



Estudio de los niveles de areniscas con propiedades de reservorio en el Terciario de las cuencas Madre de Dios – Ucayali

Marco Vásquez y Christian Pinto

Repsol Exploración, Av. Víctor A. Belaunde 171, Lima, Perú

1. Introducción

Las compañías de exploración y producción de hidrocarburos son responsables de la disposición de las aguas residuales y recortes de perforación en una forma segura. Cumpliendo con las regulaciones y requerimientos ambientales, la inyección de éstas es una de las formas más efectivas y seguras de disponer de estos residuos.

El objetivo de este estudio es ubicar, mediante la evaluación geológica incluyendo registros eléctricos e información sísmica, un nivel de areniscas en la sección superior del Terciario (Fm Ipururo) que permita inyectar y almacenar aguas residuales y recortes.

A través de las descripciones de los recortes de perforación y los registros de los pozos al sur de la cuenca Ucayali y norte de la cuenca Madre de Dios, se han identificado niveles de areniscas a una profundidad aproximada de 1,500 pies. Estos niveles de areniscas se han seguido a través de la sísmica, observando zonas donde éstas se encuentran más someras entre 620 a 880 pies, y otras zonas profundas que se encuentran aproximadamente a 4,400-7,350 pies.

El análisis estructural realizado muestra que existen muchas fallas que han afectado los niveles someros y profundos y que dificultan su seguimiento en la sísmica. Las secciones de campo medidas al oeste muestran que estas areniscas afloran a una distancia aproximada de 45 km. Ha sido difícil observar la continuidad de estas areniscas en las líneas sísmicas 2D registradas en el área de estudio debido a su pobre resolución. Sin embargo, se ha logrado construir mapas estructurales correspondientes a los niveles de areniscas denominados "M", "M-1", "M-2" y "M-3" (de más profundo a somero).

Al sur y suroeste de la cuenca Madre de Dios, las areniscas de la Fm Ipururo se hacen más profundas entre

4,400 y 7,350 pies. Se encuentran al este de las fallas que corren en dirección NW-SE. Estas zonas de inyección a las profundidades mencionadas están completamente aisladas de cualquier fuente de agua superficial proveniente del este y en esa zona no recomendamos inyectar en arenas más someras por el riesgo de comunicación con la superficie. Hacia el noroeste de la cuenca Madre de Dios encontramos niveles más someros. Al oeste de las fallas se puede inyectar en arenas más someras.

El agua de inyección debe saturar esta área en todas las direcciones. A pesar de ser sistemas meándricos, se observa continuidad desde el Ucayali hasta los pozos del Madre de Dios. Por lo tanto las arenas identificadas "M" "M-1", "M-2" y "M-3" son las más seguras para inyectar puesto que mantienen una profundidad mayor a 500 m que permite eliminar cualquier riesgo de comunicación con la napa freática o cualquier otro contacto en superficie.

2. Contexto geológico

2.1. Geomorfología

De acuerdo al análisis del mapa topográfico y geológico, se pueden definir algunas unidades geomorfológicas:

1. Colinas bajas.
2. Flancos estructurales.
3. Colinas altas.
4. Valles.
5. Terrazas aluviales.

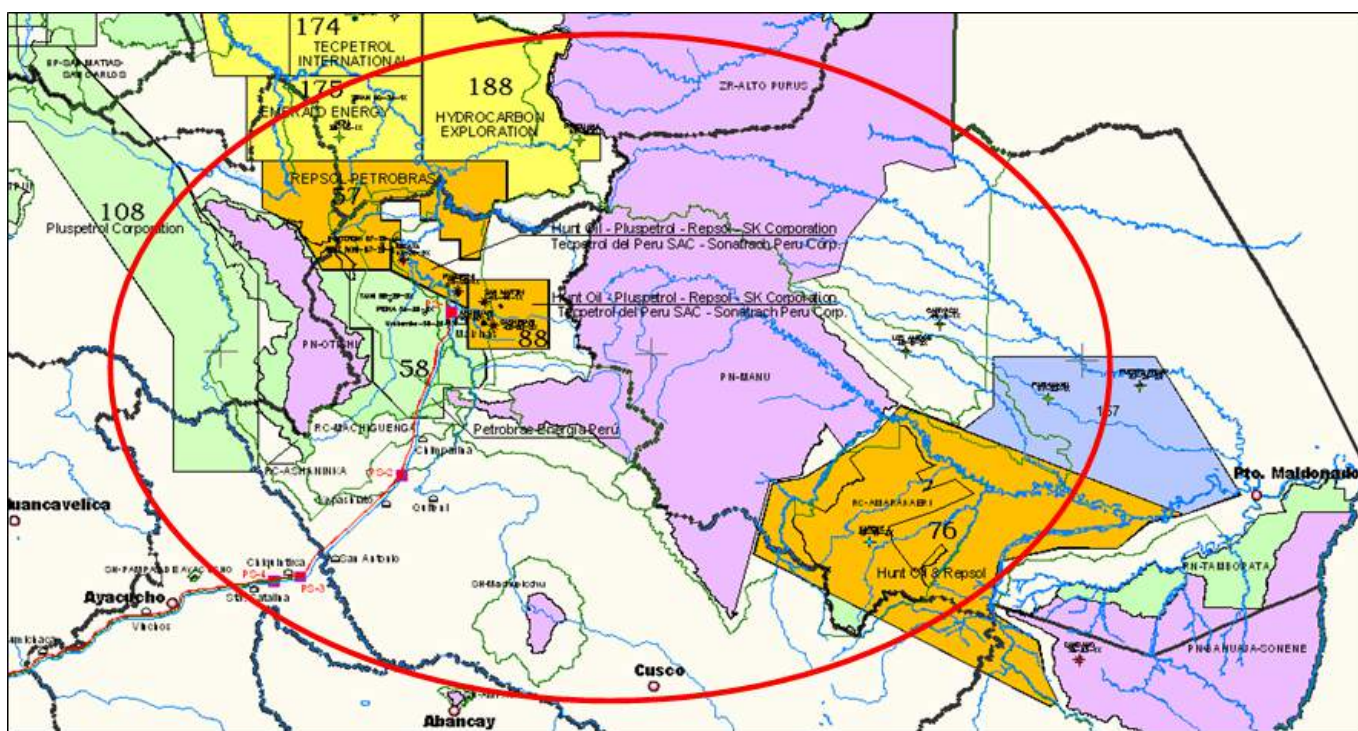


Figura 1. Mapa de ubicación

2.2. Estratigrafía y sedimentología

2.2.1. Fm Ipururo

Esta unidad ocurre desde la superficie hasta 2,500 pies de profundidad al oeste de la cuenca Madre de Dios y SO de la cuenca Ucayali, y hasta los 8,000 pies al sureste de la cuenca Madre de Dios.

Esta unidad está compuesta de arcillitas, areniscas y limolitas. Las arcillas presentan colores variados, con predominio del castaño medio y ocasionalmente púrpura claro, en parte moteadas con verde claro, blandas a moderadamente firmes, plásticas y solubles en parte, con inclusiones micro-carbonosas; son no calcáreas a ligeramente calcáreas; con presencia de nódulos calcáreos, trazas de carbón y pirita; raramente presentan trazas de anhidrita. Ocasionalmente las arcillitas se presentan con gradación a limolitas.

Las areniscas son principalmente translúcidas, con coloraciones gris claro a gris amarillento, castaño medio a castaño amarillento, en partes hialinas y cuarzosas, con escasos líticos verdes y oscuros; el tamaño de grano es principalmente muy fino a fino y ocasionalmente medio. Los granos son sub-angulares a sub-redondeados, con muy buena a buena selección. Son moderadamente consolidadas a friables, en parte sueltas; con matriz arcillosa y cemento ligeramente calcáreo, localmente con inclusiones micáceas y micro piritas, las cuales presentaron porosidad visual de regular a buena. No se observaron manifestaciones de hidrocarburos.

Estas areniscas presentan algunos niveles denominados "M", "M-1", "M-2" y "M-3", cuyos espesores varían de 30' a 60', tendiendo a un adelgazamiento hacia el norte. Las porosidades varían de 15 % a 25 %. Existen otros niveles de areniscas, pero que no tienen continuidad y se pierden muy rápidamente.

De acuerdo a estudios bioestratigráficos, se asigna a la Fm Ipururo una edad que va del Oligoceno superior hasta el Mioceno - Plioceno inferior.

2.2.2. Fm Yahuarango

Esta unidad ocurre entre los 2,500 y 8,000 pies de profundidad al oeste de la cuenca Madre de Dios y SO de la cuenca Ucayali, y hasta los 13,000 pies al sureste de la cuenca Madre de Dios.

Esta secuencia está conformada principalmente por arcillas castañas a rojizas con intercalaciones de limolitas y areniscas muy finas.

Las arcillitas son principalmente de color gris castaño, castaño rojizo a púrpura, en parte ocre y moteadas con color gris verdoso. Son blandas a moderadamente firmes, plásticas, altamente hidratables y solubles en parte; con fractura en sub-bloques a bloques; hacia la base son localmente lutáceas, con presencia de fractura sub-planar, localmente astillosas, micro-micáceas, ligeramente micro-carbonosas; ocasionalmente presentan inclusiones finas de pirita y nódulos calcáreos; son no calcáreas a ligeramente calcáreas.

Las limolitas son de color gris castaño, castaño rojizo, con dureza blanda a moderadamente firme.

Desde los 5,000 pies aproximadamente se observa en la parte oeste-suroeste de la cuenca Madre de Dios un nivel rico en carofitas, pero al noroeste de la cuenca Madre de Dios y suroeste de la cuenca Ucayali se observan muy esporádicamente oogonios de carofitas (uno por plato de muestra, apareciendo cada 400 pies, y no llegando a ser marcador).

De acuerdo a estudios bioestratigráficos, se asigna una edad Paleoceno superior a la Fm Yahuarango.

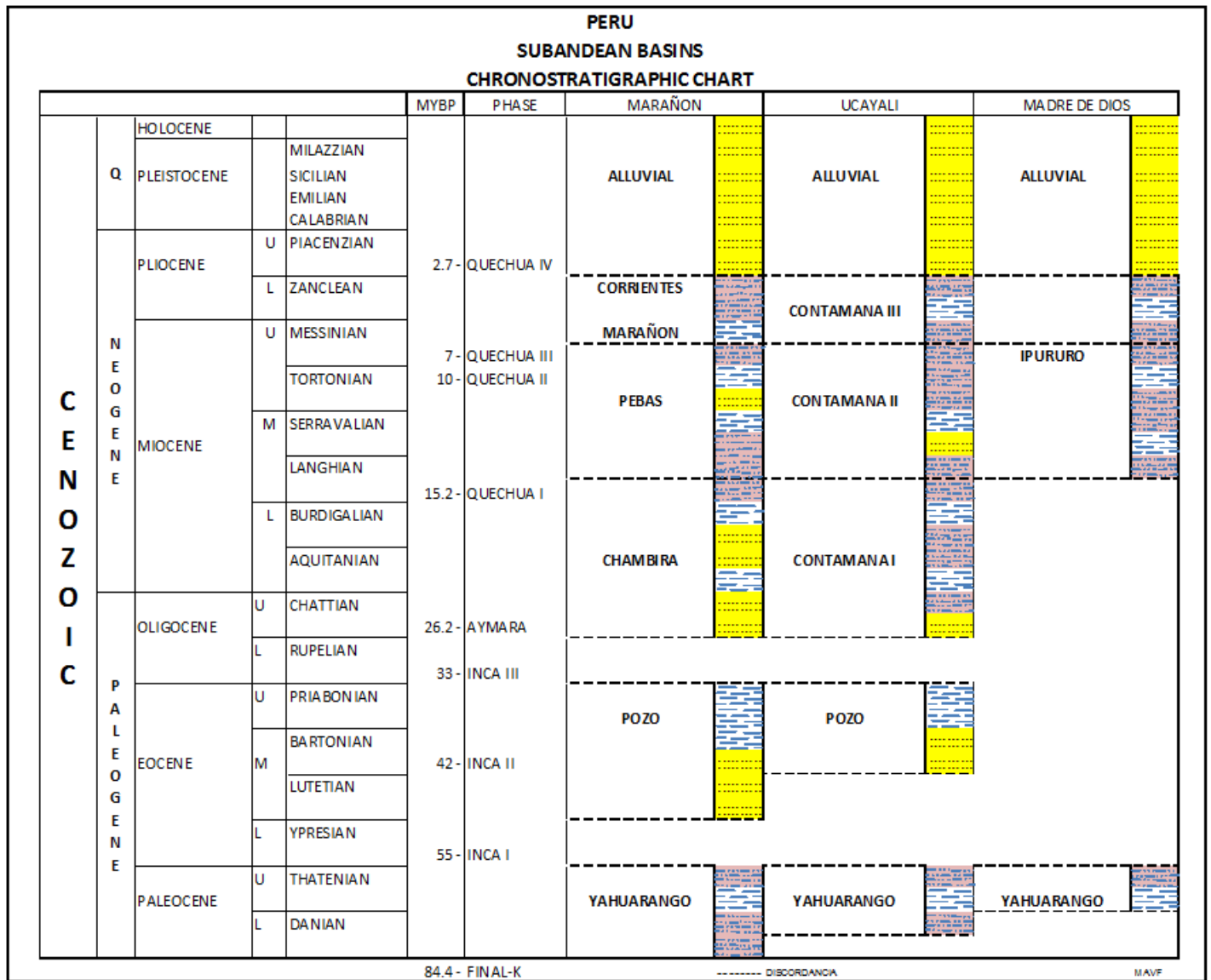


Figura 2. Columna estratigráfica.

2.3. Ciclos deposicionales de la Fm Ipururo

Al finalizar el ciclo marino de la Fm Vivian, el mar se retira y se depositan sedimentos mixtos cercanos a la línea de playa de origen continental y aportes, marinos, mixto marino-lacustrino, que origina el depósito de la base de la Fm Yahuarango o Huayabamba y cuyo espesor de 400 o 600 pies no se observa al sur en la zona alrededor del Lote 76 (cuenca Madre de Dios). La predominancia es arcillas y limos. Los depósitos continúan haciéndose más lacustres en la Fm Yahuarango, hasta que al final cambia a una intercalación de depósitos fluviales y de ríos meandriformes que marca el cambio a la Fm Ipururo, notándose la presencia de niveles de arenisca que varían de espesor muy rápidamente hacia el sur.

El período Ipururo es el que se ha analizado por perfiles eléctricos, gamma ray y sónico. Los crecimientos (en arenas fluviales meándricas) y decrecimientos de grano reflejan presencia de arcillas y limos rojos.

2.3.1. Ciclo 1 de la Fm Yahuarango

Este intervalo corresponde a las arcillas y limos rojos-verdosos, productos de ambientes lacustrinos. En la cuenca Ucayali están a 400 pies de profundidad y desaparecen en los pozos de la cuenca Madre de Dios (6,500 a 7,000 pies).

2.3.2. Ciclo 2 de la Fm Yahuarango

Los sedimentos son de origen continental y presentan depósitos arcillosos y limosos de colores rojizos. Se caracterizan por la ausencia de niveles de arenisca mayores a 3 o 4 pies. Los depósitos no tienen continuidad lateral, siendo niveles productos de depósitos fluviales esporádicos, en su mayor parte de tipo lacustrino (4,000-4,500 a 6,500-7,000 pies).

2.3.3. Ciclo 3 de la Fm Yahuarango

Estos sedimentos continentales se depositaron en un ambiente fluvial distal de tipo meandriforme, que tenía

momentos de inundación que mantenían sub-ambientes lacustrinos con sedimentación de arcillas y limos rojizos, y eventualmente anhidrita. Es muy difícil observar directamente las delgadas capas carbonatadas que aparecen en perfiles eléctricos.

En este intervalo se puede observar 1 o 2 capas de areniscas con espesores de 10 a 30 pies, que pueden tener alguna continuidad lateral, pero que se adelgazan bastante hacia el sur (encontrándose entre los 2,500 y 4,000 pies de profundidad).

2.3.4. Ciclo 4 de la Fm Yahuarango

Estos sedimentos también se depositaron en un ambiente fluvial distal de tipo meandriforme con eventos de inundación. En este intervalo se observa una mayor cantidad de areniscas con espesores de 30 a 65 pies, que son un poco más continuas arealmente. Sin embargo es necesario aclarar que estos niveles son productos de depósitos fluviales y no van a estar ubicados en todo el área del bloque 57 necesariamente: van a tener una zona de adelgazamiento dependiendo de la magnitud de los depósitos continentales (0 - 2,500 pies).

Los ciclos de depósito de la Fm Ipururo nos muestran que su base todavía está muy influenciada por el ambiente lacustrino que permitió depositar arcillas y limos de coloración rojo, anaranjado, y rojizo, indicando zonas de oxidación, y con eventos fluviales esporádicos y muy rápidos que resultaron en delgados depósitos de areniscas sin continuidad lateral. El ciclo 4 es donde se tiene mayor incidencia de los depósitos fluviales meándricos, con areniscas que pueden tener mayor área de depósito. Este ambiente era muy similar a la actual Selva del Ucayali-Marañón-Madre de Dios.

3. Petrofísica

La evaluación petrofísica nos permitió calcular algunas propiedades de las arenas terciarias, como la porosidad, permeabilidad y saturaciones de agua. En los pozos evaluados los registros eléctricos son escasos, considerando que estas zonas no son de interés económico. Sin embargo, se puede llevar a cabo una evaluación, con cierto nivel de incertidumbre, que nos dé valores de referencia para identificar posibles zonas de areniscas con condiciones de admisión.

La evaluación de estos pozos se ha llevado a cabo mediante análisis cualitativos y cuantitativos. Por ejemplo, los análisis cualitativos nos permitieron determinar los cut-offs basándose en la respuesta de los registros a los minerales y fluidos conocidos por la geología regional o los cortes obtenidos durante la perforación. Los análisis cuantitativos consisten en cálculos para determinar valores de porosidad o permeabilidad usando los datos del registro y ecuaciones adecuadas.

La información con la que se cuenta consiste en perfiles gamma-ray y resistivos. En algún caso especial se han registrado perfiles sínicos. Las porosidades son de 15 % - 33 %, y las permeabilidades son mayores a 100 mD.

4. Geofísica

Los niveles de areniscas donde se inyectarían las aguas residuales que se obtengan de la producción fueron identificadas en los pozos de la cuenca Ucayali y Madre de Dios, los cuales sirvieron para ubicarlas en las líneas sísmicas 2D existentes en el área.

Se hizo el mapeo de la parte sur y oeste, observándose que la profundidades de las areniscas denominadas como "M", "M1", "M2" y "M3" varían desde 3,500 hasta 1,000 pies en la zona noroeste; se hacen mucho menos profundas en la zona este donde se encuentran entre 2,800 y 800 pies. Hacia el sureste las areniscas son más profundas, llegando hasta los 7350 pies la arena "M", y 4400 pies la arena "M-3".

La ventaja de la inyección en la zona oeste es que se encuentra un sistema de fallas transcurrentes que corre con dirección NW-SE y permite ser un buen sello de las arenas encontradas, dejando delimitado hacia el este el área donde se almacenaría el agua a inyectarse.

5. Conclusiones

Los pozos deben ser perforados con un espaciamiento de 500 m aproximadamente para poder hacer un seguimiento con trazadores y confirmar la zona hacia donde se estaría saturando la arena.

Es necesario el uso de registros para la identificación de las arenas a punzar, debido a la intercalación que se observa en toda la sección, que haría difícil la identificación de estos paquetes por recortes de perforación. Los registros gamma-ray y resistivo brindan información básica.

Se recomienda:

- Sacar una corona para hacerle análisis de laboratorio (saturaciones, petrofísica, estimulación).
- Hacer un registro sínico en el segundo pozo inyector.
- Analizar la realización de las mejores estimulaciones que deban efectuarse a futuro cuando se precipiten los finos.
- Entubar los niveles que se van a probar para inyección con tubería convencional (no usar tubería ranurada) y punzar solo en el nivel que se evalúe en registros que es la arena mejor ubicada.

Referencias

- Vásquez, M., Pinto, C., Venturo, D. 2011. Estudio geológico de la Formación Ipururo en las cuencas Ucayali-Madre de Dios. Informe interno de Repsol Exploración Perú.
- Shell. Reporte final del pozo Mipaya 5X en la cuenca Madre de Dios. Informe interno, Lima, Perú.
- Hermoza, W. 2000. Análisis de las relaciones tectónica-erosión-sedimentación del Terciario de la cuenca Madre de Dios, Perú. Tesis de grado, Univ. San Antonio Abad del Cusco.
- House, N., Carpenter, D., Cunningham, P., Berumen, M. 1999. Influence of Paleozoic arches on structural style

and stratigraphic in the Madre de Dios Basin in southern Bolivia and northern Peru. INGEPET, Lima.

Repsol Exploración Perú. Informes internos de bioestratigrafía y palinología.

Repsol Exploración Perú. 2002-2011. Informes internos de los pozos exploratorios perforados en las cuencas Ucayali y Madre de Dios.