

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA FORMACIÓN LOS CUERVOS EN
EL CAMPO CUIAGUA**

CARLOS ANDRÉS RAMÍREZ ECHEVERRI

**FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2008**

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA FORMACIÓN LOS CUERVOS EN
EL CAMPO CUIAGUA**

CARLOS ANDRÉS RAMÍREZ ECHEVERRI

**Proyecto de grado para optar el título de
Geólogo**

**Director
JAIME ORLANDO CASTILLO**

**FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2008**

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis más sinceros agradecimientos a:

Jaime Orlando Castillo, director BP Exploration Colombia, por su confianza, apoyo, sugerencias y enseñanzas dadas durante la ejecución de todo este trabajo.

Víctor Vega y Mario Mesa, Geólogos BP Exploration Colombia, por su apoyo y colaboración prestada.

Joanna Banks, líder del Grupo Cupiagua por la gran oportunidad y confianza otorgada.

Además quiero hacer extensivo este reconocimiento a BP Exploration Colombia, por haberme brindado la gran oportunidad de realizar este trabajo, así como a la Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología por la gran enseñanza impartida durante esta etapa de mi vida.

A mis padres, mi hermana, toda mi familia, a mi novia Yadira, a todos ellos les agradezco su gran apoyo incondicional en todo momento.

TABLA DE CONTENIDO

OBJETIVO GENERAL	13
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO TEORICO	18
1.1 MARCO GEOLOGICO REGIONAL	18
1.2 MARCO ESTRATIGRAFICO REGIONAL.....	21
1.2.1 MEGASECUENCIA DE SYNRIFT (TRIASICO A JURASICO SUPERIOR).....	21
1.2.2 MEGASECUENCIA DE BACK ARC (CRETÁCICO).....	21
1.2.3 MEGASECUENCIA PRE ANDINA TEMPRANA DE ANTE PAÍS (PALEOCENO).....	23
1.2.4 MEGASECUENCIA PRE ANDINA TARDÍA DE ANTE PAÍS (PALEOCENO-MIOCENO MEDIO).....	23
1.2.5 MEGASECUENCIA ANDINA DE ANTE PAÍS (MIOCENO MEDIO-PLIOCENO).....	23
1.3 EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL DEL PIEDEMONTTE LLANERO CENTRAL	25
1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA FORMACIÓN LOS CUERVOS	25
1.4.1 ESPESOR.....	27
1.4.2 POSICIÓN ESTRATIGRÁFICA	28
1.4.3 AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN.....	28
1.4.4 ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN LOS CUERVOS.....	28
1.5 PALEONTOLOGÍA Y EDAD	29
1.6 TRABAJOS ANTERIORES.....	30
2. METODOLOGÍA.....	31
3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y GENERACIÓN DE UNA BASE DE DATOS	33
3.1 POZOS PERFORADOS QUE ALCANZARON LA FORMACIÓN LOS CUERVOS EN LOS CAMPOS CUIAGUA, CUIAGUA SUR Y LA LICENCIA RECETOR.....	33
3.2 HISTORIA DE PRODUCCIÓN EN LA FORMACIÓN LOS CUERVOS.....	40
4. ELABORACIÓN DE CORRELACIONES ESTRATIGRÁFICAS.....	41
5. NORMALIZACIÓN DE REGISTROS	44
6. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA A PARTIR DE NÚCLEOS DE PERFORACIÓN E INTERPRETACIÓN DE REGISTROS EVALUACIÓN DE FORMACIÓN	47
6.1 DESCRIPCIÓN DE NÚCLEOS DE PERFORACIÓN	47

6.1.1	POZO 22.....	47
6.1.2	POZO 24.....	50
6.1.3	POZO A - CAMPO CUSIANA	51
6.2	ARENISCAS.....	57
6.3	LODOLITAS Y LIMOLITAS.....	57
7.	ELABORACIÓN DE MAPAS DE RAYOS GAMMA Y ARENA NETA.....	58
8.	INTEGRACIÓN INFORMACIÓN DE PRODUCCIÓN.....	64
8.1	DISTRIBUCIÓN DE PRODUCCIÓN.....	64
8.2	INTERVALOS CON POSIBLE PRODUCCION REMANENTE.....	65
8.2.1	LC-1.....	65
8.2.2	LC-2.....	66
8.2.3	LC-3.....	67
8.2.4	LC-4.....	68
9.	CONCLUSIONES.....	70
10.	SUGERENCIAS Y LECCIONES APRENDIDAS	71
11.	BIBLIOGRAFIA	72

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1—Localización geográfica de los Campos Cusiana y Cupiagua	14
Fig. 2— Estratigrafía general de la Cuenca de los Llanos y la Cordillera Oriental.	15
Fig. 3— Límites estructurales del Piedemonte Llanero Central	16
Fig. 4—Mapa de las mayores provincias tectónicas de Colombia	19
Fig. 5—Modelo secuencial del desarrollo tectónico regional para la Cordillera Oriental, Valle Medio del Magdalena y Cuenca de los Llanos	20
Fig. 6—Boque diagrama ilustrando la separación de las cuencas del Cocuy y del Magdalena Medio durante el Cretácico Superior, por el paleo-alto de Santander.	22
Fig. 7—Columna estratigráfica generalizada, sección Cordillera Oriental-Los Llanos	24
Fig. 8—Reconstrucción de la evolución tectónica del Piedemonte Llanero, color verde indica sección de reservorio.....	26
Fig. 9—Ambiente de depositación de la Formación Los Cuervos, según Fajardo et al (2000).....	29
Fig. 10—Ubicación espacial de los pozos empleados para la Caracterización Geológica de La Formación Los Cuervos en los Campos Cupiagua, Cupiagua Sur y Licencia de explotación Recetor	35
Fig. 11—Respuesta al registro Rayos Gamma del pozo A, Campo Cusiana	36
Fig. 12—Respuesta al registro Rayos Gamma del pozo 22, Campo Cupiagua	37
Fig. 13—Respuesta al registro Rayos Gamma del pozo 34, Campo Cupiagua	38
Fig. 14—Respuesta al registro Rayos Gamma del pozo 24, Campo Cupiagua	39
Fig. 15—Ubicación espacial de los pozos utilizados para la correlación master ...	42
Fig. 16—Ubicación espacial de las 5 correlaciones realizadas para la Caracterización Geológica de la Formación Los Cuervos	43
Fig. 17—Respuesta del registro GR del pozo 15 antes (rojo) y después (negro) efectuado la normalización	45
Fig. 18—Registro GR del pozo 28, antes (rojo) y después (negro) efectuado la normalización.....	46
Fig. 19—Intervalo corazonado en el pozo 22	47
Fig. 20—Contacto entre las Formaciones Barco y Mirador, pozo 22.....	48
Fig. 21—A la izquierda lodolita gris rojiza de la Formación Los Cuervos, Pozo 2249	49
Fig. 22—Intervalo corazonado del Pozo 24	50
Fig. 23—Intervalo corazonado Pozo 24 Formación Los Cuervos, respuesta registro GR	51
Fig. 24—Intervalo arenoso con interlaminación de lodos de color gris oscuro, Pozo A	52
Fig. 25—Contacto entre la Formación Los Cuervos y Mirador, Pozo A.....	53
Fig. 26—Intervalo arenoso gris claro embebido en lodos oscuros ambos pertenecientes a la Formación Los Cuervos, Pozo A, Campo Cusiana.....	54
Fig. 27—Intervalo arenoso ubicado en el Pozo A, Formación Los Cuervos	55

Fig. 28—Intervalo arenoso perteneciente a la base de la Formación Los Cuervos	56
Fig. 29—Ubicación de intervalo arenoso con posible producción remanente, Pozo 33	66
Fig. 30—Ubicación de los intervalos propuestos con posible producción remanente, pozos 23 y 3	67
Fig. 31—Ubicación de intervalo arenoso con posible producción remanente, Pozo 11, LC-3	68
Fig. 32—Ubicación de intervalo arenoso con posible producción remanente, Pozo 1, LC-4	69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1—Producción Interpretada de PLT proveniente de la Formación Los Cuervos	40
Tabla 2—Espesor (ft), Arena neta (ft) y relación entre arena neta y espesor (%), para el miembro Los Cuervos 1	59
Tabla 3—Espesor pies (ft), Arena neta (ft) y relación entre arena neta y espesor (%), para el miembro Los Cuervos 2	60
Tabla 4—Espesor (ft), Arena neta (ft) y relación entre arena neta y espesor (%), para el miembro Los Cuervos 3	61
Tabla 5—Espesor (ft), Arena neta (ft) y relación entre arena neta y espesor (%), para el miembro Los Cuervos 4	62
Tabla 6—Espesor (ft), Arena neta (ft) y relación entre arena neta y espesor (%), para el miembro Los Cuervos 5	63
Tabla 7—Intervalos cañoneados en la Formación Los Cuervos, productores y no productores, muestras de gas y aceite reportadas en los registros de litología.....	65

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1—Correlacion master Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 2—Correlacion- 1 Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 3—Correlacion- 2 Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 4—Correlacion- 3 Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 5—Correlacion- 4 Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 6—Correlacion- 5 Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 7—Mapa de Rayos gamma LC-1, Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 8—Mapa de Rayos gamma LC-2, Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 9—Mapa de Rayos gamma LC-3, Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 10—Mapa de Rayos gamma LC-4, Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 11—Mapa de Rayos gamma LC-5, Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 12—Mapa de Arena neta LC-1, Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 13—Mapa de Arena neta LC-2, Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 14—Mapa de Arena neta LC-3, Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 15—Mapa de Arena neta LC-4, Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 16—Mapa de Arena neta LC-5, Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 17—Mapa de Arena e información de producción LC-1, Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 18—Mapa de Arena e información de producción LC-2, Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 19—Mapa de Arena e información de producción LC-3, Caracterización geológica Campo Cupiagua
- Anexo 20—Mapa de Arena e información de producción LC-4, Caracterización geológica Campo Cupiagua

RESUMEN

TITULO: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA FORMACIÓN LOS CUERVOS EN EL CAMPO CUPIAGUA, PIEDEMONTE LLANERO, COLOMBIA*

Autor:
CARLOS ANDRÉS RAMÍREZ ECHEVERRI**

PALABRAS CLAVE: Paleoceno Tardío, Campo Cupiagua, Cuenca de los Llanos, Correlaciones estratigráficas, origen fluvial.

RESUMEN

En este trabajo se realizó la caracterización geológica del intervalo Paleoceno Tardío (Formación Los Cuervos) en el Campo Cupiagua, ubicado en el Piedemonte Llanero Oriental, Cuenca de los Llanos, operado por BP con el principal objetivo de identificar intervalos de arenas con una posible producción remanente de hidrocarburos. Se revisaron los núcleos de perforación disponibles para el campo Cupiagua, se realizaron correlaciones estratigráficas utilizando registros eléctricos de 40 pozos, se elaboraron mapas de electrofacies y de espesor de arena por miembro, y se integró la información de producción histórica en esta formación. Las características observadas en las rocas, la distribución de los cuerpos de arena y el comportamiento histórico de la producción, confirman que las arenas de la Formación Los Cuervos fueron depositadas en un sistema de canales de origen fluvial de alta sinuosidad. La poca continuidad lateral de los cuerpos y el carácter arcilloso de las arenas, se correlaciona con un menor potencial de producción que el de los yacimientos principales ubicados en el Piedemonte Llanero (Mirador, Barco y Guadalupe). Finalmente, este estudio identificó varias oportunidades de producción para la Formación Los Cuervos en pozos perforados en el Campo Cupiagua, que pueden, si se tienen en cuenta los actuales y elevados precios del petróleo, ser una oportunidad atractiva que este ligada a futuras intervenciones en las Formaciones de Mayor interés económico ubicadas en el área de explotación del Campo Cupiagua.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, Director Jaime Orlando Castillo, BP Colombia.

ABSTRACT

TITLE: GEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF LOS CUERVOS FORMATION IN THE CUPIAGUA FIELD, COLOMBIAN FOOTHILLS*

Author:
CARLOS ANDRÉS RAMÍREZ ECHEVERRI**

KEY WORDS: Upper Paleocene, Cupiagua Field, Llanos Basin, Stratigraphic correlations, Fluvial environment.

SUMMARY

In this work, a geological characterization of the Upper Paleocene interval (Los Cuervos Formation) in the Cupiagua Field was made. This field is located in the eastern Colombian Foothills, Llanos Basin, within BP operation area and the main objective of this study is to identify sandstones intervals with possible remaining hydrocarbon production. Available drilled cores for Cupiagua Field were reviewed, stratigraphic correlations were made by using well log analyses in 40 wells, electrofacies and net sand maps by member were also elaborated along with historical production data for this formation. Observed features in the rocks, sandstone body distributions, and historic production behavior confirmed that Los Cuervos Formation sandstones were deposited on high sinuosity fluvial channel systems. The deficient lateral continuity of these bodies and clayey character of sandstones, correlate better with a lower production potential than the other main reservoirs located along the same producing area (Mirador, Barco, and Guadalupe Formations included). Finally, in this study some production opportunities were identified for Los Cuervos Formation in wells already drilled along Cupiagua Field that could be, because of current and high petroleum prices, an attractive opportunity linked to futures well interventions in the principals economics reservoirs located in the exploitation area of Cupiagua Field.

* Degree project

** Facultad de ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, Director Jaime Orlando Castillo, BP Colombia.

OBJETIVO GENERAL

Realizar una caracterización geológica de la Formación Los Cuervos para el Campo Cupiagua, interpretando e integrando características sedimentológicas, estratigráficas, petrofísicas y de producción a partir de datos obtenidos en registros eléctricos y núcleos de perforación, la cual permita definir intervalos con posible producción remanente de hidrocarburos en esta unidad litológica.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Recopilar la información bibliográfica existente para la Formación Los Cuervos en el área del Piedemonte Llanero.

Construir una base de datos a partir de la información existente en los pozos del Campo Cupiagua para la Formación Los Cuervos.

Realizar una correlación estratigráfica con base en la información contenida en los registros eléctricos existentes para 40 pozos de la Formación Los Cuervos en el Campo Cupiagua.

Elaborar mapas de relación de arena neta (Net sand) y rayos gamma para los diferentes intervalos de la Formación Los Cuervos en el Campo Cupiagua.

Integrar la información de producción.

Identificar alternativas remanentes para producción de la Formación Los Cuervos en el Campo Cupiagua.

INTRODUCCIÓN

El campo Cupiagua, es una estructura anticlinal compleja ubicada en el Piedemonte Oriental de la Cordillera Oriental, Departamento de Casanare **fig. 1**. “Resultado de la combinación de un fluido crítico (gas retrogrado) en una matriz de baja calidad de roca con fracturas naturales, y una trampa de alta complejidad estructural en una zona tectónicamente activa“(Martínez Jaime A. 2006).

Los principales intervalos productores son las Formaciones Mirador, Barco y Guadalupe, compuestos principalmente por cuarzoarenitas depositadas en un ambiente continental y fluvial a transicional con influencia mareal. La Formación Los Cuervos es una secuencia dominada por shales ubicada estratigráficamente entre las Formaciones Barco y Mirador con intercalación de areniscas delgadas (mayor a 40 ft.) que constituyen cuerpos aislados.

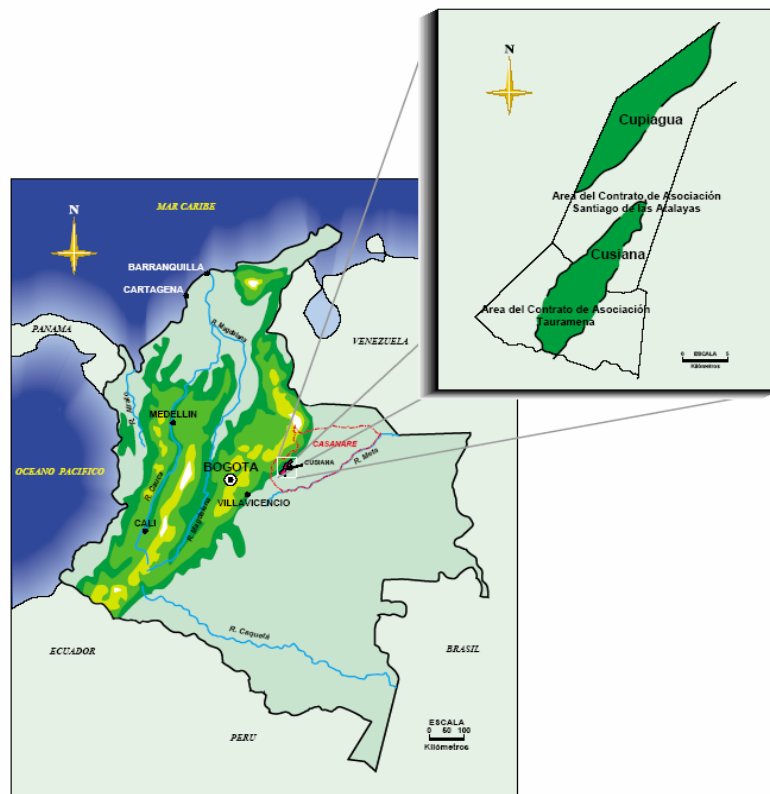


Fig.1—Localización geográfica de los Campos Cusiana y Cupiagua
Fuente: BP Exploration Colombia

La Formación Gachetá es la principal roca fuente en el área del Piedemonte Llanero y se le asigna una edad de Cenomaniano -Turoniano. La Formación Guadalupe suprayace a Gachetá y presenta un contacto transicional con la misma, su edad es Coniaciano -Campaniano Superior. Entre la Formación Guadalupe y la Formación Barco se encuentra un hiato erosivo. (Fig. 2).

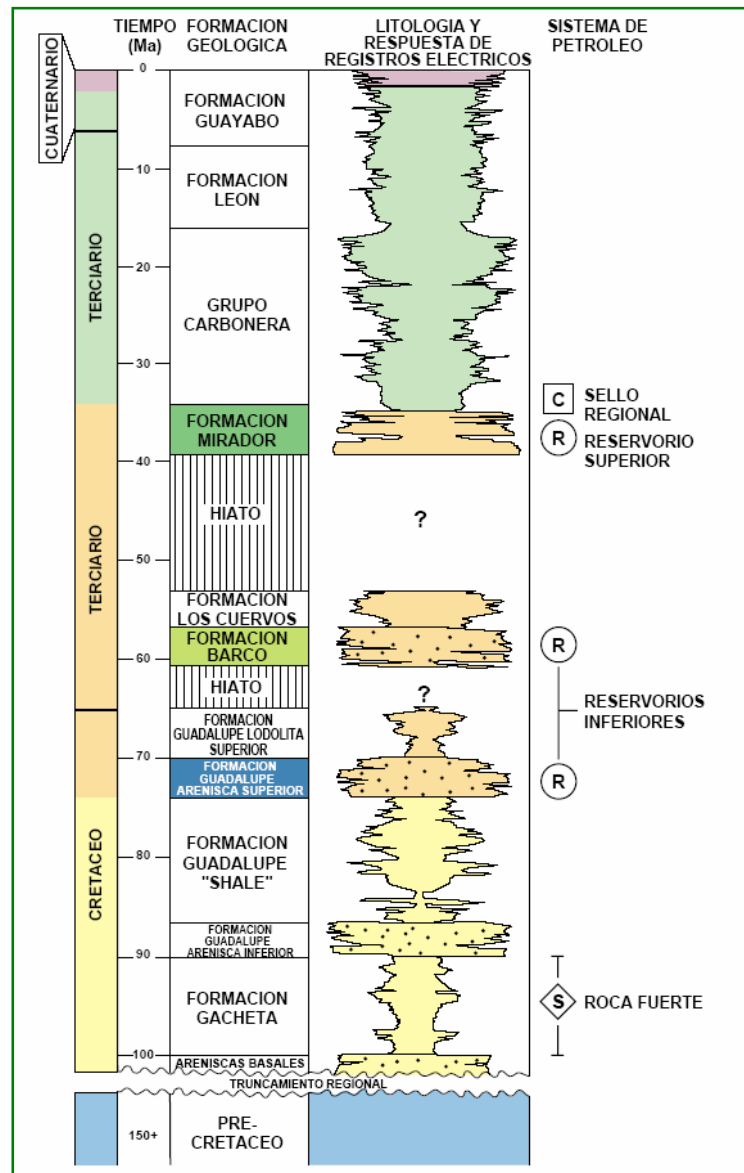


Fig. 2— Estratigrafía general de la Cuenca de los Llanos y la Cordillera Oriental

Tomado de: Documento de Comercialidad, Estudio Técnico de los campos Cusiana y Cupiagua contratos de asociación Santiago de la Atalayas y Tauramena, 1993, Pág. 2, BPC

El dominio central del Piedemonte Llanero está localizado en la zona frontal de fallamiento de la Cordillera Oriental en Colombia, en el contacto entre la zona montañosa de la Cordillera y los terrenos planos de los Llanos Orientales. “Está orientado en dirección SW-NE y se extiende aproximadamente 100 Km. al sur y 100Km al norte del Municipio de Yopal, Casanare. Los límites estructurales están dados al Oeste por el sistema de fallas de Guaicáramo y al Este por el sistema de fallas Yopal-Borde Llanero” (Fig. 3). La característica principal de la zona central del Piedemonte es el sinclinal de Nunchía, que incluye rocas del Oligoceno al Reciente (Martínez, 2005).

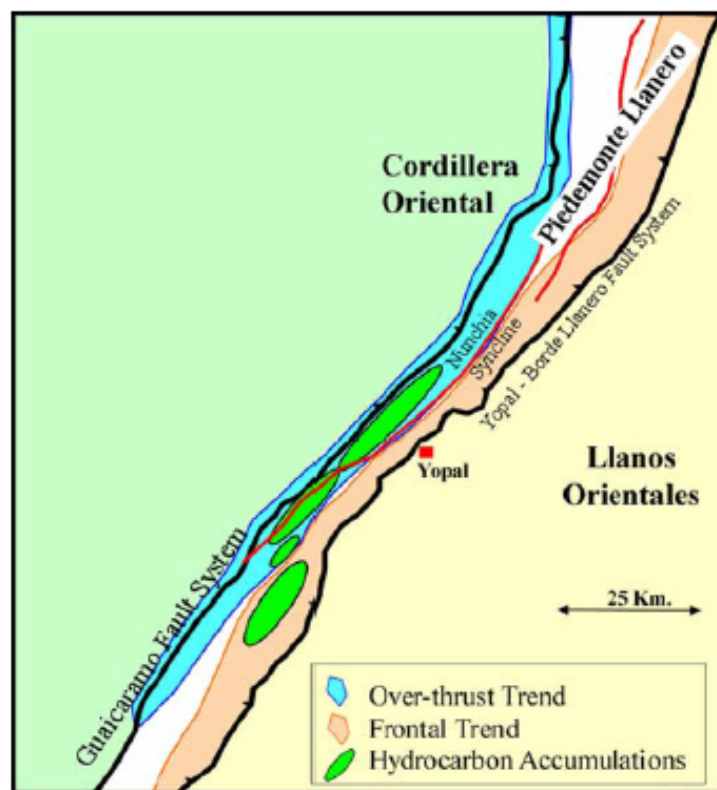


Fig. 3— Límites estructurales del Piedemonte Llanero Central
Fuente: BP Exploration Colombia

La Formación Los Cuervos es considerada de importancia económica en la producción de hidrocarburos en los campos localizados en la antigua concesión Barco, Departamento de Norte de Santander, y en el campo Tara en Venezuela.

Debido al carácter errático de las arenas de la Formación Los Cuervos, este intervalo no ha sido explotado comercialmente en los campos del Piedemonte Llanero. En algunos pozos del Campo Cusiana y Cupiagua se han abierto a producción las arenas de dicha Formación reportando niveles de producción considerables por un corto tiempo.

El actual nivel de precios del crudo y la etapa de explotación en la que se encuentra el Campo Cupiagua, hacen atractivas las opciones de producción como la de la Formación Los Cuervos.

Es por esto que el presente estudio tiene como objetivo la caracterización geológica de la Formación Los Cuervos para evaluar las oportunidades de producción remanente, integrando la información disponible de registros eléctricos, intervalos corazonados y datos de producción. Con este propósito correlacionaron 40 pozos ubicados en el área comercial de los Campos Cupiagua y Cupiagua Sur. Junto a la interpretación estratigráfica se llevaron a cabo cálculos de arena neta por intervalo, además se elaboraron mapas de GR y Net sand los cuales indicaron la distribución areal de las arenas con mayor potencial productor y el patrón de depositación de las mismas dentro del Campo. Finalmente se revisaron las alternativas de remanentes para abrir a producción algunos intervalos de esta Formación.

1. MARCO TEORICO

1.1 MARCO GEOLOGICO REGIONAL

El basamento de Colombia es divisible en tres zonas separadas por suturas mayores (Suárez, 1990 en Cooper *et al*, 1995): 1. El escudo Precámbrico Guayanés hacia el este, 2. La Provincia Central Precámbrica Temprana, que consiste en rocas metamórficas sobre las que descansa la Cordillera Central y Oriental, 3. Fragmentos de corteza oceánica y sedimentos asociados a subducción y vulcanismo que forman la Cordillera Occidental (Barrero, 1979; Álvarez, 1983; Duque-Caro, 1990, en Cooper *et al*, 1995). Megard (1987) interpreta la acreción del terreno occidental a lo largo de la sutura de Romeral (**Fig. 4**) como una serie de colisiones discretas, comenzando en el Cretácico Temprano y terminando en el Eoceno. La sutura entre el escudo Guayanés y la provincia central es el Borde Llanero, que coincide aproximadamente con el frente de fallamiento de Piedemonte (Suárez, 1990 en Cooper *et al*, 1995).

Durante el Triásico, Jurasico y Cretácico Temprano, Colombia fue afectada periféricamente por un evento de rifting relacionado con la separación de Norte y Sur América en el Proto Caribe (Jaillard *et al*, 1990), Maze (1984) propone un mecanismo alternativo para la extensión en un marco de back-arc, que debido a la naturaleza oblicua de la zona de subducción, pudiera tener un componente trastensional. Se propone que ambos mecanismos contribuyeron a la extensión.

Los depocentros se establecieron a lo largo de la Cordillera Oriental y en el Magdalena Superior, con cuencas marginales en los Llanos y el Putumayo. En la Cordillera Oriental se desarrollaron dos cuencas de rift, la Cuenca del Cucuy en el oriente y la del Tablazo-Magdalena en el Occidente (Etayo *et al*, 1969), entre estos dos depocentros estaba el Alto de Santander, que incluía el macizo de Santander y el de la Floresta (Etayo, 1969), este sistema de cuencas estuvo activo dentro del Cretáceo Temprano, cuando se creó un espacio de acomodación considerable en la Cordillera Oriental (Hebrard,1985; Fabre,1987 en Cooper *et al*, 1995).

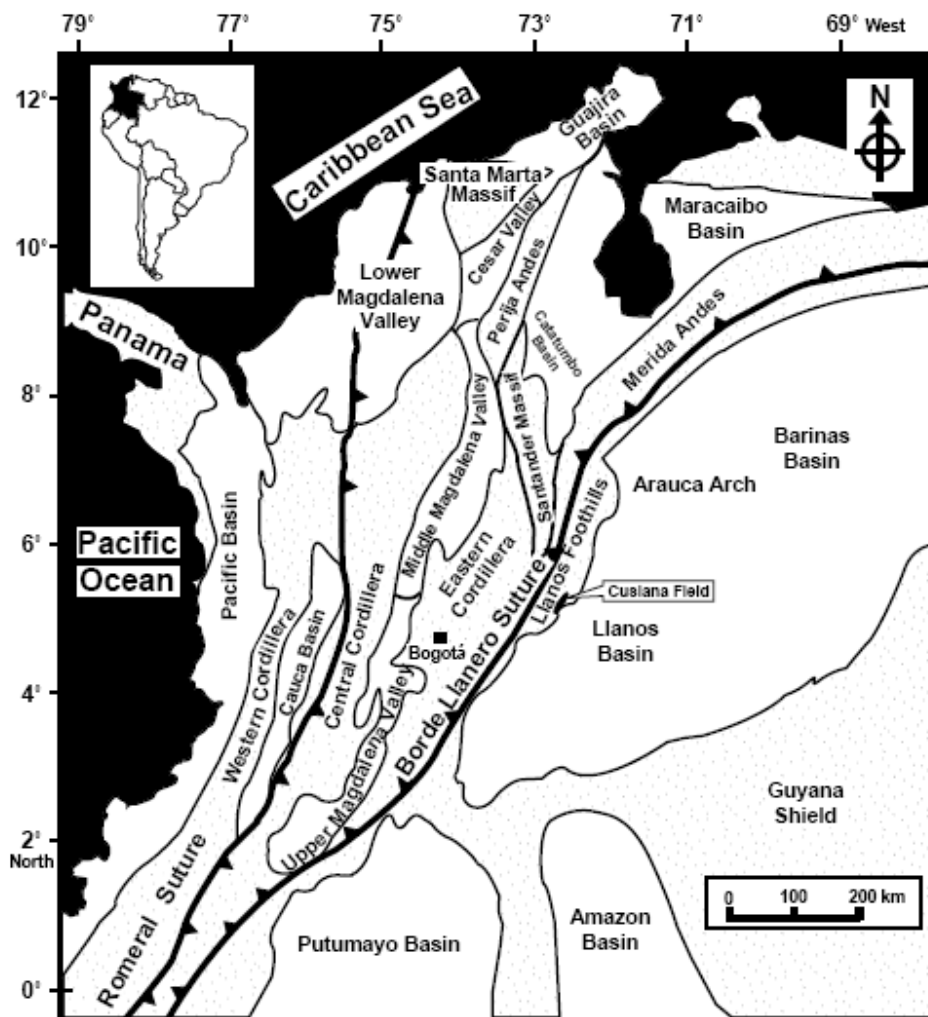


Fig. 4—Mapa de las mayores provincias tectónicas de Colombia, con cuencas sedimentarias actuales en blanco
Tomado de Cooper et al (1995).

La deformación del Cretácico Tardío-Paleoceno Temprano resultó de la acreción final de la Cordillera Occidental (McCourt et al, 1984 en Cooper et al, 1995) (**Fig. 5**), esta deformación marcó un cambio significativo en los ambientes de depositación a lo largo de la Cordillera Oriental, la cuenca del Magdalena y la cuenca de los Llanos, de ambientes predominantemente marinos a ambientes continentales. Esta deformación se restringió principalmente a las Cordilleras Occidental y Central excepto para alguna deformación y levantamiento en la Sierra Nevada del Cocuy (Fabre, 1987 en Cooper et al, 1995).

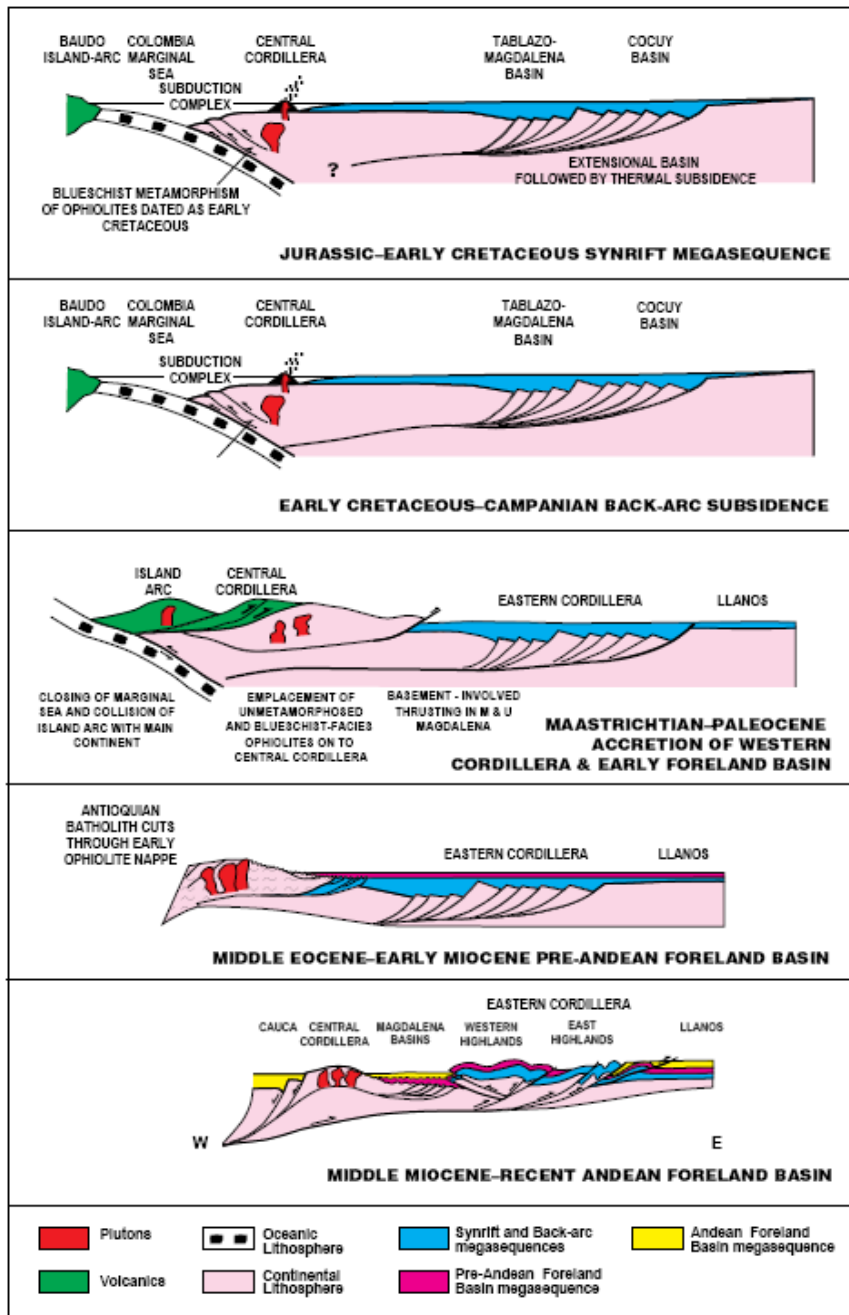


Fig. 5—Modelo secuencial del desarrollo tectónico regional para la Cordillera Oriental, Valle Medio del Magdalena y Cuenca de los Llanos
Tomado de Cooper et al, 1995.

En el Eoceno Medio se dio otra deformación que estaba relacionada con el incremento de la tasa de convergencia entre 49 y 42 Ma (Daly, 1989, en Cooper et al, 1995), esta deformación generó un régimen de plegamiento y fallamiento en el Valle Medio del Magdalena (Morales y la Industria Colombiana del Petróleo, 1956).

La mayor deformación de la Cordillera Oriental y del Piedemonte Llanero comenzó aproximadamente hace 10.5 Ma y se dio como resultado de la colisión de Panamá con Sur América, durante esa fase de deformación la Cordillera Oriental fue levantada y erodada, se desarrollaron estructuras compresionales y se invirtieron antiguas fallas extensionales (Butler y Schamel, 1989), los depósitos erosionales de este levantamiento se preservan en la Formación Guayabo en la cuenca de los Llanos.

1.2 MARCO ESTRATIGRAFICO REGIONAL

1.2.1 MEGASECUENCIA DE SYNRIFT (TRIASICO A JURASICO SUPERIOR)

Esta Megasecuencia no se encuentra muy representada en los Llanos excepto por paquetes aislados en algunos pozos, para la Cordillera Oriental se reconocen dos depocentros, la Cuenca del Cocuy en el Este y la cuenca del Tablazo-Magdalena en el Oeste, separados por el paleo alto de Santander (Etayo *et al*, 1969 en Cooper *et al*, 1995), (**Fig. 6**).

1.2.2 MEGASECUENCIA DE BACK ARC (CRETÁCICO)

En el Piedemonte Llanero solo se registra esta Megasecuencia aproximadamente a partir del Cenomaniano, la combinación entre el ascenso relativo del nivel del mar y subsidencia ocasionó una transgresión de orden regional que generó la depositación de rocas siliciclásticas marinas someras, estas areniscas gradualmente se depositaron hacia el escudo Guyanés, generando las areniscas pertenecientes a la Formación Une (Cooper *et al*, 1995).

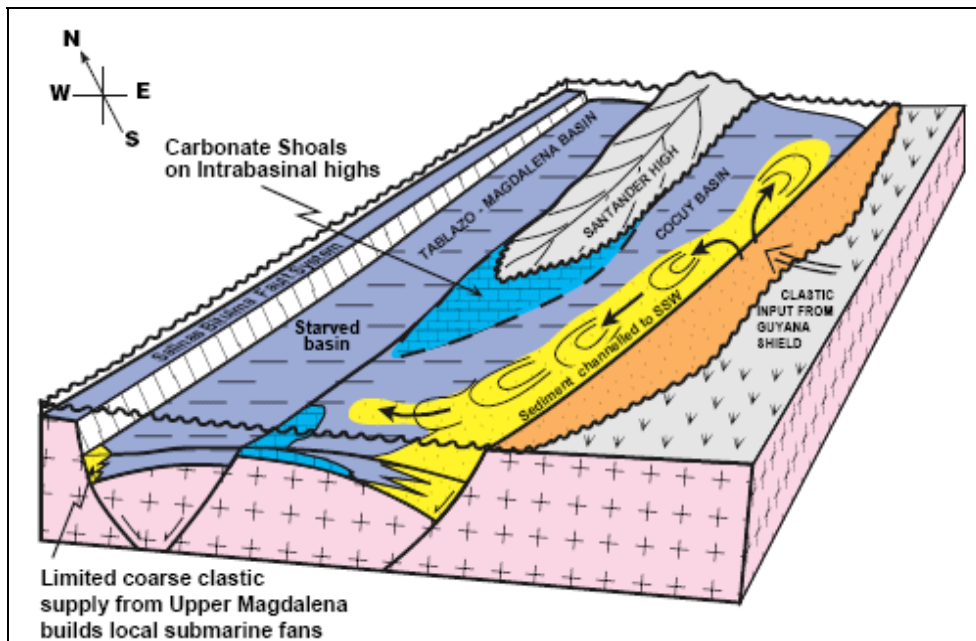


Fig. 6—Boque diagrama ilustrando la separación de las cuencas del Cocuy y del Magdalena Medio durante el Cretácico Superior, por el paleo-alto de Santander.

Tomado de Cooper et al (1995)

En el Turoniano-Coniaciano Temprano el ascenso global (Haq *et al*, 1987 en Cooper *et al*, 1995) del nivel del mar combinado con upwelling anóxico (Villamil y Kauf, 1993 en Cooper *et al*, 1995), depositó lodolitas marinas, cherts y fosfatos, que en el Piedemonte Llanero están representados por la Formación Gachetá y que se considera la más importante roca fuente en este sector.

Posteriormente en el Coniaciano-Santoniano, cesaron las condiciones anóxicas por un descenso en el nivel relativo del mar generando las rocas pertenecientes a la Formación Guadalupe, roca reservorio (Cooper *et al*, 1995).

1.2.3 MEGASECUENCIA PRE ANDINA TEMPRANA DE ANTE PAÍS (PALEOCENO)

Se reconoce un hiato de aproximadamente 14 Ma en la zona del Piedemonte Llanero, correlacionable con la Formación Guaduas en la Cordillera Oriental. “La depositación se reinició en la zona del Piedemonte Llanero en el Paleoceno Tardío en respuesta a una trasgresión que tuvo influencia en la cuenca de los Llanos. La Formación Barco es el TST (transgressive system track) basal de la Formación los Cuervos, con la cual presenta un contacto transicional, la formación Barco es altamente madura, rica en areniscas y se considera un depósito estuarino derivado del escudo Guyanés, con fuerte influencia marina en el área de Cusiana” (Cooper *et al*, 1995).

1.2.4 MEGASECUENCIA PRE ANDINA TARDÍA DE ANTE PAÍS (PALEOCENO-MIOCENO MEDIO)

El contacto entre las Formaciones los Cuervos y Mirador es un hiato depositacional, la depositación se reinició en el Eoceno Medio en respuesta a una trasgresión. La depositación inicial de la Formación Mirador consistió en areniscas con influencia marina, depósitos de relleno de valles fluviales y estuarinos contenidos en sedimentos muy lodosos de planicie costera (Pulham, 1994 en Cooper *et al*, 1995), esta Formación se considera el reservorio más importante en los Campos Cusiana, Cupiagua y Volcanera.

Posteriormente se depositó la Formación Carbonera, que consiste de cuatro ciclos de depositación en llanuras costeras con influencia marina (Cooper *et al*, 1995).

1.2.5 MEGASECUENCIA ANDINA DE ANTE PAÍS (MIOCENO MEDIO-PLIOCENO)

Durante el Mioceno Medio, el aumento global del nivel del mar (Haq *et al*, 1987), coincidió con la primera deformación y levantamiento de la Cordillera Oriental, esta deformación aisló el Valle Medio del Magdalena y la cuenca de los Llanos, la depositación de la Formación León es contemporánea a este levantamiento (Notestein *et al*, 1944). “La Formación Guayabo es el último miembro de la secuencia y en él se registra el levantamiento de la Cordillera Oriental” (Cooper *et al*, 1995). La **fig. 7** muestra la columna estratigráfica sección Cordillera Oriental-Los Llanos.

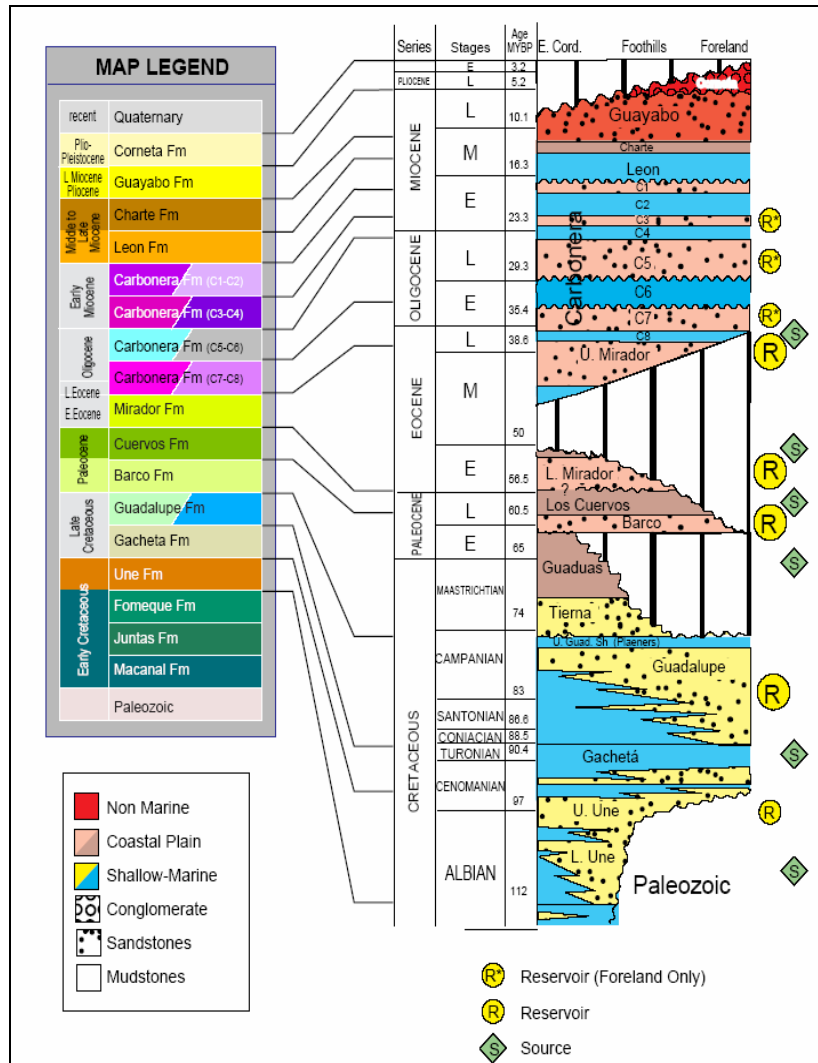


Fig. 7—Columna estratigráfica generalizada, sección Cordillera Oriental- Los Llanos
Tomado de Martínez et al (1999).

1.3 EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL DEL PIEDEMONTES LLANERO CENTRAL

Según Martínez, 2005 la deformación en el Piedemonte Llanero es el resultado de múltiples fases que empezaron aproximadamente hace 39 Ma, contemporáneo a esta primera deformación se depositaron los miembros C6, C7 y C8 de la Formación Carbonera Inferior, esta deformación estuvo marcada con la formación de pliegues previos al fallamiento, trazas de falla y formación de pequeñas montañas. Entre los 39 y los 29 Ma el plegamiento empezó a formar las primeras trampas de hidrocarburos sirviendo de cocinas para las rocas Cretácicas.

Se dio un periodo entre 29 y 7 Ma con menor actividad tectónica y una subsidencia continua en la cuenca. Al final de este periodo la tasa de subsidencia y la tasa de aporte de sedimento se incrementó con la depositación del paquete comprendido entre la inconformidad existente en la base de la Formación Carbonera C5 y la Formación Guayabo (**Fig. 8**).

1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA FORMACIÓN LOS CUERVOS

En el área del Piedemonte Llanero, La Formación Los Cuervos, “está compuesta por litoarenitas depositadas en ambientes de ríos de alta sinuosidad con desarrollos de barras puntuales “embebidas” en lodolitas y limolitas de planicie de inundación” (*estudio técnico explotación Formación Los Cuervos, Campo Cupiagua Sur SDLA, BP Exploration Colombia, 2004*).

Según *Cazier et al 1995*, los sedimentos depositados durante el aumento del nivel del mar en el Eoceno temprano consistieron de una secuencia de lodolitas que conforman la Formación Los Cuervos. La mayor caída en el nivel del mar aproximadamente hace 54 millones de años (Ma), terminó con la depositación de la Formación Los Cuervos y creó un hiato en el área de Cusiana que duró aproximadamente 16 Ma.

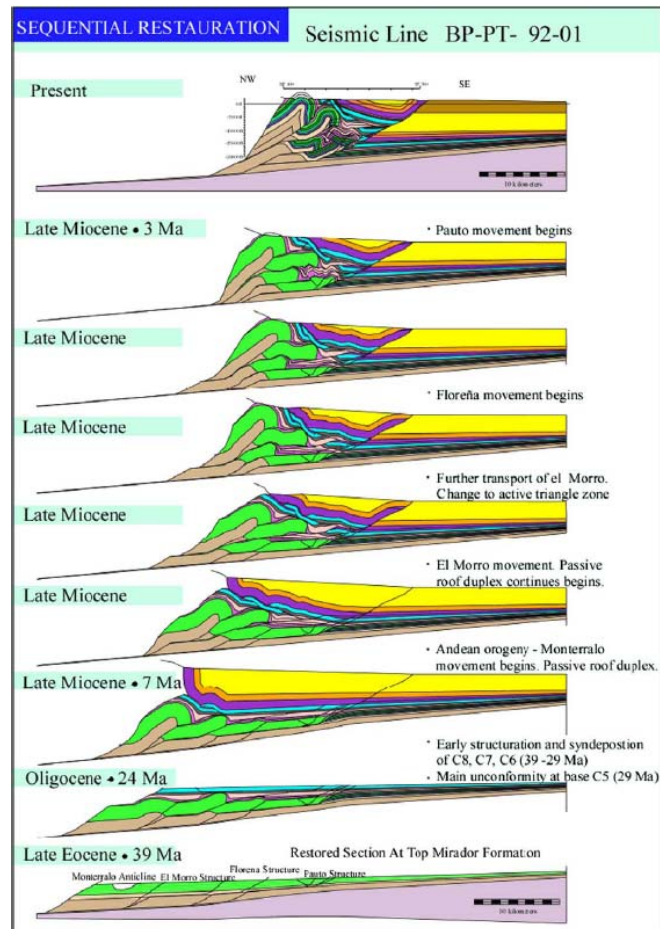


Fig. 8—Reconstrucción de la evolución tectónica del Piedemonte Llanero, color verde indica sección de reservorio
Tomado de Martínez (2005)

Esta Formación ha sido descrita por otros autores como:

F. B. Notestein, C. W. Hubman, y J. W. Bowler, 1944, p. 1.186, 1.192-1.194.

Consideraciones históricas: Notestein et al. (1944) describieron originalmente a la Formación Los Cuervos, unidad superior del Grupo Orocué, en la Concesión Barco, departamento de Santander del Norte, Colombia. Sutton (1946) extendió el uso del término al distrito Colón en el suroeste del Zulia y de la cuenca de Maracaibo para reemplazar el nombre de "Tercer Horizonte de Carbón", lo cual fue apoyado por Schaub (1948). Trump y Salvador (1946) describieron someramente la unidad en Táchira suroccidental, Brondijk (1968) comentó las dificultades existentes para

diferenciar la unidad en el Zulia occidental. Fierro y Useche (1985) la describieron para la región del Nula, al sur de Táchira. Bar y Peña (1985) estudiaron las reservas de carbón de la formación en la región de Santo Domingo, Táchira. Boesi et al. (1988) la describieron brevemente como facies Los Cuervos en el frente norandino, entre Lobatera (Táchira) y El Vigía (Mérida). Kiser (1989) revisó la unidad como integrante del Grupo Orocué, en el sur y sureste del estado Táchira. Márquez y Mederos (1989) estudiaron en detalle las características sedimentológicas, en los afloramientos del sector Lobatera-El Vigía. Cassani et al. Analizaron sus características geoquímicas, y Mederos y Márquez (1989) revisaron su diagénesis (Léxico estratigráfico, PDVSA).

Descripción: El nombre de Formación Los Cuervos procede de la Quebrada del mismo nombre afluente del Río Catatumbo, donde tiene su sección tipo. Litológicamente la Formación consta de shales carbonáceos, gris oscuros, arcillitas intercaladas con limolitas micáceocarbonosas, areniscas de grano fino y carbones. Las capas de carbón tienen un espesor que varía entre 0,1 y 2,5 m. Por encima de la sucesión carbonosa la formación presenta arcillitas generalmente sideríticas; la siderita aparece en esferulitas de algo menos de 1 mm. Existen también areniscas arcillosas en capas inferiores a 6 m de espesor. Las arcillitas más superiores se caracterizan por estar moteadas de color rojo, amarillo y púrpura. La Formación Los Cuervos con tiene una asociación de granate-cloritoide y granate.

Es una unidad predominantemente arcillosa acumulada en fondos transicionales a continentales. El intervalo inferior se compone de arcillolitas grises, capas de carbón y areniscas sublíticas, las cuales se consideran como registro del depósito en fondos de llanuras costeras y canales fluviales próximos al mar. El intervalo superior se compone de lodolitas abigarradas, cuarzo-arenitas y areniscas sublíticas, depositadas en fondos de llanuras aluviales y canales fluviales.

1.4.1 ESPESOR

En el Piedemonte Llanero, para el sector comprendido por los Campos Cupiagua y Cupiagua Sur, la Formación Los Cuervos presenta un espesor promedio de 500 pies (ft), obtenidos a partir de registros eléctricos, con medidas que varían de 420 ft y 550 ft.

NOTESTEIN, HUBMAN & BOWLER indican que en 16 secciones medidas el espesor de la formación varía de 245 m al NW del domo Esperanza a 490 m en el anticlinal de Río de Oro junto a Puerto Barco. En las secciones de las perforaciones, los espesores son también variables (de 282 a 316 m en los anticlinal les de Sardinata, Tibú y Socuavó; 249 m en el pozo Carbonera 1 a

426 m en el pozo Oro 3). En general los sondeos indican un aumento del espesor hacia el N.

En el área de la Concesión Barco, el espesor de la Formación varía entre 245 y 490 m (Notestein *et al.*, *op. cit.*). Trump y Salvador (*op. cit.*) mencionan espesores que van de 420 m a 500 m, con adelgazamiento desde San Cristóbal hacia Mérida. Heybroek (1953) midió 840 m de Los Cuervos ("Third Coal") en la quebrada La Línea y 835 m en el río Ciute, en el sur de Táchira. Fierro y Useche (*op. cit.*) estiman 300 m de espesor en el Nula.

1.4.2 POSICIÓN ESTRATIGRÁFICA

El contacto inferior con la Formación Barco es transicional. Hacia el tope se observa una paraconformidad caracterizada por un evento erosivo con la Formación Mirador.

1.4.3 AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN

ARIANA Ltda. (2000), en un estudio realizado en el Piedemonte Llanero, con base en las facies observadas, proponen para la Formación Los Cuervos un ambiente de llanura costera supramareal (*coastal plain*).

Fajardo, *et al.* (2000), en el sector oriental de la Cuenca de los Llanos con estudios de corazones y registros eléctricos interpreta ambientes de depositación de llanuras de inundación, como se puede observar en la **Fig. 9**.

1.4.4 ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN LOS CUERVOS

"Fajardo *et al.* (1993) realizó un modelo estratigráfico, interpretando secuencialmente las unidades desde el Cretáceo Tardío hasta el Eoceno Tardío en la zona de Casanare, asignándole a la Formación Los Cuervos una edad Paleoceno Tardío e identificando ambientes de planicies deltáicas y canales fluviales para este intervalo de tiempo.

Fajardo *et al.* (2000), en su estudio estratigráfico para toda la cuenca de los Llanos Orientales señala la dificultad para diferenciar entre las Formaciones Barco y Los Cuervos, ya que ha sido basada en criterios litológicos, y se

define por el cambio de un intervalo predominantemente arenoso a uno predominantemente lodoso. Este criterio aplica con relativa confiabilidad en el sector del Piedemonte Llanero. Sin embargo, si se tiene en cuenta que hacia el oriente las facies de lodolitas de la Formación Los Cuervos pueden cambiar a areniscas, este criterio litológico pierde validez”. *Caracterización Geoquímica del intervalo Paleoceno Superior (Formación Los Cuervos) en dos secciones ubicadas en el Piedemonte Llanero Central y Piedemonte Norte, A. Duran, A. Candela, 2005.*

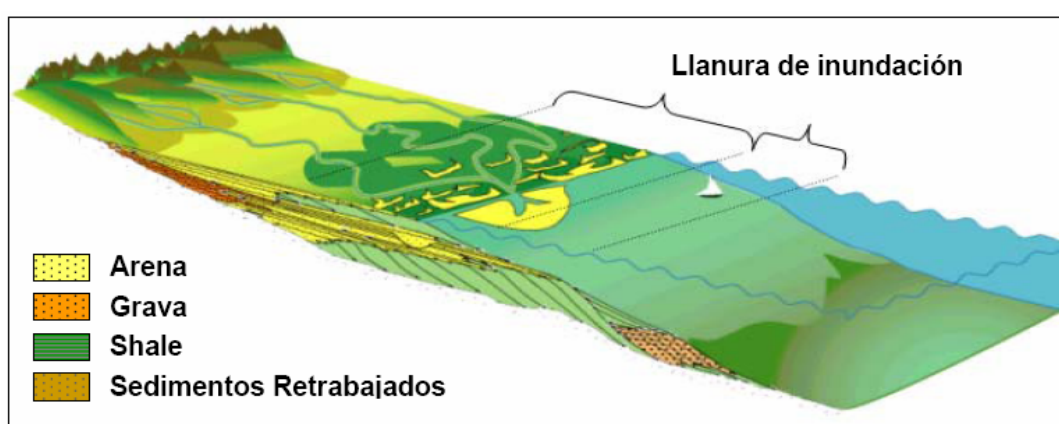


Fig. 9—Ambiente de deposición de la Formación Los Cuervos, según Fajardo et al (2000) Tomado de Virgilio y Naranjo (2004)

1.5 PALEONTOLOGÍA Y EDAD

Según NOTESTEIN, HUBMAN & BOWLER la Formación Los Cuervos solamente presenta restos de plantas. En la parte inferior de la Formación y procedente de una delgada capa de shale negra en el Área de Puerto Salado OLSSON (*in* NOTESTEIN, HUBMAN & BOWLER reconoció la presencia de *Diplodonta* o un género próximo, *Anomia* sp. y fragmentos de *Ostrea*

Fajardo et al. (2000), propone una edad de deposición para la Formación Barco-Los Cuervos de Paleoceno tardío. Para ello recopila información bioestratigráfica suministrada por Muñoz (1983) quien le asigna una edad de Paleógeno.

Jaramillo et al. (1999), en su tesis doctoral desarrolló un estudio palinológico del Paleoceno Medio y realizó el levantamiento de la sección Quebrada La

Piñalerita (Sabanalarga, Casanare) utilizando la nomenclatura de Arcillas del Limbo para la Formación Los Cuervos, datándola como Paleoceno Superior.

Lowe S, et al, en “High resolution Biostratigraphy of the Cusiana Field Reservoirs, Llanos Foothills, Colombia” propone una edad de Paleoceno tardío para la parte mas inferior de la Formación Los Cuervos, con base en el análisis palinológico de 124 muestras provenientes de la Formación Barco y la parte inferior de Los Cuervos.

1.6 TRABAJOS ANTERIORES

El “Estudio Técnico para la Explotación de la formación Los Cuervos en el Campo Cupiyagua Sur”, tuvo como propósito la sustentación técnica para la explotación de hidrocarburos en esta Formación, y se realizó con base en la información geológica y de ingeniería adquirida durante los años 2001 al 2003, dentro de los límites de la actual área comercial del Campo. Se sugiere un sistema de canales aluviales desarrollados en la parte media de la Formación Los Cuervos y evidenció la existencia de hidrocarburos en los Cuervos.

Cooper et al (1995), “Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia”, este texto es utilizado ampliamente como referencia en los trabajos realizados sobre la geología del Piedemonte Llanero y del Valle Medio del Magdalena.

Este trabajo presenta el marco estratigráfico regional y describe la evolución de la cuenca, ambientes de formación, tipos de contactos entre Formaciones, evolución estructural y estilo de deformación para el Piedemonte Llanero. La información aportada acerca de la Formación Los Cuervos en la Cuenca de los Llanos es muy breve y se remite a concluir sus contactos y posibles ambientes de depositación para la parte inferior y superior del Paleoceno.

La “Evaluación Integrada de yacimientos del Campo Cupiyagua”, realizada por el Instituto Colombiano del Petróleo, División de Producción, idrobo, E. et al, Julio del 2001, analizó las formaciones que conforman la columna comercial de BP en el Campo Cupiyagua, incluyendo la Formación Los Cuervos, intervalo para el cual se generaron cálculos de volumen de roca, y se caracterizaron algunos paquetes de arenas presentes en algunos pozos del Campo, determinando porosidad, permeabilidad y volumen de shales, por medio de un modelo geoestadístico de la Litounidad Los Cuervos y de simulación petrofísica.

2. METODOLOGÍA

La metodología para la realización del presente estudio, se presenta en las siguientes etapas:

- **Recopilación de información y generación de una base de datos:**

Bibliografía perteneciente al área del Piedemonte Llanero, descripción y generalidades de la Formación Los Cuervos. Revisión de los trabajos anteriores y adquisición de los datos existentes como lo son registros eléctricos, intervalos corazonados e información de producción.

- **Elaboración de Correlaciones Estratigráficas:**

En esta fase del proyecto se elaboraron correlaciones para 40 pozos del Campo Cupiagua y Cupiagua Sur en la Formación Los Cuervos, definiendo los intervalos principales.

- **Elaboración de Mapas:**

Utilizando Software Geolog y Openworks, se generaron mapas de Gamma Ray y Net Sand, para observar la distribución de las arenas en la Formación Los Cuervos dentro del Área de estudio.

- **Integración de la información de producción:**

Se realizó una revisión de la información de producción en los pozos que presentaban intervalos cañoneados en la Formación Los Cuervos para los Campos Cupiagua y Cupiagua Sur.

- **Revisión de núcleos de perforación:**

Descripción de los núcleos de perforación disponibles para la formación Los Cuervos, en el área de operaciones BP, en la cual se identificaron las características como litología y estructuras sedimentarias presentes.

- **Análisis de Resultados:**

Se integra e interpreta la información y datos adquiridos en el desarrollo del estudio para de esta manera realizar la caracterización geológica de la Formación Los Cuervos.

Se identifican las oportunidades con un posible potencial de producción en esta unidad en el área del Campo Cupiagua y Cupiagua Sur.

- **Elaboración del Reporte final:**

Se generó un reporte escrito en el cual se presentaron los resultados del estudio y recomendaciones.

3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y GENERACIÓN DE UNA BASE DE DATOS

3.1 POZOS PERFORADOS QUE ALCANZARON LA FORMACIÓN LOS CUERVOS EN LOS CAMPOS CUIAGUA, CUIAGUA SUR Y LA LICENCIA RECETOR

Para dar inicio a la realización del proyecto fue necesario elaborar un inventario con los pozos que durante su perforación alcanzaron la Formación Los Cuervos, también se incluyeron tres pozos del Campo Cupiagua Sur, uno del Campo Cusiana y uno de la licencia de explotación Recetor.

A la fecha un total de 40 pozos perforan la Formación Los Cuervos ubicados en los Campos en mención, de estos pozos el pozo18, fue excluido en la elaboración de las correlaciones estratigráficas, debido a que en su trayectoria perforó la Formación los Cuervos en la parte frontal de la zona de imbricados en donde se presentan mayores buzamientos, dando como resultado un espesor aparente mayor que no concuerda con el observado en los demás pozos.

En la **Fig. 10** se muestra la ubicación espacial de los pozos utilizados para la realización de la caracterización de la Formación Los Cuervos.

Como se mencionó anteriormente durante los años 2001 al 2003, BPX, previa interpretación estratigráfica y sedimentológica inició un programa de cañoneo para incrementar el recobro de hidrocarburos, adicionando nuevos intervalos de producción en la sección arenosa de la parte media de la Formación Los Cuervos encontrada en el pozo 3. Después de realizar el inventario de los pozos perforados que alcanzaron la Formación Los Cuervos, se procedió a escoger, los pozos que contaban con los sets de registros eléctricos (GR, GR espectral, Resistividad, Neutrón) en el intervalo de interés.

Debido a no ser considerada de interés económico, la Formación Los Cuervos, cuenta con muy poca información en el área del Piedemonte Llanero, en las áreas de operación de BPX Colombia, es por esto que se cuenta con solo cuatro pozos corazonados, algunos hacia la base y el tope esto con el fin de determinar los límites o contactos con las Formaciones Barco y Mirador, también se incluyó el pozo A del Campo Cusiana, debido a la limitante de información.

En las **Figs. 11 a 14** se muestran para cada pozo corazonado su respuesta al registro de Rayos Gamma. Con el fin de ajustar las profundidades de perforación y registro fue necesario aplicar una constante de amarre la cual varía de un pozo a otro.

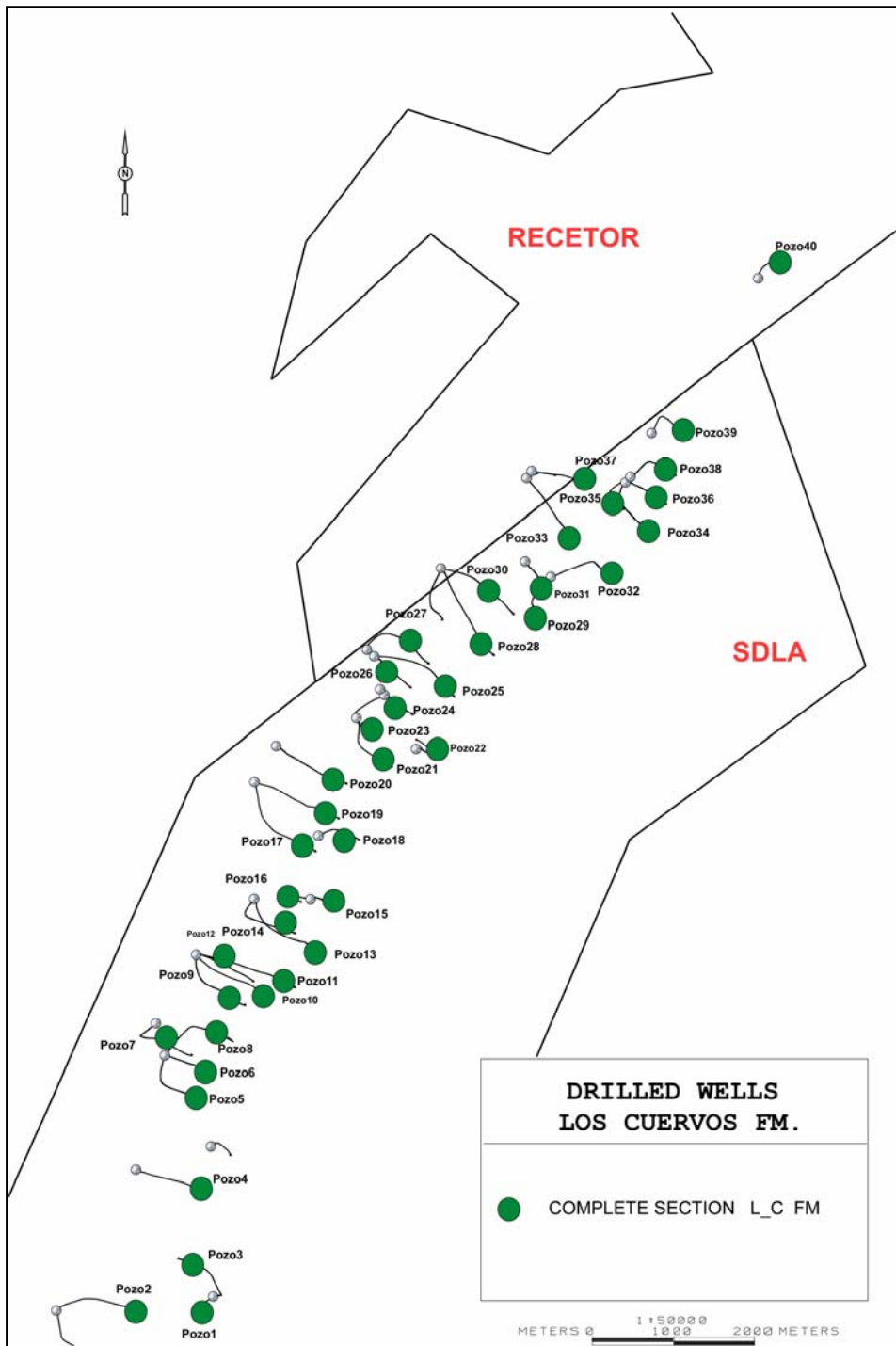


Fig. 10—Ubicación espacial de los pozos empleados para la Caracterización Geológica de La Formación Los Cuervos en los Campos Cupigua, Cupigua Sur y Licencia de explotación Recetor

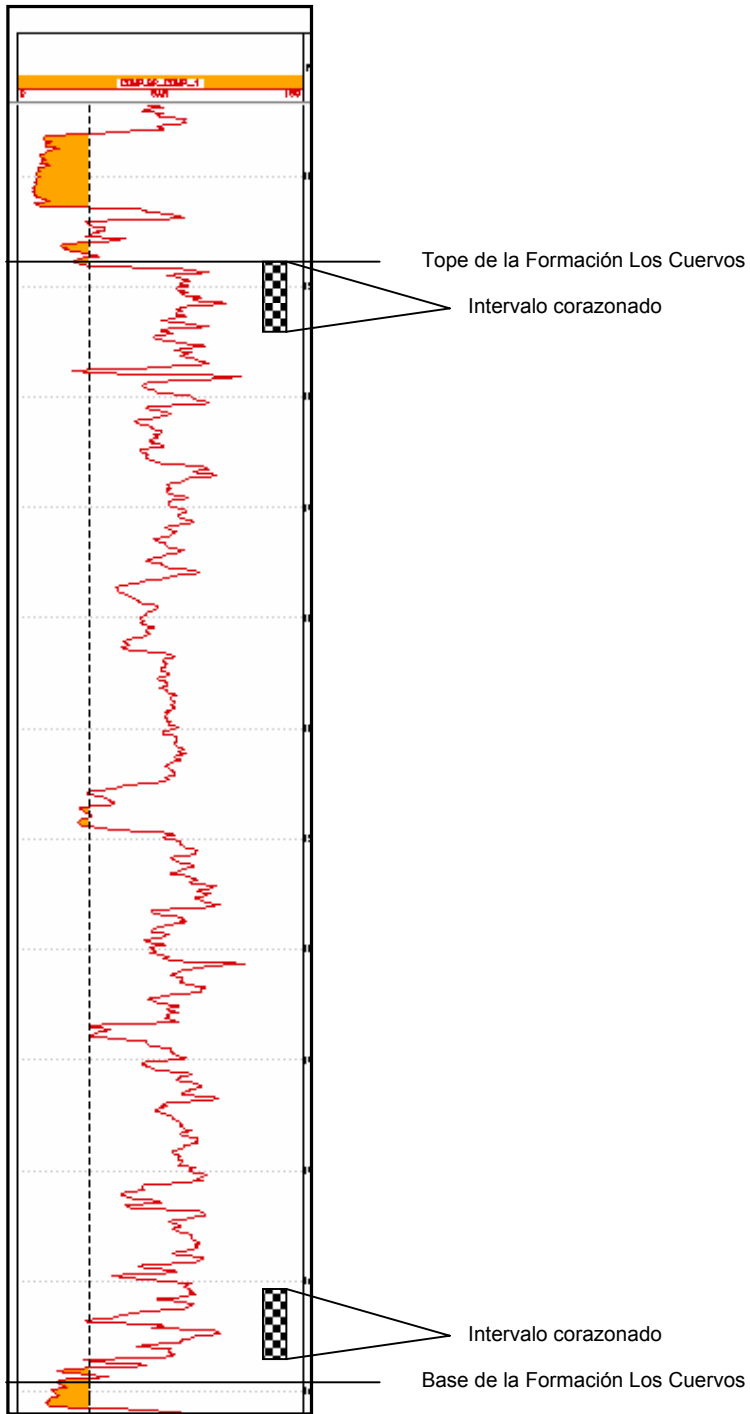


Fig. 11—Respuesta al registro Rayos Gamma del pozo A, Campo Cusiana

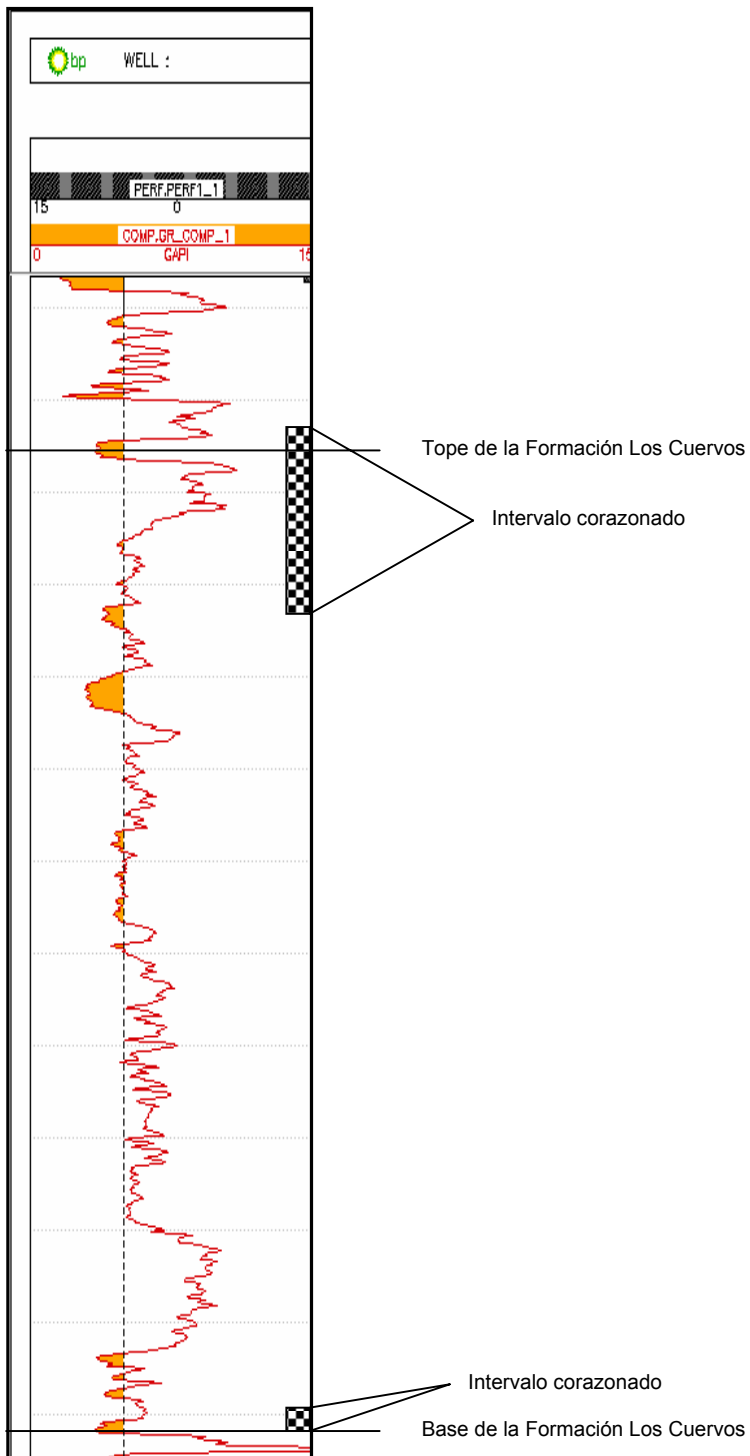


Fig. 12—Respuesta al registro Rayos Gamma del pozo 22, Campo Cupiagua

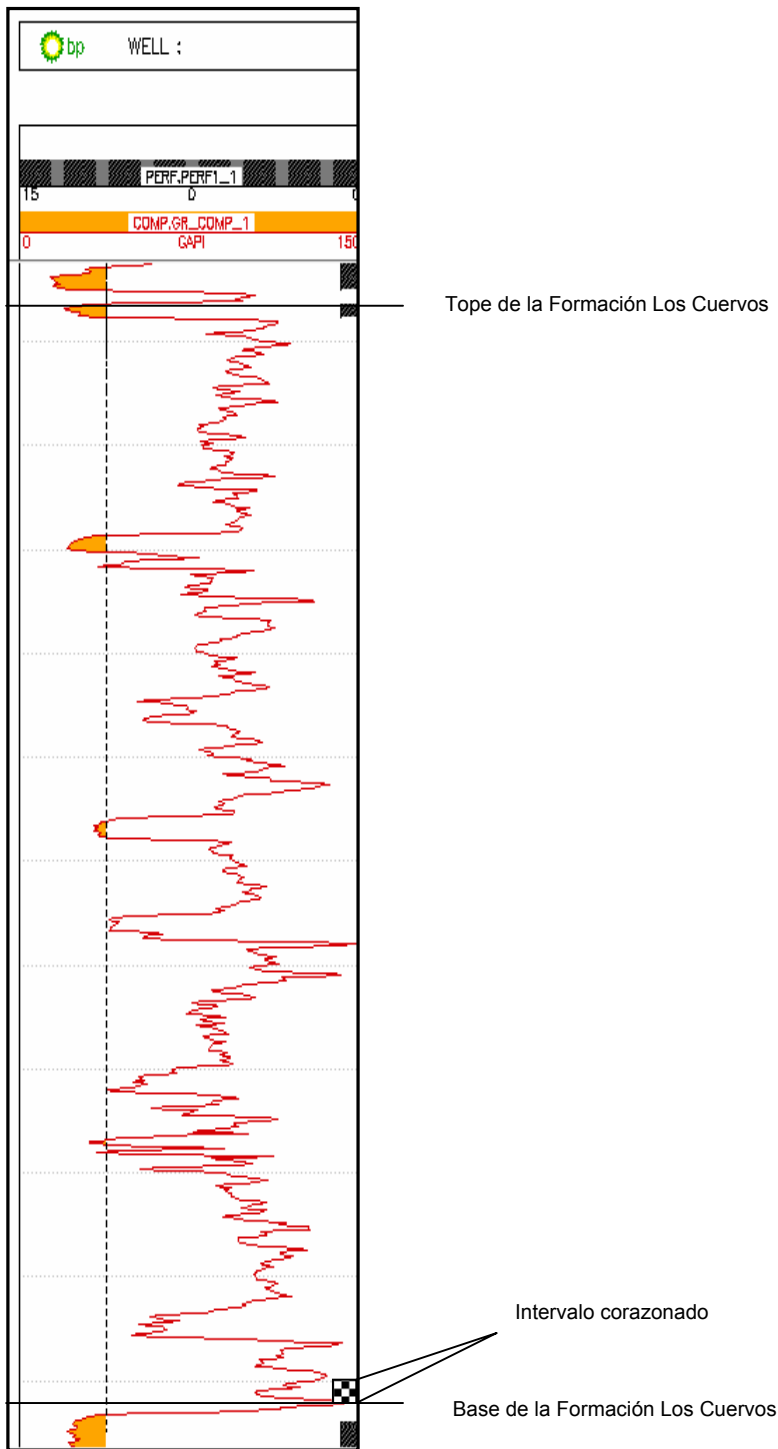


Fig. 13—Respuesta al registro Rayos Gamma del pozo 34, Campo Cupiagua

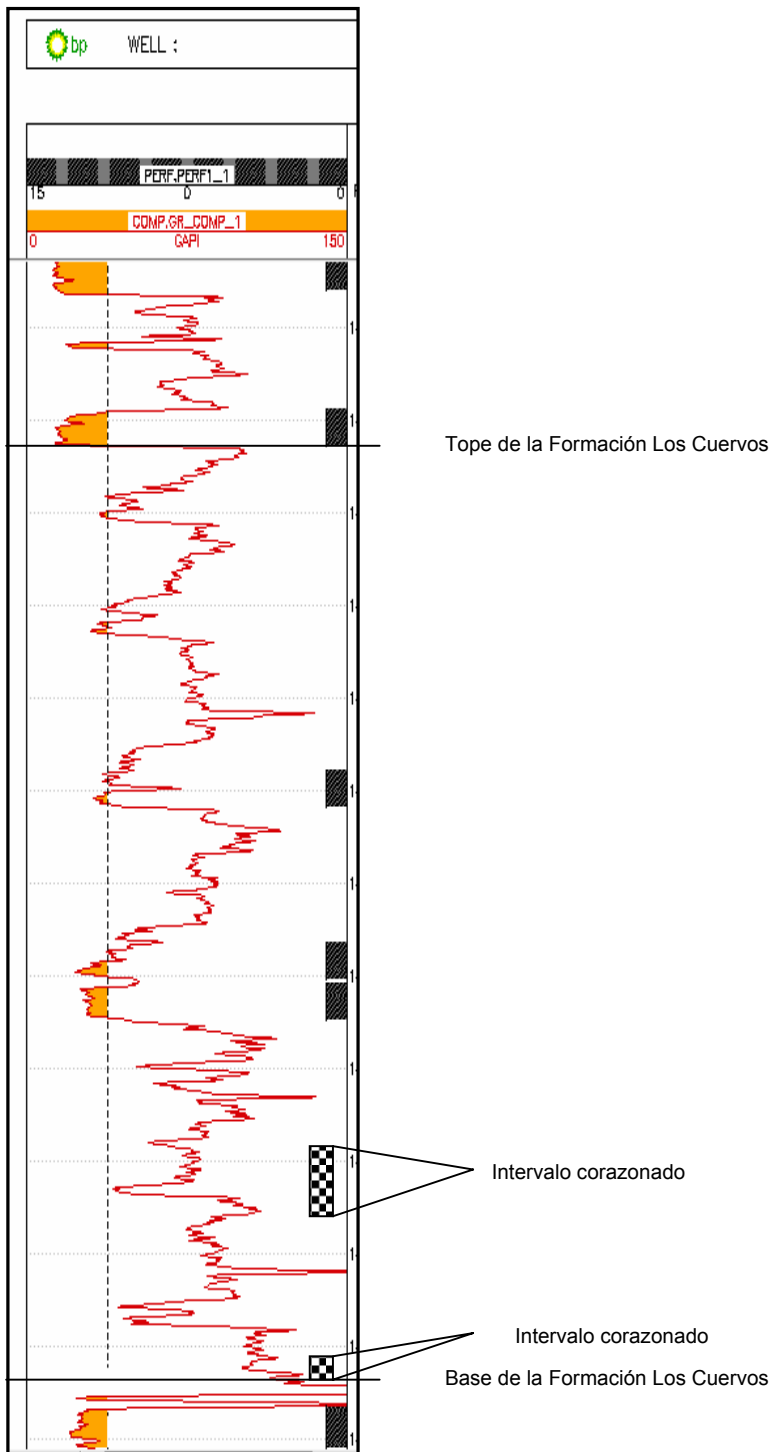


Fig. 14—Respuesta al registro Rayos Gamma del pozo 24, Campo Cupiagua

3.2 HISTORIA DE PRODUCCIÓN EN LA FORMACIÓN LOS CUERVOS

Como se mencionó anteriormente, luego de un programa de cañoneo, en algunos pozos del Campo Cupiagua, Cupiagua Sur y Recetor, se comprobó la existencia de hidrocarburos en la Formación Los Cuervos. En la **tabla 1** se pueden observar los pozos que han reportado producción en este intervalo litológico.

Pozo	Fecha PLT
Pozo2	Jan 2003
Pozo9	Mar 2000
Pozo13	Feb 2001
Pozo29	Jan 1999
Pozo30	Dec 2002
Pozo27	Sep 1999
Pozo36	Sep 2003
	May 2000
	Jul 2005
Pozo40	Jan 2005
	May 2003
	Jan 2006
	Feb 2007
	Apr 2007

Tabla 1. Producción Interpretada de PLT proveniente de la Formación Los Cuervos

4. ELABORACIÓN DE CORRELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Para la selección de los pozos a correlacionar se tuvo en cuenta los que tuvieran los sets de registros completos en la Formación Los Cuervos; el registro base para la realización de las correlaciones fue el de Rayos Gamma, además se incluyó el registro de neutrón.

La metodología seguida para la elaboración de las correlaciones incluyó la selección de los pozos en los que se pudiera observar un set mas completo de registros GR, GR espectral, Neutrón y resistividad para realizar una correlación master y con base en esta poder establecer los diferentes intervalos o subunidades en la Formación Los Cuervos, además se escogieron los pozos que por su ubicación espacial se pudieran agrupar con otros pozos adyacentes y así poder dividir el área de estudio en 5 grupos, se trato que cada uno de estos grupos tuviese como mínimo un pozo en la correlación master, un total de 10 pozos de 40 fueron escogidos para la elaboración de la correlación base. En la **figs. 15 y 16** se puede observar la ubicación espacial de los pozos correlacionados y los grupos seleccionados.

En los **anexos 1-6** se pueden observar las correlaciones estratigráficas realizadas para los 5 grupos en los que se dividió el área de estudio, (**Correlaciones Master, 1, 2, 3, 4, 5**). La metodología utilizada para definir los diferentes intervalos o miembros se basó en establecer patrones de respuesta de los diferentes pozos al registro de rayos gamma y tratar de seguir líneas de tiempo (ley de Walter) y distribución lateral de facies. Otro factor importante utilizado fue el de mantener una coherencia en los espesores de cada unidad. El hecho de que a lo largo de la Formación Los Cuervos es claramente visible la distribución de un intervalo con intercalación de laminas carbonosas (LC 2 y LC 3), sirvió para tomar como datum para las correlaciones el tope del miembro Los Cuervos 3, esto con el objetivo dar mayor claridad visual a las correlaciones.

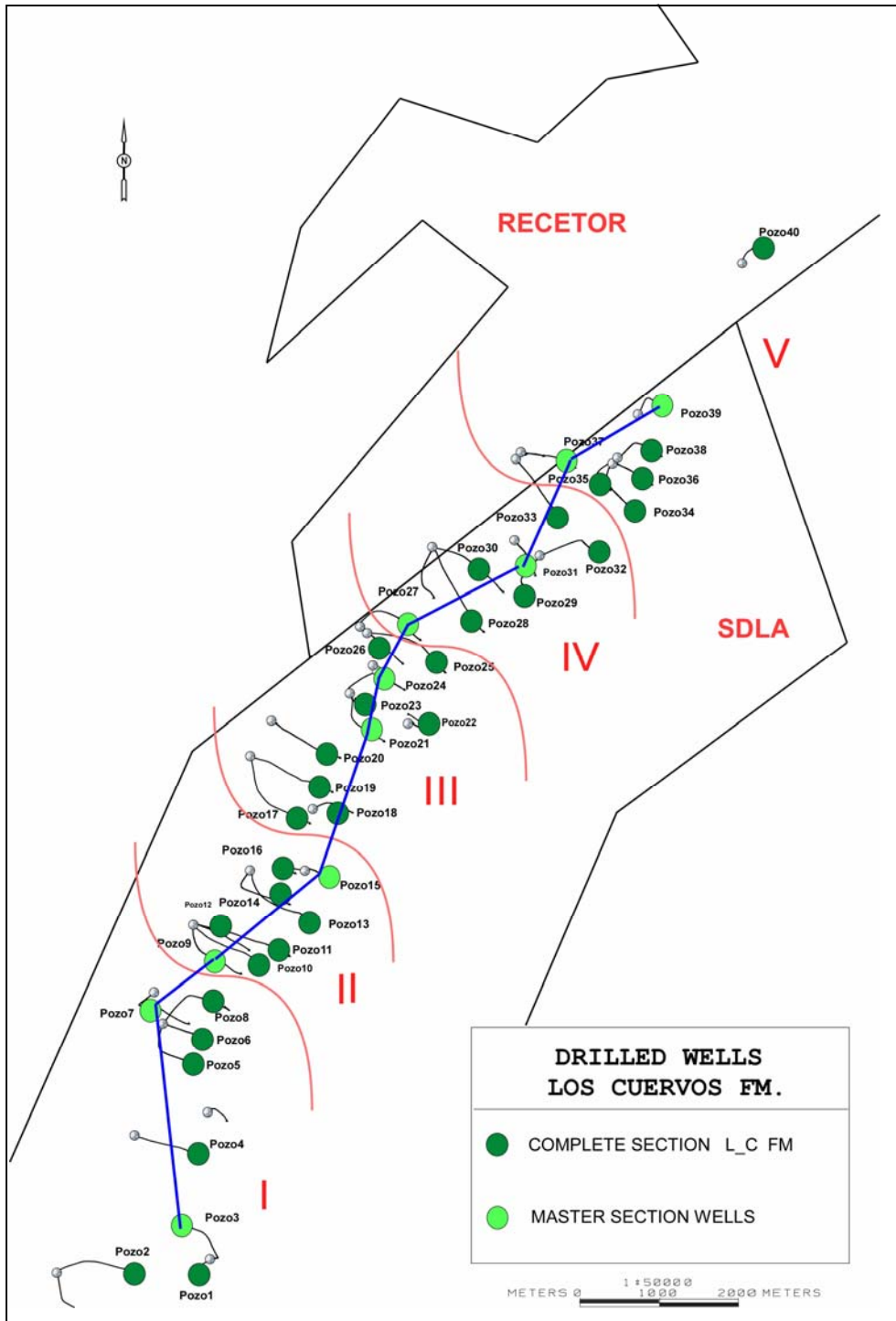


Fig. 15—Ubicación espacial de los pozos utilizados para la correlación master

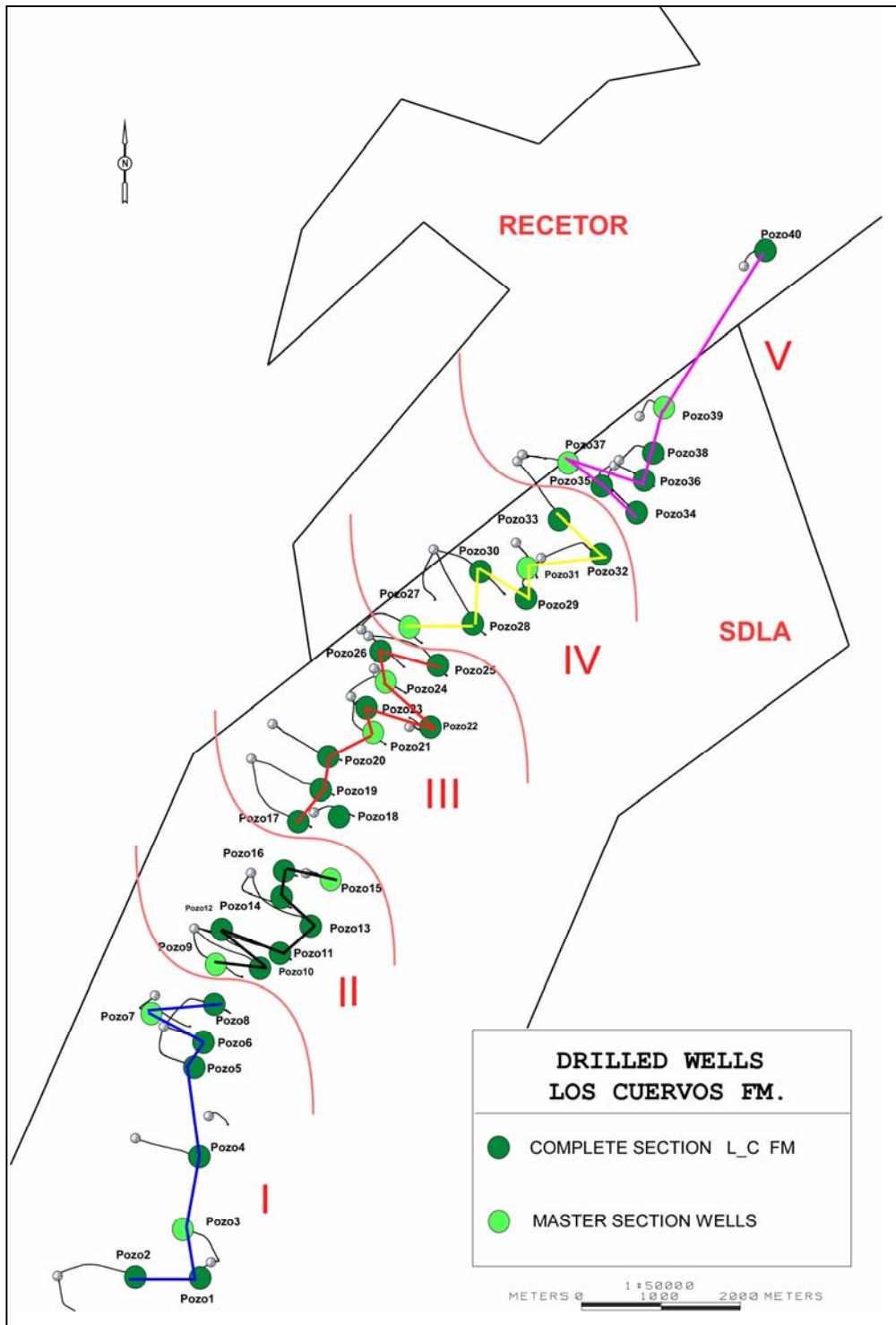


Fig. 16—Ubicación espacial de las 5 correlaciones realizadas para la Caracterización Geológica de la Formación Los Cuervos

5. NORMALIZACIÓN DE REGISTROS

Una vez determinados los intervalos, se procedió a realizar una normalización de los registros GR, debido a que aunque los registros fueron tomados por la misma compañía prestadora de servicios (Schlumberger), estos habían sido tomados en diferentes fechas desde los primeros años de desarrollo de los Campos Cupiagua, Cupiagua Sur y la licencia de explotación Recetor, de esta manera se daba la posibilidad de cambiar la respuesta ejercida por la herramienta hacia la Formación por factores de calibración de la misma.

Para este fin se utilizó el paquete petrofísico del software GEOLOG de PARADIGM, las etapas seguidas para la normalización de registros GR, se sintetizan de la siguiente manera:

- Visualización de los histogramas de frecuencia para todos los pozos
- Selección de un pozo de calibración el cual debía reunir las características principales para la Formación Los Cuervos. Para esta labor se seleccionaron 450 ft por encima de la Formación Los Cuervos y 200 ft por debajo de la misma, esto con el ánimo de tomar las arenas de la Formación Mirador y los lodos de la Formación Los Cuervos y de esta forma ser más representativos. El pozo seleccionado fue el pozo 36.
- Con base en los percentiles 10, 50 y 90 del pozo de calibración se ajustan los valores de los demás pozos, estos valores son cargados directamente en el software luego de ser leídos en el histograma de frecuencia del pozo seleccionado como base de la normalización (CPH8).
- Se ejecuta el comando de normalización para los pozos cargados; en las **Figs. 17 y 18** se puede observar los registros antes y después de normalizar de los pozos 15 Y 28 utilizados en la elaboración de las correlaciones.

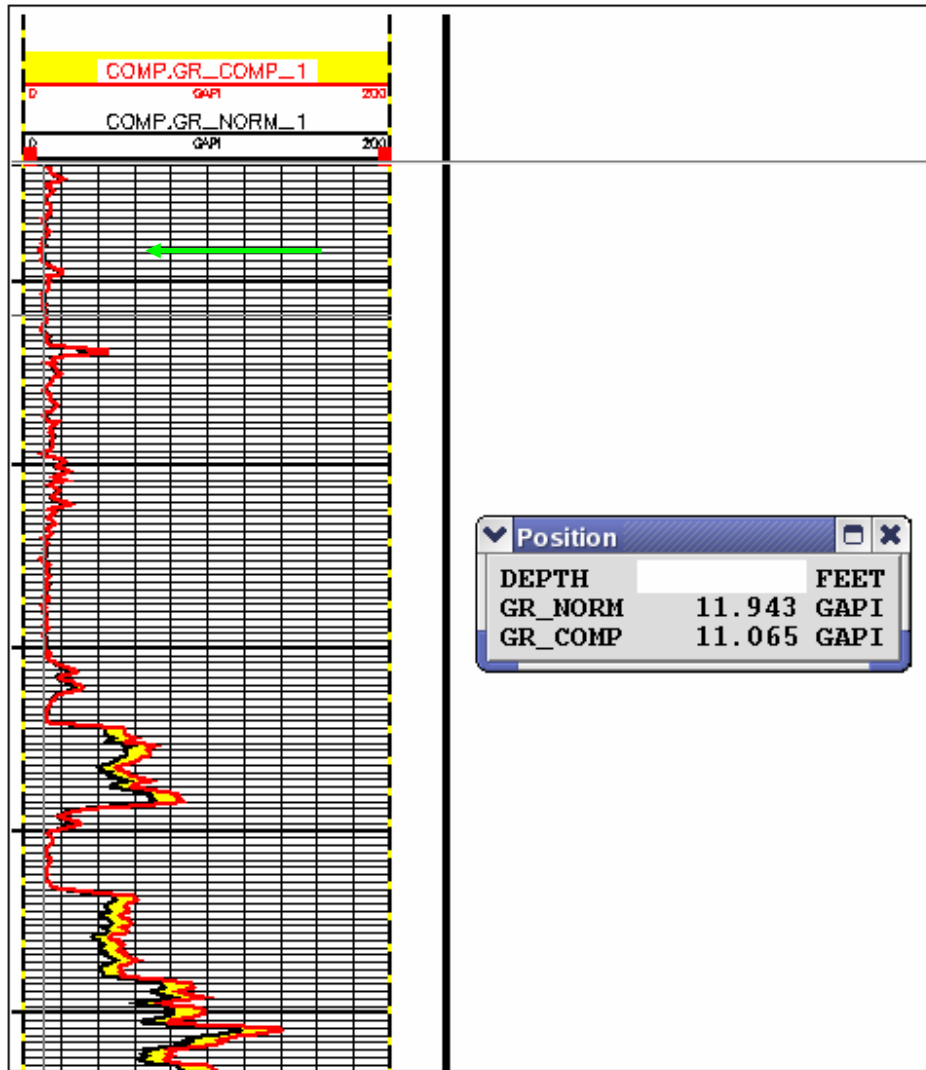


Fig. 17—Respuesta del registro GR del pozo 15 antes (rojo) y después (negro) efectuada la normalización, nótese el desplazamiento de la línea (sombreado amarillo), la línea verde indica la profundidad del recuadro.

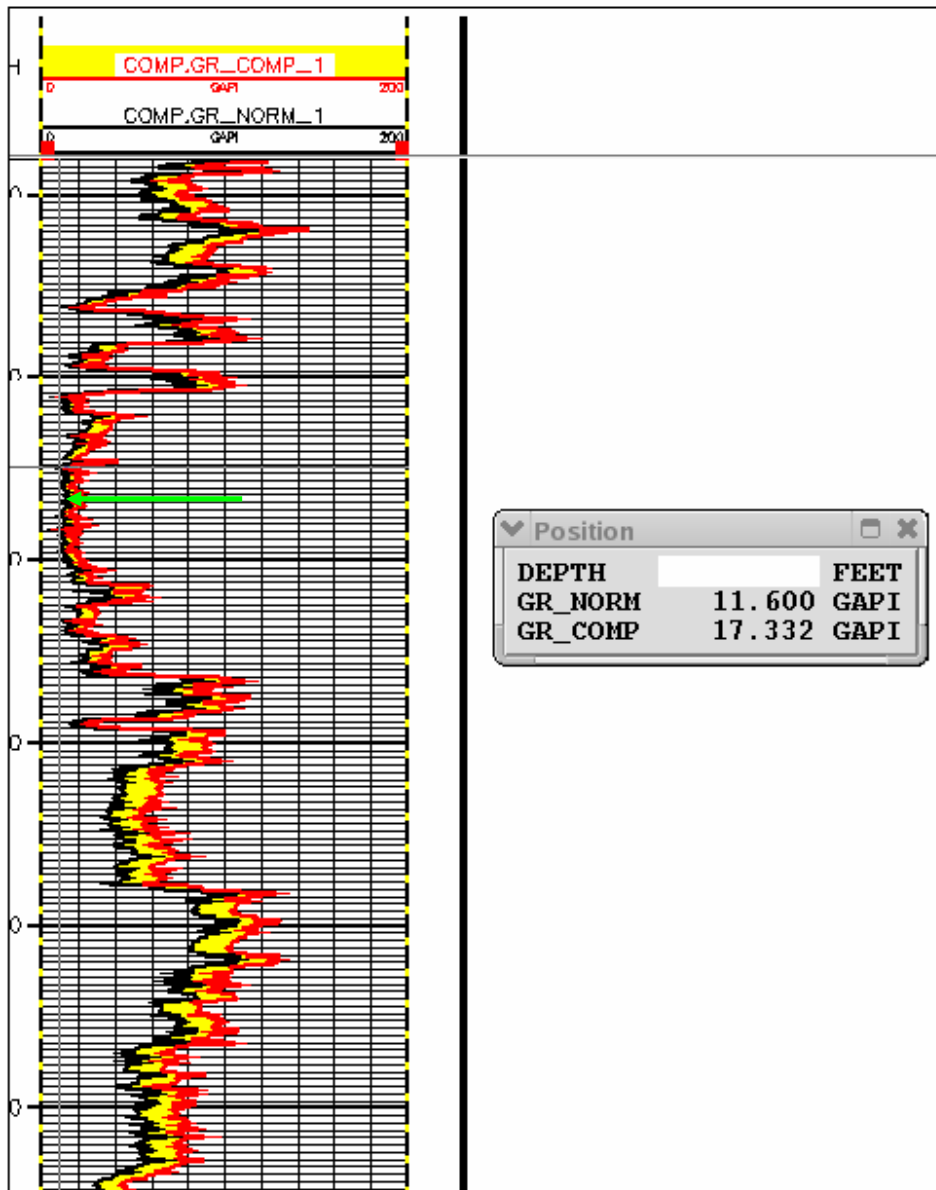


Fig. 28—Registro GR del pozo 28, antes (rojo) y después (negro) efectuada la normalización, nótese el desplazamiento de la línea (sombreado amarillo), la línea verde indica la profundidad del recuadro.

6. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA A PARTIR DE NÚCLEOS DE PERFORACIÓN E INTERPRETACIÓN DE REGISTROS EVALUACIÓN DE FORMACIÓN

6.1 DESCRIPCIÓN DE NÚCLEOS DE PERFORACIÓN

En esta fase del proyecto se realizó la descripción de tres pozos con intervalos corazonados en la Formación Los Cuervos.

6.1.1 POZO 22 (Fig. 19)

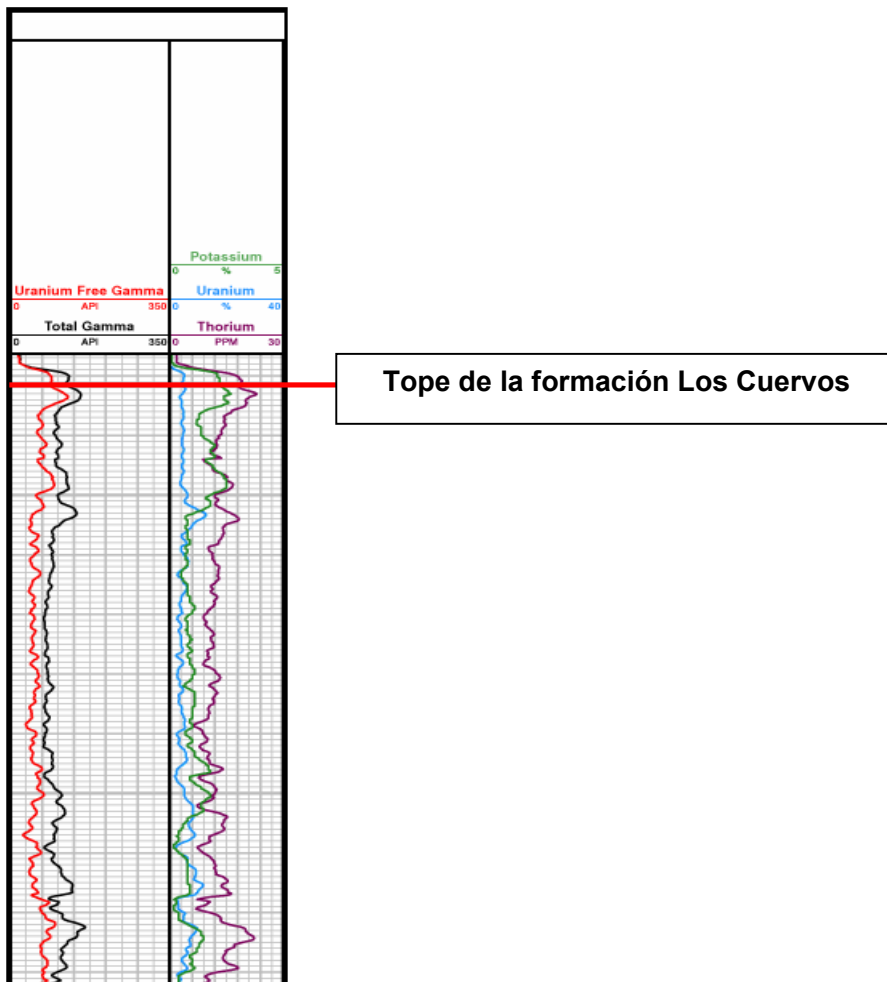


Fig. 19—Intervalo corazonado en el pozo 22

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

Hacia el tope de la Formación Los Cuervos se puede observar un cambio inmediato de una litología predominantemente lodosa de color gris rojizo, característica de ambientes continentales, a una arenosa de color gris de aproximadamente 21 ft de espesor que contiene además interlaminaciones lodosas de color gris mas oscuro, este cambio inmediato se interpreta como el contacto entre las Formaciones Los Cuervos y Mirador y se puede observar que es neto erosivo, estas arenas tienen una porosidad que oscila entre 0.6% y 5.8% con permeabilidades muy bajas entre 0.009 md y 0.016 md, las bajas permeabilidades obedecen a que son arenas con alta proporción de material lodoso, además pudieron haber sido afectadas por fenómenos de compactación que concuerda con la densidad de grano que oscila entre 2.66 g/cc y 2.68 g/cc. No se observaron estructuras sedimentarias, en la **figs. 20 y 21** se muestra el contacto entre las Formaciones Los Cuervos – Mirador y el carácter lodoso del tope de la Formación LC respectivamente.

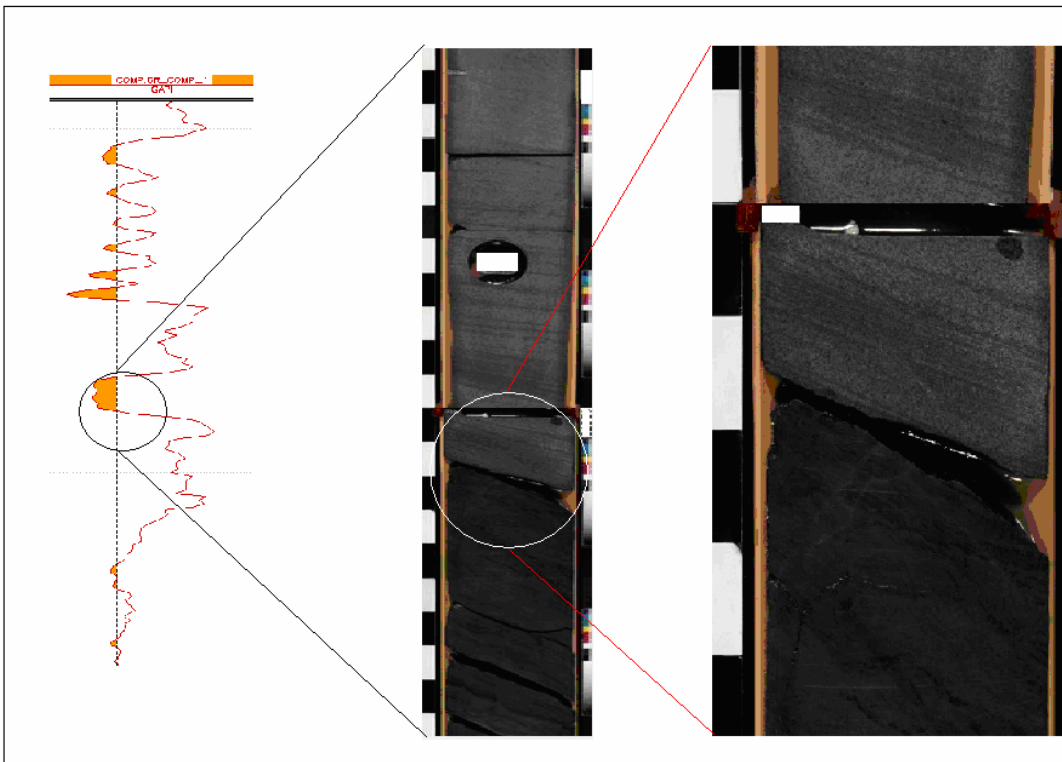


Fig. 20—Contacto entre las Formaciones Barco y Mirador, pozo 22, respuesta del registro GR.

En la **Fig. 21** se muestra el carácter lodoso de la Formación Los Cuervos hacia el tope, en contraste con las arenas de la base de la Formación Mirador al lado derecho.

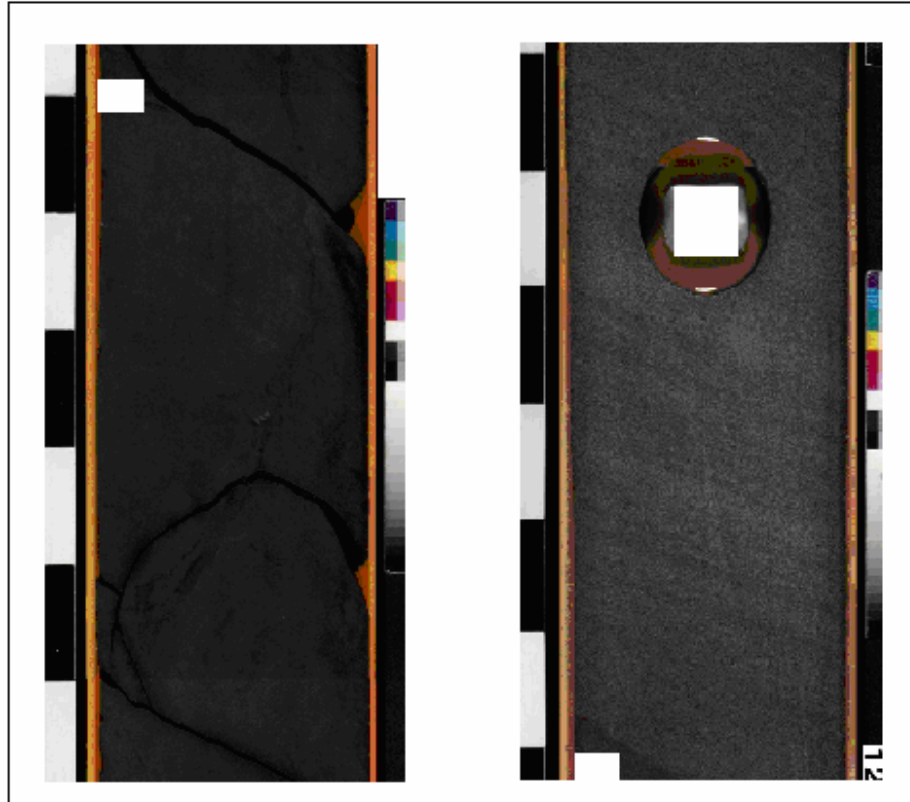


Fig. 21—A la izquierda lodolita gris rojiza de la Formación Los Cuervos, Pozo 22, a la derecha Arenisca lodosa gris de grano fino de la Formación Mirador.

6.1.2 POZO 24

DESCRIPCION LITOLÓGICA Y ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

A el intervalo corazonado, **Fig. 22**, se le aplicó un ajuste de 28 ft, este consiste de un paquete lodoso de color gris rojizo, que refleja su carácter continental, no se observaron estructuras sedimentarias, ni intervalos arenosos **Fig. 23**.

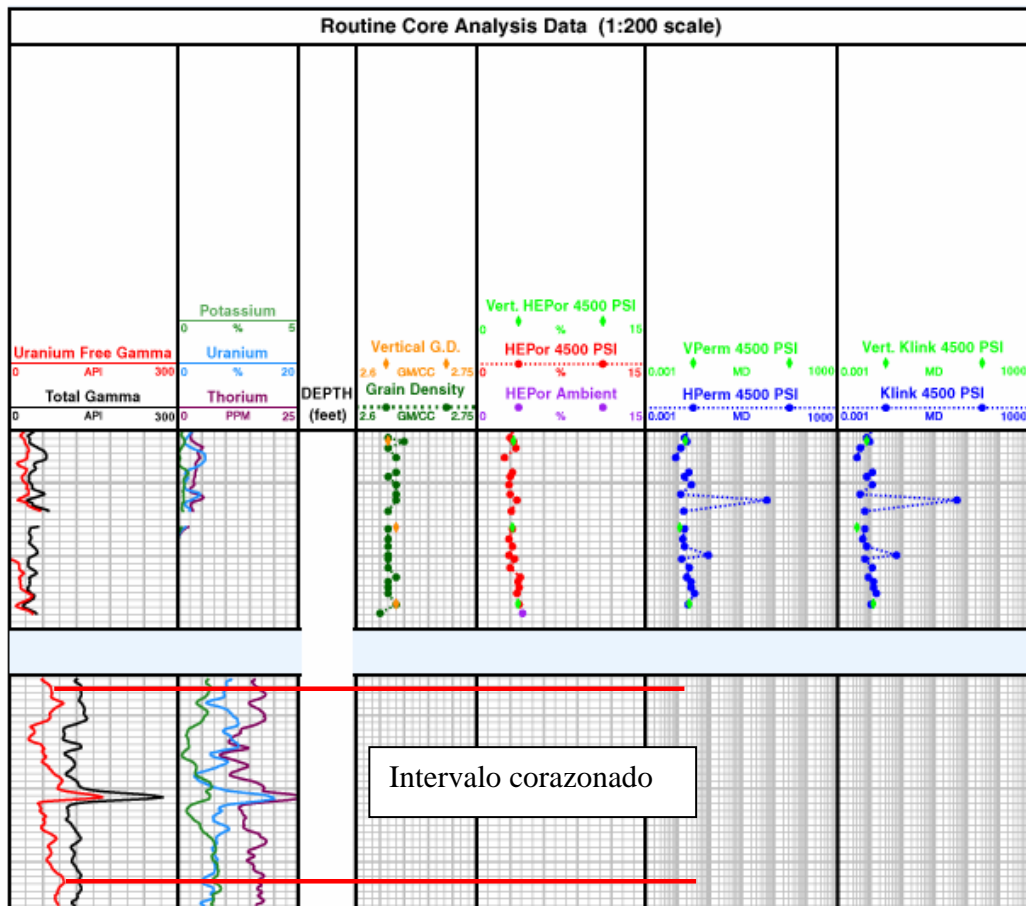


Fig. 22—Intervalo corazonado del Pozo 24

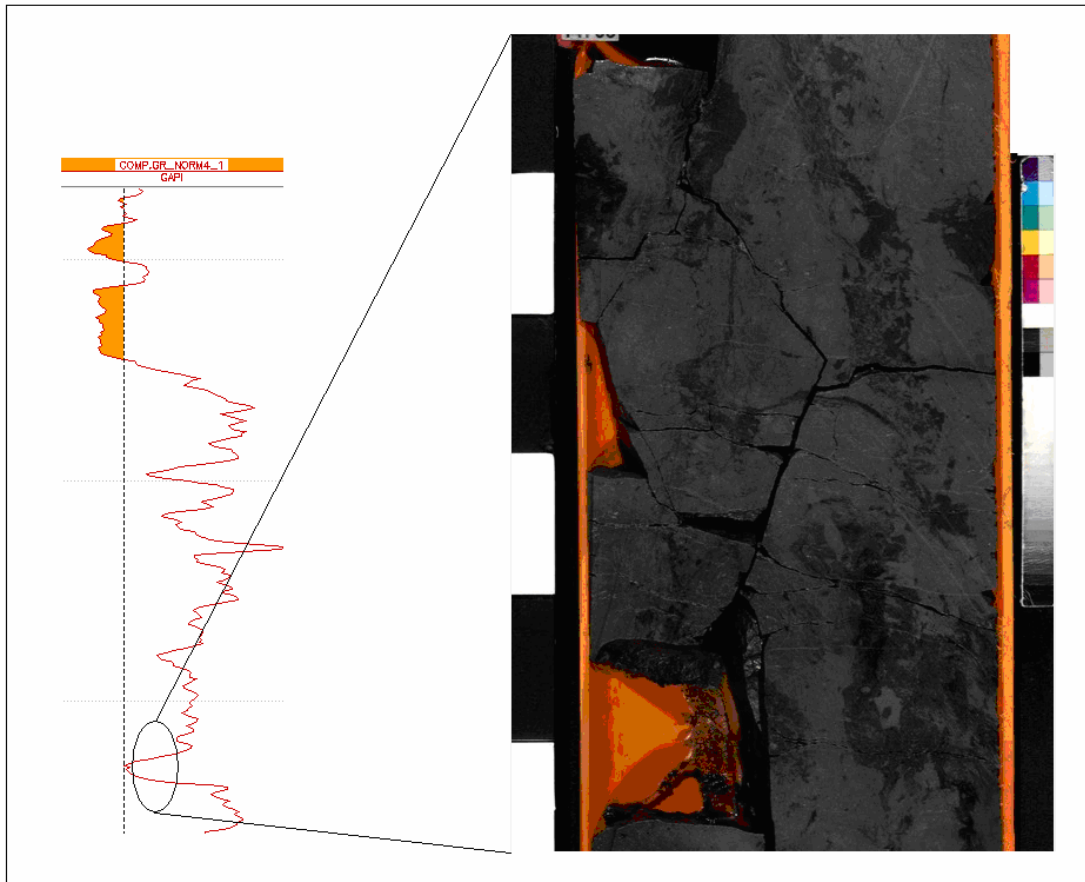


Fig. 23—Interval corazonado Pozo 24 Formación Los Cuervos, respuesta registro GR

Debido a que solo existen 3 pozos corazonados en la Formación Los Cuervos en el Campo Cupiagua, se tuvo que recurrir a la descripción de un intervalo corazonado en el pozo A del Campo Cusiana.

6.1.3 POZO A - CAMPO CUSIANA

Este pozo según conocimiento del geólogo Simón Hincapié del Grupo Cusiana presentaba una sección corazonada en la cual se podían observar algunos intervalos arenosos pertenecientes a la Formación Los Cuervos.

DESCRIPCION LITOLÓGICA Y ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

A este intervalo se le tuvo que aplicar un ajuste de 9.3 ft para ajustar con la profundidad de registro, en esta sección se puede observar un paquete de arenas de color gris claro, de aproximadamente 22 ft, con laminación incipiente de material lodoso de color gris oscuro; hacia la parte media de este intervalo arenoso se observa estratificación cruzada no planar, las permeabilidades observadas son bajas y oscilan entre 0.002 milidarcis y 0.2 milidarcis con porosidades entre 2.3% y 6.9 %, en cuanto a la densidad de grano se tiene que estas varían entre 2.63 g/cc y 2.67 g/cc lo que indica que se encuentran relativamente sucias así como su grado de compactación que afecta directamente la permeabilidad, en la **fig. 24** se puede observar el contraste de las arenas con la interlaminación de material lodoso de color gris oscuro, así como la respuesta al registro GR.

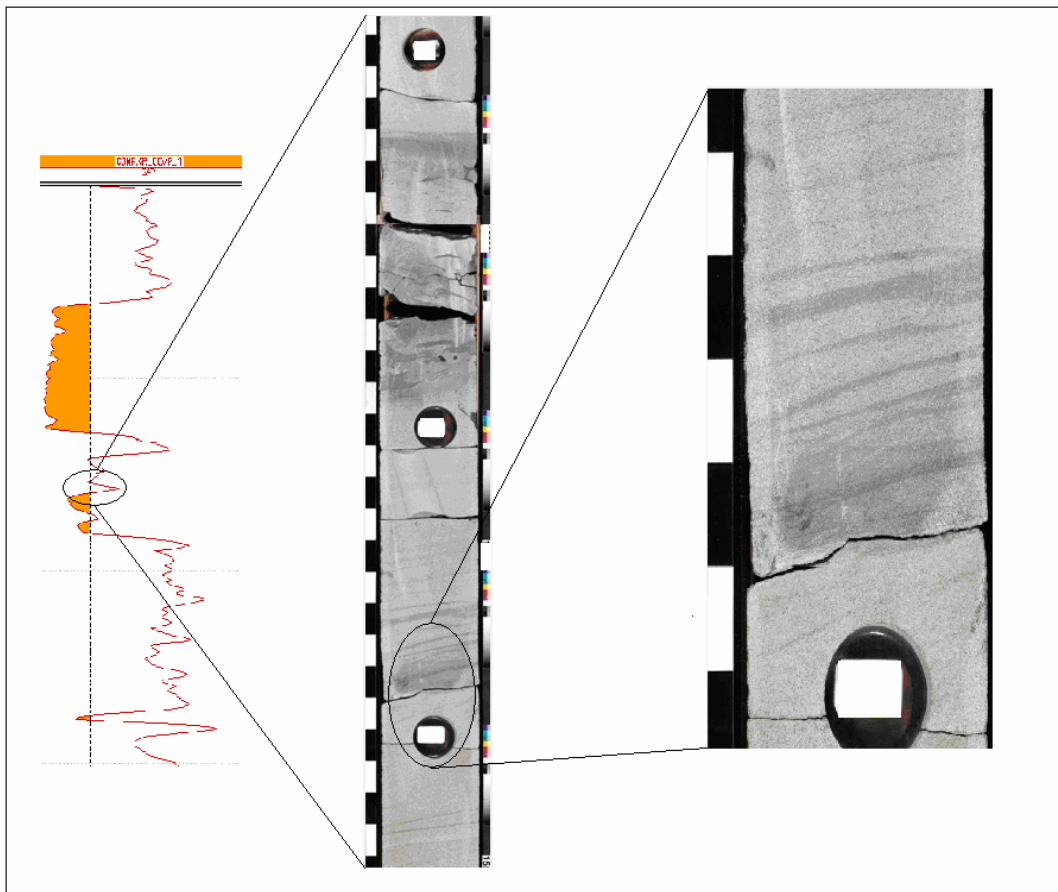


Fig. 24—Intervalo arenoso con interlaminación de lodos de color gris oscuro, Pozo A, Campo Cusiana, permeabilidad 0.085 milidarcis, porosidad 6.9%, DG 2.63 g/cc.

Con lo observado en las dos secciones corazonadas en el Campo Cupiagua se pudo definir que este paquete arenoso corresponde a la parte basal de la Formación Mirador, el contacto con la Formación infrayacente, Los Cuervos, se encuentra a una profundidad de perforación de 1XXXX ft. Como se puede observar en la **fig. 25** la litología lodosa gris rojiza corresponde a la Formación Los Cuervos, (parte inferior) demuestra claramente un ambiente de depositación continental en contraste con el paquete arenoso perteneciente a la Formación Mirador inferior (parte superior).

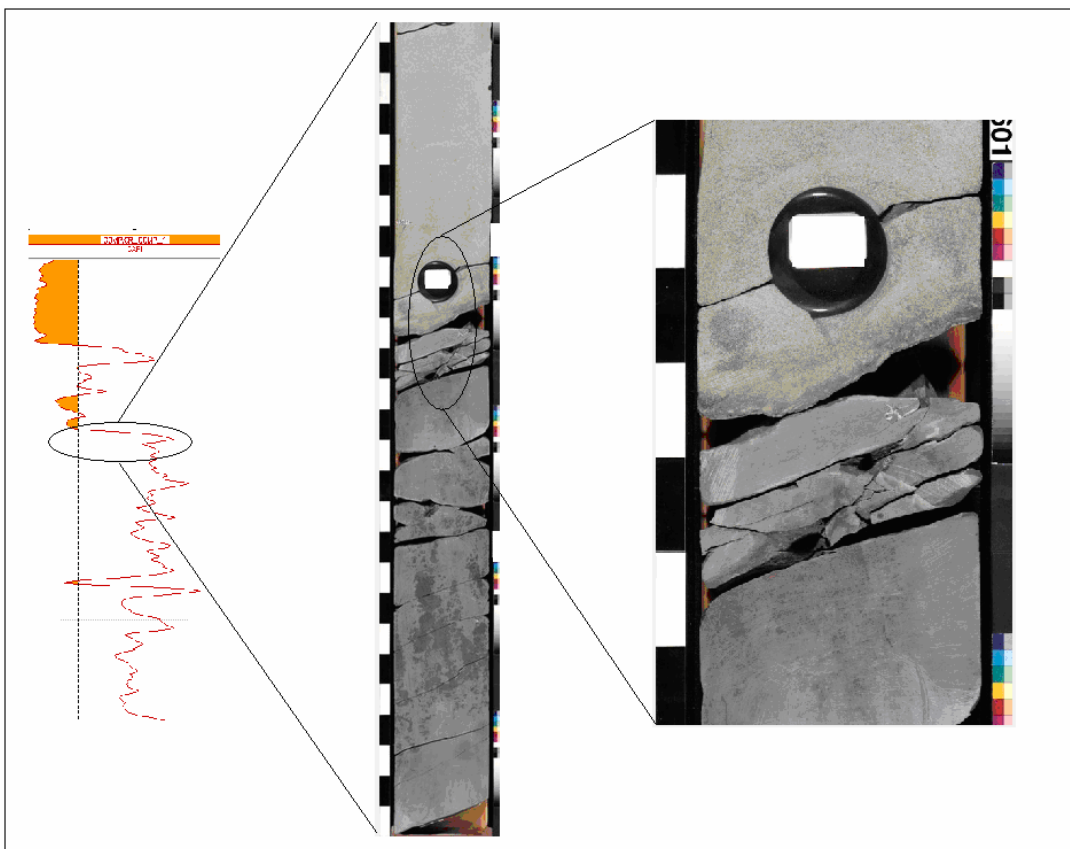


Fig. 25—Contacto entre la Formación Los Cuervos y Mirador, Pozo A, Campo Cusiana

Intervalo arenoso Pozo A Campo Cusiana

Esta sección presenta una litología lodosa de color gris rojizo con presencia de intraclastos de material fino, con tono marrón claro, además se nota la presencia de algunos cuerpos arenosos embebidos que oscilan entre 5 ft y 15 ft de espesor, la porosidad se encuentra entre 2.9% y 8.7%, la permeabilidad entre 0.004 milidarcis y 0.156 milidarcis.

Se observa la presencia de un cuerpo arenoso con porosidad de 7.5%, permeabilidad de 0.014 milidarcis y densidad de grano de g/cc, apoyado de los registros de litología (FEL), se pudo determinar que durante la fase de perforación se evidenció la presencia de hidrocarburos en esta zona. La **fig. 26** muestra la ubicación en registro de este cuerpo arenoso, así como su color y disposición con los lodos de la Formación Los Cuervos.

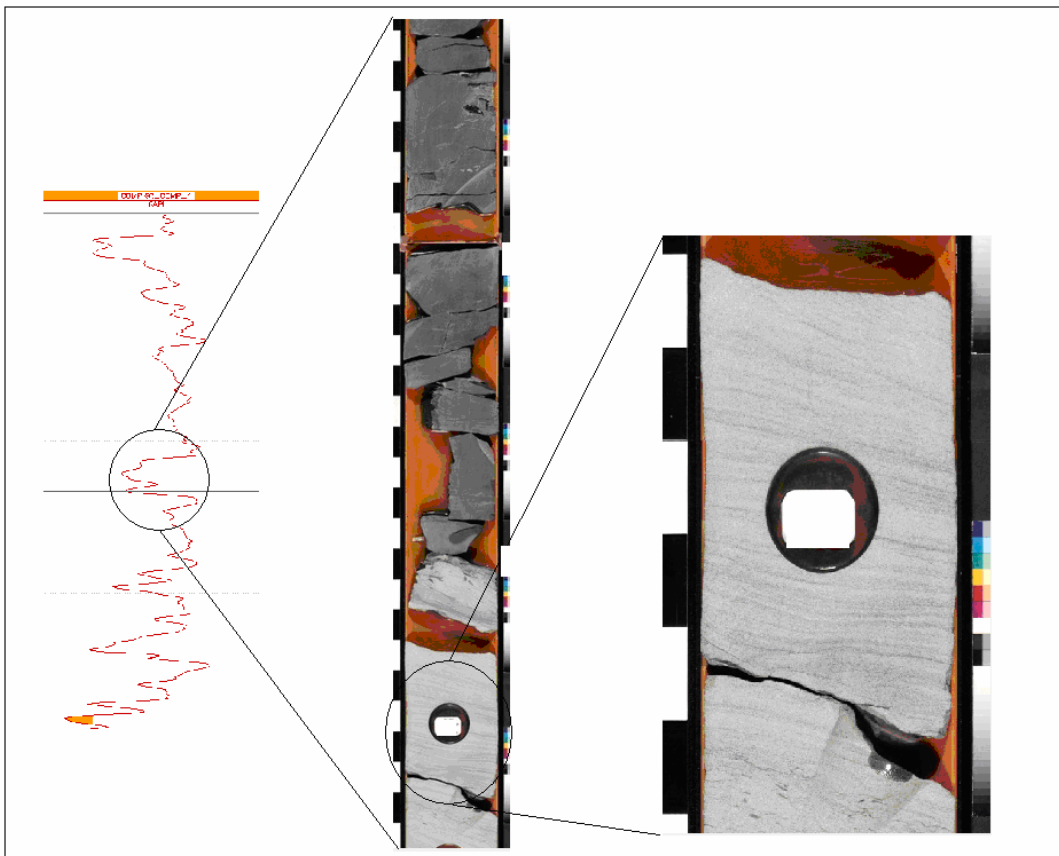


Fig. 26—Intervalo arenoso gris claro embebido en lodos oscuros ambos pertenecientes a la Formación Los Cuervos, Pozo A, Campo Cusiana

A una profundidad de perforación de XXX53 ft se encuentra otro intervalo arenoso de aproximadamente 5 ft, el cual presenta una porosidad de 8.7%, permeabilidad de 0.156 milidarcis (md) y una densidad de grano de 2.66 g/cc, de igual manera dispuesto entre litología lodosa. La **fig. 27** muestra la ubicación en el registro GR de un cuerpo arenoso de tonalidad gris pardosa, así como su disposición entre los lodos ambos pertenecientes a la Formación Los Cuervos.

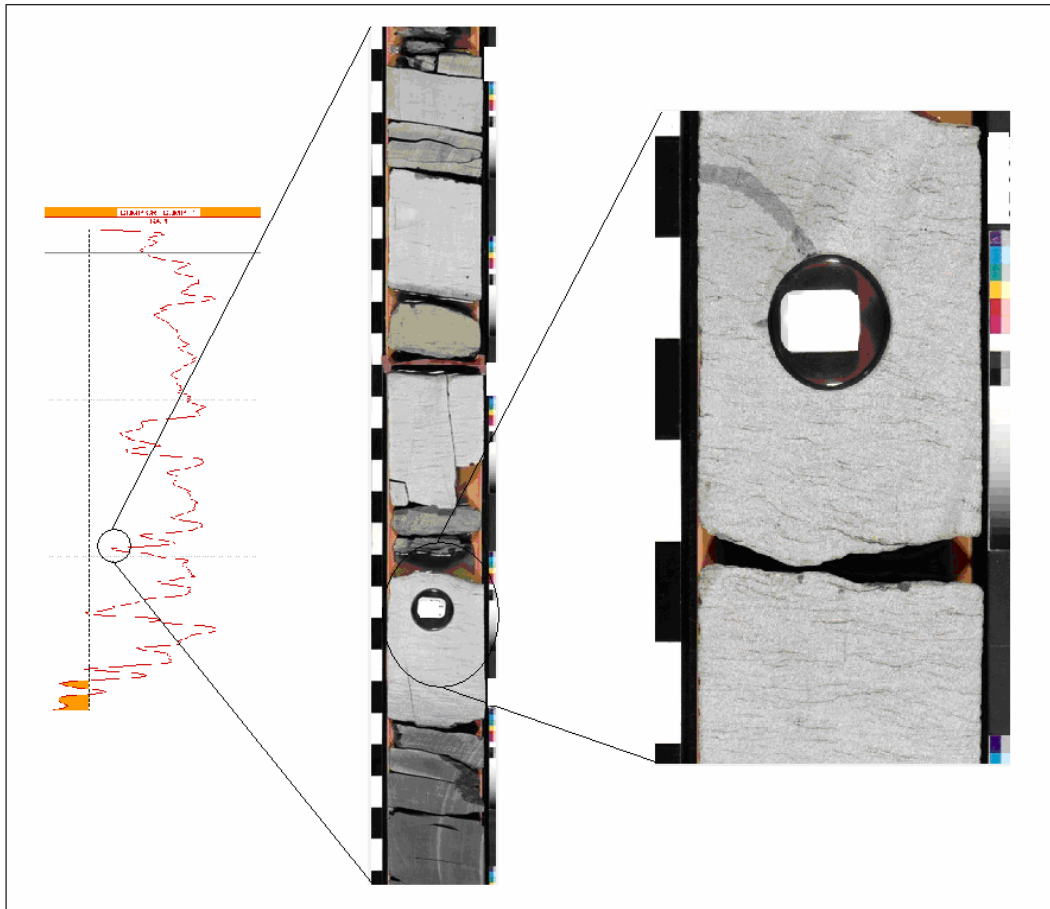


Fig. 27—Intervalo arenoso ubicado en el Pozo A, Formación Los Cuervos

A una profundidad de perforación de XXX72 ft, se ubica un cuerpo arenoso que siguiendo los topes establecidos por BPX Colombia, pertenece a la Formación Los Cuervos, este intervalo presenta unas propiedades muy buenas en comparación con los intervalos arenosos superiores. La arenisca es de color marrón, presenta una porosidad de 10.5%, permeabilidad de 5.51 md y densidad de grano de 2.65 g/cc, con un patrón grano decreciente hacia

el tope. La muestra se encuentra impregnada de aceite. La **fig. 28** muestra el color y la respuesta de este intervalo al registro GR en un patrón de campana aserrada.

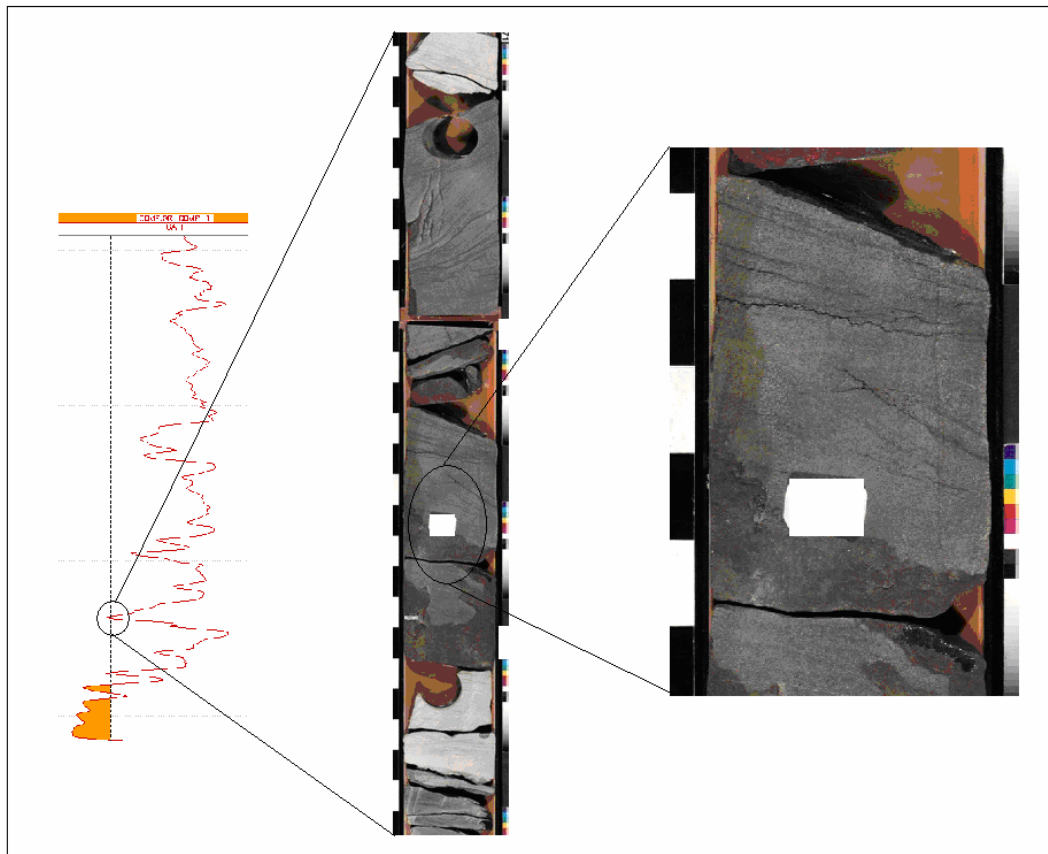


Fig. 28—Intervalo arenoso perteneciente a la base de la Formación Los Cuervos, este intervalo presenta una tonalidad diferente a los cuerpos arenosos superiores.

Con base en la Descripción de corazones disponibles para la Formación Los Cuervos, así como la revisión de los registros de litología, se pudo definir dos tipos de litología los cuales son descritos a continuación.

Es importante dejar en claro que el carácter litológico de la Formación Los Cuervos es diferenciable entre los Campos Cupiagua y Cupiagua Sur, debido a factores estructurales y sedimentológicos.

El cut off de las arenas se definió tomando como base la descripción litológica realizada a los núcleos de perforación y la comparación de esta con

la respuesta de los registros rayos gamma y los registros de litología (FEL). El valor es de 48 unidades API, si se tiene en cuenta que los intervalos arenosos encontrados en los núcleos de perforación coincidieron con esta unidad de medida.

6.2 ARENISCAS

A partir de la descripción de núcleos en los tres pozos antes mencionados, así como la interpretación de los registros de evaluación de formación se determinó que los paquetes de arena son del tipo sublitoarenita, los espesores de estos intervalos serán presentados posteriormente.

De estos paquetes de arenas se tiene que existen dos tipos, el primero es de grano fino con gran compactación y está caracterizado por la intercalación de lodolitas y limolitas, el segundo consta de partículas subredondeadas de tamaño medio a fino y muestra una tendencia grano decreciente hacia el tope con aumento de proporción de arcilla en el mismo sentido.

6.3 LODOLITAS Y LIMOLITAS

Se puede determinar que estas varían hacia el tope de la Formación Los Cuervos en donde predominantemente son de color pardo rojizo varicoloreado, con presencia de intraclastos de colores marrones claros.

Hacia la parte inferior de la Formación Los Cuervos la litología se torna más oscura con presencia de láminas carbonosas de espesores no superiores a los 2 ft.

En la parte media de la Formación las lodolitas se tornan de color gris con presencia de intraclastos de material más fino de color pardo claro y raramente intercalaciones de láminas de carbón.

7. ELABORACIÓN DE MAPAS DE RAYOS GAMMA Y ARENA NETA

Con el objetivo de visualizar las tendencias de distribución de las diferentes litologías encontradas arealmente en la Formación Los Cuervos, se elaboraron mapas de rayos gamma, para cada miembro. En estos mapas se trató de agrupar tendencias de respuesta en los pozos que presentaran cierta proximidad entre si.

Posteriormente se realizó un cálculo de arena neta (net sand) y relación entre arena neta/espesor (net/gross), para cada miembro determinado, en las **Tablas 2 a 6** se presentan los cálculos de net sand y net/gross para cada intervalo de la Formación Los Cuervos, así como el espesor que tiene cada miembro

Como se mencionó anteriormente el cut off utilizado como línea base para la determinación de arenas en el registro de rayos gamma fue de 48 unidades API, para todos los pozos utilizados en la elaboración del proyecto, esta medida pudo ser constatada con los registros de litología y la descripción de intervalos corazonados.

En los **Anexos 7-16** se pueden apreciar los mapas de rayos gamma, y net sand para cada subunidad de la Formación Los Cuervos.

Well	Interval	Thickness (ft)	Net sand (ft)	Net-Gross %
Pozo37	LC_1	97	2	2
Pozo35	LC_1	73	10	14
Pozo34	LC_1	78	0	0
Pozo36	LC_1	73	2	3
Pozo39	LC_1	76	2	2
Pozo40	LC_1	152	0	0
Pozo38	LC_1	86	1	1
Pozo27	LC_1	83	0	0
Pozo28	LC_1	85	6	6
Pozo30	LC_1	93	2	2
Pozo31	LC_1	110	1	0
Pozo32	LC_1	113	3	2
Pozo33	LC_1	118	36	31
Pozo29	LC_1	108	0	0
Pozo17	LC_1	88	6	6
Pozo19	LC_1	106	21	20
Pozo20	LC_1	111	3	2
Pozo23	LC_1	208	116	56
Pozo22	LC_1	110	19	17
Pozo24	LC_1	104	4	3
Pozo26	LC_1	108	2	1
Pozo25	LC_1	94	20	21
Pozo21	LC_1	108	14	13
Pozo9	LC_1	129	0	0
Pozo12	LC_1	122	20	16
Pozo10	LC_1	108	9	8
Pozo13	LC_1	149	31	20
Pozo14	LC_1	117	18	15
Pozo16	LC_1	96	4	4
Pozo15	LC_1	130	52	40
Pozo11	LC_1	92	13	14
Pozo2	LC_1	138	2	1
Pozo1	LC_1	102	10	10
Pozo3	LC_1	95	10	10
Pozo5	LC_1	74	43	57
Pozo7	LC_1	92	1	1
Pozo6	LC_1	102	7	6
Pozo8	LC_1	104	27	26
Pozo4	LC_1	91	8	8

Tabla 2—Espesor (ft), Arena neta (ft) y relación entre arena neta y espesor (%), para el miembro Los Cuervos 1

Well	Interval	Thickness (ft)	Net sand (ft)	Net-Gross %
Pozo37	LC-2	103	21	20
Pozo35	LC-2	100	43	43
Pozo34	LC-2	75	5	7
Pozo36	LC-2	58	0	0
Pozo39	LC-2	114	26	22
Pozo40	LC-2	166	54	33
Pozo38	LC-2	67	8	11
Pozo27	LC-2	109	10	9
Pozo28	LC-2	88	28	31
Pozo30	LC-2	74	0	0
Pozo31	LC-2	93	10	10
Pozo32	LC-2	96	37	38
Pozo33	LC-2	109	3	3
Pozo29	LC-2	59	5	8
Pozo17	LC-2	145	17	12
Pozo19	LC-2	141	26	18
Pozo20	LC-2	124	2	2
Pozo23	LC-2	174	60	34
Pozo22	LC-2	116	0	0
Pozo24	LC-2	100	1	1
Pozo26	LC-2	94	23	25
Pozo25	LC-2	94	1	1
Pozo21	LC-2	113	25	22
Pozo9	LC-2	93	3	3
Pozo12	LC-2	116	7	6
Pozo10	LC-2	124	14	11
Pozo13	LC-2	107	4	3
Pozo14	LC-2	116	2	1
Pozo16	LC-2	110	14	13
Pozo15	LC-2	125	29	23
Pozo11	LC-2	118	14	11
Pozo2	LC-2	113	3	3
Pozo1	LC-2	93	1	1
Pozo3	LC-2	104	78	75
Pozo5	LC-2	89	12	13
Pozo7	LC-2	109	0	0
Pozo6	LC-2	119	14	11
Pozo8	LC-2	107	15	14
Pozo4	LC-2	67	0	0

Tabla 3—Espesor pies (ft), Arena neta (ft) y relación entre arena neta y espesor (%), para el miembro Los Cuervos 2

Well	Interval	Thickness (ft)	Net sand (ft)	Net-Gross %
Pozo37	LC-3	89	18	20
Pozo35	LC-3	126	7	6
Pozo34	LC-3	72	3	3
Pozo36	LC-3	97	58	59
Pozo39	LC-3	108	9	8
Pozo40	LC-3	202	140	69
Pozo38	LC-3	102	5	5
Pozo27	LC-3	115	2	2
Pozo28	LC-3	94	27	28
Pozo30	LC-3	100	21	20
Pozo31	LC-3	95	11	11
Pozo32	LC-3	87	20	23
Pozo33	LC-3	98	28	29
Pozo29	LC-3	121	44	36
Pozo17	LC-3	125	0	0
Pozo19	LC-3	122	10	8
Pozo20	LC-3	135	13	10
Pozo23	LC-3	142	20	14
Pozo22	LC-3	122	1	1
Pozo24	LC-3	125	36	29
Pozo26	LC-3	101	0	0
Pozo25	LC-3	96	4	4
Pozo21	LC-3	110	8	7
Pozo9	LC-3	101	12	12
Pozo12	LC-3	111	9	8
Pozo10	LC-3	105	9	9
Pozo13	LC-3	151	10	6
Pozo14	LC-3	160	0	0
Pozo16	LC-3	124	14	11
Pozo15	LC-3	80	0	0
Pozo11	LC-3	93	37	40
Pozo2	LC-3	136	49	36
Pozo1	LC-3	99	32	32
Pozo3	LC-3	103	0	0
Pozo5	LC-3	105	4	3
Pozo7	LC-3	110	6	5
Pozo6	LC-3	101	0	0
Pozo8	LC-3	123	4	3
Pozo4	LC-3	120	13	10

Tabla 4—Espesor (ft), Arena neta (ft) y relación entre arena neta y espesor (%), para el miembro Los Cuervos 3

Well	Interval	Thickness (ft)	Net sand (ft)	Net-Gross %
Pozo37	LC-4	111	10	9
Pozo35	LC-4	118	10	8
Pozo34	LC-4	77	18	23
Pozo36	LC-4	110	18	16
Pozo39	LC-4	145	0	0
Pozo40	LC-4	183	52	28
Pozo38	LC-4	96	11	11
Pozo27	LC-4	138	27	19
Pozo28	LC-4	116	46	40
Pozo30	LC-4	134	35	26
Pozo31	LC-4	123	62	50
Pozo32	LC-4	77	8	10
Pozo33	LC-4	110	20	18
Pozo29	LC-4	91	31	34
Pozo17	LC-4	202	0	0
Pozo19	LC-4	173	10	6
Pozo20	LC-4	151	15	10
Pozo23	LC-4	161	7	4
Pozo22	LC-4	111	29	26
Pozo24	LC-4	124	15	12
Pozo26	LC-4	125	9	7
Pozo25	LC-4	127	1	0
Pozo21	LC-4	129	39	30
Pozo9	LC-4	144	0	0
Pozo12	LC-4	143	0	0
Pozo10	LC-4	150	12	8
Pozo13	LC-4	152	20	13
Pozo14	LC-4	133	7	5
Pozo16	LC-4	121	13	11
Pozo15	LC-4	143	18	12
Pozo11	LC-4	138	0	0
Pozo2	LC-4	129	16	12
Pozo1	LC-4	100	48	48
Pozo3	LC-4	131	32	24
Pozo5	LC-4	125	3	2
Pozo7	LC-4	126	16	13
Pozo6	LC-4	127	33	26
Pozo8	LC-4	124	0	0
Pozo4	LC-4	102	5	5

Tabla 5—Espesor (ft), Arena neta (ft) y relación entre arena neta y espesor (%), para el miembro Los Cuervos 4

Well	Interval	Thickness (ft)	Net sand (ft)	Net-Gross %
Pozo37	LC-5	93	0	0
Pozo35	LC-5	102	0	0
Pozo34	LC-5	109	3	3
Pozo36	LC-5	79	0	0
Pozo39	LC-5	76	0	0
Pozo40	LC-5	156	2	1
Pozo38	LC-5	89	1	1
Pozo27	LC-5	92	13	14
Pozo28	LC-5	93	0	0
Pozo30	LC-5	91	4	4
Pozo31	LC-5	92	4	4
Pozo32	LC-5	88	0	0
Pozo33	LC-5	97	0	0
Pozo29	LC-5	92	8	8
Pozo17	LC-5	93	6	6
Pozo19	LC-5	80	0	0
Pozo20	LC-5	79	6	7
Pozo23	LC-5	70	0	0
Pozo22	LC-5	76	0	0
Pozo24	LC-5	62	7	11
Pozo26	LC-5	88	4	5
Pozo25	LC-5	94	0	0
Pozo21	LC-5	61	0	0
Pozo9	LC-5	80	0	0
Pozo12	LC-5	78	7	9
Pozo10	LC-5	82	1	1
Pozo13	LC-5	104	2	2
Pozo14	LC-5	111	0	0
Pozo16	LC-5	106	3	3
Pozo15	LC-5	90	0	0
Pozo11	LC-5	104	3	2
Pozo2	LC-5	81	4	5
Pozo1	LC-5	58	0	0
Pozo3	LC-5	81	0	0
Pozo5	LC-5	90	0	0
Pozo7	LC-5	100	1	1
Pozo6	LC-5	133	0	0
Pozo8	LC-5	135	5	3
Pozo4	LC-5	83	0	0

Tabla 6—Espesor (ft), Arena neta (ft) y relación entre arena neta y espesor (%), para el miembro Los Cuervos 5

8. INTEGRACIÓN INFORMACIÓN DE PRODUCCIÓN

Una vez elaborados los mapas de rayos gamma y de net sand se integró a estos la información proveniente de los registros de producción (PLT) para cada pozo cañoneado en la Formación Los Cuervos. Este procedimiento sirvió para determinar la distribución de la producción en toda la Formación, así como para determinar que intervalos arenosos no habían sido cañoneados.

Debido a que la parte superior de la Formación Los Cuervos es predominantemente lodosa (LC-5), esta no ha sido cañoneada y por lo tanto no posee ningún valor comercial alguno. En los **Anexos 17-20** se observa la integración de producción con los mapas de net sand para las subunidades LC-1 a LC-4, así como los pozos no cañoneados, cañoneados con producción y sin producción en la Formación Los Cuervos.

8.1 DISTRIBUCIÓN DE PRODUCCIÓN

Con la elaboración de los mapas de net sand se pudo determinar que el intervalo del cual se reporta mayor índice de producción es el miembro LC-3, con pozos como el 36 con XXX barriles de aceite por día (bopd) y el Pozo 2 con una producción de XX bopd.

Con el objetivo de conocer si existía alguna relación entre las muestras de gas y aceite (gas and oil shows) reportadas en los registros de litología, y los intervalos productores y no productores, se realizó una revisión de los mismos, los resultados se muestran en la **Tabla 7** se incluyen además dos pozos con posible producción remanente propuestos.

	OIL & GAS SHOW	PRODUCTION REPORTED
Pozo26	no	NO
Pozo29	yes	NO
Pozo31	no	NO
	yes	YES
	yes	NO
Pozo29	yes	YES
Pozo24	yes	NO
Pozo38	no	NO
	no	NO
Pozo9	no	YES
Pozo36	yes	YES
Pozo33	yes	PROPOSED
Pozo13	yes	< 2 % GAS
Pozo6	yes	PROPOSED
Pozo23	no	PROPOSED

Tabla 7—Intervalos cañoneados en la Formación Los Cuervos, productores y no productores, muestras de gas y aceite reportadas en los registros de litología.

8.2 INTERVALOS CON POSIBLE PRODUCCION REMANENTE

Con el análisis de los mapas de distribución de producción, así como teniendo en cuenta los pozos no cañoneados en la Formación Los Cuervos en los cuales se evidencia la presencia de areniscas de origen fluvial se puede determinar que los pozos que presentan intervalos con posible producción remanente por subunidad son:

8.2.1 LC-1

POZO 33

Este pozo según el análisis del mapa de distribución de producción de este intervalo de la Formación, así como de su respuesta baja de rayos gamma puede ser considerado el intervalo entre XX800 ft y XX840 ft, profundidad de registro, en **la Fig. 29** se puede observar la ubicación y presencia de arenas en este pozo, así como la respuesta del intervalo al registro de rayos gamma.

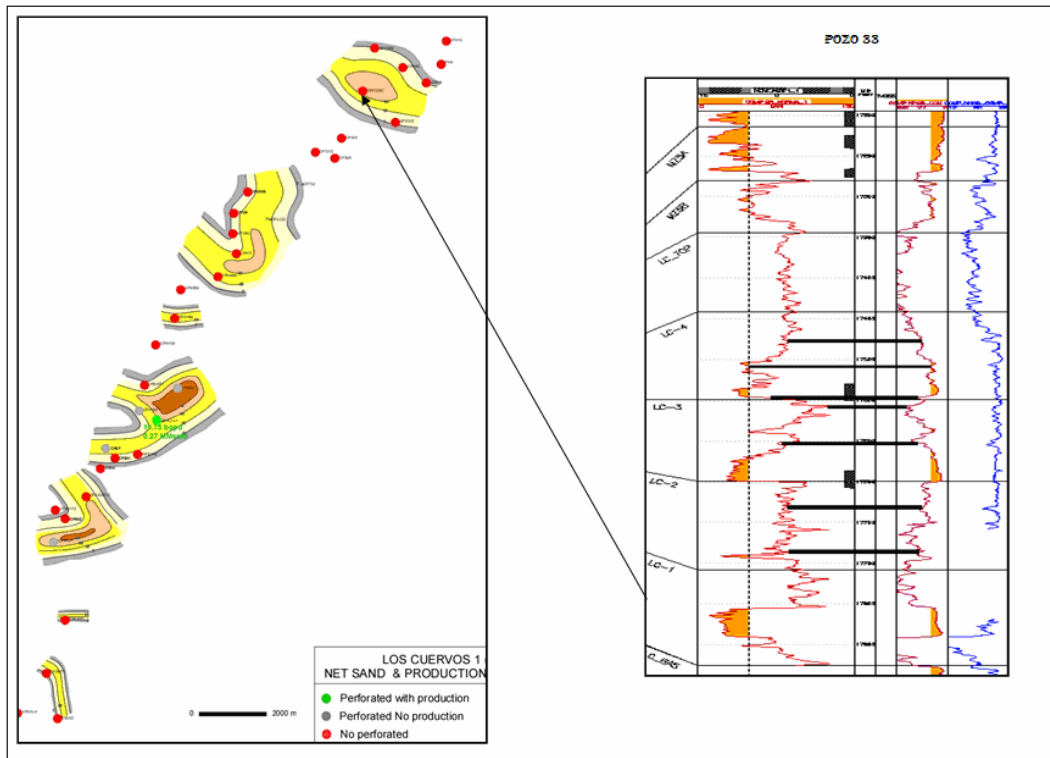


Fig. 29—Ubicación de intervalo arenoso con posible producción remanente, Pozo 33

8.2.2 LC-2

POZO 3

El intervalo entre XXX80 ft y XXX50 ft (profundidad de registro) puede ser considerado para cañoneo pues presenta valores API bajos de rayos gamma y su espesor es considerable mayor en comparación con los demás pozos ubicados en este miembro de la Formación Los Cuervos. En la **Fig. 30** se puede observar la ubicación y distribución areal de las areniscas de los pozos 3 y 23 en este intervalo de la Formación Los Cuervos.

POZO 23

Se puede ubicar un intervalo arenoso a una profundidad de registro entre XXX35 ft y XXX50 ft el cual puede ser considerado para cañoneo pues la relación entre arena neta y espesor es considerable.

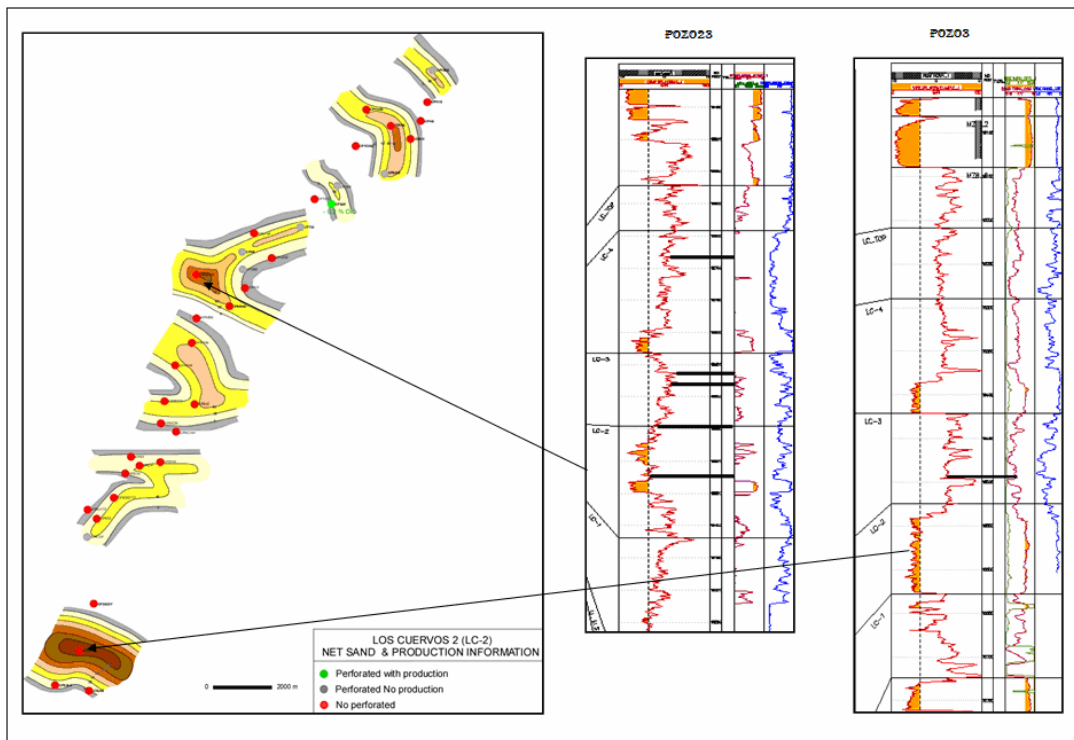


Fig. 30—Ubicación de los intervalos propuestos con posible producción remanente, pozos 23 y 3

POZO 37

A una profundidad de registro entre XXX80 ft y XXX00 ft se ubica un intervalo arenoso con patrón de rayos gamma en forma de campana aserrada el cual puede ser considerado con posible producción remanente, si se tiene en cuenta que en esta área del Campo se ha reportado producción aunque proveniente del miembro suprayacente.

8.2.3 LC-3

POZO 11

El intervalo entre XXX00 ft y XXX10 ft (profundidad de registro) puede ser considerado con oportunidad de cañoneo si se tiene en cuenta que la mayor parte de la producción reportada proviene de este miembro de la Formación Los Cuervos, además su cercanía con los pozos 9 y 13 de los cuales se reporta producción en LC-3, hacen atractivo este objetivo. En la **Fig. 31** se observa la ubicación areal de este cuerpo arenoso así como su respuesta al registro de rayos gamma en el intervalo propuesto.

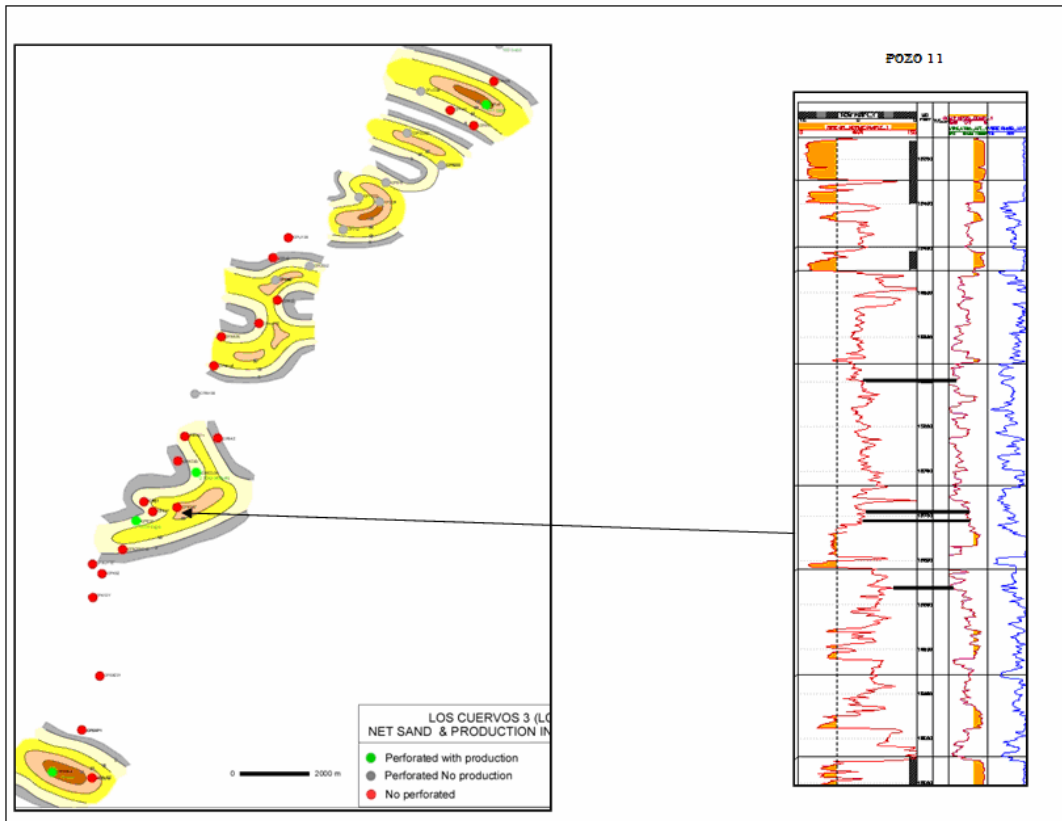


Fig. 31—Ubicación de intervalo arenoso con posible producción remanente, Pozo 11, LC-3

8.2.4 LC-4

POZO 1

Aunque este pozo se encuentra actualmente abandonado y no pertenece a los Campos Cupiagua y Cupiagua Sur, fue incluido en el estudio debido a su cercanía al área de estudio y con el propósito de conocer el carácter de la Formación Los Cuervos en el Campo Cusiana. En este pozo se observa que el intervalo entre XXX00 ft y XXX30 ft (profundidad de registro) puede ser considerado con opción de cañoneo, pues presenta una relación entre arena neta y espesor superior a los demás pozos circundantes y se encuentra ubicado en el área de donde se ha reportado producción para la Formación Los Cuervos en el Campo Cupiagua Sur, en la **Fig. 32** se expone la disposición de las arenas en este intervalo así como la respuesta de las mismas al registro de rayos gamma.

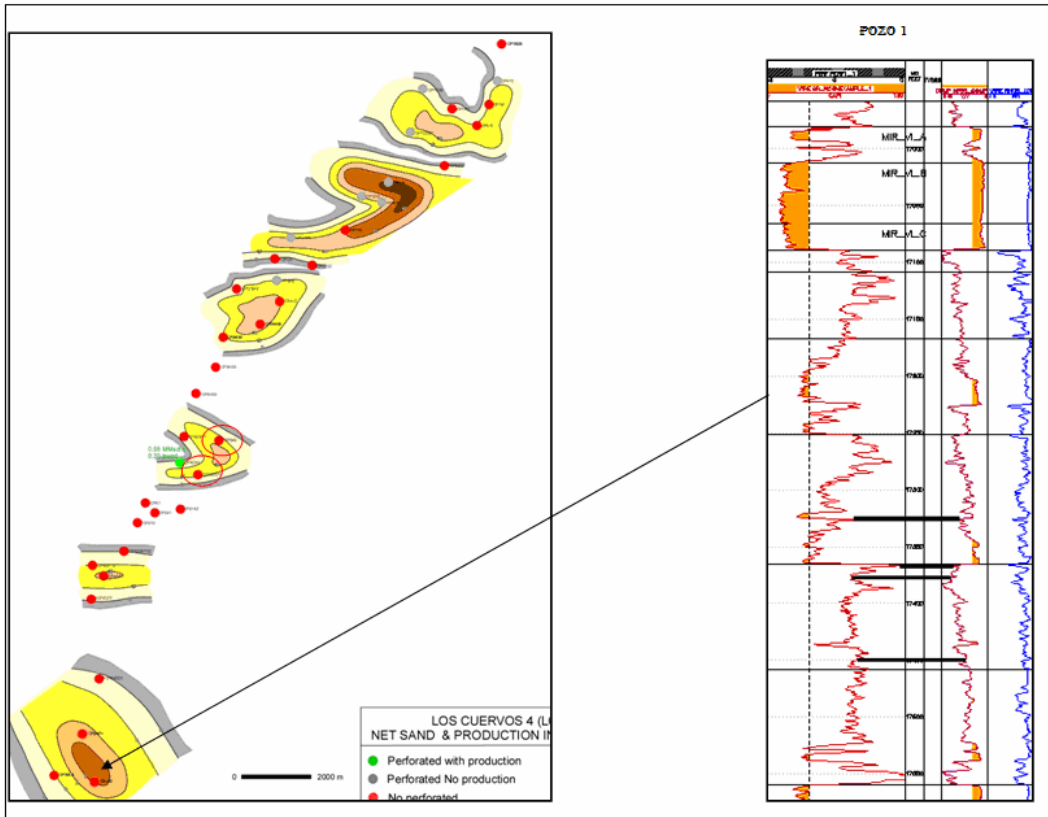


Fig. 32—Ubicación de intervalo arenoso con posible producción remanente, Pozo 1, LC-4

POZO 21

Los intervalos entre XXX40 ft – XXX55 ft y XXX30 ft – XXX45 ft, (profundidad de registro) pueden ser considerados con oportunidad de cañoneo si se tiene en cuenta que la relación entre arena neta y espesor es relativamente buena en comparación con los demás pozos circundantes.

POZO 28

Se sugiere que el intervalo entre XXX00 ft y XXX20 ft (profundidad de registro) pueda ser considerado con producción remanente si se tiene en cuenta que se encuentra ubicado hacia la parte Noreste del Campo Cupiagua, la relación entre arena neta y espesor también ayuda a validar la opción

9. CONCLUSIONES

- Aunque la Formación Los Cuervos presenta una litología predominantemente lodosa, se evidencia la presencia areniscas distribuidas en los miembros LC-2, LC-3 y LC-4.
- Con base en la integración de la información de producción se puede concluir que el miembro LC-3 presenta el mayor índice de producción reportado para la Formación Los Cuervos.
- La Formación Los Cuervos fue dividida en 5 paquetes en el Campo cupiagua distribuidos en orden de depositación (LC-1 a LC-5 de base a techo)
- La Formación Los Cuervos en el Campo Cupiagua consta de cuerpos arenosos pobremente conectados embebidos en lodolitas y limolitas.
- Las arenas con mayor producción se encuentran distribuidas hacia el Noreste y Sur del área de estudio.
- Los intervalos Carbonosos se encuentran distribuidos hacia la parte inferior de la Formación Los Cuervos LC-1 y LC-2.
- La escasa información disponible para la Formación Los Cuervos en el área de estudio, dificulta establecer la distribución de las arenas a lo largo del Campo Cupiagua.
- La tasa de declinación de producción en la Formación Los Cuervos puede ser afectada por migración de finos, si se tiene en cuenta el carácter relativamente sucio de las arenas pertenecientes a este intervalo litológico.

10. SUGERENCIAS Y LECCIONES APRENDIDAS

- Teniendo en cuenta la incertidumbre y la mínima información de la Formación Los Cuervos en el área de estudio se sugiere que la explotación de este intervalo litológico sea considerado como objetivo secundario, es decir este ligado a intervenciones a realizar en las Formaciones Mirador y Barco para así disminuir costos.
- Para efectuar un programa de cañoneo en la Formación Los Cuervos es recomendable incluir un tratamiento preventivo de migración de finos de manera que la posible producción no se vea afectada una reducción en la permeabilidad.
- En la etapa de normalización de registros es importante realizar un análisis estadístico previo que permita seleccionar el mejor pozo de calibración y así no cometer errores que se vean reflejados en la respuesta de los demás pozos al registro de rayos gamma.

11. BIBLIOGRAFIA

COOPER, M., ADDISON, F., ÁLVAREZ, R., CORAL, M., GRAHAM, R., HAYWARD, A., HOWE, S., MARTINEZ, J., NAAR, J., PEÑAS, R., PULHAM, A., Y TABORDA, A. (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, eastern cordillera and middle Magdalena valley, Colombia. *American Association of Petroleum Geologist*, Vol. 79: 14421-14443.

DE PORTA, J. (1974). *Lexique Stratigraphique International*. Volume V. Amérique Latine. Fascicule 4b. Colombie. Productos Ingeominas, Informes, Léxico Estratigráfico, Republica de Colombia.

DURAN, A., CANDELA, A., Caracterización Geoquímica del intervalo Paleoceno Superior (Formación Los Cuervos) en dos secciones ubicados en el piedemonte llanero central y piedemonte norte. Universidad Industrial de Santander, Tesis Pregrado Geología, 2005.

Estudio técnico explotación Formación Los Cuervos Campo Cupiagua Sur SDLA.

FAJARDO, A., ROJAS, L., CRISTANCHO, J., (2000). Definición del modelo estratigráfico en la cuenca de los Llanos Orientales, Piedemonte Llanero: Informe final/ECOPETROL – ICP. Piedecuesta.

GEOSCIENCE CANADA, *Facies Models*, Second edition, edited by Roger G. Walker, 1984.

JARAMILLO, C. (1999). Middle Paleógeno palynology of Colombia, South America; biostratigraphic, sequence stratigraphic, and diversity implications: Thesis Doctoral, University of Florida. Gainesville, FL, United States.

Léxico Estratigráfico, PDVSA.

MARTÍNEZ, J., (2003). Modelamiento estructural 3D y Aplicaciones en la Exploración y Explotación de Hidrocarburos en el cinturón de cabalgamiento del Piedemonte Llanero, Cordillera Oriental, Colombia., En ACGGP, ed., VIII Simposio Bolivariano de Exploración en las Cuencas Subandinas. Cartagena de Indias.

MARTÍNEZ, J., (2005). Structural evolution of the Llanos Foothills, Eastern Cordillera, Colombia., BP Exploration Company, Bogota, Colombia.

NOTESTEIN, F., HUBMAN, C., AND BOWLER, J., (1944). Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America. Geol. Soc. Amer. B 11., V. 55.

W.E GALLOWAY , D.K HOBDDAY, Terrigenous Clastic Depositional Systems, Applications to Fósil fuel and groundwater resources., Springer, 1996.