



Estratigrafía secuencial de alta resolución aplicada a reservorios maduros: Propuesta de correlación de secuencias genéticas de 5^{to} orden para la definición de unidades de flujo – Fm Echinocyamus, Eoceno (Ypresiano), Lote X, cuenca Talara, Perú

**Kevin M. Torres Carpio, Eloy G. Pozo Calle,
Jacqueline F. Chipana Robladillo, y Edwar J. Bustamante Ramírez**

Petrobras Energía Perú S.A., Amador Merino Reyna 285, Oficina 501, San Isidro, Lima, Perú

RESUMEN

Este trabajo resulta de la aplicación de la metodología de estratigrafía secuencial, la cual permite la definición consistente de un modelo estratigráfico interno para la Formación Echinocyamus.

Se definen tres secuencias depositacionales de cuarto orden con extensión lateral kilométrica, y secuencias de quinto orden de menor extensión lateral. El enfoque del estudio está centrado en estas secuencias, que representan la complejidad

estratigráfica interna de los reservorios; su continuidad sugiere que se trata de unidades de flujo.

El aporte principal de la definición de las secuencias de quinto orden es su disposición angular de estratos, la cual cambia el concepto de correlación estratigráfica de tipo “*layer cake*”, basándose en el origen depositacional de la Formación Echinocyamus (dirección este-oeste) y explica la variación y transición lateral de subambientes de planicie a frente de delta y prodelta hacia el oeste, expresadas por sucesiones progradantes en los perfiles de pozos.

1. Introducción

La unidad Echinocyamus es un objetivo principal de desarrollo debido a los 1600 MMBls de petróleo original in situ (POIS) y los volúmenes de petróleo producidos. Actualmente continúa su desarrollo en la perforación de pozos a corto espaciamiento (120 m) en el proyecto ETANCO, situación que requiere mejorar la caracterización interna.

La evolución sedimentológica de esta unidad ha sido controlada principalmente por los cambios eustáticos; por ello la aplicación de la metodología de estratigrafía de secuencias (ES) se torna importante para dar un nuevo enfoque al detallamiento interno del reservorio. La ES es un método que se basa en las relaciones genéticas de los diversos ambientes y subambientes dispuestos lateral- y verticalmente, con lo que se definen superficies que limitan secuencias de diferentes órdenes.

El presente estudio es una propuesta importante al conocimiento interno y a la correlación entre pozos del principal objetivo de perforación y recuperación secundaria en el Lote X. Este nuevo modelo está en plena aplicación y viene siendo contrastado con respuestas de inyección-producción en áreas sometidas a inyección de agua.

2. Marco geológico regional

La cuenca Talara se encuentra localizada en el extremo occidental de América del Sur, perpendicular al cambio de dirección de los Andes peruanos y ecuatorianos en la llamada deflexión de Huancabamba, dentro de los departamentos de Piura y Tumbes. Se la estima en

15,000 km² de superficie, de los cuales las 2/3 partes se encuentran costa afuera, con extensión longitudinal aproximada de 300 km y transversal de 50 km (Fig. 1).

El registro sedimentario en Talara comprende

sedimentos de edad cretácica hasta pleistocénica (Fig. 2), llegando a tener 6000 m de espesor. Las mayores tasas de deposición se dieron en el Ypresiano, correspondiente a cerca del 70 % del registro sedimentario (Daudt, 2010).



Figura 1. Localización de la cuenca Talara en el Perú, mostrando los principales elementos tectónicos, cuencas las adyacentes, y la ubicación del Lote X.

3. Metodología

La metodología utilizada aplica la nomenclatura estandarizada de ES que se presentó en la publicación de Catuneanu et al (2011) y formaliza e introduce a la metodología como técnica estratigráfica formal. Esta misma metodología viene siendo utilizada en los programas corporativos de Petrobras (Savini & Raja Gabaglia et al, 2003).

Los pasos metodológicos a seguir fueron: el análisis de descripción de núcleos y afloramientos, identificación de facies, establecimiento de asociaciones de facies, definición de elementos arquitecturales, delineamiento y jerarquización de superficies limítrofes, identificación de sistemas depositacionales, definición de patrón de apilamiento en pozos, correlaciones de pozos y,

finalmente, el establecimiento de un marco de Estratigrafía Secuencial.

Para enmarcar la unidad en secuencias de cuarto orden, se lograron identificar horizontes regionales y se definieron algunos elementos estratigráficos como: superficies con continuidad regional y discontinuidades, que permiten diferenciar secuencias mayores y establecer sus límites respectivos. Para la definición de secuencias de quinto orden (mayor frecuencia) fue necesaria la aplicación de técnicas con control estratigráfico de alta resolución la cual cambia el concepto "layer cake" y permite predecir la transición de subambientes mediante previo conocimiento de la dirección de aporte de deposición y serán los candidatos a zonas de producción o unidades de flujo.

4. Marco litoestratigráfico

El trabajo se efectuó en las formaciones descritas a continuación. La Formación Clavel, que consiste de lutitas grises con presencia de glauconita a la base, y contiene una fauna de *Valvulineria compressa*. El contacto superior es gradacional con la Formación Echinocyamus, la que está sub-dividida en cinco miembros: Cabo Blanco, Verde,

Somatito, Constancia y Ballena (Fig. 2), siendo los más destacados en términos productivos los miembros Cabo Blanco y Somatito. Litológicamente es constituida mayormente por areniscas gris clara, de grano fino a medio, con alternancia de lutitas gris a gris verdosas. Los miembros Ballena y Constancia desaparecen por efectos de la discordancia existente al tope de esta unidad (discordancia pre-Talara) (ISA, 2006).

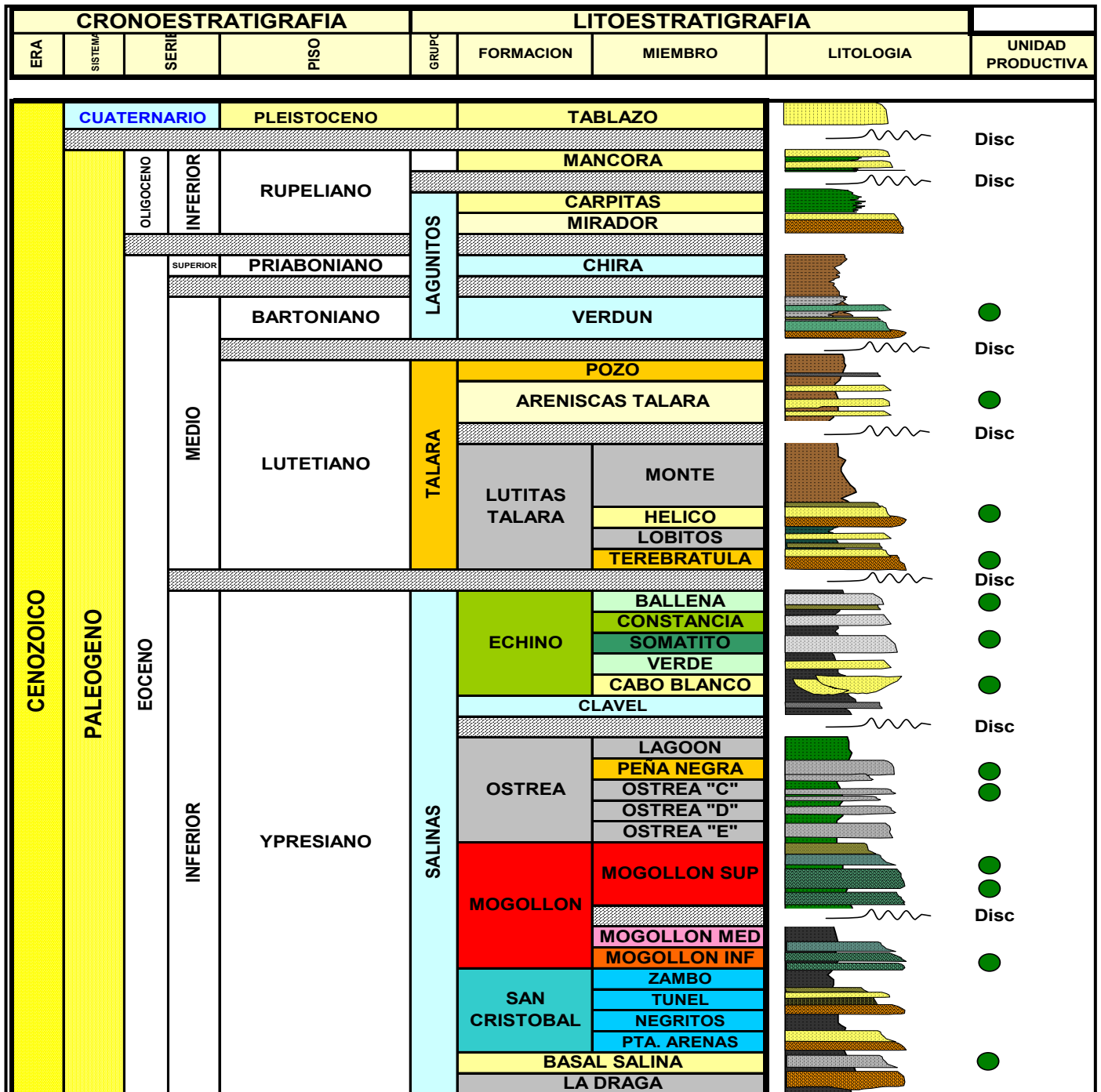


Figura 2. Columna estratigráfica en la cuenca Talara (modificada por Pozo, 2008).

5. Estratigrafía de secuencias

La ES en un tercer orden define a la unidad Echinocyamus en un sistema deltaico de mar alto, limitado a la base por la superficie de máxima inundación

(CL_mfs) que dió inicio a la construcción del edificio deltaico, y limitado al tope por la discordancia sub-aérea Talara-Chacra (E_T_unc) (Fig. 3).

Internamente se han definido tres secuencias de cuarto orden limitadas a la base y tope por la ocurrencia de

depósitos finos transgresivos que representan subidas del nivel del mar de mayor frecuencia. Los ciclos que se desarrollan en las secuencias de cuarto orden se caracterizan por ser progradacionales con aumento del patrón grano- y estrato-creciente (*thickening-upward*), como consecuencia de la reducción del espacio de acomodación y el avance de subambientes proximales del edificio deltaico sobre ambientes distales.

Para el detallamiento interno, el presente estudio propone secuencias de quinto orden, caracterizadas por la identificación de ciclos progradacionales que interpretan la gradación de subambientes deltaicos distales a proximales, limitadas a la base y al tope por superficies de

regresión máxima que indican niveles de razeamiento de los ciclos progradacionales.

Para la interpretación de las superficies de mayor frecuencia, fue necesario considerar la disposición angular de los estratos en dirección longitudinal a la depositación, para así identificar unidades genéticas en geometrías sigmoidales, como puede observarse en el esquema de la Figura 3-1.

A continuación se detalla la configuración interna de las secuencias de cuarto orden desde lo más antiguo hasta lo más joven, las mismas que han sido llamadas Cabo Blanco (I), Somatito (II) y Ballena (III) (Fig. 3-1).

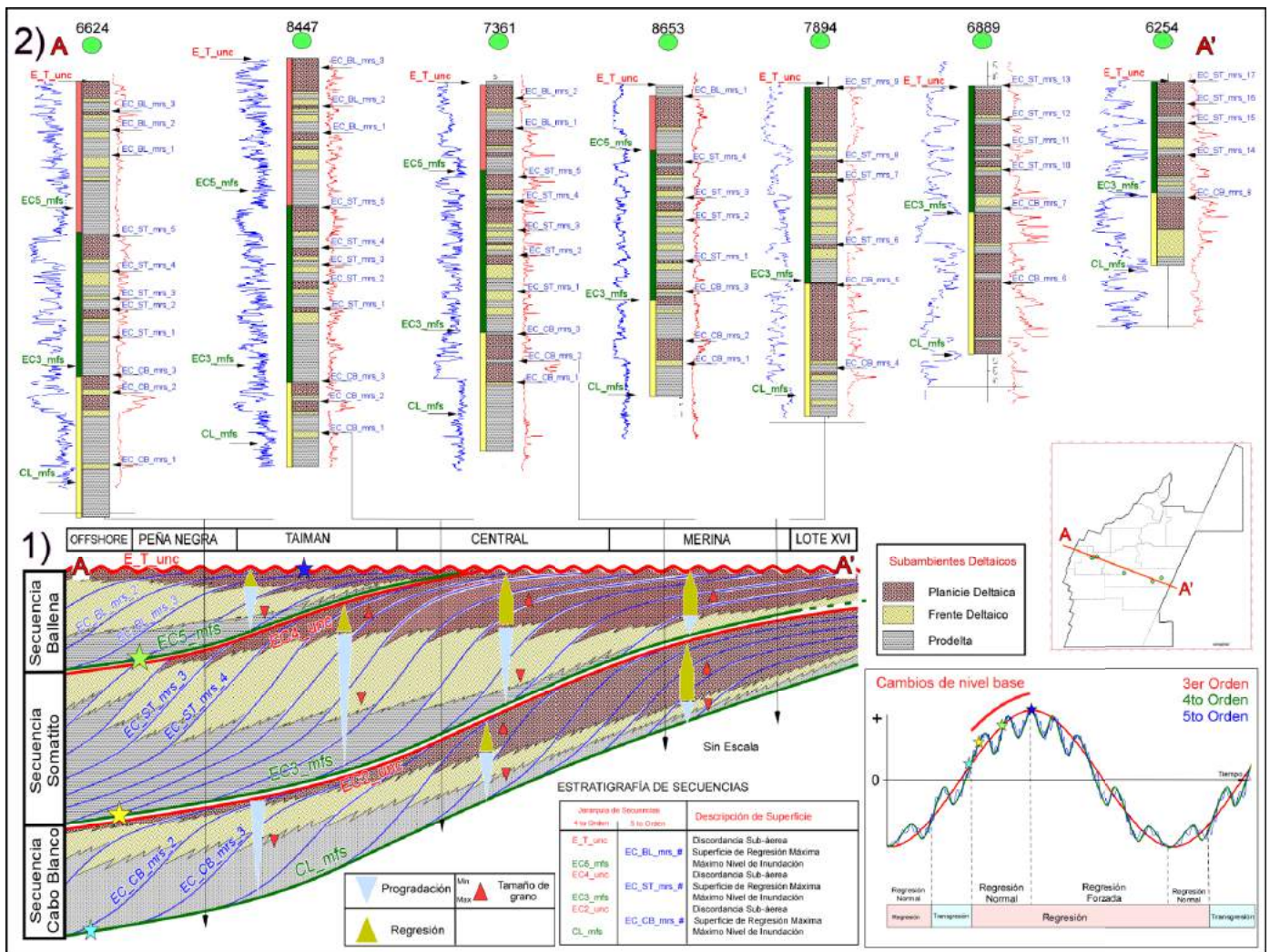


Figura 3. (1) Armazón estratigráfico esquemático para el análisis y subdivisión de las secuencias depositacionales de cuarto y quinto orden. (2) Principales características sedimentarias de los estratos que componen las tres secuencias de mar alto expresadas en la correlación entre pozos. Las tendencias depositacionales están representadas por triángulos de Karogodin.

5.1. Secuencia Cabo Blanco (I)

Su límite inferior es definido por un nivel arcilloso de amplia extensión areal (Formación Clavel), con mejores espesores en la costa (predominancia de lutitas); hacia el este, los espesores se reducen gradualmente así como la variación litológica (limolitas). El nivel ha sido identificado como depósitos en ambientes marinos

marginales (Fildani, 2004). Secuencialmente el nivel es definido como una superficie de inundación máxima de tercer y cuarto orden (CL_mfs), que da inicio a la construcción de los depósitos deltaicos de la secuencia (Fig. 3).

Sobre este nivel se desarrollan alternancias deltaicas grano- y estrato-crecientes, limitadas a la base por superficies de inundación gradualmente menos

expresivas, y hacia el tope limitadas por superficies de regresión máxima de quinto orden (EC_CB_mrs) que enmarcan secuencias de quinto orden y candidatas a unidades de flujo (Fig. 3-2).

Las progradaciones muestran una continuidad de sedimentación que se inicia en una asociación de prodelta, gradando a frente deltaica y eventualmente a planicie deltaica (Fig. 3-2).

El límite superior es coronado por la primera superficie de discordancia sub-área de cuarto orden, que se identifica al tope de la somerización más expresiva y a la base del nivel arcilloso dando inicio a la segunda secuencia de cuarto orden (Fig. 3).

5.2. Secuencia Somatito (II)

Su límite inferior es definido por un nivel arcilloso de regular extensión areal (base de Miembro Verde). El nivel ha sido identificado como de subambiente prodelta proximal y definido como superficie de inundación máxima de cuarto orden (EC3_mfs), que da inicio a la construcción de los depósitos deltaicos de esta segunda secuencia (Fig. 3).

Sobre este nivel, se desarrollan alternancias deltaicas estrato crecientes en dirección al tope, limitadas a la base por superficies de inundación y al tope por superficies de regresión máxima de quinto orden (EC_ST_mrs) (Fig. 3-2).

Las secuencias de quinto orden muestran buena correlación longitudinal con dirección ESE a ONO, con predominancia de subambientes proximales deltaicos en dirección este.

El límite superior es definido por la segunda superficie de discordancia sub-área de cuarto orden que se identifica al tope de la somerización más expresiva y a la base del nivel arcilloso que da inicio a la tercera y última secuencia (Fig. 3-2).

5.3. Secuencia Ballena (III)

El límite inferior es definido por una intercalación lutácea-limolítica con alto contenido orgánico y regular extensión areal (Miembro Constancia). El nivel ha sido identificado como subambiente frente deltaico distal y secuencialmente es definido como superficie de inundación máxima de cuarto orden (EC5_mfs), que da inicio a la construcción del edificio deltaico de la tercera secuencia (Fig. 3).

Sobre este nivel se desarrolla la intercalación de lutitas, limolitas y eventualmente areniscas con patrón grano- y estrato-creciente, definidas como alternancias de sucesiones deltaicas de subambientes proximales como planicie y frente deltaico proximal, y limitadas al tope por superficies de regresión máxima que definen secuencias de quinto orden (EC_BL_mrs) (Fig. 3-2).

Las superficies de inundación no son fácilmente definidas como consecuencia de la reducción de acomodación y la proximalidad del edificio deltaico a

diferencia de las dos secuencias anteriormente descritas.

El límite superior es identificado por la presencia de la discordancia del tope de la Formación Echinocyamus, y secuencialmente es definida como discordancia de tercer y cuarto orden, siendo límite superior del sistema deltaico (E_T_unc) (Fig. 3). Se identifica la discordancia a fines de Eoceno Medio (~48.5 ma., Pozo, 2002).

6. Conclusiones

Tres secuencias estratigráficas de cuarto orden se interpretaron para los sedimentos de la unidad Echinocyamus en el Lote X. Todos los límites de secuencias se caracterizan por ser superficies con continuidad regional y discordancias sub-áreas.

Las secuencias estratigráficas de quinto orden consideran la disposición angular de los estratos, honrando la geometría de depositación de cuerpos en sistemas deltaicos, siendo sigmoidales en dirección longitudinal y cóncava en dirección transversal, consistente con la dirección de aporte depositacional y explicando la transición de subambientes deltaicos.

La metodología de estratigrafía de secuencias de alta resolución permite entender las relaciones de los diversos subambientes que la componen y consigue identificar unidades genéticas que serán las candidatas para unidades de flujo.

Referencias

- Catuneanu, O., et al. 2011. Sequence stratigraphy: Methodology and nomenclature. *Newletters on Stratigraphy*, v. 44, p. 173-245.
- Daudt, J., Pozo, E., Torres, K., Leyva, J. 2010. Evolução estratigráfica, arcabouço estrutural e potencial remanescente das unidades produtoras da Bacia de Talara (noroeste do Perú) na área do Lote X. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 18, p. 69-95.
- Fildani, A. 2004. Analysis of two arc-associated basins and of their deep-water stages: Magallanes basin, Chile, and Talara basin, Perú. Tesis doctoral, Stanford University, p. 325.
- Petrobras. 2006. Informe de situación actual, Lote X, Cuenca Talara, Perú. Informe Interno, p. 35.
- Savini, R., Raja Gabaglia, G., Daudt, J. 2003. Seminario de campo de Chapada Diamantina: Método de análisis estratigráfico en sistemas sili-ciclasticos. *Guía de Campo*, p. 43.
- Pozo, E. 2002. Bioestratigrafía de alta resolución y su aplicación en la identificación de secuencias de tercer orden, Lote X, Cuenca Talara, Perú. Congreso Peruano de Geología, Lima, 12.