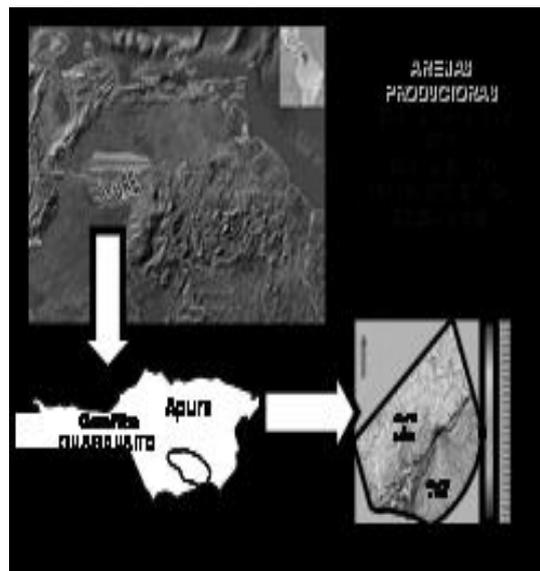


Fig. 1. Ubicación del área de estudio

- Bristow (1986) en Limongi (2000), realizó un informe para Corpoven, S.A. en el que desarrolla la geología del campo Guafita. Para el momento de la realización de este informe se habían perforado diez pozos en total, de los cuales seis correspondían al bloque Norte.
- Parnaud et al.(1995) en Limongi (2000), realizan una síntesis estratigráfica de Venezuela Occidental donde dividen la depositación de la Formación Guafita en dos secuencias, la primera desde el Eoceno tardío hasta el Oligoceno temprano, bajo condiciones marinas (Miembro Arauca) y la segunda, desde el Oligoceno tardío hasta el Mioceno temprano durante una extensa transgresión (Miembro Guardulio).
- Maldonado et al. (1997), realizaron un informe técnico el cual consiste en la Evaluación Estática de los Yacimientos G7-2a, G7-2b, G7-3/4, G8, G9 y G10. En el estudio se identificaron 4 discontinuidades estratigráficas, se divide en tres unidades sedimentarias la formación Guafita y se valida el carácter sellante de la falla Caño Limón.
- Gerencia de Servicios Tecnicos, PDVSA Sur (1998), Realizó un estudio geológico de los yacimientos G9 y G10 del campo Guafita Norte, definiendo sedimentología, geología estructural y petrofísica del área.
- Rivero et al. (2001), realizaron un modelo dinámico con la finalidad de desarrollar estrategias de explotación y producción del Yacimiento G10 del campo Guafita Norte; donde se llegó a la conclusión que el caso simulado más favorable económicamente es el de perforar 9 pozos verticales con un VPN de 53508 MMBs y un TIR de 379%.

La Tabla 1, muestra las principales características de los yacimientos G9 y G10, tomados de los datos oficiales registrados en el libro de reservas de la cuenca Barinas-Apure 2004, con la excepción del petróleo acumulado y los pozos activos.

Tabla 1. Información oficial del libro de reservas

| Variables               | Valores                                   |
|-------------------------|---|
| Peso específico         | 876-887 kg/m <sup>3</sup><br>(28-30 °API) |
| Porosidad               | 18-25%                                    |
| Permeabilidad           | 0,8-6 Darcy                               |
| Viscosidad a 49 °C      | 8-70 cp                                   |
| Contenido de metales    | 0,2-95 ppm                                |
| Relacion gas – petróleo | 7-10 PC/B1                                |
| Saturacion de agua (Sw) | 10-40%                                    |
| Presion de yacimiento   | 3000-3500 lppc                            |
| Temperatura             | 88-99 °C                                  |

| UNIDAD GEOCRONOLÓGICA | ÉPOCA       | FORMACIÓN          | MIEMBRO II. INFORMAL      | ESPESOR (PES) | OBSERVACIONES  |           |       |           |           |                   |          |            |             |  |             |             |   |
|-----------------------|-------------|--------------------|---------------------------|---------------|--|-----------|-------|-----------|-----------|-------------------|----------|------------|-------------|--|-------------|-------------|---|
| CUATERNARIO           | PLEISTOCENO | ROYUYA Y PARÁNGULA |                           | 5000'         | ACTIVAS ROTASAL INTERCALARES CON ARENIZAS Y COQUELIMBROS |           |       |           |           |                   |          |            |             |  |             |             |   |
| NEÓGENO               | MIOCENO     | GUAFITA            | G-7<br>G-8<br>G-9<br>G-10 | 4'-800'       | LITITAS CON INTERCALACIONES DE ARENIZAS Y COQUELIMBROS   |           |       |           |           |                   |          |            |             |  |             |             |   |
|                       |             |                    |                           |               |  | PLIOCENO  |       |           |           |                   |          |            |             |  |             |             |   |
|                       | PALEÓGENO   |                    |                           |               |  | OLIGOCENO | NAVAY | LA MOJITA | 50' - 90' | LITITAS PARAFISAS |          |            |             |  |             |             |   |
|                       |             |                    |                           |               |  |           |       |           |           |                   | CRETACEO | ESCADALOSA | 200' - 400' | CALIZAS FINAS ARENIZAS Y ARENIZAS PETROLIFERAS |             |             |   |
|                       |             |                    |                           |               |  |           |       |           |           |                   |          |            |             |  | ABUARDIENTE | 685' - 935' | ARENIZAS Y CALIZAS INTERCALARES CON LITITAS |
|                       |             |                    |                           |               |  |           |       |           |           |                   |          |            |             |  |             |             |   |

**3 Estratigrafía**

El basamento de la cuenca Barinas - Apure en el área de Guafita está compuesto por rocas metamórficas pre-cretácicas, sobre estas rocas descansan las formaciones Aguardiente, Escandalosa y Navay del cretácico y las formaciones Guafita, Parángula y Río Yuca del Paleógeno y Neógeno.

La estratigrafía atravesada por los pozos del área (ver Fig. 2) consiste en los sedimentos de la formación Guafita del oligoceno - mioceno, que descansan discordantemente sobre los sedimentos cretáceos del miembro Quevedo de la formación Navay. Dentro de la formación Guafita se diferencian cuatro unidades informales denominadas G-7, G-8, G-9 y G-10. En Guafita Norte, solamente las dos últimas tienen interés comercial y corresponden a yacimientos con el mismo nombre (G-9 y G-10).

**4 Modelo estructural**

El campo Guafita se encuentra separado en dos bloques (Guafita Norte y Guafita Sur) por un patrón de fallas denominado sistema de fallas Guafita Caño Limón. Este sistema de fallas está conformado por fallas transcurrentes de tipo dextral con 5 Km de movimiento horizontal. Con rumbo promedio de N 55° E.

El Campo Guafita Norte es el bloque de mayor área, está constituido por el flanco norte, eje y parte del flanco sur del anticlinal de Guafita que posee un rumbo general NE-SO y buzamiento muy suave hacia el NE. En la Fig. 3 se ilustra el modelo estructural del campo de forma esquematizada (Jorge Adrian, *com. pers.*) donde se observa como actuaron los esfuerzos a través del tiempo.

Fig. 2. Columna estratigráfica del campo Guafita

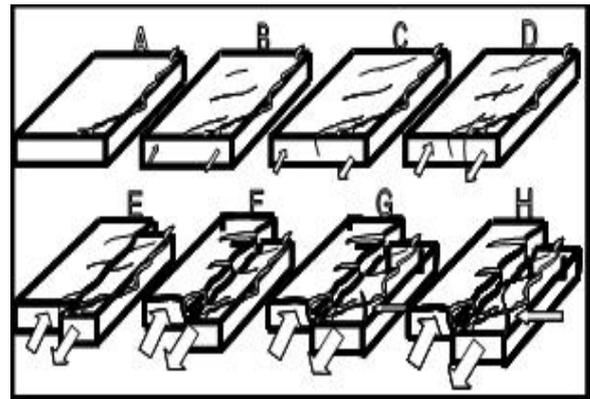


Fig. 3. Esquematización estructural del campo Guafita

La interpretación de datos sísmicos 3D de 70 Km<sup>2</sup> que cubrió el área de casi todo el Campo Guafita (ver Fig. 4) ha permitido definir con mayor detalle la estructura, determinar con mayor precisión la ubicación de las fallas más importantes, como la Guafita Caño Limón, identificar fallas menores y hacer una mejor delineación de la misma.

**5 Modelo sedimentológico**

Para la realización del modelo sedimentológico se comenzó con el estudio de los núcleos existentes en el campo Guafita Norte, el cual cuenta con tres (3) muestras correspondientes a los pozos GF-2X, GF-16 y GF-143, el primer paso fue la calibración de los núcleos para lo cual se tomaron los registros eléctricos de Rayos Gamma de los pozos y

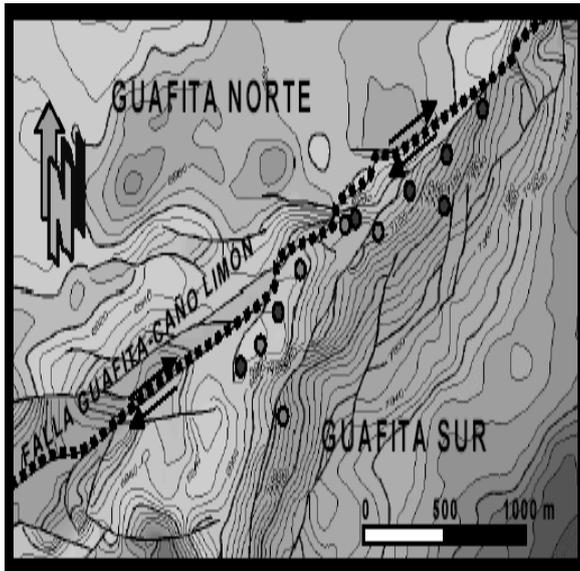


Fig. 4. Visualizaciones sísmicas del campo Guafita

los registros de Core – Gamma obteniéndose el desfase para cada uno de ellos, esto con el fin de realizar la calibración Núcleo – Perfil que permitirá correlacionar las facies sedimentarias descritas con el resto del campo.

La descripción macroscópica y microscópica de los núcleos tomo en cuenta características tales como: litología, estructuras sedimentarias, minerales accesorios, mineralogía, tamaño y forma de los granos; entre otros, lo que permitió identificar el desarrollo de seis (6) facies sedimentarias para el campo:

- FACIES L: Lutitas compactas, físilas, con presencia de materia orgánica.
- FACIES H: Secuencias heterolíticas de lutitas, limolitas y areniscas de grano fino a muy fino intercaladas, estructuras tipo flasser, abundantes bioturbaciones y restos de materia orgánica.
- FACIES S1: Areniscas de grano fino a medio, con intercalaciones de lutitas y limos, abundantes materia orgánica y bioturbaciones.
- FACIES S11: Areniscas de grano fino a medio sin intercalación de finos.
- FACIES S3: Areniscas grano medio a grueso, con presencia de capas delgadas de finos y materia orgánica, masivas.
- FACIES St: Limolitas compactas.

Luego de identificadas las facies sedimentarias se realizó el mallado de secciones estratigráficas, mediante el cual se observó la continuidad lateral y vertical de los cuerpos (ver Fig. 5), y junto al estudio de las tendencias de los registros eléctricos de rayos gamma se interpretaron las distintas facies que permitieron la elaboración de mapas de facies para cada lente del yacimiento G9 y para el yacimiento G10 (ver Figs. 6 y 7).

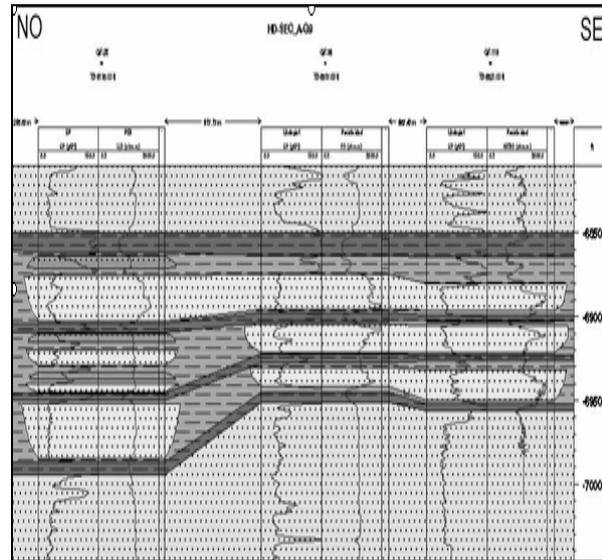


Fig. 5. Sección estratigráfica en sentido Noroeste – Sureste del yacimiento G9

Las asociaciones de facies interpretadas son las siguientes:

- Canales distributarios: tendencia tipo campana y patrones cilíndricos en registros eléctricos de rayos gamma.
- Barras de desembocadura: tendencia tipo embudo en los registros eléctricos de Rayos Gamma.
- Complejos de canales distributarios y llanuras interdistributarias: Combinación de tendencias cilíndricas y patrones irregulares en los registros eléctricos de Rayos Gamma.

Del estudio y revisión del modelo bioestratigráfico establecido para el Yacimiento G9 se observó la presencia de restos fósiles tanto de influencia marina como continental, lo que indica la complejidad estratigráfica que caracteriza este yacimiento, la influencia de las mareas en el proceso de sedimentación es el responsable del continuo retrabajo de

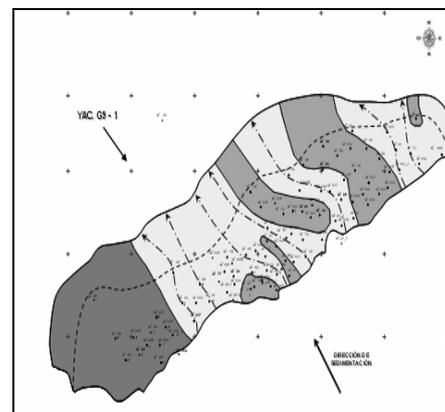


Fig. 6. Mapa de facies yacimiento G9-1

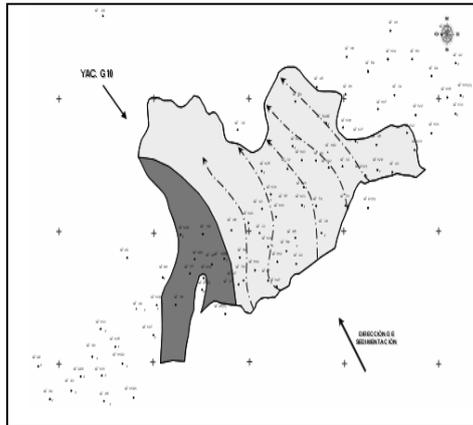


Fig.7. Mapa de facies yacimiento G10

los sedimentos y de la invasión y retiro constante de los mares sobre el área correspondiente a las arenas. Del estudio icnológico se identificaron *Thalassinoides* y *Skolithes* de las Icnofacies *Glossifungites* y *Skolithes*, respectivamente, refleja que el desarrollo del ambiente se ubica en la costa arenosa, es decir, se desarrolla en un ambiente litoral, según el esquema desarrollado por Buatois de relación de icnofacies con respecto a los diferentes sustratos.

El ambiente de sedimentación de la formación Guafita, se caracteriza por un complejo de canales distributarios activos y abandonados, abanicos de rotura, bahías y llanuras interdistributarias, canales de mareas y marismas pantano – costeras, propios de un sistema deltaico constructivo de llanura baja progradante, basado en la presencia de fauna diversificada, restos de plantas, icnofauna y por la abundancia de flora. Los yacimientos G9 y G10 se encuentran dentro del miembro Arauca de esta formación, al momento de determinar el ambiente de depositación para ambos yacimientos, se tomó en cuenta la descripción macroscópica de los núcleos, el análisis de secciones estratigráficas, la definición de la geometría externa de los cuerpos arenosos, la descripción de facies, interpretación de las electrofacies, entre otros; y haciendo analogía con columnas teóricas y ambientes sedimentarios existentes en la actualidad, se llegó a la conclusión de que los yacimientos G10 y G9 se depositaron en un ambiente de transición, bajo un sistema deltaico.

Mediante el estudio mineralógico realizado a través de los análisis petrográficos de secciones finas, además del análisis difracción de Rayos X, pudo constatare la existencia de glauconita en muy baja proporción y en intervalos de profundidad muy limitados, lo que implica invasión marina dentro del sistema sedimentario. Sin embargo la revisión del modelo bioestratigráfico mostró una diversidad de fauna indicativa tanto de ambientes continentales como marinos, lo que implica una fuerte influencia de las mareas en el sistema deltaico, lo que conlleva a un retrabajo de los sedimentos. El análisis de las icnofacies muestra una batimetría de 0–10m de profundidad con ocasionales exposiciones

sub-áreas. Del análisis de la geometría externa de los cuerpos sedimentarios y los mapas de facies interpretados donde las barras de desembocaduras se observan en sentido paralelo a la dirección de sedimentación establecida para el campo Guafita corrobora que el ambiente de sedimentario corresponde a un delta con dominio de mareas (ver Fig. 8).

Para el yacimiento G10 la sedimentación ocurre en la zona de transición entre la llanura deltaica distal y el frente deltaico donde se produce una enorme descarga de sedimentos provenientes de los canales distributarios, los enormes paquetes de arenas limpias señalan abundantes canales coalescentes los cuales se amalgaman consecutivamente. Para el yacimiento G9 la invasión marina progresa de manera gradual, ubicándose a nivel de la llanura deltaica media donde el depósito de barras dentro de un ambiente estuarino es la característica resaltante, las eventuales exposiciones sub – aéreas son el resultado de la acción de las mareas dentro del sistema de sedimentación.

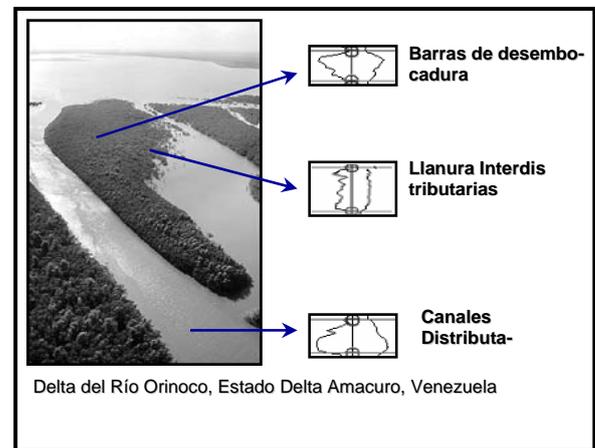


Fig. 8. Analogía del ambiente depositacional descrito para los yacimientos G10 y G9 con las respectivas electrofacies que definen los subambientes asociados

## 6 Modelo petrofísico

Para la revisión de las evaluaciones petrofísicas por pozo se analizó un modelo petrofísico en el programa QLA y otro en Petroview Plus de la Plataforma *GEOFRAME* de la empresa Schlumberger; los cuales se muestran en las Figs. 9 y 10. En la primera Fig. se presentan las curvas originales de Rayos Gamma, Resistividad profunda, además del Volumen de Arcilla, seguidas por un panel donde se tiene un análisis volumétrico del pozo pie a pie, seguido por las curvas de los resultados de la interpretación en sí, donde tenemos Porosidad Efectiva, Saturación de Agua y Permeabilidad; para la segunda se ilustran las condiciones del hoyo, Rayos Gamma, Resistividad Profunda y Permeabilidad, Porosidad, Saturación de Agua y un Análisis Volumétrico Integrado. Utilizando los parámetros básicos y ecuaciones petrofísicas además de toda la información existente-

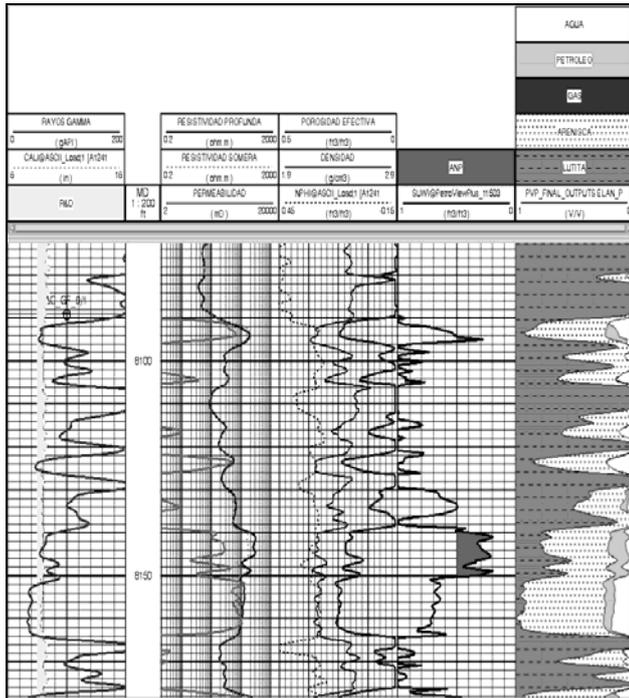


Fig. 9. Resultados obtenidos en las evaluaciones petrofísicas por pozo con el programa QLA.

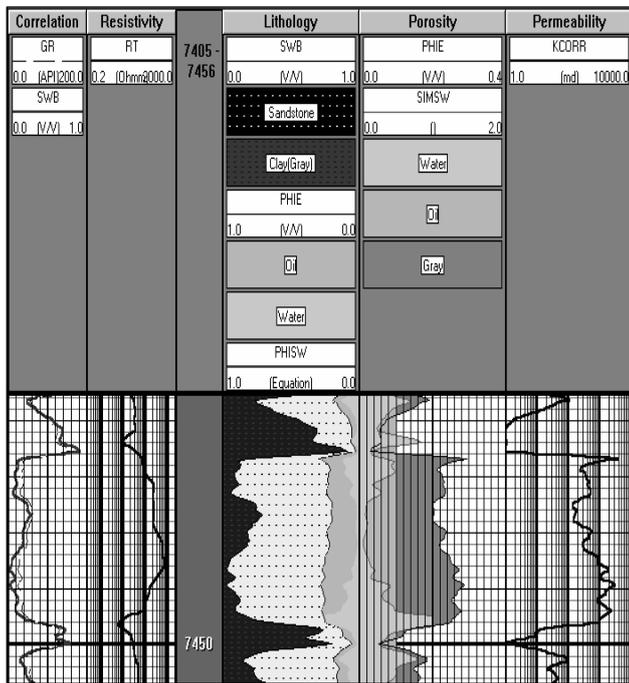


Fig. 10. Resultados obtenidos en las evaluaciones petrofísicas por pozo con el programa Petroview Plus

de los pozos evaluados en el campo Guafita área Norte en la arena G9 GF1 y G10 GF1 se obtuvieron los resultados promedio que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 Propiedades petrofísicas promedio para las arenas G9 y G10 del campo Guafita Norte.

| Arena   | Porosidad | Sat. Agua | Swirr | Permeabilidad (mD) | Espesor (pies) |
|---------|-----------|-----------|-------|--------------------|----------------|
| G9 GF1  | 21.0      | 29.0      | 18.0  | 800                | 31             |
| G10 GF1 | 21.0      | 29.0      | 18.0  | 800                | 26             |

### 7 Modelo geoestadístico

Con la finalidad de visualizar el modelo sedimentológico generado en tres dimensiones y cuantificar así la relación de las facies depositacionales con la calidad y productividad de la roca, fue cargada la información petrofísica de los pozos, el modelo estructural y los límites del yacimiento en un software de simulación geoestadística (Petrel), el cual permite extrapolar la información puntual de cada uno de los pozos al resto del campo.

Inicialmente se delineó la estructura a partir del mapa de líneas isópacas y con los marcadores o topes estructurales de cada uno de los pozos perforados en el Campo Guafita.

Norte, anexándole también las líneas de fallas que se interpretaron con la evaluación sísmica en el modelo estructural. Todo esto con la finalidad de generar la malla que simula la geometría o la arquitectura del yacimiento.

Se construyeron las mallas de cada yacimiento, en el caso del Yacimiento G9 constituido por 11.039.112 celdas (392 en dirección X, 447 en dirección Y 63 en dirección Z); para el Yacimiento G10 la malla fue construida con 2.161.440 de celdas (228 en dirección X, 237 en dirección Y y 40 en dirección Z), el programa realizó los cálculos de las variables a cada 25 m, en dirección X y Y, mientras que en dirección Z (profundidad) los cálculos fueron realizados cada 2 pies, logrando obtener de esta manera; mayor precisión en los resultados obtenidos de cada una de las variables modeladas por el sistema (Figs. 11 y 12).

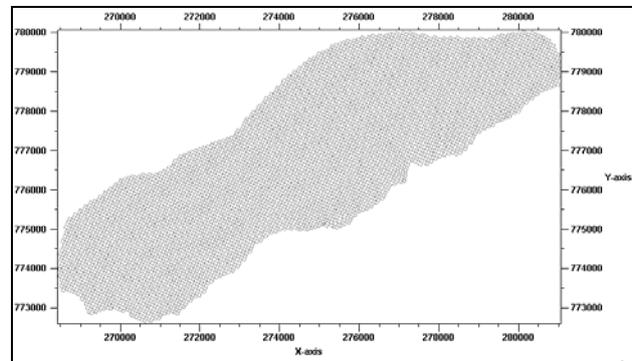


Fig. 11. Malla del yacimiento G9

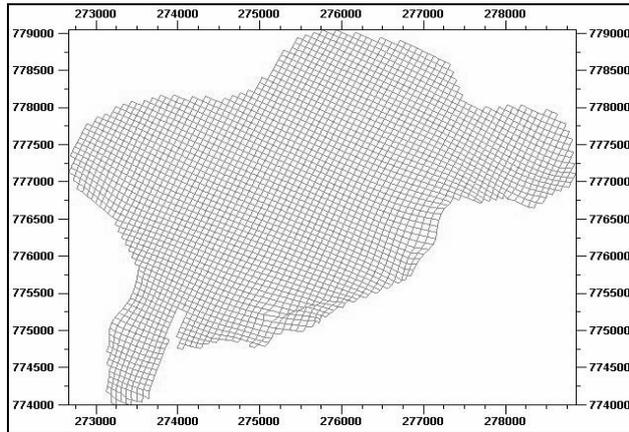


Fig. 12. Malla del yacimiento G9

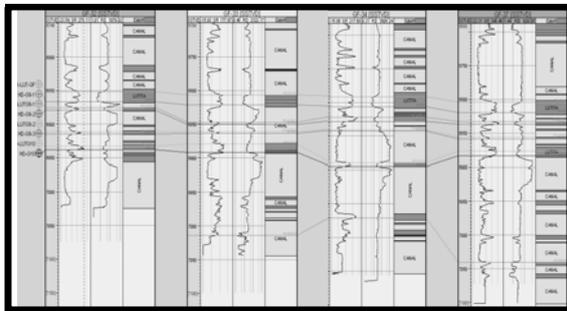


Fig. 13. Correlaciones estratigráficas en Petrel

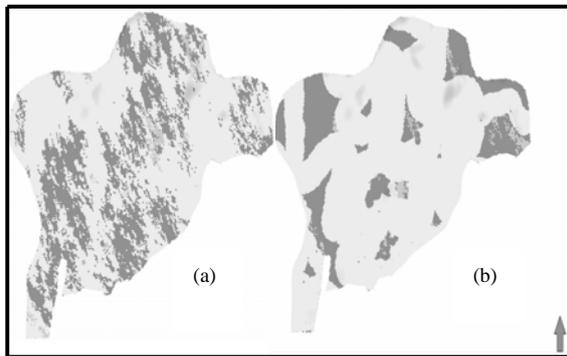


Fig. 14. Distribución de Facies. (a) Sequential Indicator Simulation (b) Objet Modeling

Luego de construir las mallas se procedió a utilizar la herramienta Facies Modeling de la Plataforma Petrel, en la cual se interpretan todas las facies presentes en los registros de Rayos Gamma y Resistividad (ver Fig. 13). El programa toma como base dicha interpretación para la extrapolación de las facies a lo largo de todo el yacimiento.

En este trabajo se utilizó una nueva metodología para

la realización del modelado de facies en la Plataforma Petrel, a través del “item” Objet Modeling de la herramienta Facies Modeling, en el cual, se realizó una interpretación del modelo de Facies discretizando la geometría externa de los cuerpos, pues anteriormente se realizaba por medio del “item” Sequential Indicator Simulation, el cual extrapolaba las facies por zonas. En la Fig. 14 se puede observar la diferencia entre los modelos.

La aplicación de esta nueva técnica en el Departamento de Estudios Integrados División Centro Sur, permitirá una mejor interpretación de estos yacimientos y de los nuevos Modelos Sedimentológicos por realizar; así como permitirá un cálculo del POES con mayor exactitud; debido a que esta visualización en 3D permite observar claramente las diferencias entre las Asociaciones de Facies y por ende, la interpretación del ambiente de depositación.

Por ultimo, luego de creada las mallas y generado el modelo de facies, se procedió a cargar los datos petrofísicos para ambos yacimientos cotejándolo con los modelos de facies generados. Se obtuvieron los modelos estocásticos de porosidad efectiva (ver Fig. 15), permeabilidad, volumen de arcilla, saturación de agua, arena neta y net:gross para ambos yacimientos.

Cálculo de POES de los yacimientos G9 y G10

POES Volumétrico:

El método volumétrico consiste en determinar el POES a través de la ecuación volumétrica siguiente:

$$N = \frac{7758 * A * h * \phi * (1 - S_{wi})}{\beta_{oi}} \quad (1)$$

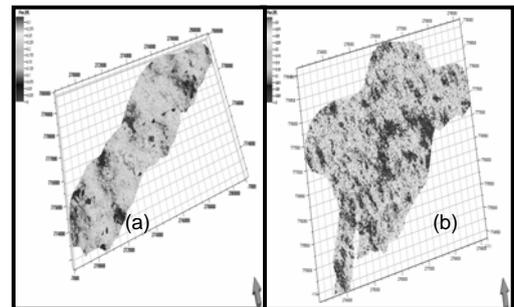


Fig. 15. Modelos estocásticos promedio de porosidad (a) yacimiento G9 y (b) yacimiento G10

Para ello se necesitaron las propiedades petrofísicas (porosidad efectiva, arena neta petrolífera y saturación de agua), a nivel del yacimiento, de los primeros pozos perforados en el campo, acercándose a sí a las condiciones iniciales. El calculo del POES se realizo a través del software de simulación geoestadística (PETREL), el cual tomando la ecuacion volumetrica trabaja con el calculo de hidrocarburo por volumen poroso ajustandolo a las facies interpretadas y tomando el espesor y la porosidad efectiva como variables a lo largo y ancho del yacimiento.

$$N = HCPVo/\beta oi \quad (2)$$

Las múltiples realizaciones hechas para los parámetros petrofísicos permitió el cálculo de varios POES, para los cuales se aplicaron operaciones estadísticas de frecuencia con el fin de obtener los percentiles de P10, P50 y P90 (ver Figs. 16 y 17). A partir de estos percentiles obtenidos para cada yacimiento se tomaron aquellos que más se ajustaran a la realidad del yacimiento.

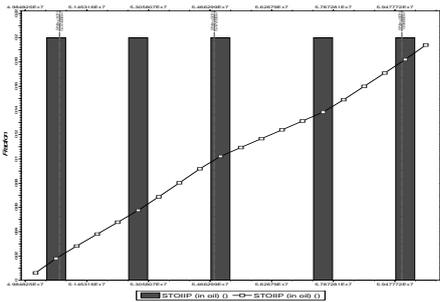


Fig. 16. Percentiles obtenidos para el yacimiento G9

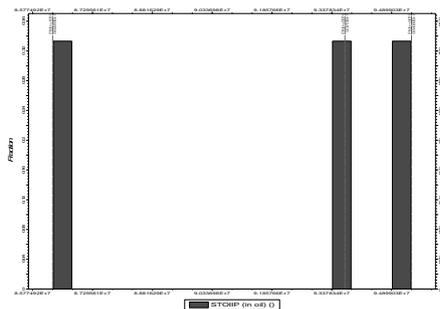


Gráfico 2 Percentiles obtenidos para el yacimiento G10

## 8 Conclusiones

Del estudio macroscópico realizado a los núcleos GF-2X, GF-16 y GF-143 del campo Guafita Norte, para los que se tomaron en cuenta litología, estructuras sedimentarias, ichnofacies, bioestratigrafía y mineralogía, fueron identificadas las facies sedimentarias correspondientes a cada uno de ellos. Para los núcleos de los pozos GF-2X y GF-16 se identificaron las facies sedimentarias H, L, S1, S11 y S3, mientras que para el del pozo GF-143 se identificaron 6 facies sedimentarias, facies H, L, S1, S11 y S3, las cuales coinciden con los núcleos anteriores, pero además se identificó una sexta facies sedimentaria definida como St (Limolitas). Para los 3 núcleos las facies arenosas presentan el mayor porcentaje, destacándose las facies S3 y S1.

A través del análisis de los ichnofósiles encontrados en los núcleos tomados del campo Guafita Norte se delimitó la zona en donde pudo haber ocurrido la sedimentación de los yacimientos G9 y G10, las cuales corresponden a ambiente litoral.

De la revisión del Modelo Bioestratigráfico definido para el yacimiento G9 se considera que el ambiente de sedimentación ocurre entre invasiones marinas frecuentes junto a exposiciones sub – aéreas, donde la energía produce un retrabajo continuo de los sedimentos, por lo que es posible encontrar zonas de transición donde se identifican fauna y flora tanto de origen marino como continental.

El estudio petrográfico realizado a secciones finas de los núcleos de los pozos GF-2X y GF-143 permite observar la poca compactación que existe en las arenas de los yacimientos G9 y G10, lo que indica que el efecto de la diagénesis es muy pobre. El contacto intergranular es puntual, por lo que la porosidad es relativamente elevada y corrobora el poco desarrollo del proceso diagenético en las arenas de los yacimientos, la presencia de sobrecrecimiento de cuarzo se atribuye posiblemente a reacciones químicas. Las partículas de pirritas indican ambientes reductivos de baja oxigenación, y la presencia de partículas de glauconita, aunque incipiente, corroboran la invasión marina en el proceso de sedimentación.

Las secciones estratigráficas realizadas en dirección Norte-Sur, Este- Oeste, Noreste-Suroeste y Sureste-Noreste hicieron posible estudiar la continuidad lateral y vertical de los cuerpos, permitiendo; de esta manera, comprobar la dirección de sedimentación establecida para el campo Guafita, la cual ha sido definida en dirección Sureste - Noroeste.

A partir de las correlaciones estratigráficas realizadas en sentido paralelo y perpendicular a la dirección de sedimentación y en base a los estudios de las electrofacies definida para cada pozo se analizó el comportamiento de los patrones en los registros eléctricos de Rayos Gamma, se definieron 3 asociaciones de facies:

- Canales distributarios.
- Barras de desembocadura.
- Llanuras Interdistributarias.

Sin embargo, sobre los mapas de facies se representa una cuarta zona, definida como: complejo de canales distributarios y llanuras interdistributarias, la cual se estableció en base al estudio de los registros eléctricos de Rayos Gamma donde se presenta una combinación de patrones cilíndrico y de tipo campana con tendencias irregulares.

- De las facies sedimentarias identificadas, tanto los canales distributarios como las barras de desembocadura resultan prospectivos para la producción de hidrocarburo, pues ambos presentan buenas propiedades petrofísicas.
- El ambiente sedimentario bajo el cual se depositaron los yacimientos G9 y G10 pertenecientes al Miembro Arauca de la formación Guafita corresponden a un sistema deltaico con dominio de marea, desarrollándose, específicamente; el Yacimiento G10 entre la planicie deltaica distal y el frente deltaico, mientras que el Yacimiento G9 ocurre en la planicie deltaica media a distal, con desarrollo de estuarios.
- Estratigráficamente los yacimientos G9 y G10 muestran diferencias notables. El Yacimiento G10 presenta grandes paquetes de arena que se interpretan como múltiples ca-

nales amalgamados, con gran aporte de sedimentos y muy bajo porcentaje de finos, mientras que para el yacimiento G9 se tiene una estratigrafía muy compleja, en la cual se interpretan tres pulsaciones dentro del ciclo sedimentario, el porcentaje de fino aumenta, así como los depósitos de secuencias heterolíticas, lo que implica bruscos cambios en la energía de depositación.

- Los mapas de arena neta para el yacimiento G10 muestran los mayores espesores hacia el centro y Sureste del campo, por lo tanto las zonas más prospectivas para el yacimiento se ubican hacia esta zona, mientras que hacia el suroeste los espesores de arena disminuyen considerablemente. En cuanto a los mapas de arena neta correspondientes para el yacimiento G9 discretizado en sus tres paquetes muestran ciertas diferencias; para el caso de G9-3 se observa que para ambos lados de la parte central del yacimiento los pozos presentan mayor espesor de arenas por lo que indican las zonas más prospectivas, para G9-2 los espesores disminuyen parcialmente, sin embargo hacia el centro de yacimientos se muestran los pozos con mayores espesores de arena, por último para G9-1 se presentan los paquetes de arenas más prospectivos pues el aumento en el espesor es considerable, en conjunto las zonas más prospectivas para el yacimiento en general se ubican en gran parte hacia el centro del mismo.
- En cuanto a los resultados arrojados por el modelado en tres dimensiones realizado para ambos yacimientos, se puede observar que estos cotejan satisfactoriamente con los mapas de isopropiedades generados, así como también con el mapa de facies, idealizando el ambiente sedimentario lo más cerca posible de la interpretación propuesta. El modelado mostró para el yacimiento G10 un mayor desarrollo de canales hacia el centro y Sureste del campo, mientras que para el yacimiento G9 se observa un mayor desarrollo de canales en dos zonas, de las cuales las ubicadas hacia el noreste del campo presentan mayor amplitud y espesores que los ubicados hacia el suroeste.

## 9 Recomendaciones

Programar la toma de un núcleo hacia el suroeste del campo, ya que los núcleos que cortan los yacimientos G9 y

G10 (GF-2X, GF-16, GF-143), se encuentran hacia el Noroeste. Esto permitiría correlacionar la información de los núcleos descritos en este Trabajo, con uno que se encuentra hacia la zona menos prospectiva del yacimiento, con el fin de establecer las diferencias específicas existentes entre ambas zonas y con ello probar la posibilidad de aumentar la prospectividad, tomando en cuenta, que la extracción debe realizarse con métodos especiales debido a la poca consolidación de las arenas hacia el suroeste.

Programar la toma de muestras de fluidos hacia el suroeste del campo con el fin de realizar análisis geoquímicos al agua de formación y petróleo, y con ello hallar los valores de  $R_w$  del agua y propiedades del hidrocarburo

Realizar una revisión del modelo petrofísico para corroborar los parámetros de corte, tanto para el yacimiento G10 como para el yacimiento G9; debido a que las evaluaciones petrofísicas están siendo realizadas con valores de corte muy altos, a partir de ello; se lograría generar un modelo más acorde con el comportamiento de ambos yacimientos

## Referencias

- Maldonado R, et al., 1997, Estudio de caracterización geológica-petrofísica de los yacimientos G7-G10, Fm. Guafita, Área Apure, Documento Técnico N° INT-04270,97, Intevep S.A., Los Teques, Caracas.
- PDVSA Sur Gerencia de Servicios Técnicos. Departamento de Estudios Integrados, 1998, Información técnico-operacional: proyecto Estudio Integral Yacimientos Arenas G9 y G10 Campo Guafita Norte.
- Rivero J y Silva H, 2000, Estudio de simulación yacimiento G10 GF 1, Campo Guafita Norte. IV Programa de modelaje dinámico de yacimientos. CIED-PDVSA Occidente, Maracaibo, Venezuela.
- Schlumberger, 1997, WEC Venezuela 1997 Evaluación de pozos. Schlumberger, Caracas, Venezuela.

