

CMP2018

Clasificación simultánea de atributos sísmicos a la escala del voxel para delimitar la roca yacimiento al sur de México.

Autor: Leal Jonathan (PEMEX)

Coautor: Jerónimo Rafael (PEMEX)

Coautor: Roden Rocky (GEOPHYSICAL INSIGHTS)

Coautor: Rada Fabián (OGO)

Coautor: Vilorio Reinaldo (OGO)

Resumen

El objetivo principal de este trabajo es mostrar cómo un nuevo enfoque del análisis multiatributos sísmicos puede ayudar a los intérpretes a identificar patrones intrínsecos de los datos sísmicos y que están asociados a flujos turbidíticos donde yacen importantes acumulaciones de hidrocarburos, utilizando el Análisis de Componentes Principales (ACP) y la clasificación mediante red neuronal de Mapas Auto Organizados de Kohonen (MAO), ambos, a la escala del tamaño del bin y del intervalo de muestreo del volumen sísmico (escala de cada voxel). El volumen de clasificación obtenido puede tener diversas aplicaciones: ajuste o refinamiento del modelo sedimentario para identificar de manera más precisa la distribución lateral y vertical de las facies de interés económico y plasmarlos en los mapas finales de cada unidad estratigráfica, también, en la toma de decisiones al momento de proponer nuevas localizaciones y reducir la incertidumbre asociada a la explotación del campo, entre otros.

En el presente trabajo, se clasificaron simultáneamente un conjunto de atributos sísmicos cuyo uso más frecuente es la detección de contrastes litológicos, siendo los resultados cotejados con el modelo regional sedimentario del área y calibrado con los datos de pozos mediante análisis estadístico. Finalmente, se realizó una comparación con atributos de inversión sísmica simultánea para comparar ambas metodologías y determinar si con ambas técnicas, las áreas de oportunidad identificadas son corroboradas. La metodología será explicada a detalle en el presente artículo, y se mostrará cómo los resultados contribuyen al desarrollo del campo y sus áreas aledañas.



Introducción

El Campo W, se encuentra geográficamente al sur de México, específicamente en la provincia geológica Cuencas del Sureste, en el depocentro de la subcuenca de Comalcalco, en el estado de Tabasco (Figura 1).



Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

La roca almacén está constituida por areniscas de edad Mioceno Superior en ambientes de abanicos de talud. Estas areniscas corresponden a facies de canales y lóbulos de talud, constituidas principalmente por cuarzo y feldespatos potásicos cementada en material calcáreo y de madurez media (Villebardet, 2015).

Los abanicos submarinos de talud (*slope fans*) se depositan al comenzar la desaceleración de la caída relativa del nivel del mar. Consisten en depósitos complejos, asociados a derrumbes y/o deslizamientos (Figura 2).

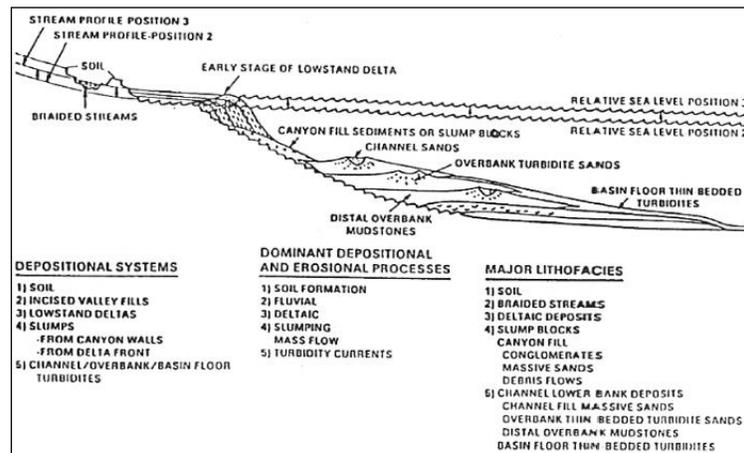


Figura 2. Diagrama esquemático donde se muestran las características sedimentarias y depositacionales de un abanico de talud (Tomado de Vail et al., 1989).

Estratigrafía y columna geológica

La columna geológica tipo (Figura 3) comprende rocas terrígenas terciarias del Neógeno en su totalidad hasta la cima del Mioceno Superior. A continuación, se describen las unidades lito-estratigráficas en orden de su depósito:

Mioceno Superior. Arena 3 (Objetivo)

Arenisca gris claro, de grano fino a medio de cuarzo, líticos oscuros, verdes y rojizos, sub-redondeados, regularmente clasificados, en matriz arcillo calcárea, presenta ligera impregnación de aceite de fluorescencia amarillo crema. Lutita gris oscuro, en partes gris verdoso, arenosa y ligeramente calcárea.

Plioceno Inferior

Representado por cuerpos de lutitas gris oscuro, en partes arenosa, calcárea, con intercalación de pequeños horizontes de arenisca gris claro, semi-consolidada, de granos finos de cuarzo, sub-redondeados, bien clasificados en matriz arcillosa, cementante calcáreo, algunos intervalos presentan escasa impregnación de aceite.

Plio-Pleistoceno

Esta unidad está constituida en su base por cuerpos de arenisca gris claro y café claro, semi-consolidada de granos finos de cuarzo, líticos oscuros, sub-redondeados, bien clasificados, en matriz arcillo calcárea, presenta intercalaciones de pequeños a medianos horizontes de lutita gris oscuro ligeramente arenosa y calcárea. Se observan restos de moluscos.

Indeterminada

Constituida principalmente por potentes cuerpos de arena de cuarzo, de diferentes tonalidades, gris, ámbar y amarillento, de grano medio que en partes gradúa a gravilla angular a sub-angular con pedacería de conchas de moluscos, con intercalaciones de lutita gris verdoso y arenosa gris claro y café claro.

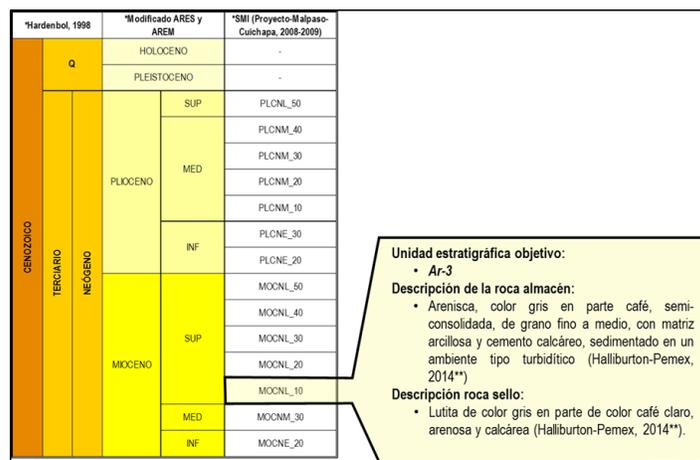


Figura 3. Columna estratigráfica Campo W.

Sedimentología

En la Figura 4 se representa el mapa de distribución de facies de la secuencia *MOCNL_10*, correspondiente al establecimiento en la región del primer sistema plataforma–cuenca. Las dos líneas discontinuas, una de color rojo y otra de color café oscuro; representan el borde de la plataforma en tiempos diferentes. En la base de la secuencia, el sistema estuvo muy retrasado, mostrando un complejo de abanicos de talud muy desarrollado, mientras que al final de la secuencia se observa una progradación muy fuerte que provocó el avance del borde de la plataforma más de 50 kilómetros hacia el norte. Esta enorme progradación coincide con el levantamiento de la Sierra de Chiapas y la exhumación del Macizo Granítico de Chiapas, que sirvió como fuente de aporte para este sistema

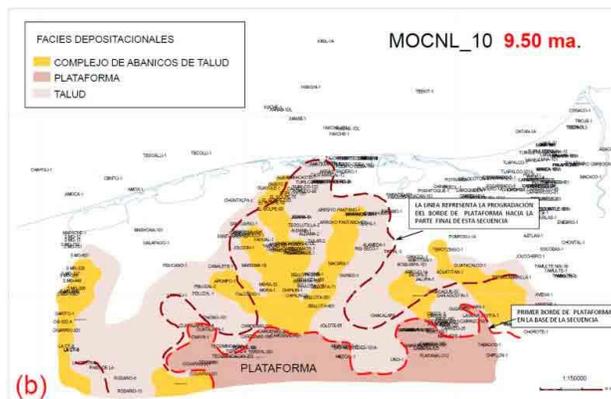


Figura 4. Mapa de distribución de facies de la secuencia *MOCNL_10*. (Proyecto Estratégico (Proyecto-Malpaso-Cuichapa. Pemex, 2008-2009).

La dirección predominante de aporte en el Campo W, es sur-norte, lo cual es congruente con el modelo regional propuesto en el Proyecto Malpaso-Cuichapa (Pemex; 2008-2009). La zona productora del campo cubre un área de aproximadamente 0.36 km² y se localiza en facies de canales distributarios al noreste del canal principal.

En descripciones litológicas y petrográficas para la Arena 3 se reportan areniscas de grano fino sub-redondeado, bien clasificadas; consolidadas en matriz arcillosa, por ello se considera que esta textura es correspondiente con la porción media de los abanicos turbidíticos. Mediante estudios paleontológicos se ha determinado una paleobatimetría batial inferior.

Las electrofacies observadas de la Arena 3 tienen forma de caja en los pozos (W-2, W-4, W-5 y W-6) asociándose a facies de canales distributarios y son los que presentan mayor porosidad promedio. Por el contrario, en los pozos W-3 y W-1 la respuesta del registro de rayos Gamma es diferente, asociándose a facies lobulares. En la Figura 5, se presenta el esquema sedimentológico de abanicos submarinos

propuesto por Muti (1978), donde es posible apreciar que los pozos W-1 y W-3 tienen las porosidades promedio y espesores más bajos que el resto de los pozos.

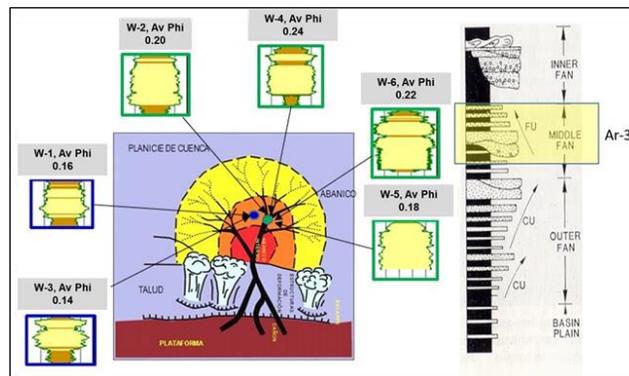


Figura 5. Electrofacies y calidad de la roca (porosidad) asociadas al modelo teórico propuesto por Muti (1978).

Estratigrafía

En la Figura 6, se muestra la estratigrafía del área y se resalta la unidad productora de interés (Arena 3).

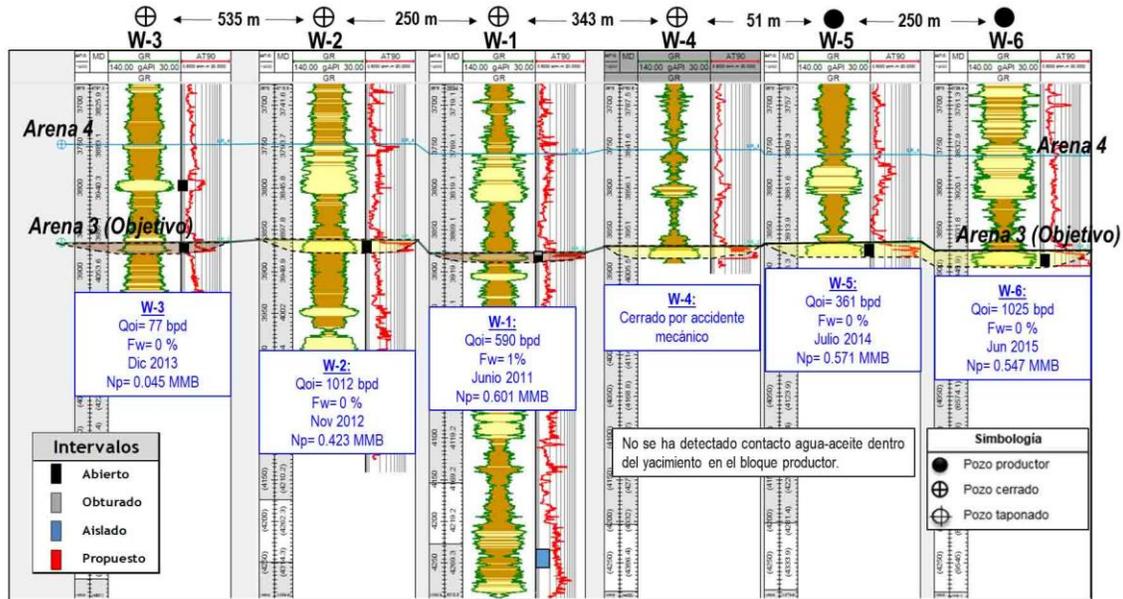


Figura 6. Correlación estratigráfica de los pozos del campo.

Petrofísica

Para el cálculo del volumen de arcilla (VCL) se utilizó el modelo de Stieber. La porosidad efectiva (PIGN) fue obtenida mediante el modelo de Neutrón-Densidad y la saturación de agua (SUWI) mediante el modelo de Simandoux, utilizando una salinidad de 45,000 ppm. En la Tabla 1 se muestran los parámetros utilizados para la evaluación petrofísica.

Tabla 1. Parámetros petrofísicos, Campo W.

Salinidad del agua de formación	45,000	ppm
Resistividad del agua (Rw)	0.05 @ 116°C	ohm.m
Exponente de saturación (n)	2	adimensional
Exponente de cementación (m)	2	adimensional
Factor de tortuosidad (a)	1	adimensional
Modelo de saturación de agua	Ecuación de Simandoux	

En la

Tabla 2 se muestran los valores de corte utilizados en el Campo W, para el cálculo de Arena Neta (AN) y Arena Neta Impregnada (ANIP).

Tabla 2. Parámetros de corte Campo W.

PARÁMETROS DE CORTE		
Porosidad (Phi)	>=	0.10
Saturación de agua (Sw)	<=	0.65
Volumen de arcilla (Vsh)	<=	0.45

En la Figura 7 se muestra la evaluación petrofísica de uno de los pozos del campo donde se observa la calibración núcleo y registro (puntos rojos).

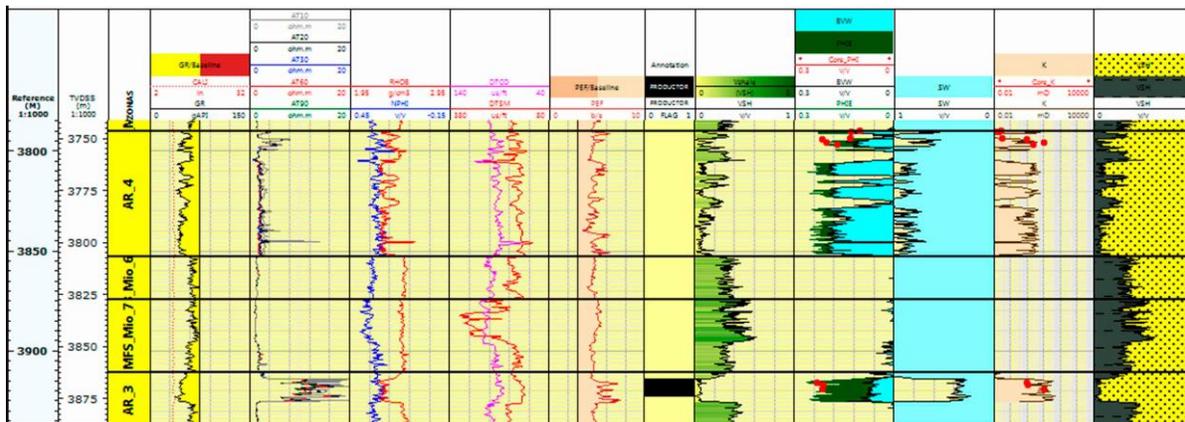


Figura 7. Evaluación petrofísica del Pozo W-2, Arenas 3 y 4 calibradas con datos de núcleo.

Información de yacimientos

Se hizo un análisis general del comportamiento dinámico del campo, a objeto de lograr una mayor comprensión de su problemática: grado de agotamiento de la presión del yacimiento, grado de conectividad entre fallas, producción de agua y la volumetría entre otros.

El campo fue descubierto en el año 2010 con el pozo exploratorio W-1, inició su explotación en la Arena 3 del Mioceno Superior en junio de 2011 con un gasto inicial de 0.5 Mbd y 0.2 mmpcd.

La roca almacenadora del Campo W corresponde a las arenas del Mioceno Superior con un área de 17.2 km², espesor neto impregnado de 9-12 m, porosidad de 18-25 %, permeabilidad promedio de 6-12 mD y saturación de agua de aproximadamente 23%.

A su descubrimiento, presentó una presión inicial de 790 kg/cm², siendo la actual de 516 kg/cm², con una caída de presión de 48.8 kg/cm²/año y de 147.7 kg/cm²/Mmb, considerando su nivel de referencia. Los principales problemas que afectan la productividad son: caída de presión debido a que el campo produce volumétricamente, siendo el mecanismo de desplazamiento por expansión roca-fluido y empuje por gas en solución, aun cuando modelos analíticos previos, sugieren empuje por agua sin

aumento significativo en la energía del yacimiento. Por otro lado, existen problemas de arenamiento (pozo W-1) y deposición de asfaltenos (pozo W-2).

La Figura 8 muestra el comportamiento de producción del Campo W, nótese que históricamente no ha producido agua, lo que posiblemente sea evidencia que no existe contacto de fluidos en el bloque productor.

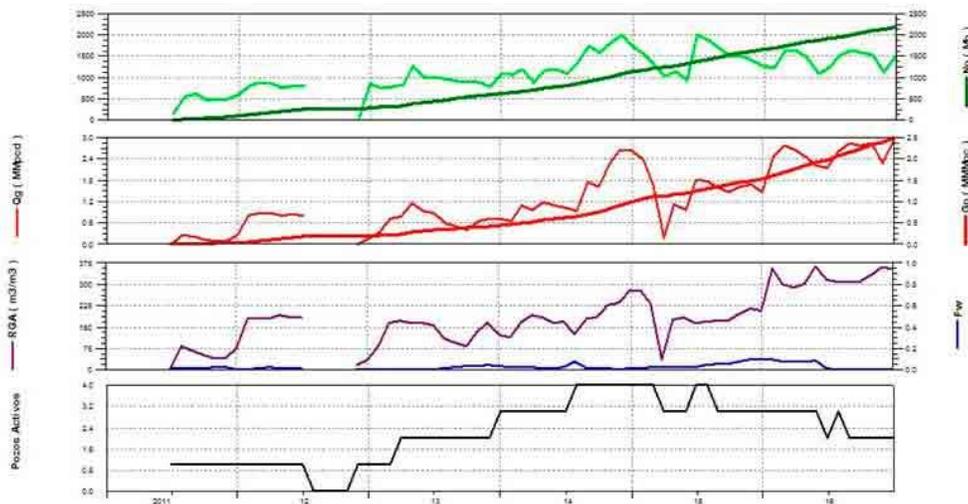


Figura 8. Historia de producción del Campo W.

Metodología

Información multidisciplinaria utilizada

La primera actividad realizada fue recabar y validar la información multidisciplinaria necesaria para llevar a cabo de la mejor manera el análisis multiatributos, así como para sustentar sus resultados. La Figura 9 resume la información requerida.

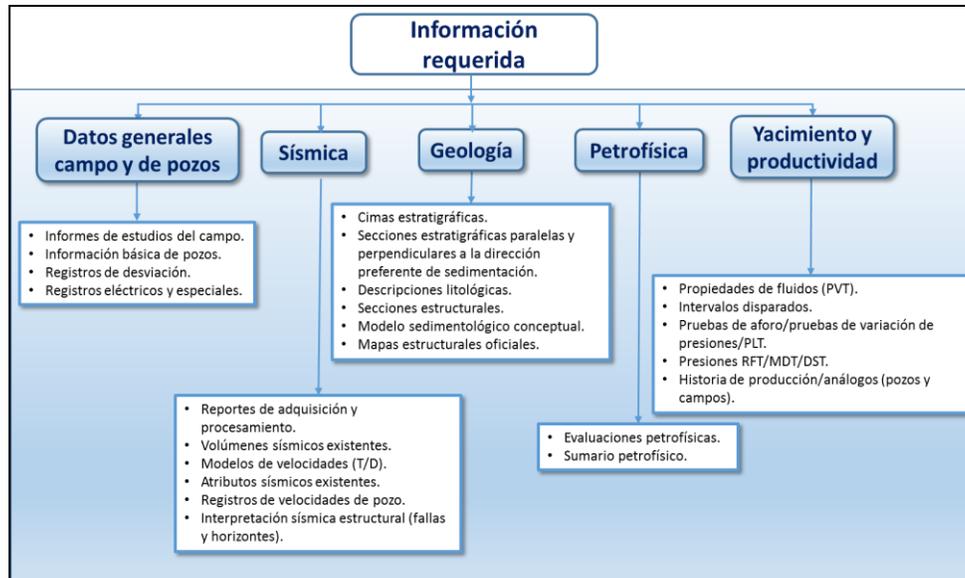


Figura 9. Información multidisciplinaria requerida como soporte.

Datos generales del campo y pozos

En el Campo W, se han realizado estudios de caracterización estática y dinámica que han permitido conocer las características más relevantes y diagnosticar su situación. En la actualidad, existen seis pozos perforados, de los cuales, uno es horizontal, uno es vertical y cuatro son desviados. Todos tienen registros geofísicos de pozo, marcadores geológicos (estratigrafía) y tablas T-Z. A excepción de los pozos W-4 (no productor por accidente mecánico) y W-6 (horizontal), todos tienen evaluaciones petrofísicas.

Datos sísmicos tridimensionales

El volumen sísmico utilizado para el análisis multiatributos corresponde al apilado de los *CRP gathers*, que, además, fue utilizado durante el proceso de inversión sísmica simultánea. El tamaño de bin es

de 30 metros por 30 metros y el intervalo de muestreo es de 4 milisegundos. La calidad de los datos en el área de estudio es regular. A la profundidad del yacimiento estudiado, la frecuencia dominante se aproxima a 14 Hz y la velocidad interválica es cercana a 3,300 metros por segundo. Por consiguiente, la resolución sísmica vertical es de 58 metros (Figura 10). La arena productora tiene un espesor promedio de 13 metros, por lo que no puede ser resuelta con los datos sísmicos convencionales.

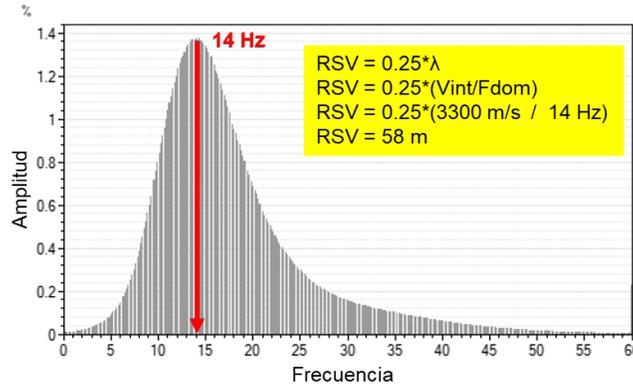


Figura 10. Espectro de amplitud y resolución sísmica vertical a la profundidad del yacimiento.

Análisis multiatributos sísmicos.

Definición del Análisis de Componentes Principales (ACP).

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es uno de los procedimientos propios de la estadística descriptiva más utilizados para sintetizar la información contenida en un conjunto de variables (volúmenes de atributos sísmicos), reduciendo así la dimensionalidad al identificar los atributos sísmicos que tienen mayor contribución para resolver alguna característica geológica específica (contraste litológico, pliegues, estructuras, campos de esfuerzos, zonas de fracturas, ambiente de sedimentación, cuerpos anómalos, indicadores directos de hidrocarburos, entre otras), cuantificando la contribución relativa de cada atributo sísmico sobre la característica estudiada. En otra etapa del flujo de trabajo se pueden clasificar, simultáneamente, mediante red neuronal del tipo Mapa Auto Organizado (MAO) los atributos de mayor contribución con el propósito de obtener agrupamientos de muestras sísmicas que compartan características o propiedades similares y que ayuden a comprender mejor los rasgos geológicos y físicos de los yacimientos.

El análisis puede hacerse en una región (dentro de un *survey* sísmico) tomando en cuenta el muestreo sísmico de cada uno de los atributos estudiados. La región puede estar definida en una unidad estratigráfica delimitada por dos horizontes sísmicos o sobre una ventana de tiempo constante definida por encima o por debajo de un horizonte en particular (Figura 11).

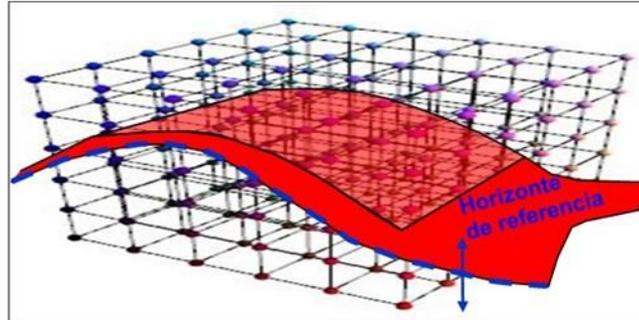


Figura 11. Ilustración del tratamiento de las muestras sísmicas y definición de la ventana de trabajo tomando como referencia un horizonte sísmico.

Análisis de Componentes Principales (ACP) en la detección de Contraste Litológico.

Con el propósito de conocer los atributos más significativos, considerando la varianza, para la detección de contrastes litológicos a la profundidad de interés, se aplicó el ACP a los atributos:

1. Indicador de capas delgadas (*Thin Bed Indicator*)
2. Envoltorio (*Envelope*)
3. Frecuencia Instantánea
4. Parte imaginaria (Hilbert o cuadratura)
5. Impedancia Acústica Relativa (7 Hz)
6. *Sweetness*
7. Amplitud
8. Parte Real

De todo el volumen sísmico, únicamente, fueron analizadas las muestras sísmicas (voxels) comprendidas en una ventana de tiempo delimitada por el horizonte de interés, específicamente 56 milisegundos por encima y 32 milisegundos por debajo de éste.

Los resultados son mostrados para cada componente principal. En este caso, el criterio tomado en cuenta para la selección de los atributos a ser clasificados, establece que deben tomarse los atributos cuya contribución de porcentaje máximo sea superior o igual al 80%. La revisión se realizó en cada una de las componentes principales. Finalmente, fueron seleccionados seis (6) atributos de las 2 primeras componentes principales (Figura 12). Los atributos no seleccionados fueron: Indicador de capas delgadas (*Thin Bed Indicator*) y Frecuencia Instantánea.

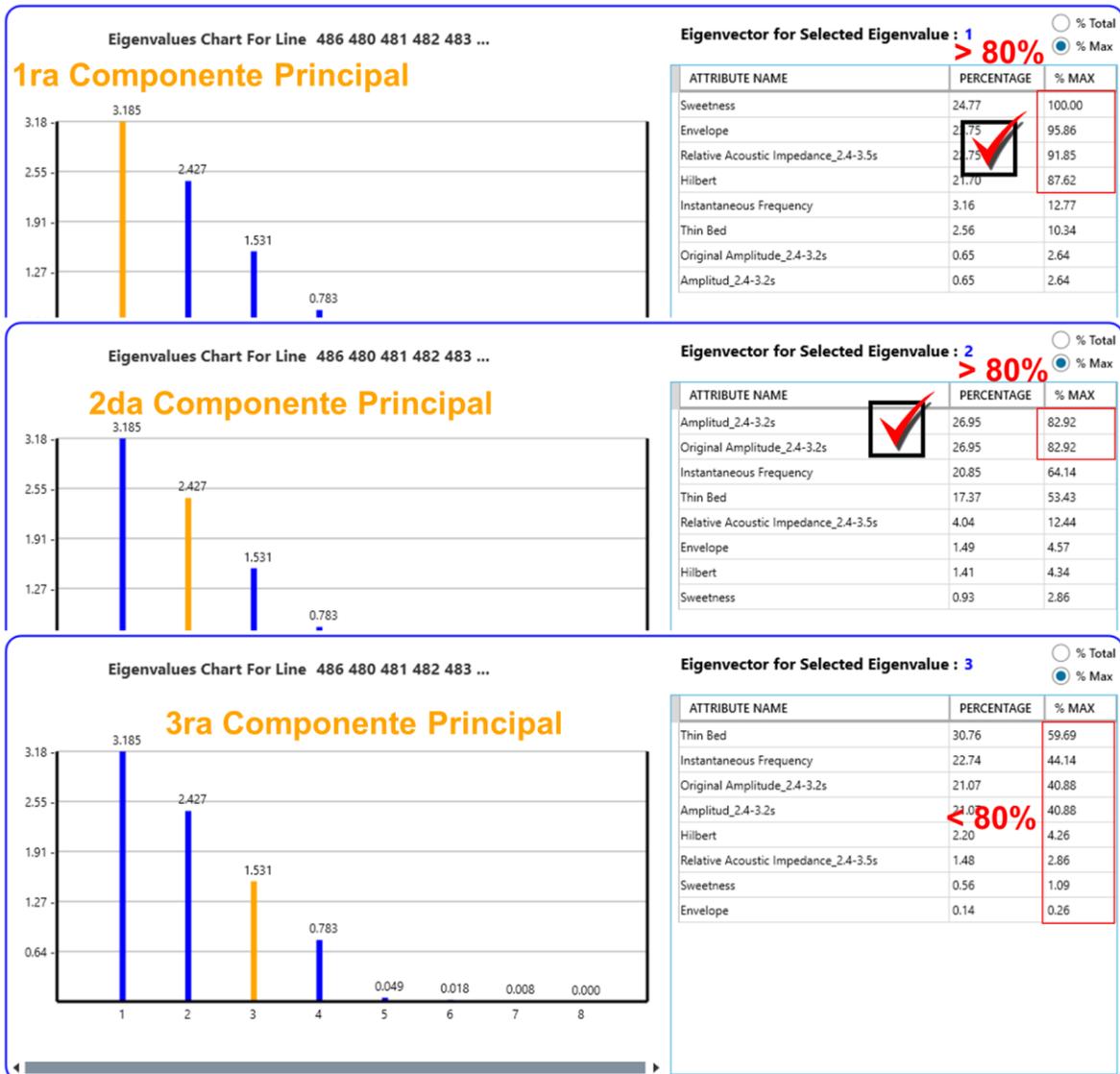


Figura 12. Resultados del ACP aplicado a atributos sísmicos de Contraste Litológico.

Clasificación simultanea de multiatributos sísmicos mediante el uso de red neuronal del tipo Mapas Auto Organizados (MAO).

Para este trabajo se aplicó el método de clasificación mediante redes neuronales de aprendizaje no supervisado (la red se entrena a partir de los datos de entrada, sin conocer la respuesta a ser detectada) de muestras de datos (en este caso, datos sísmicos) basado en sus propiedades, que permite identificar estructuras organizativas naturales presentes en los datos y que son difíciles de detectar de otra manera (Roden et al., 2015). Involucra el análisis de agrupamientos (*cluster analysis*) y el reconocimiento de patrones.

Los MAO son capaces de comparar los valores de cada una de las muestras existentes en un volumen sísmico, de uno o más atributos que entran al proceso de clasificación (Figura 13). Para ello, los valores de cada muestra son normalizados o estandarizados. De esta forma, todos están en la misma escala. Así la Amplitud no domina ni tiene mayor impacto que la Energía Promedio, ni la Envolvente tendrá más impacto que la Frecuencia Instantánea. Con esto, se busca cualquier tipo de patrones naturales emitidos al combinar toda esta información (Roden et al, 2017). La tecnología utilizada en este estudio, clasifica según los valores de cada muestra sísmica (compara muestra por muestra), lo que le permite detectar rasgos presentes incluso por debajo de la resolución sísmica tradicional de un cuarto de la longitud de onda, a diferencia de otras tecnologías que clasifican según la forma de la ondícula, cuyos resultados son mucho menos detallados.

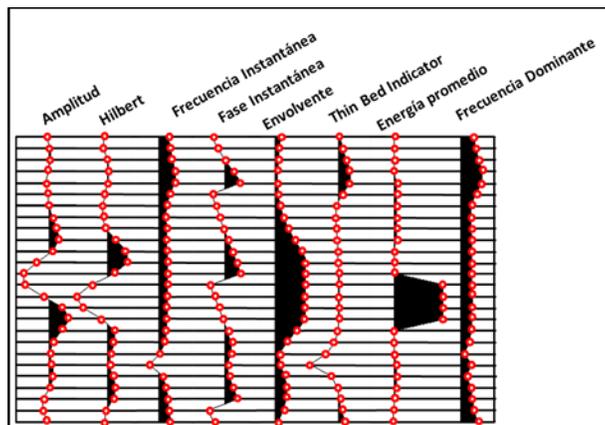


Figura 13. Ejemplo de la comparación muestra a muestra de los atributos: Amplitud, Hilbert, Frecuencia Instantánea, Fase Instantánea, Envolvente, TBI, EP y FD.

Los valores son comparados mediante neuronas o clases que son capaces de detectar agrupamientos mediante el entrenamiento (aprendizaje automatizado) y el cartografiado. Un Mapa Auto Organizado consiste en componentes llamadas nodos o neuronas y vectores de entrada que tienen una posición en el mapa. La configuración usual de las neuronas es un espacio regular de dos dimensiones, en una rejilla hexagonal o rectangular. Los Mapas Auto Organizados describen un cartografiado de un espacio de mayor dimensión a uno de menor dimensión. El procedimiento para ubicar un vector del espacio de

los datos en el mapa es encontrar la neurona con el vector de pesos más cercano (menor distancia métrica) al vector del espacio de los datos.

El análisis toma en cuenta, las muestras sísmicas que se ubican dentro de la ventana de tiempo que garantiza la cobertura de varias muestras por arriba y por debajo del horizonte objetivo, en toda el área de estudio.

Al igual que en Análisis de Componentes Principales, es importante clasificar simultáneamente atributos que tengan el mismo uso interpretativo común, como, por ejemplo: indicadores litológicos, indicadores de hidrocarburo, delineación de fallas, entre otros.

Clasificación MAO (a la escala del voxel) para la detección de Contraste Litológico

Con el fin de detectar agrupamientos de muestras asociados a la posible existencia de roca almacén fueron clasificados mediante una red neuronal de 25 clases o neuronas, los 6 atributos más contribuyentes, según el análisis de componentes principales ejecutado:

1. Envoltente (*Envelope*)
2. Parte imaginaria (Hilbert o cuadratura)
3. Impedancia Acústica Relativa (7 Hz)
4. *Sweetness*
5. Amplitud
6. Parte Real

De manera similar al ACP, únicamente fueron analizadas las muestras sísmicas (voxels) comprendidas en una ventana de tiempo delimitada por el horizonte de interés, específicamente 56 milisegundos por encima y 32 milisegundos por debajo de éste.

Reconocimiento de patrones

El volumen de clasificación MAO de Contraste Litológico resultante fue revisado con varias técnicas de visualización y análisis estadístico, con la finalidad de reconocer los patrones asociados a la roca almacén.

Vista en planta del MAO de Contraste Litológico

La metodología establece reconocer patrones o tendencias coherentes con el modelo sedimentario del área/campo, y para ello se visualizan las muestras agrupadas individualmente por cada una de las neuronas o clases. La red neuronal MAO de Kohonen establece que las características de clases o neuronas vecinas son similares. En la parte superior de la Figura 14, se observan los agrupamientos clasificados por todas las neuronas, 25 en total, mientras en la parte inferior se muestran los agrupa-

mientos de las neuronas con tendencias consistentes según el modelo sedimentológico del área, es decir, las neuronas N12, N13, N16, N17, N22 y N23. Más adelante, se mostrarán técnicas complementarias de reconocimiento de patrones y análisis estadístico de los resultados que permitieron identificar con mayor precisión las neuronas que agruparon geocuerpos asociados a la roca almacén.

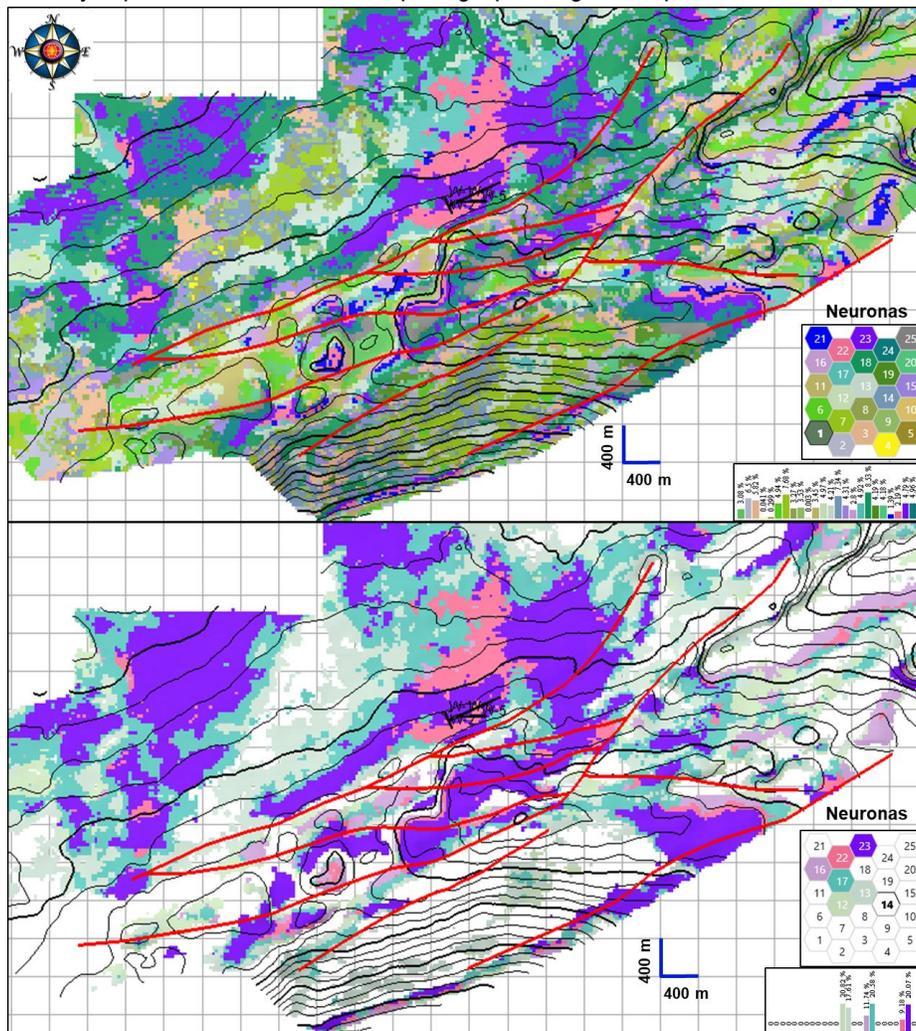


Figura 14. Mapa preliminar de los geocuerpos detectados mediante el MAO de Contraste Litológico. Abajo: sólo se muestran las neuronas con significado geológico son N12, N13, N16, N17, N22 y N23.

Secciones sísmicas verticales del MAO de Contraste Litológico

La litología observada en el yacimiento Arena 3, está conformada predominantemente por arenisca arcillosa. En los pozos, el volumen de arcillosidad fue calculado a través del método de Stieber, ampliamente descrito en la literatura, que desarrolla un modelo para capas de arenas y lutitas intercaladas bajo la premisa de que todos los intervalos de rocas, incluyendo arenas sucias, pueden ser construidos por la mezcla de arenas limpias de alta porosidad y lutitas de baja porosidad

Para calibrar los resultados del MAO de Contraste Litológico, se construyó un registro discreto que corresponde a la Arena Neta, utilizando los valores de corte establecidos según el volumen de arcillosidad y porosidad efectiva ($VCL \leq 0.45$ y $PIGN \geq 0.10$).

Tal como se acostumbra a observar en secciones verticales, rasgos relacionados a cambios de amplitud, fase y frecuencia y relacionarlos a posibles contrastes litológicos y posible presencia de hidrocarburos, se desplegó el volumen de clasificación MAO de Contraste Litológico en una sección vertical compuesta (Figura 15), para identificar agrupamientos consistentes con la información de pozo disponible y con el modelo sedimentario del área. En tal sentido, a simple vista, se detectó que a la profundidad de los intervalos disparados se observa la anomalía conformada por las neuronas N17, N21 y N22. Es notable, que sólo el pozo W-3 (productor menor) intersectó los agrupamientos formados por la neurona N17 (azul claro). El resto de los pozos, cortaron las neuronas N21 y N22. Es importante señalar que estos rasgos no se observan con el atributo de amplitud sísmica (trazas onduladas con relleno gris hacia la derecha). Este paso permitió definir mejor las neuronas asociadas a la roca almacén.

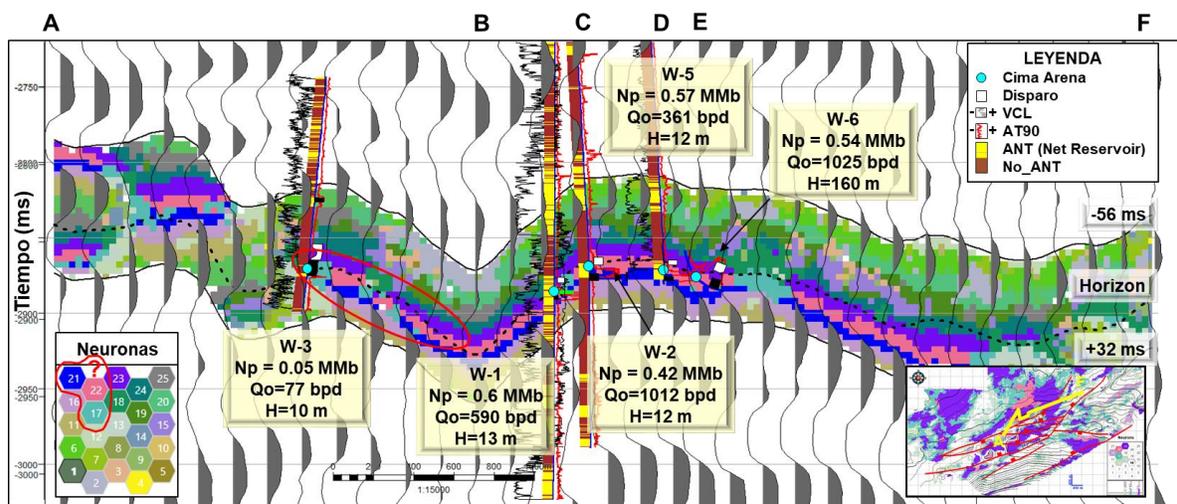


Figura 15. Sección vertical compuesta del MAO de Contraste Litológico con atributo de Amplitud y registro discreto de AN.

Secciones estratigráficas de pozos

Se construyó una sección que contiene a los pozos del campo (Figura 16). Se añadió el carril de Arena Neta (AN), definido a partir de los valores de corte, además, el carril del MAO de Contraste Litológico, definido a partir del volumen sísmico clasificado y extraído a lo largo de la trayectoria de cada uno de los pozos y el carril de Arena Neta Impregnada (ANIP). En este caso, debido a que existen pocos pozos (6) en el área de estudio, se compararon los resultados del MAO con los datos de pozo de manera visual y directa, pudiendo definir cuáles son las neuronas del MAO asociadas a predominantemente a roca almacén. Luego de revisar a simple vista la sección, se observó que a la profundidad de la Arena 3 sólo las neuronas N16, N17, N21 y N22 están presentes. Es notable, que sólo el pozo W-3 (productor menor) intersectó los agrupamientos formados por la neurona N17 (azul claro). El resto de los pozos, cortaron las neuronas N16, N21, N22 y N23.

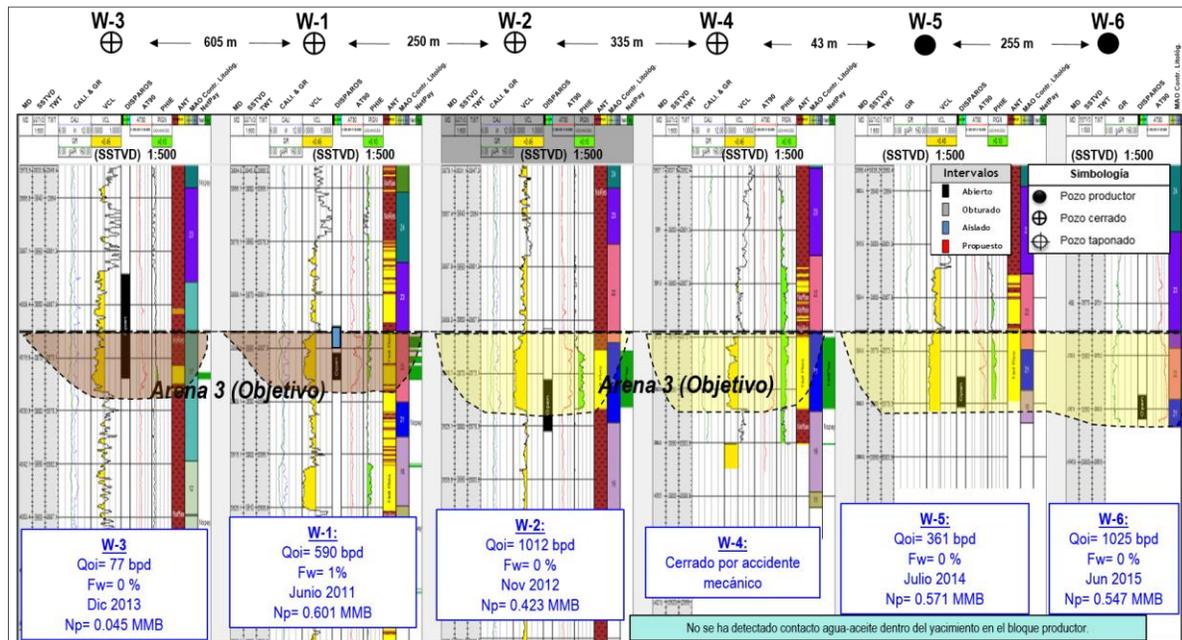


Figura 16. Sección estratigráfica mostrando la arena objetivo y los carriles del registro discreto de AN, MAO de Contraste Litológico y ANIP, desplegados a la derecha de cada pozo.

Análisis estadístico.

Curva de Proporción Vertical (CPV)

Tradicionalmente, las Curvas de Proporción Vertical (CPV) son herramientas cualitativas y cuantitativas utilizadas por algunos sedimentólogos para definir la sucesión, división y variabilidad de las secuencias sedimentarias y tipos de facies en cada pozo, así como útiles para describir la evolución vertical y lateral de las facies (Viloria et al, 2002). Una CPV puede ser descrita como un histograma acumulado donde las barras representan la proporción de las facies presentes a un nivel dado en una unidad estratigráfica. Como parte del control de calidad y revisión del volumen de clasificación MAO de Contraste Litológico, se hizo uso de esta técnica estadística para identificar si en la unidad estratigráfica o en la ventana de interés, se observa cierto grado de sucesión y distribución vertical de neuronas específicas que pudieran estar relacionadas a la roca almacén. La cima de la Arena 3 corresponde a la capa estratigráfica No. 16. En la Figura 17, se muestra un esquema ilustrativo de la malla estratigráfica construida, a partir de la cual fue generada la CPV del volumen de clasificación MAO de Contraste Litológico al contar la ocurrencia de las 25 neuronas o clases en cada una de las capas estratigráficas. La CPV más a la derecha, fue generada únicamente con las neuronas N17, N21, N22, N23, N24 y N25, por tener un porcentaje de proporción significativo desde la cima de la Arena 3 hacia abajo, es decir, su sucesión vertical está concentrada en esta zona. Esta selección es consistente con las neuronas identificadas mediante las metodologías o técnicas descritas previamente. Es importante resaltar la detección de muestras sísmicas con esas neuronas, por encima de la cima de interés, aunque en menor proporción, indicando que es posible la existencia de capas con características litológicas similares, lo que es confirmado con la información de pozos.

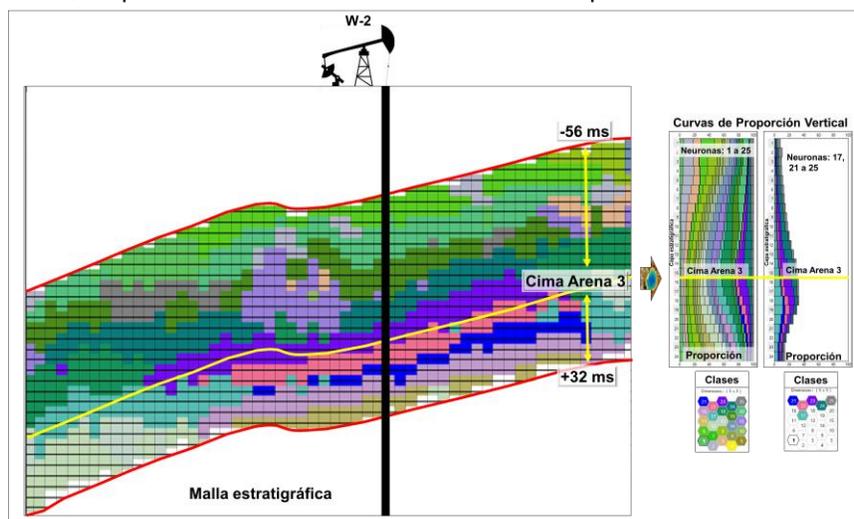


Figura 17. Curva de Proporción Vertical para identificar clases o neuronas de interés.

Análisis estadístico bivariado

Tablas de contingencia

Parte de la metodología incluye el análisis bivariado a través de tablas de contingencia (tablas de clasificación cruzada) para averiguar si dos variables categóricas están relacionadas, basándose en observar qué tanto se repiten los porcentajes de ocurrencia de una variable en las categorías de la otra variable. Debido a que se estudia una variable en función de otra, se debe distinguir entre la variable dependiente (a explicar) y la variable independiente (explicativa). Son variables que, en cualquier caso, sólo permiten el conteo de la cantidad de veces que aparecen los distintos valores o categorías que las constituyen como tales. Con el análisis de contingencia, las posibilidades heurísticas del investigador con relación a los datos se extienden para incluir, además de los análisis de frecuencia para cada variable por separado, los análisis de las frecuencias conjuntas o aquellos en los cuales el carácter de la unidad de análisis está definido por la combinación de dos valores (x,y).

En este caso, la variable dependiente corresponde a las neuronas del MAO de Contraste Litológico (es de tipo ordinal, pues tiene un orden interno establecido y el paso de una categoría a otra no es igual; las neuronas van de N1 a N25) y será organizada en filas y la variable independiente es la Arena Neta (también es de tipo ordinal; en este caso será Arena Neta y No Arena Neta, bien podría ser productor o no productor u otras categorías similares) que será organizada en columnas.

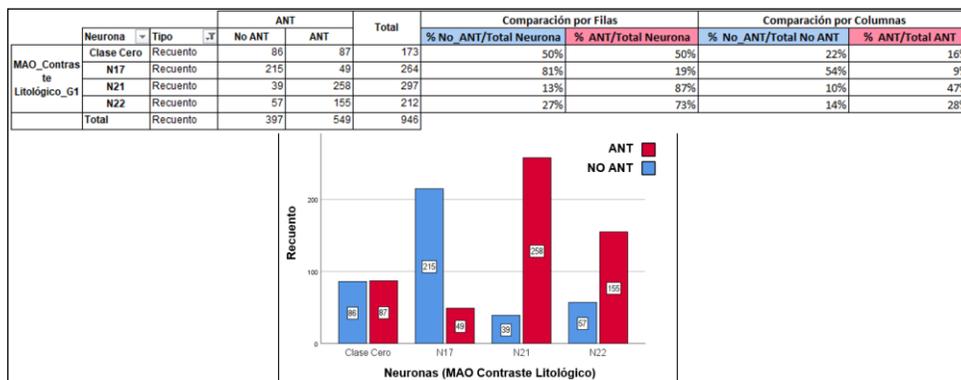
Los valores de la tabla que se organizan por filas corresponden a las neuronas del volumen MAO de Contraste Litológico y por columnas corresponde al recuento de Arena Neta y No Arena Neta para cada una de las neuronas. Esto se obtuvo al intersectar el volumen de clasificación MAO con los pozos (en los intervalos comprendidos desde 2 metros verticales por arriba de la cima de la Arena 3 hasta 2 metros verticales por debajo de la deflexión que indica mayor contenido de arcilla a partir del registro de rayos Gamma y/o Volumen de arcillosidad (VCL) y al construir un registro discreto ordinal con dos categorías; Arena Neta y No Arena Neta, al reordenar los datos provenientes de las curvas de VCL y PIGN, utilizando los valores de corte mencionados previamente.

En la Tabla 3 (tabla de contingencia), se observa que el mayor contenido de Arena Neta se asocia a las neuronas N21 y N22, con 47% y 28%, respectivamente. Por el contrario, se observa que el menor contenido de Arena Neta se asocia a las neuronas N17 (9%), N16 (8%) y N23 (8%).

La neurona N21 fue detectada a la profundidad del yacimiento en los pozos W-2 (productor), W-4 (accidente mecánico), W-5 (productor) y W-6 (productor), con porcentajes de ocurrencia de AN más altos, por lo que se podría relacionar esta neurona como la de mayor capacidad de almacenaje, seguida por la neurona N22 que está presente en los pozos W-1 y W-6, a la profundidad de la Arena 3, pero

también fue detectada en los pozos W-2, W-4 y W-5, en cuerpos arcillo-arenosos suprayacentes a la arena bajo estudio (Arena 3). Esta neurona también fue detectada en la sección superior de la Arena 3, navegada por el pozo horizontal W-6, que no tiene evaluación petrofísica. La neurona N17 únicamente fue detectada en el pozo W-3, productor menor de aceite (Np=45 Mb), que sedimentológicamente fue catalogado junto al pozo W-1 como facies lobulares, acorde con la menor calidad de roca. La neurona N16 fue detectada en muy poca proporción en los pozos W-4 (accidente mecánico) y W-5 (productor). Finalmente, la neurona N23, sólo fue detectada hacia la cima de la Arena 3, en el pozo W-6, y en estratos arcillosos suprayacentes a la misma en los otros pozos. Esto es congruente con el porcentaje de recuento observado de 8% de Arena Neta.

Tabla 3. Tabla de contingencia (MAO de Contraste Litológico contra AN).



Prueba de bondad de ajuste de Chi Cuadrado (Prueba de independencia).

Después de aplicar el método de tablas de contingencia, en la metodología se propone realizar una prueba de bondad de ajuste de Chi Cuadrado para probar la independencia o determinar la asociación entre las variables categóricas: Arena neta y las Neuronas del Mapa Auto Organizado. La prueba de Chi cuadrado permite contrastar el comportamiento de las frecuencias observadas para cada neurona del MAO de Contraste Litológico con respecto a la variable de Arena Neta (agrupada en AN y No AN) con la distribución de las frecuencias esperadas teóricamente cuando se cumple la hipótesis nula. (Siegel & Castellan, 1995). La aplicación que se dará en este artículo, se refiere a la prueba de independencia de las variables, es decir, que pretende poner de manifiesto la ausencia de relación entre las variables. De forma tal, que se formuló la hipótesis nula, estableciendo que las neuronas del MAO de Contraste Litológico son independientes de la presencia o no de Arena Neta. Si el valor de Chi cuadrado calculado a partir de la Tabla 3 es mayor o igual al valor teórico crítico, entonces, la hipótesis nula debe ser rechazada, siendo aceptada la hipótesis alternativa.

Obsérvese los resultados en la Tabla 4, donde Chi Cuadrado calculado es mayor al teórico ($296.106 \geq 9.48$, con cuatro grados de libertad y 5% de nivel de confianza), por lo que se rechaza la hipótesis nula de independencia, es decir, se comprueba que hay relación entre las variables Arena Neta y las neuronas del MAO de Contraste Litológico. Con esta prueba de bondad se demuestra la relación entre las variables categóricas: neuronas del MAO de contraste litológico y la arena neta, sin embargo, la prueba no informa sobre su magnitud (mucho, moderada o poca).

Para medir el grado de correlación entre ambas variables se utilizaron las medidas de Phi () y V de Cramer (óvalo azul). El coeficiente ϕ , se calculó mediante la Ec. 1. Valores cercanos a 0 indican poca relación y valores cercanos a 1 indican mucha fuerza en la relación.

$$\phi = \sqrt{\frac{X^2}{n}} \quad (1)$$

Donde X^2 : Chi cuadrado y n : No. de casos.

La V de Cramer se calculó mediante la Ec. 2. Toma valores entre 0 y 1, donde 1 indica máxima dependencia y 0 independencia.

$$V = \frac{\phi}{\min[(Rows - 1) * (Columns - 1)]} \quad (2)$$

Aplicando las ecuaciones 1 y 2, se obtuvieron los valores de PHI y la V de Cramer dando 0.559, ver Tabla 4. Con base en este resultado podemos decir que la relación encontrada es moderada.

Tabla 4. Chi Cuadrado calculado, Chi Cuadrado teórico y medidas de correlación.

Pruebas de chi-cuadrado				Medidas simétricas			
	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)		Valor	Significación aproximada	
Chi-cuadrado de Pearson	273.971 ^a	2	0.000	Nominal por Nominal	Phi	0.538	0.000
Razón de verosimilitud	294.607	2	0.000		V de Cramer	0.538	0.000
Asociación lineal por lineal	0.035	1	0.853		N de casos válidos	946	
N de casos válidos	946						

Tabla de Chi cuadrado teórico											
P = Probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el chi cuadrado tabulado, v = Grados de Libertad											
v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722	1,6424	1,3233	1,0742
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942	3,2189	2,7726	2,4079
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8794	6,2514	5,3170	4,6416	4,1083	3,6649

a. 0 casillas (0.0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 110.79.

Gráficos de caja y bigote

Con la finalidad de comparar y entender el comportamiento de las propiedades petrofísicas dentro de cada neurona interceptada por los pozos del área de estudio en el Mapa Auto Organizado de contraste litológico y determinar de manera cuantitativa las neuronas de interés que respondan a Arena Neta (AN) y Arena Neta Impregnada (ANIP), se construyeron gráficos de cajas y bigotes, Figura 18. En estos gráficos, se representaron las distribuciones de las propiedades petrofísicas que se utilizan para determinar la AN y ANIP y se muestran cinco medidas descriptivas para cada propiedad: mediana (línea horizontal negra gruesa), primer cuartil (límite inferior de la caja), tercer cuartil (límite superior de la caja), valor máximo (extremo superior del bigote) y valor mínimo (extremo inferior del bigote). Además, presentan información sobre la dispersión (entre más larga es la caja y los bigotes, mayor dispersión) y simetría (representada por la mediana, si está relativamente en el centro de la caja la distribución es simétrica, si por el contrario se acerca al primer o tercer cuartil, la distribución pudiera ser sesgada a la derecha, asimétrica positiva o sesgada a la izquierda, asimétrica negativa respectivamente). Por último, en estos gráficos se identifican con claridad, observaciones que se alejan de manera poco usual del resto de los datos (valores atípicos, representados por puntos y asteriscos según se alejan menos o más del conjunto de datos).

Con base a estos gráficos, podemos concluir que las neuronas N16, N17, N21, N22 y N23 responden a Arena Neta. De estas neuronas las de mayor interés son la N21 y N22 ya que, aunque presentan arcillosidad más alta en comparación con las neuronas N16 y N17 en la Figura 18c, son las que aportan mayor contenido de aceite. Finalmente, la neurona N23 (Figura 18b), se puede asociar a roca con capacidad de almacenamiento, pero arcillosa y con saturaciones de agua altas, lo que permite descartarla como neurona de interés en este estudio.

De la Tabla 5 a la Tabla 7, se muestra el análisis estadístico realizado sobre cada neurona interceptada por los pozos en el Mapa Auto Organizado de contrastes litológicos. Es importante resaltar que este análisis se realizó considerando todos los valores petrofísicos sobre las neuronas inicialmente interceptadas, luego sobre la porción de las neuronas que pasan el corte de Arena Neta y finalmente sobre la porción de las neuronas que pasan el corte para definir la Arena Neta Impregnada. Con este análisis se corrobora que las neuronas N16, N17, N21, N22 y N23 responde a arenas con capacidad de almacenamiento de hidrocarburo con los siguientes porcentajes 55.8, 18.6, 86.9, 73.1 y 45.8 respectivamente, Tabla 6.

Por otra parte, haciendo uso de los resultados obtenidos en la Tabla 7, se concluye que la neurona N21 coincide en un 70.7% con roca impregnada y la N22 en un 38.2%. Las otras dos neuronas N16 y N17 en menor grado 18.2% y 6.1%. Finalmente, la Neurona N23 a pesar que tiene propiedades de roca yacimiento posee alta saturación de agua (87.6% promedio), lo que permite descartarla.

Por lo tanto, en este estudio las neuronas a ser consideradas como referencia para estimar la distribución lateral y vertical de la roca almacén asociada a la Arena 3, en orden de importancia son N21, N22, N16 y N17.

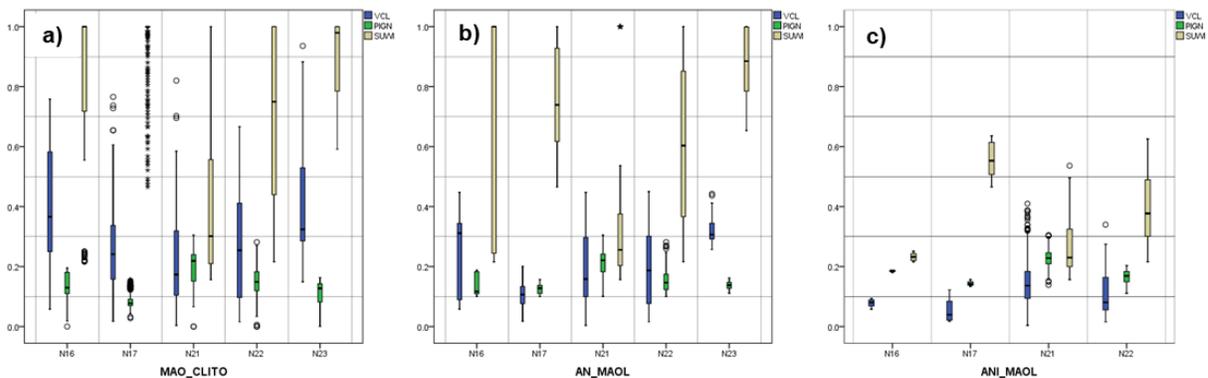


Figura 18. Comparación según sus propiedades petrofísicas: arcillosidad, porosidad y saturación agua. a) Neuronas del MAO de Contraste litológico, b) Las que pasan el corte de Arena Neta y c) que pasan el corte de Arena Neta Impregnada.

Tabla 5. Análisis estadístico de las propiedades petrofísicas para cada neurona interceptada por los pozos en el MAO de contrastes litológicos.

MAO Contrate Litológico	Propiedad	Mínimo	Q1	Mediana	QS	Máximo	Media	Desviación estándar	# de datos
N16	VCL	.05780	.08358	.33280	.56660	.75870	.33604	.21081	77
	PIGN	0.00000	.11000	.12960	.18060	.19500	.13960	.04031	
	SUWI	.21580	.71780	1.00000	1.00000	1.00000	.79481	.29177	
N17	VCL	.01760	.15750	.24130	.33740	.76580	.26648	.14558	264
	PIGN	.02790	.07000	.07775	.09095	.15650	.08430	.02382	
	SUWI	.46560	.99765	1.00000	1.00000	1.00000	.94733	.12208	
N21	VCL	.00380	.10478	.17330	.31930	.82010	.22177	.14179	297
	PIGN	0.00000	.15150	.21900	.24000	.30470	.19926	.06182	
	SUWI	.15670	.20990	.30150	.55660	1.00000	.45384	.32369	
N22	VCL	.01570	.09690	.25435	.41155	.66590	.27207	.17824	212
	PIGN	0.00000	.11925	.14900	.18275	.28150	.15113	.04743	
	SUWI	.21600	.43970	.74970	1.00000	1.00000	.70786	.27668	
N23	VCL	.14910	.28555	.32410	.52925	.93570	.39741	.16850	96
	PIGN	.00050	.08170	.12740	.14270	.16310	.11200	.04065	
	SUWI	.59120	.78490	.97935	1.00000	1.00000	.89157	.13299	

Tabla 6. Análisis estadístico de las propiedades petrofísicas para cada neurona interceptada por los pozos en el MAO de contrastes litológicos, después de aplicar el corte para definir la arena neta (AN).

AN	Propiedad	Mínimo	QI	Mediana	QS	Máximo	Media	Desviación estándar	# de datos	% AN
Arena sucia (N16)	VCL	.05780	.08883	.31160	.34930	.44730	.25288	.12877	43	55.8
	PIGN	.10070	.10860	.11670	.18290	.18820	.13560	.03512		
	SUWI	.21580	.24320	1.00000	1.00000	1.00000	.74994	.36422		
Arena muy limpia (N17)	VCL	.01760	.07640	.10670	.13350	.20000	.10259	.04765	49	18.6
	PIGN	.10030	.11040	.12780	.13760	.15650	.12628	.01615		
	SUWI	.46560	.61720	.73930	.92810	1.00000	.75258	.17242		
Arena limpia (N21)	VCL	.00380	.09945	.15835	.29690	.44700	.18960	.11106	258	86.9
	PIGN	.10090	.18280	.22075	.24160	.30470	.20845	.05482		
	SUWI	.15670	.20320	.25580	.37560	1.00000	.39749	.29674		
Arena Limpia (N22)	VCL	.01570	.07560	.18720	.30160	.45000	.19990	.12607	155	73.1
	PIGN	.10000	.12330	.14630	.17480	.28150	.15157	.03671		
	SUWI	.21600	.36290	.60350	.85410	1.00000	.61878	.26027		
Arena sucia (N23)	VCL	.25710	.29190	.30675	.34470	.44280	.32316	.04578	44	45.8
	PIGN	.11110	.12740	.13785	.14725	.16150	.13619	.01324		
	SUWI	.65350	.78490	.88485	.99895	1.00000	.87623	.10980		

Tabla 7. Análisis estadístico de las propiedades petrofísicas para cada neurona interceptada por los pozos en el MAO de contrastes litológicos, después de aplicar el corte para definir la arena neta impregnada (ANIP).

ANI	Propiedad	Mínimo	QI	Mediana	QS	Máximo	Media	Desviación estándar	# de datos	%ANI
Arena sucia (N16)	VCL	.05780	.06824	.08025	.08883	.09417	.07826	.01196	14	18.2
	PIGN	.18000	.18290	.18540	.18750	.18820	.18497	.00263		
	SUWI	.21580	.22040	.23230	.24320	.25100	.23197	.01280		
Arena muy limpia (N17)	VCL	.01760	.02175	.03935	.08400	.12250	.05428	.03751	16	6.1
	PIGN	.13410	.13770	.14225	.14915	.15650	.14366	.00726		
	SUWI	.46560	.50740	.55305	.61420	.63600	.55767	.05869		
Arena limpia (N21)	VCL	.00380	.09384	.13640	.18390	.40980	.15557	.08982	210	70.7
	PIGN	.13900	.20940	.22815	.24600	.30470	.22984	.03435		
	SUWI	.15670	.20000	.23010	.32500	.53630	.25977	.07646		
Arena Limpia (N22)	VCL	.01570	.05540	.08060	.16373	.33990	.11201	.07574	81	38.2
	PIGN	.11090	.14920	.16910	.18350	.20360	.16536	.02320		
	SUWI	.21600	.30110	.37700	.48930	.62540	.39865	.11606		

Inversión sísmica simultánea

En la Figura 19a, se muestra el gráfico cruzado de la relación $\text{Lambda} \cdot \text{Rho} / \text{Mu} \cdot \text{Rho}$ y el Volumen de arcillosidad (VCL), y como discriminador a la relación entre V_p y V_s (V_p/V_s). La Arena 3, es detectada por bajos valores de V_p/V_s y $\text{Lambda} / \text{Mu}$. Otro discriminador identificado en el yacimiento fue la impedancia de ondas S (Figura 19b). Así pues, los volúmenes de atributos sísmicos seleccionados para ser clasificados mediante la red neuronal MAO fueron: V_p/V_s , relación $\text{Lambda} \cdot \text{Rho} / \text{Mu} \cdot \text{Rho}$ y Z_s .

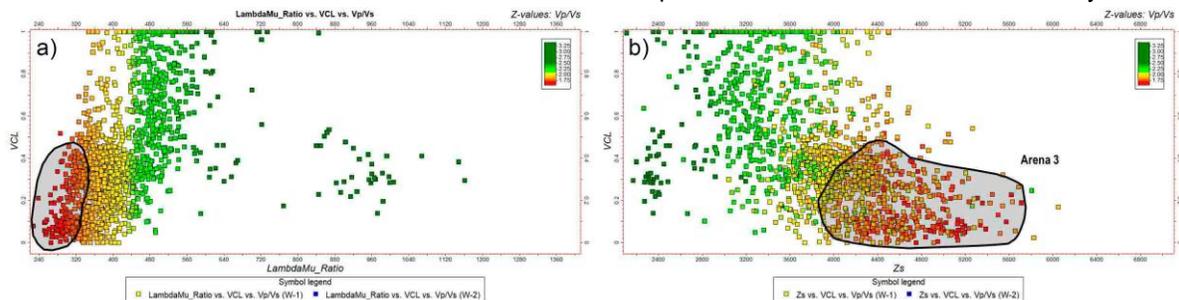


Figura 19. Gráficos cruzados: a) Relación Lambda Mu , VCL y V_p/V_s y b) Z_s , VCL y V_p/V_s (pozos W-1 y W-2).

Comparación de Mapas Auto Organizados

La Figura 20 es una vista en planta de los geocuerpos aislados asociados a la Arena 3, en la parte superior, se muestra el MAO de Contraste Litológico obtenido a partir de la clasificación de seis atributos sísmicos tradicionales y en la parte inferior el MAO de Contraste Litológico obtenido a partir de tres atributos de inversión sísmica simultánea. Nótese la similitud en los rasgos detectados por ambas categorías de atributos. La selección de neuronas del MAO de atributos de inversión se hizo siguiendo el reconocimiento de patrones arealmente, es decir, se analizó la geometría/morfología de los agrupamientos para cada una de las 25 neuronas y también mediante el uso de la sección estratigráfica de pozos que incluye los carriles de ambos MAOs.

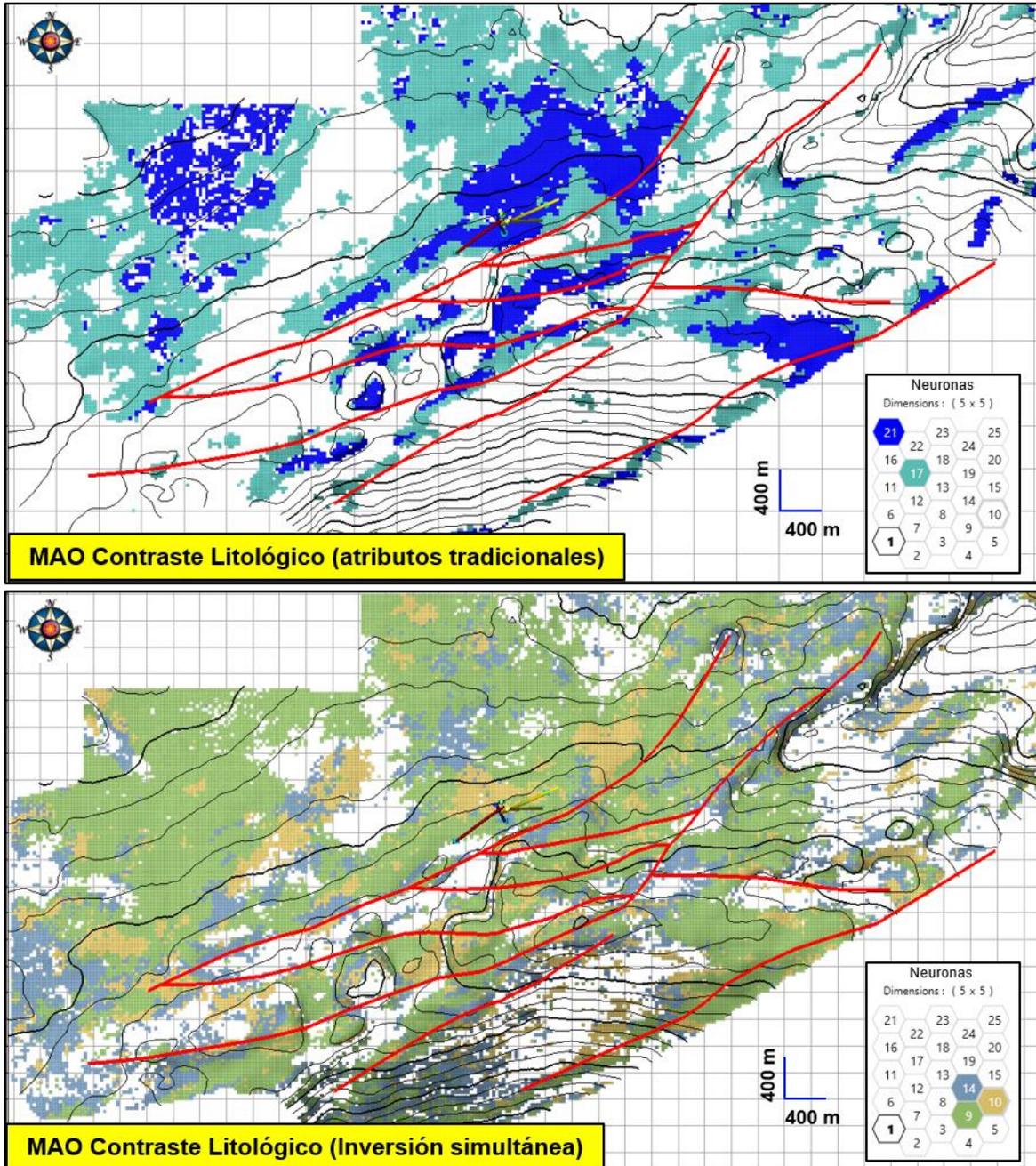


Figura 20. Vista en planta. Arriba: MAO de atributos convencionales. Debajo: MAO de atributos de inversión simultánea.

La sección mostrada en la Figura 21 incluye los carriles de: Arena Neta (AN), el carril de Arena Neta Impregnada (ANIP), del MAO de Contraste Litológico (atributos tradicionales) y el MAO de Contraste Litológico (atributos de inversión), definido a partir de los volúmenes sísmicos clasificados y extraídos a lo largo de la trayectoria de cada uno de los pozos. Se muestran únicamente, las neuronas de ambos MAOs con las neuronas filtradas. Los números de las neuronas para ambos MAOs pueden ser visualizadas en la figura.

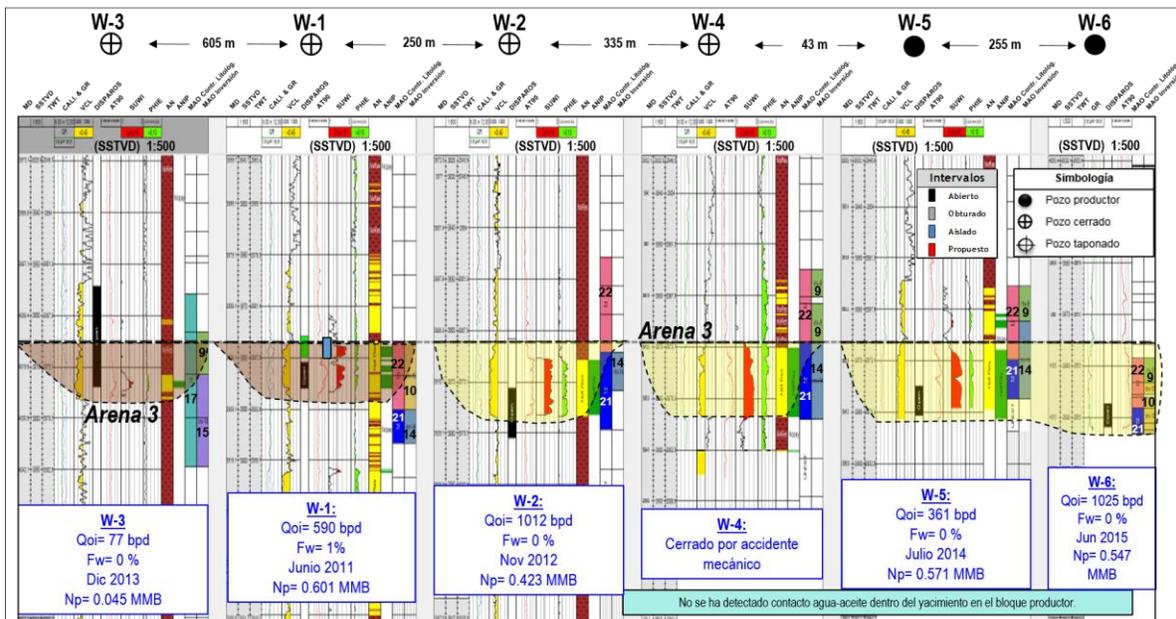


Figura 21. Sección estratigráfica mostrando la arena objetivo y los carriles del registro discreto de AN, ANIP, MAOs de Contraste Litológico inversión, desplegados a la derecha de cada pozo.

Conclusiones

Al aplicar este nuevo enfoque del análisis multiatributos sísmicos se lograron reconocer rasgos en los datos sísmicos asociados a la roca almacén del Campo W. El Análisis de Componentes Principales (ACP) permitió identificar los atributos sísmicos más significativos que posteriormente fueron clasificados mediante la red neuronal de Mapas Auto Organizados (MAO) a la escala de cada voxel, para detectar rasgos asociados a contraste litológico, reconociendo la extensión lateral y vertical de la Arena 3. La interpretación del volumen de clasificación MAO obtenido estuvo sustentada por información multidisciplinaria tales como información geológica, petrofísica y de yacimientos. De ese modo, los agrupamientos aislados por ciertas neuronas podrán ser los insumos para la interpretación de geocuerpos. Las técnicas de visualización y análisis estadístico utilizados permitieron estimar las proporciones de Arena Neta y No Arena Neta para cada una de las neuronas o clases detectadas.

Finalmente, se clasificaron simultáneamente y también a la escala de cada voxel, atributos provenientes de inversión sísmica simultánea que permitieron caracterizar sísmicamente el yacimiento y corroborar la extensión de los geocuerpos identificados por el volumen de clasificación obtenido a partir de atributos tradicionales. Tanto la técnica de análisis multiatributos descrita en esta publicación como la inversión sísmica sirven para el ajuste o refinamiento del modelo sedimentario para identificar de manera más precisa la distribución lateral y vertical de las facies de interés económico y plasmarlos en los mapas finales de cada unidad estratigráfica, también, en la toma de decisiones al momento de proponer nuevas localizaciones y reducir la incertidumbre asociada a la explotación del campo, entre otros.

La metodología puede ser aplicada utilizando atributos específicos para identificar fallas, zonas de fracturas, identificar fenómenos de absorción, cambios de porosidad, contrastes litológicos y rasgos indicadores directos de hidrocarburos que permitan apoyar en los flujos de caracterización de yacimientos actualmente implementados por Pemex.

Agradecimientos

Al personal de Petróleos Mexicanos por permitir esta publicación, así como a los ingenieros Raquel Santiago, Moisés Zúñiga, Diego Lechuga, por su valioso aporte, a Carlos Martín por la generación de los volúmenes de inversión sísmica simultánea. A la compañía Oil and Gas Optimization por proveer la tecnología y parte de los recursos técnicos utilizados.

Referencias

Roden R., T. Smith y D. Sacrey (2015). "Geologic pattern recognition from seismic attributes: Principal component analysis and self-organizing maps". Interpretation Magazine. Volumen 3. No. 4 (noviembre). Págs. 59-83.

Roden R., T. Smith, P. Santogrossi, D. Sacrey y G. Jones (2017). Seismic interpretation below tuning with multi-attribute analysis. The Leading Edge. Vol. 4 (Abril). Págs. 330-339.

Sulbarán D (2012). Análisis bivariado de datos, un resumen para el curso de Estadística II. Universidad Central de Venezuela.

Viloria R. y M. Taheri (2002), Metodología para la Integración de la Interpretación Sedimentológica en el Modelaje Estocástico de Facies Sedimentarias, (INT-ID-9973,2002). Informe interno INTEVEP-PDVSA.



Varela Santamaría, et al. (2009). Proyecto Estratégico Interregional Cuenca de Comalcalco Yaxche-Tupilco, Coordinación del Proyecto Malpaso-Cuichapa, Activo de Exploración Sur.

Villebardet, C (2015). Estudio sedimentario y delimitación sismo-estratigráfica de un complejo de abanicos de talud del Mioceno Superior basal en la subcuenca de Comalcalco. Tesis de Maestría. UNAM.

Trayectoria profesional del autor y coautores:

Jonathan Leal es egresado del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. Obteniendo el Título de Ingeniero en Geociencias en 2005. Cuenta con una Maestría en Ingeniería en Exploración y Explotación de Recursos Naturales por la UNAM. Inició en el Activo de Exploración Región Sur, en la Coordinación de Operaciones Exploratorias, en el departamento de Operación Geológica como Geólogo de subsuelo de febrero de 2006 a mayo de 2009, pasando al Activo de Producción Bellota Jujo en el año 2009, integrándose al Proyecto Bellota Chinchorro de Mayo de ese mismo año a junio de 2010, apoyando a la generación de localizaciones para el desarrollo de los campos Paché, Bricol y Madrefil. De junio 2010 a diciembre 2011 participó en el Área de Geociencias del APBJ en el Proyecto del modelado de los campos Edén-Jolote, con enfoque en estratigrafía. De 2012 a agosto de 2013 participó en el proyecto El Golpe Puerto Ceiba en el Área de Caracterización Estática apoyando a la generación de localizaciones. Actualmente, el Sr. Leal labora en el Proyecto de Explotación El Golpe Puerto Ceiba como Líder de Caracterización Estática de Yacimientos.

Rafael Jerónimo es Geofísico, con 30 años de experiencia en campos de la Región Sur de México, en áreas de Exploración y Producción. Tiene experiencia en procesamiento de datos sísmicos, interpretación sísmica en tiempo y profundidad, correlación de registros, participación y coordinación de estudios de caracterización estática de yacimientos terciarios y mesozoicos. Cuenta con amplia experiencia para trabajar en equipos multidisciplinarios, realización de estrategias de estudios de caracterización estática y líder de proyectos. Seguimiento y Propuestas de nuevos pozos exploratorios y de desarrollo, en áreas de la Región Sur de México. El Sr. Jerónimo obtuvo la Licenciatura en Geofísica del Instituto Politécnico Nacional y la Maestría en Recursos Energéticos de la Universidad Nacional Autónoma de México. También obtuvo un Diplomado en Evaluación Petrofísica.

Rocky Roden, lidera el área de Consultoría en Geociencias de Geophysical Insights y trabaja con compañías petroleras a nivel mundial en temas técnicos de interpretación, generación de prospectos, análisis de riesgo y estimaciones de reservas y recursos originales. También es uno de los directores del Consorcio de Análisis de Riesgo mediante DHI de Rose and Associates y fue Jefe de Consultoría en Geofísica con Seismic Micro-Technology. Tiene 43 años de experiencia en la industria y gran conocimiento en técnicas y enfoques modernos. También fue Secretario de la Mesa Editorial de la revis-

ta The Leading Edge. Fue Director de Geofísica y Director de Tecnología Aplicada en Repsol-YPF (jubilado) en E.U.A, Argentina, España, Egipto, Bolivia, Ecuador, Perú, Brasil, Venezuela, Malasia e Indonesia. Previo a esto trabajó en Exploración y Producción en Maxus Energy, Pogo Producing, Decca Survey y Texaco. El Sr. Roden obtuvo la licenciatura en Geología y Tecnología Oceanográfica de la Universidad Lamar y la Maestría en Geología y Geofísica Oceanográfica de la Universidad Texas A&M. Es miembro de diferentes asociaciones: SEG, AAPG, HGS, GSH, EAGE y SIPES

Fabián Rada tiene 11 años de experiencia, con amplio dominio en las áreas de Interpretación Sísmica estructural y estratigráfica, tanto cualitativa como cuantitativa, incorporando técnicas como el Análisis de Componentes Principales, la clasificación mediante redes neuronales para el análisis multi atributos sísmicos, Descomposición Espectral, “visual blending” de atributos mediante la técnica RGB y extracción de geocuerpos, como parte de flujos de trabajo desarrollados para la caracterización de yacimientos de hidrocarburos en rocas siliciclásticas y carbonáticas, demostrando excelente capacidad para el trabajo en equipos integrados por geocientíficos e ingenieros de yacimientos. Previamente, trabajó en Funvisis, CNPC Daqing de Venezuela y PDVSA Sísmica Bielovenzolana. El Sr. Rada tiene experiencia en la adquisición, procesamiento e interpretación de datos sísmicos de reflexión y refracción, gravimétricos y magnéticos. Recibió el título de Ingeniero Geofísico de la Universidad Central de Venezuela.

Reinaldo Viloría es el Gerente de Operaciones de Oil & Gas Optimization y tiene más de 26 años de experiencia en la industria petrolera, liderando y gerenciando diversos proyectos complejos en el área de Exploración y Producción. Su experiencia incluye investigación y aplicación de técnicas geoestadísticas para la caracterización de yacimientos en Venezuela, México, Argentina, Colombia, África, EEUU y Canadá. El Sr. Viloría ha participado en una variedad de estudios integrados con importante contribución en la generación y desarrollo de nuevas reservas, incremento de la producción, gerenciamiento de programas exitosos de recuperación de aceite y gas y optimización de pozos productores/inyectores. Entre sus habilidades está el manejo de sistemas interactivos de Caracterización integral, Modelaje Geológico y Visualización para la construcción de modelos geológicos 3D determinísticos/probabilísticos de alta resolución y transferencia a los simuladores de flujo. Dominio en la integración de información multidisciplinaria y construcción de modelos de velocidades de intervalo para la conversión tiempo-profundidad. El Sr. Viloría tiene una Especialización en Modelado y Caracterización de Yacimientos del Imperial College of London y del French Institute of Petroleum en Paris y una licenciatura en Matemáticas de la Universidad Central de Venezuela.

