



Análisis de facies utilizando registros de imágenes de subsuelo

Juan Tito Mendoza Aranda

Jr. Huancavelica 3680, Lima 31, Perú (juantito46@hotmail.com)

ABSTRACT

The very useful concept of facies refers to a rock body and can be decomposed in 5 elements: lithology, texture, sedimentary structure, paleocurrent, and fossil content. Subsurface technology has developed tools (CMI or FMI) that can electrically scan the wellbore, obtaining images with such resolution that allows the identification of each sedimentary facies component.

The images can resolve lithological and textural variations as those occurring in limestone beds and collapse breccias. Other examples include: hummocky cross-stratification suggested by dipmeter and confirmed by images; a continuous bed translation in a lateral accretion bar; bed load structures; paleocurrents indicated by cross-stratification and ripples; an electrical radiography of tubular organisms; and an image of stromatoporoids.

The inpainting technique allows total visualization of a wellbore. This technology provides a powerful tool for subsurface facies correlation in order to create more robust reservoir models.

RESUMEN

El muy útil concepto de facies se refiere a un cuerpo de roca y puede descomponerse en 5 elementos: litología, textura, estructura sedimentaria, paleocorriente, y contenido fósil. La tecnología de subsuelo ha desarrollado herramientas (CMI o FMI) capaces de escanear eléctricamente un pozo, obteniendo imágenes de tal resolución que pueden identificar cada uno de los elementos de la facies sedimentaria.

Las imágenes pueden resolver variaciones litológicas y texturales, como ocurre en delgadas capas de caliza y brechas de colapso. Otros ejemplos incluyen: estratificación cruzada de tipo *hummocky* sugerida por *dipmeter* y confirmada por imagen; una traslación continua de capas en una acreción lateral; estructuras de carga; paleocorrientes por estratificación cruzada y rizaduras; una radiografía eléctrica de organismos tubulares; y una imagen de estromatoporoides.

Desde unos años, con la técnica *inpainting* se obtiene una visión total de la circunferencia de un pozo. Con esta tecnología se tiene una herramienta poderosa en la correlación de facies en el subsuelo para así crear modelos de reservorios más robustos.

Palabras claves: facies, análisis, imágenes, correlación, modelo.

1. Introducción

Una facies consiste de un cuerpo de roca tridimensional que posee características especiales que lo distinguen de otros cuerpos de roca. El concepto de facies ha sido uno de los más útiles e intensamente debatidos en geología, y su uso es ahora extendido a las imágenes que son registradas, tanto de naturaleza eléctrica como acústica. El advenimiento de la tecnología de los registros de imágenes nos permite observar directamente la roca de

subsuelo.

Como los geólogos y los ingenieros están constantemente confrontados con el problema de entender los detalles y el carácter de los cuerpos de roca de un reservorio, el análisis de facies constituye la técnica que permite descomponer la totalidad de una facies de la roca en sus componentes simples, clasificándolos e interpretándolos. El análisis de facies comprende el

estudio y la interpretación de los elementos como son la litología, la textura, las estructuras sedimentarias, las paleocorrientes, y el contenido de fósiles (Miall, 1990). Así, la facies descriptiva incluye la litofacies y la biofacies, que son usadas para describir los atributos observables de los cuerpos de roca que a su vez son interpretados en términos de procesos depositacionales o biológicos, respectivamente.

El propósito de este artículo es definir los cinco elementos de una facies que son impresos en una roca y pueden ser identificados e interpretados en los registros eléctricos de imágenes.

2. Aspectos técnicos

2.1. La herramienta de imágenes

La herramienta de imágenes *Micro Imager* (comercialmente conocida por las siglas CMI o FMI) consiste de 8 patines de adquisición que permanecen en contacto con la pared del pozo. Los patines contienen 176 botones que son los electrodos. Además de los circuitos electrónicos, el cuerpo de la herramienta incluye el

inclinómetro y una telemetría digital que define la orientación de las imágenes. Estas imágenes son construidas por las mediciones de la resistencia eléctrica hechas por uno o más botones, y esto da un registro vertical continuo de parte de la circunferencia del pozo, cada 0.5 cm.

2.2. Creación de registros de imágenes

Para crear una imagen de un grupo de datos, es necesario definir una escala de colores con un rango particular de valores. Por ejemplo, 0-10 puede ser de color anaranjado claro, 10-20 anaranjado, 20-30 marrón claro, y así sucesivamente. Con esta aproximación, una única curva puede ser ploteada en una imagen en una dimensión de color (Fig. 1A).

Una técnica más elaborada es usada en la herramienta de imágenes. La herramienta provee 176 lecturas en cada profundidad, significando que se manejan 176 registros (¡no sólo uno!). Luego, un diagrama con coordenadas verticales y horizontales es creado, siendo una matriz pixel (*picture element*). Cada pixel tiene un código de color asociado al valor del registro (Rider, 2002) (Fig. 1B).

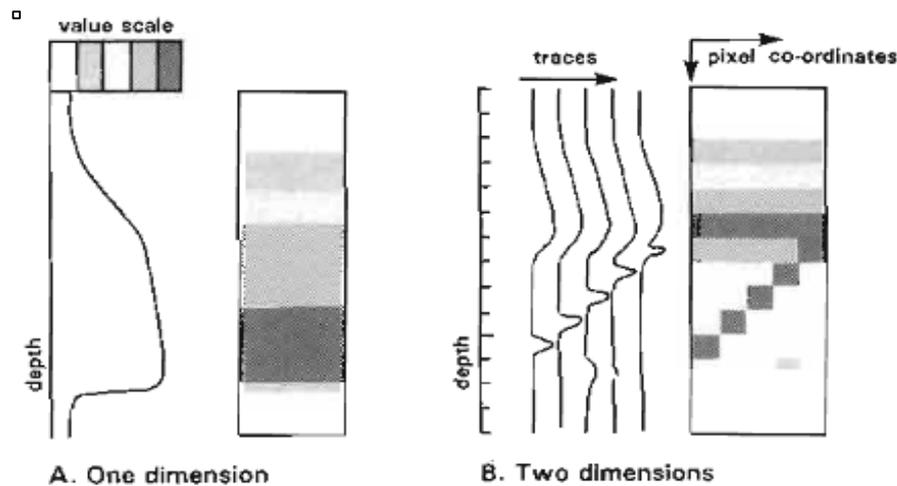


Figura 1. Creación de la imagen de la escala de colores en una dimensión (A) y en dos dimensiones (B).

3. Elementos de análisis de facies

3.1. Litología

La denominación de la litología está basada en el tipo de roca. Los rasgos litológicos y la composición son comúnmente descritos en sedimentos clásticos y carbonatos, mientras que la relación de tipo de lodo/aloquemos es observada principalmente en carbonatos (Fig. 2).

3.2. Textura

Este elemento de la facies incluye las partículas o granos que están sujetos a erosión, transporte, y depositación. Las clases texturales se adicionan al estimado volumétrico total de porcentaje de tamaño de grano de gravas, arena, y lodo, que por definición suma 100 %.

El elemento textura incluye el tamaño de grano y la tendencia vertical de tamaño de grano, el escogimiento, la redondez, la matriz de roca, los minerales arcillosos, etc. La Figura 3 permite distinguir la imagen textural de la caliza masiva de la caliza granulada.

3.3. Estructuras sedimentarias

Se trata de aquellas estructuras formadas durante la depositación del sedimento. Se utilizan para reconocer la posición original de los estratos en terrenos geológicamente complejos, y sobre todo para entender el ambiente depositacional del sedimento. Entre las estructuras se incluyen el contacto de facies (gradual, erosional), la estratificación cruzada, la acreción lateral, la deformación en sedimento suave, etc.

3.3.1. Estratificación cruzada de tipo hummocky. Este

tipo de estructura refleja la dominación de la energía de las olas que ocurre en la parte inferior del *shoreface* (areniscas litorales; Figs. 4A y 4B).

3.3.2. *Superficies de acreción lateral.* Los canales de meandros y las barras de punta asociadas migran por una translación río abajo y una expansión lateral de la curva del segmento del canal (Figs. 5A y 5B).

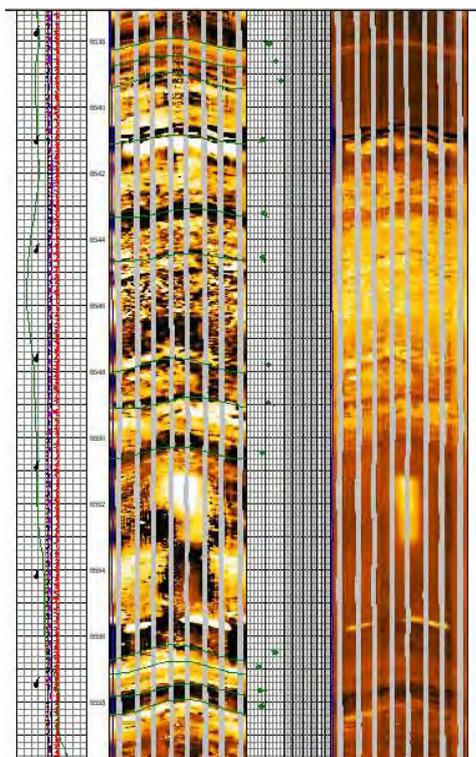


Figura 2. Imágen incluyendo dos porciones de litologías distintas, con arenisca conductiva en la parte inferior, y caliza moteada resistiva en la parte superior. Formación Napo (Cretáceo), cuenca Oriente, Ecuador.

3.3.3. *Estructuras de carga.* Son estructuras post-depositacionales que se forman cuando existe un contraste de densidad y el sedimento está saturado en agua. Se produce entre dos capas adyacentes con distinta granulometría, la capa superior siendo necesariamente de granulometría más gruesa que la infrayacente. La Figura 6 muestra la imágen de una estructura de carga en su parte inferior.

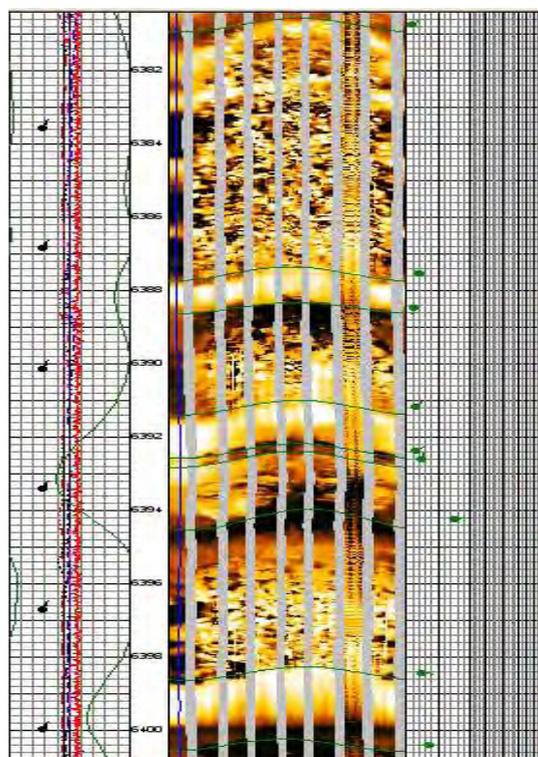
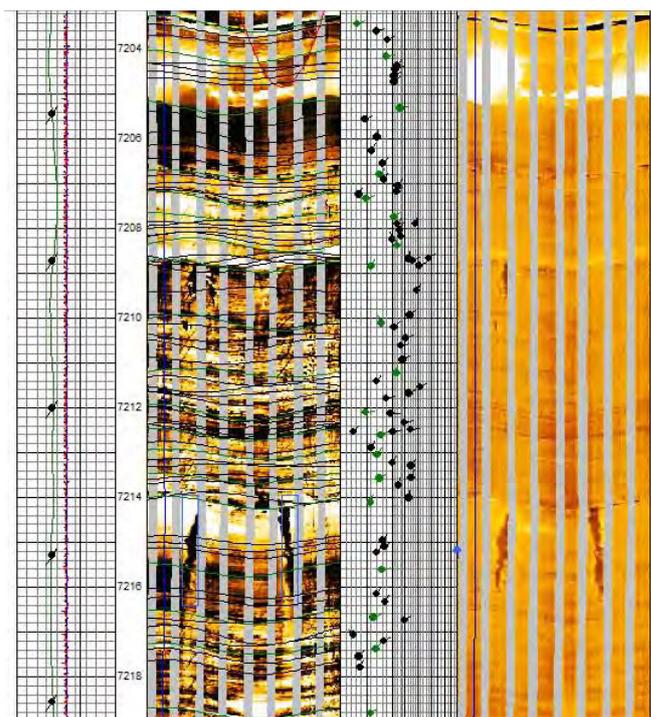


Figura 3. La curva *gamma ray* está en color verde. Estratos de caliza en capas delgadas, seguidos por brechas de colapso con granos angulares provenientes de la caída de techos de cavernas. Formación Napo (Cretáceo), cuenca Oriente, Ecuador.



Figura 4. A (izq.): Afloramiento mostrando la parte convexa (*hummocks*) y la parte cóncava (*swales*). B (der.): La estratificación es paralela desde abajo hasta la profundidad de 7214', donde pasa a estratificación cruzada de tipo *hummocky* por encima de esta profundidad. Observese cómo el *dipmeter* indica ciclos de aumento de ángulo hacia arriba. Formación Ancha (Eoceno), cuenca Talara, Perú.



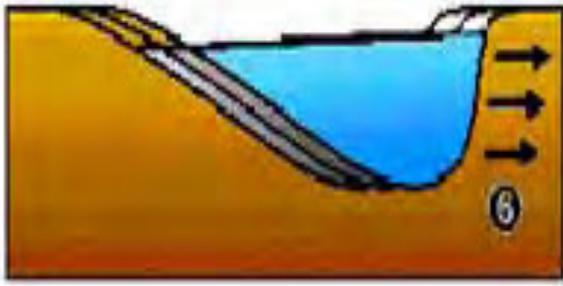
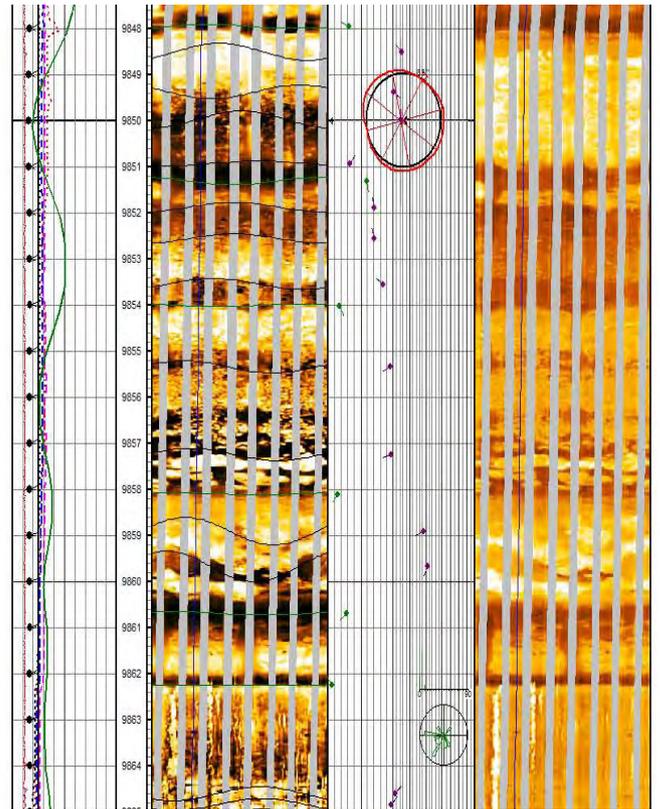


Figura 5. A (izq.): Diagrama esquemático ilustrando el avance de un sistema sedimentario de barras de punta (*point-bar*), en este caso hacia la derecha.
 B (der.): La imagen está indicando una traslación continua en la parte inferior sur hacia el oeste para ir disminuyendo el ángulo hacia arriba. Al tope la orientación del canal asociado es N-S. Formación Napo (Cretáceo), cuenca Oriente, Ecuador.



Pozo E. DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA DE IMÁGENES CMI

Integración posterior con la foto del núcleo

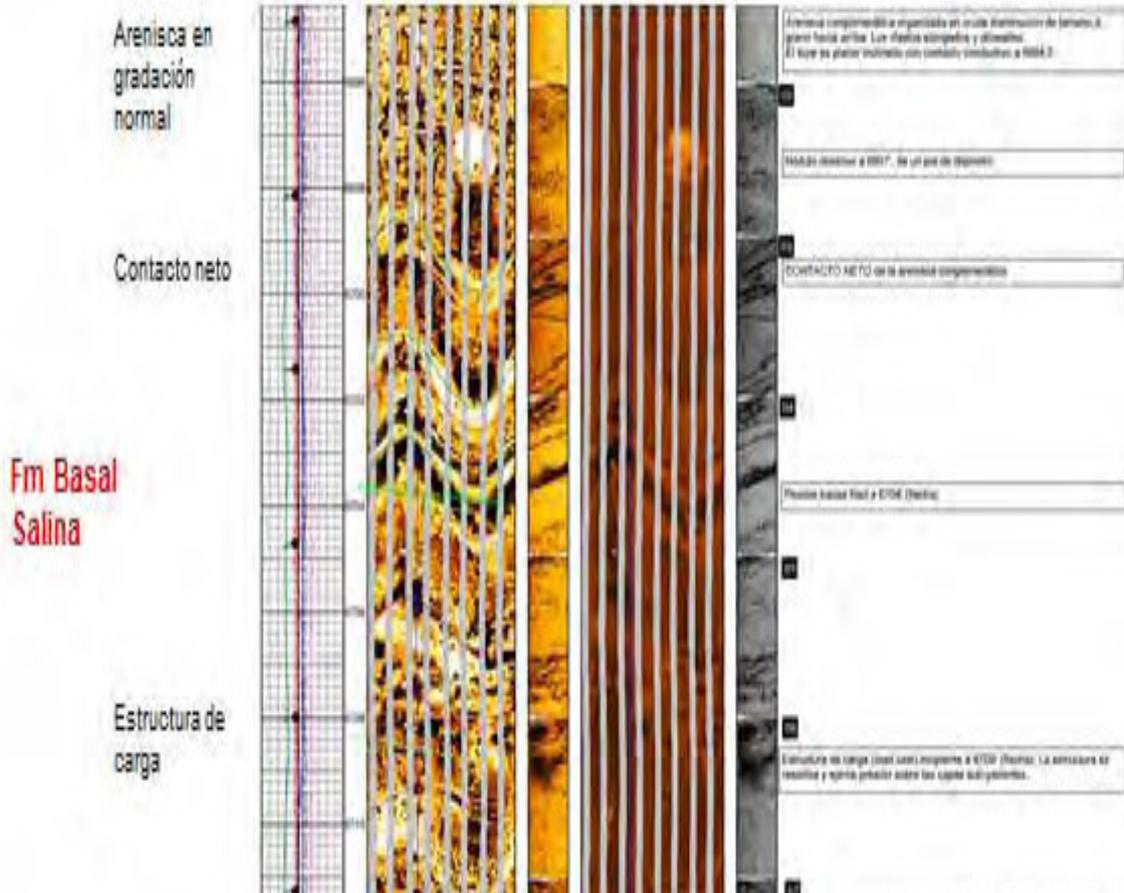


Figura 6. Estructura de carga, comprobada con la fotografía de núcleo. Formación Basal Salina (Eoceno), cuenca Talara, Perú.

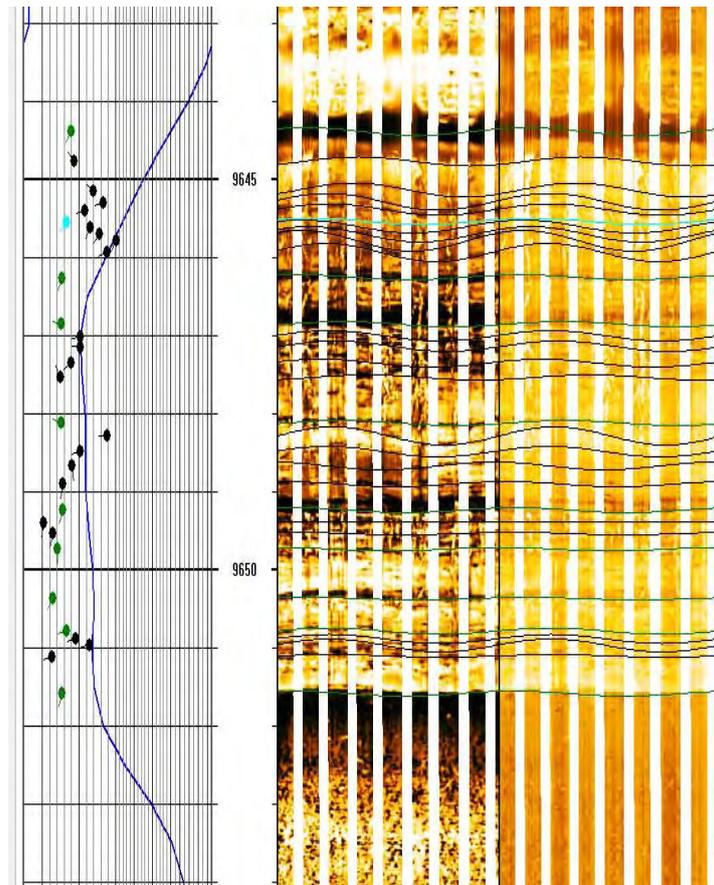


Figura 7. El registro *gamma ray* (línea azul) muestra una continua disminución hacia arriba, típica de una barra marina. Los ángulos de buzamiento aumentan (5° - 18°) con buena laminación regular en la imagen, indicando una estratificación *hummocky* con paleocorriente hacia el oeste. Formación Napo (Cretáceo), cuenca Oriente, Ecuador.

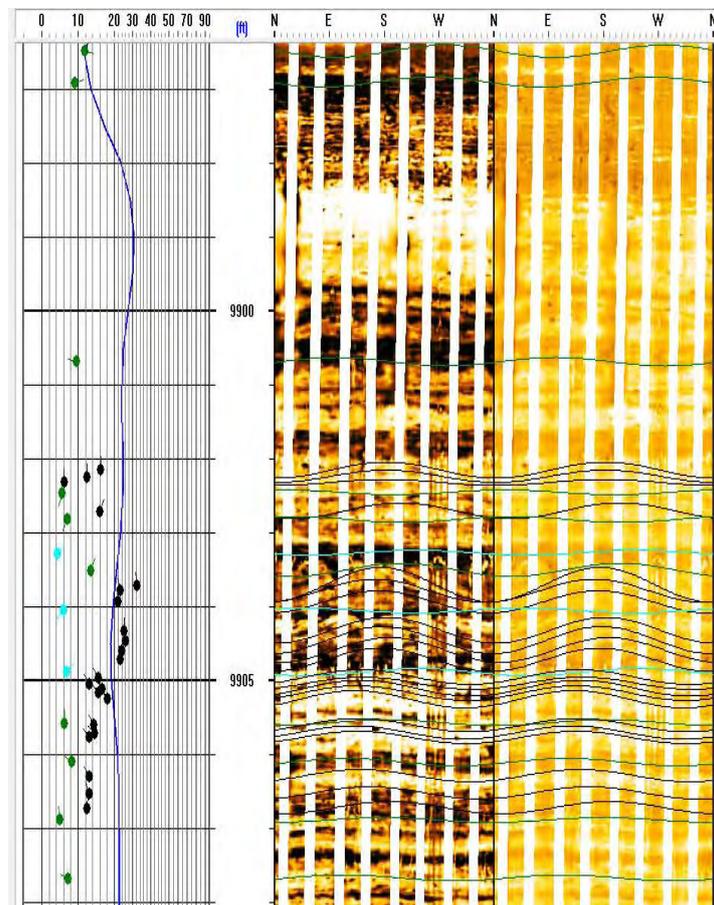


Figura 8. Rizaduras con paleocorrientes 22° - 32° N. Formación Napo (Cretáceo), cuenca Oriente, Ecuador.

3.4. Paleocorrientes

El análisis de paleocorrientes consiste en la determinación de la dirección de las corrientes que actuaron durante la deposición de un sedimento mediante las estructuras sedimentarias que presentan corrientes o rasgos asociados con éstas o con su orientación, como por ejemplo la estratificación cruzada, las estructuras imbricadas, etc. En los registros de

subsuelo (*dipmeter*), el buzamiento estructural tiene que ser identificado y removido antes de interpretar los datos de paleocorrientes (Figs. 7 y 8).

3.5. Fósiles

El cuerpo fósil es el resto fosilizado de partes de cuerpos de organismos (Fig. 9). Las trazas fósiles son impresiones hechas en el sustrato por un organismo (Fig. 10).



Figura 9. Imágen de estromatoporoides (izquierda), organismos importantes en la construcción de arrecifes (derecha).

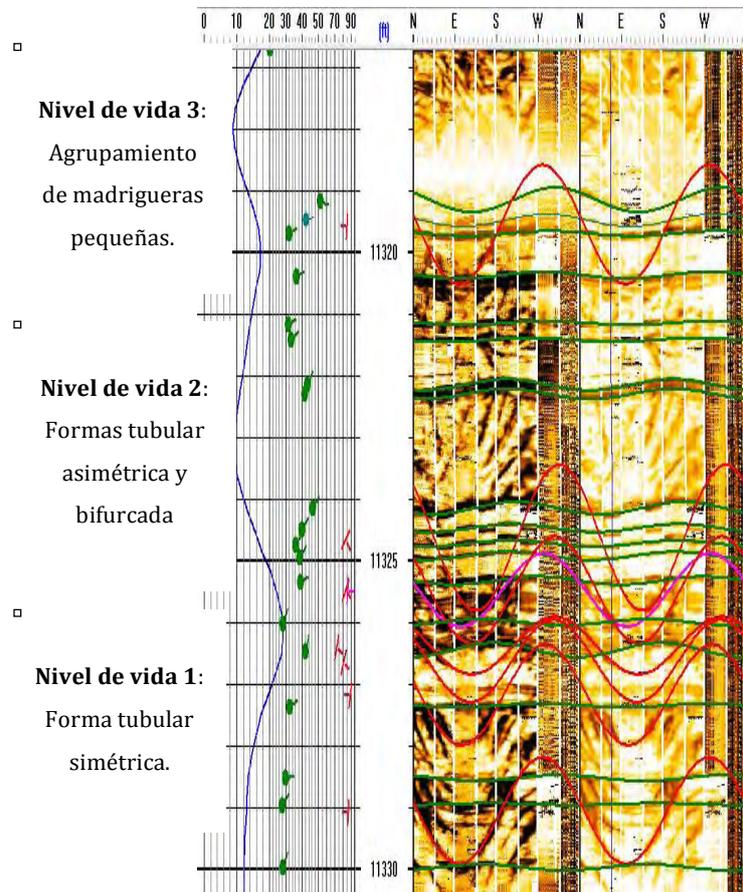


Figura 10. La roca es una cuarzo-arenita. La curva de *gamma ray* (color azul) indica tres intervalos limitados por niveles de vida indicando cada uno formas tubulares ramificadas distintas. Formación Amotape (Paleozoico), cuenca Talara, Perú.

4. Visualización de imagen total

Las herramientas de imágenes están diseñadas para cubrir un 70 % de un pozo de 8.5 pulgadas. La tecnología reciente ha hecho posible representar las partes no registradas (30 %) en el registro de imágenes, remplazándolas con valores consistentes con las estructuras y texturas de la parte medida con la ayuda de un diccionario de transformadas de imágenes geométricas

de orientación múltiple (Assous et al., 2013). Este proceso es llamado *inpainting*, y es también utilizado en la reconstrucción de obras pictóricas de arte. Como resultado, las imágenes reconstruidas permiten una identificación de los más complejos elementos de las facies sedimentarias (Figs. 11 y 12).

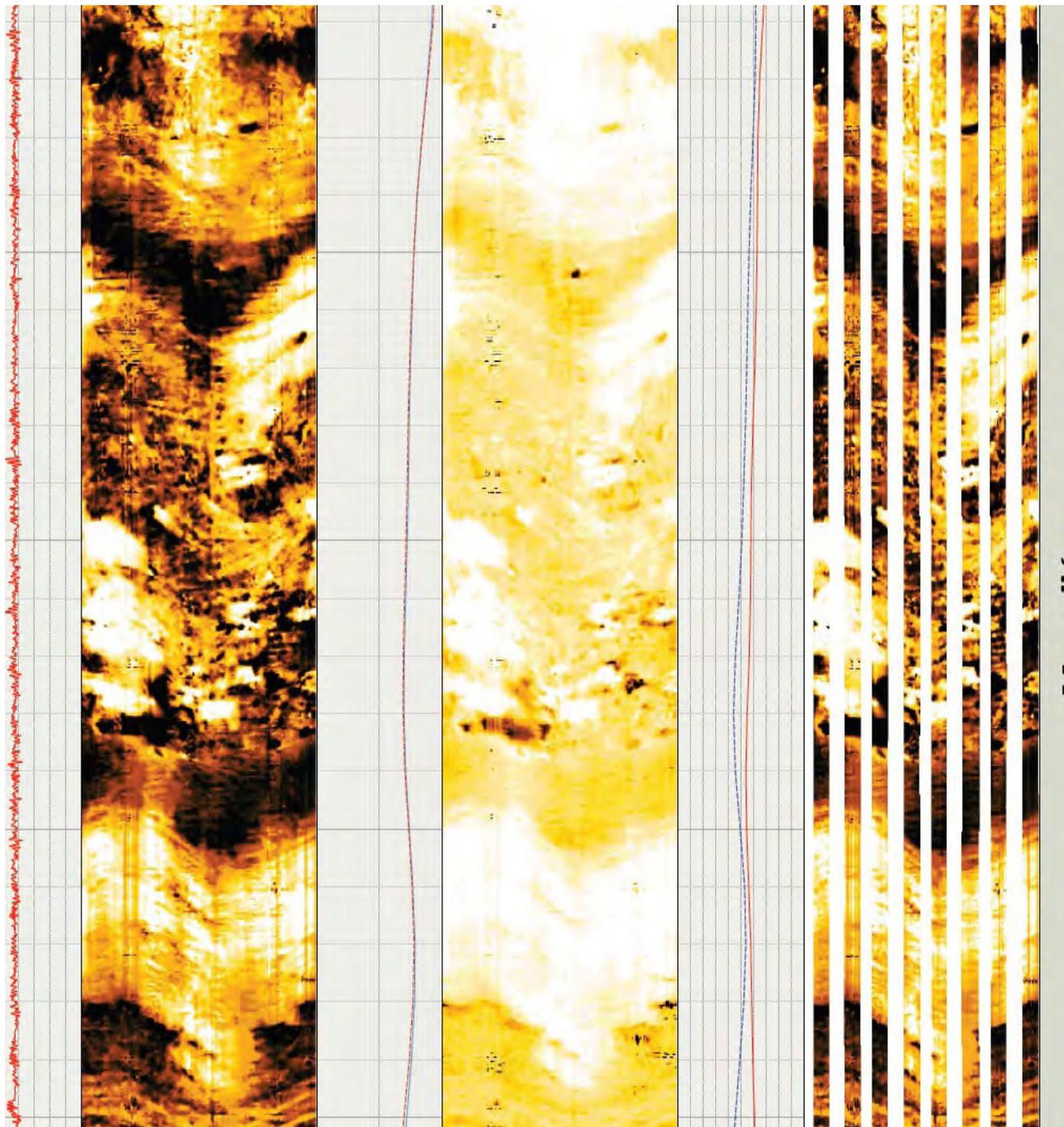


Figura 11. Una estructura de carga "ball and pillow" queda evidenciada en la imagen *inpainted* por efecto de sedimentación rápida. Formación Mogollón (Eoceno), cuenca Talara, Perú.

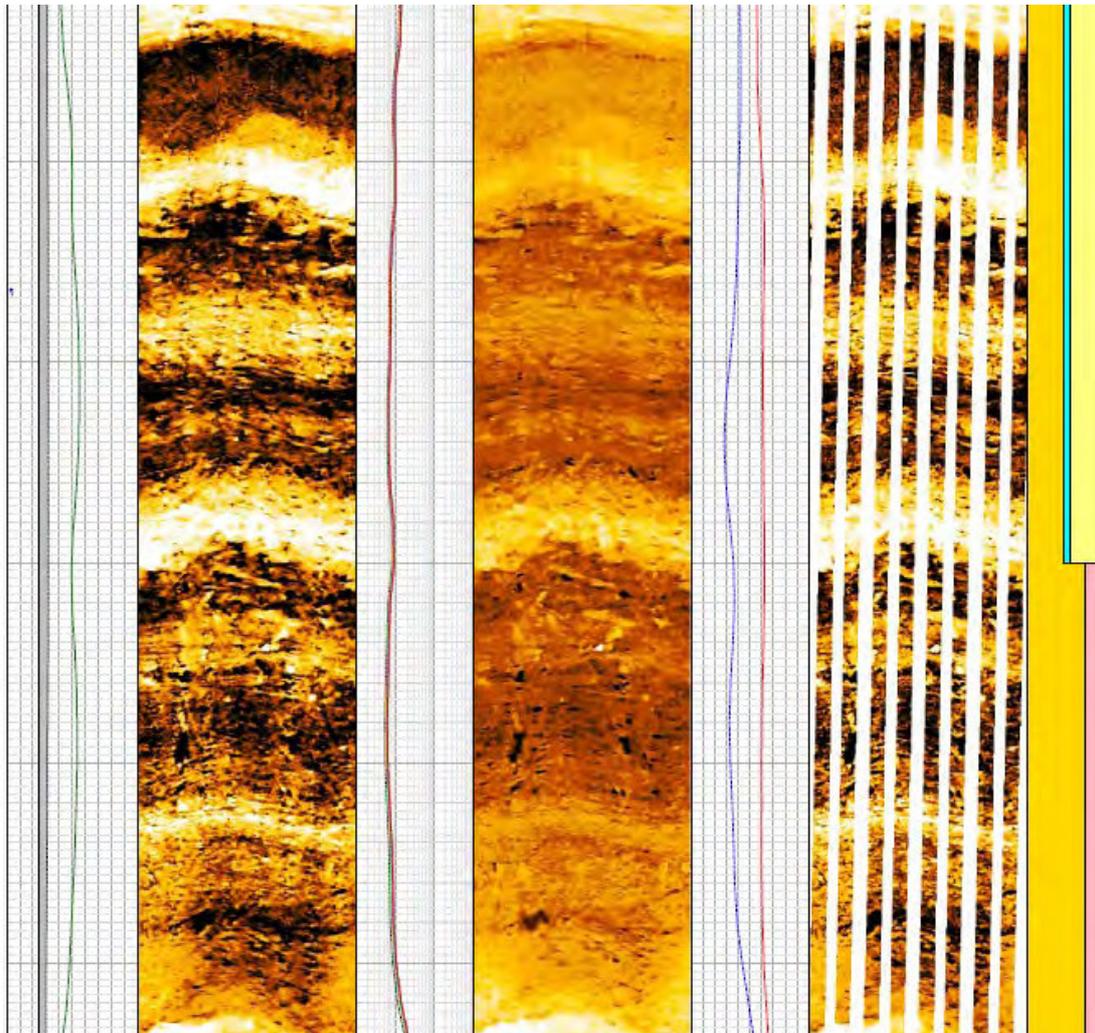


Figura 12. Ejemplo de imagen obtenida en un pozo atravesando la Formación Mogollón (Eoceno de la cuenca Talara, Perú). La columna litológica se muestra a la derecha (el color anaranjado es arenisca, y el amarillo es arena). La imagen total, de 20 m, está indicando pulsos de tres secuencias apiladas, probablemente de depósitos de flujo de detritos.

5. Correlación pozo a pozo, y modelo de facies

Una vez reconocido todos los elementos de la facies, se puede nombrar el tipo de facies. Cada tipo de facies es interpretado en términos de procesos depositacionales específicos y por asociación de facies se establece un modelo de facies, y con esto se indica cuáles y cuántas unidades se van a correlacionar.

El modelo de facies es importante porque va a guiar la correlación y la construcción de modelos de reservorio. El uso de un modelo, sea correcto o incorrecto, es una pieza de lógica lineal. El modelo y la correlación están fuertemente unidos: así la correlación está justificada por el modelo y el modelo por la correlación. De esta manera el modelo de reservorio creado es más robusto.

6. Conclusiones

Con la tecnología de imágenes eléctricas de pozo se puede identificar cada elemento de las facies sedimentarias y realizar un análisis de facies en el subsuelo, con casi la misma resolución como la que se

obtiene en un estudio en afloramientos. El modelo de facies creado permite la construcción de un mejor modelo de reservorio.

Agradecimientos

Las imágenes han sido procesadas por Rafael Osorio, y la revisión del manuscrito fue hecha por Katleen Ipanaque; por ello y por sus alientos para escribir, va mi agradecimiento.

Referencias

- Assous, S., Whetton, J., Elkington, P.A.S. 2013. Microresistivity image inpainting and visualization. SPE 13ATCE-P-829-SPE, New Orleans.
- Miall, A. 1990. Principles of sedimentary basin analysis. Springer Verlag.
- Rider, M.H. 2002. The geological interpretation of well logs. Progress Press Co Ltd., Malta, 280 p.