

Delimitación de las variaciones de yacimiento en la Formación Bossier utilizando un método integrado de multimedición

En un estudio de caso de la Formación Bossier, Marianne Rauch-Davies,* Horacio Snyder y Paul Smith, de NEOS GeoSolutions muestran cómo se puede construir un modelo exitoso de la tierra allí donde los datos sísmicos y de pozo son escasos, integrando mediciones geofísicas menos convencionales.

La formación Bossier en el este de Texas y Louisiana contiene yacimientos de piedra arenisca apretada dentro de ventiladores de fondos de cuenca desarrollados como pozos, ventiladores pendientes y complejos de dique natural de canal. Estas características pueden dar como resultado un corredor productor de gas prospectivo, que está en gran parte inexplorado (Klein, G., 2003).

Generalmente, los datos sísmicos y las historias de pozos son las fuentes preferidas de información, utilizada por los exploradores en esta área. Sin embargo, en grandes porciones de este corredor Bossier prospectivo, hay poco o nada de datos sísmicos y cantidades limitadas de datos de pozos disponible. Se aconseja una metodología de multi-medición que permita un proceso de exploración amistoso con el medio ambiente, requiera una fracción del tiempo habitual y se integre fácilmente con el método de exploración tradicional de la región.

Una de las premisas de esta metodología es el concepto aceptado, de que la mayoría de yacimientos de hidrocarburos tiene fugas, lo que lleva a pequeños pero mensurables cambios de la superficie y cerca del subsuelo. Una segunda premisa es que los grandes sistemas de fallas, con raíces profundas se hicieron ricos en hierro debido a la migración hacia arriba de agua rica en hierro.

Las mediciones de superficie para detectar los efectos de la fuga de hidrocarburos se combinan con mediciones magnéticas de alta longitud de onda, para detectar sistemas de fallas ricos en hierro, integrándolos luego con mediciones de la gravedad de alta longitud de onda y con productos más convencionales G&G, como modelos de interpretación sísmicos y geológicos. El resultado final es un mapa de probabilidad de saturaciones de hidrocarburos en diferentes intervalos de yacimiento.

Metodología

Las mediciones de alta resolución de rocas y propiedades de los fluidos tanto de la superficie como del subsuelo se incorporan en un modelo de la tierra. Estas mediciones de

datos incluyen datos a disposición del público, así como datos de propiedad adquiridos a través de tanto de aviones como de aeronaves de ala fija (figura 1). Un equipo multidisciplinario de expertos analiza y hace referencias cruzada de toda la información, con el fin de producir mapas que resalten la distribución de propiedades de las rocas, las saturaciones de fluidos y los sistemas de fallas y fracturas.

El concepto de micro-filtración ha sido ampliamente aceptado en la industria del petróleo y el gas durante algún tiempo. La degradación bacteriana de hidrocarburos filtrados puede crear una zona de reducción que contiene precipitados de azufre y/o pirita sobre el yacimiento. La figura 2 muestra una ilustración de alteraciones geoquímicas causadas por un cuerpo de sulfuro, que pueden ser detectadas por medios geofísicos, tales como magnética de alta resolución y sensores de resistividad. Diversas otras mediciones geofísicas - tales como hiperespectrales y radio-métricas - pueden revelar las expresiones de la superficie de tales filtraciones.

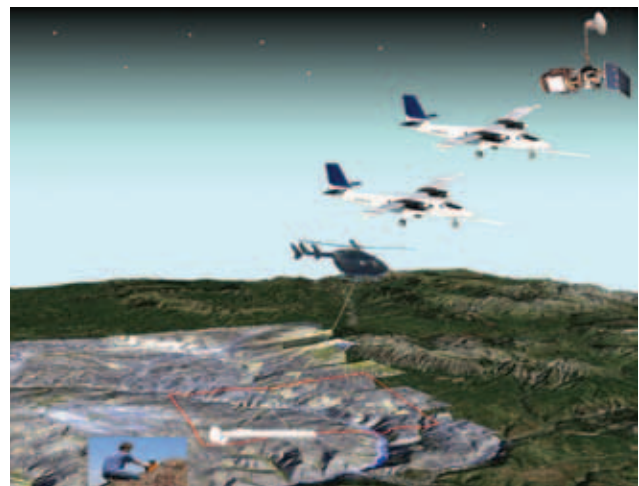


Figura 1 Productos finales a partir de diversas fuentes de datos (satélite, avión, helicóptero, mediciones en tierra) que representan la información geológica, geofísica y de hidrocarburos a diferentes profundidades se recogen, se interpretan y se integran en un modelo terrestre.

* Correspondencia al autor, e-mail: mrdavies@neosgeo.com

EM/Métodos potenciales

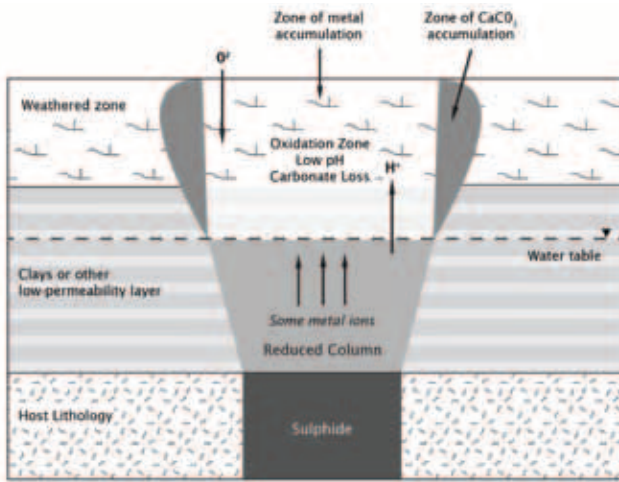


Figura 2 Modelo de micro-filtración que explica las alteraciones geoquímicas y geofísicas causadas por la filtración de hidrocarburos.

Mediciones de la superficie

La geoquímica involucra el estudio de la composición química de la Tierra y de las plantas y los minerales en la superficie y es la disciplina que se aplica comúnmente a la detección de filtraciones de hidrocarburos. Históricamente, este ha sido un proceso complejo que involucra tomas de muestras físicas de la tierra y análisis de estas muestras en los laboratorios. La captura de datos geoquímicos de alta resolución mediante sistemas sensores de a bordo, puede permitir el diseño de levantamientos geoquímicos más efectivos y, en circunstancias favorables, puede eliminar por completo la necesidad de complejos análisis de superficies o, por lo menos, reducir enormemente el espacio de la muestra.

Para medir estos efectos geoquímicos, se adquirió un espectro de tipos de datos geofísicos, incluyendo radiométricos e hiperespectrales - integrándolos en el modelo de la tierra.

Los levantamientos radiométricos miden las firmas de radiación gamma en la superficie de la Tierra. Estas mediciones pueden estar directamente asociadas con yacimientos de uranio o indirectamente vinculados con zonas de alteración y micro-filtración del hidrocarburos del subsuelo, que han pasado por zonas que contengan minerales de alta gama. La interpretación de los datos radiométricos, utilizada principalmente en la exploración de minerales, está siendo aplicada exitosamente para detectar zonas de reducción y filtraciones o derrames reales de la superficie.

Un sistema hiperespectral mide la reflectancia de la luz solar de cualquier material natural o de origen humano en la superficie. Sistemas conocidos hiperespectrales (o, más exactamente, multi-espectrales) incluyen Landsat y Aster. En ambos casos, los sensores se implementan en plataformas basadas en satélites, que limitan significativamente su resolución. Ambos sistemas tienen también un número limitado de canales contiguos en funcionamiento. Un nuevo sistema, el cual fue empleado para este estudio y desplegado a través de aeronaves de ala fija,

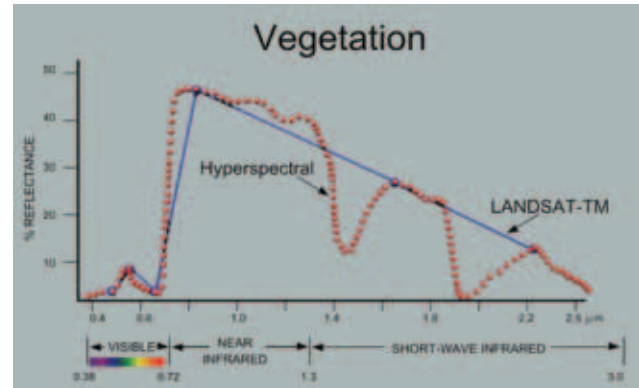


Figura 3 Comparación de la firma hiperespectral de vegetación entre Landsat (línea azul) y la hiperespectral de alta resolución aplicada en este estudio (rojo).

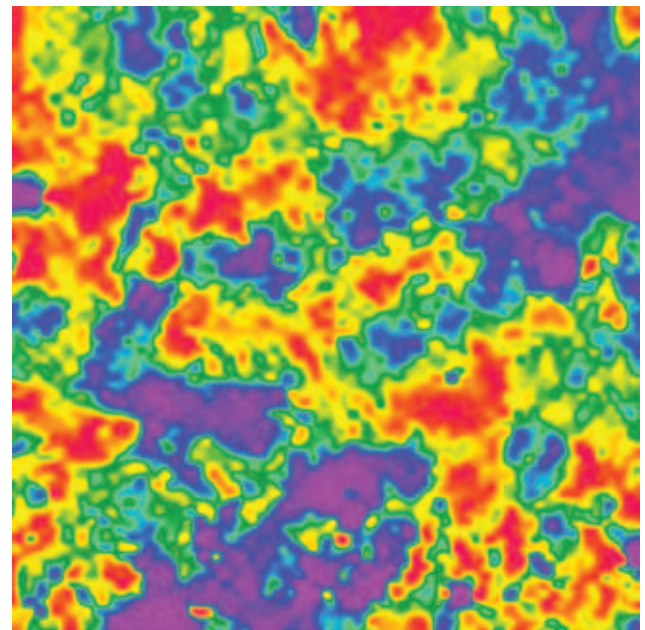


Figura 4 Mapa de alta frecuencia EM (32 kHz) que mide la zona cerca de la superficie causada por la filtración de hidrocarburos.

contiene más de 600 canales y ha sido diseñado para medir un espectro de banda ancha desde rayos ultravioleta a infrarrojo térmico (Prelat, A., 2000).

Los datos hiperespectrales adquiridos se comparan con una colección de casi 1.000 firmas espectrales para hidrocarburos, minerales, suelos y plantas, permitiendo pequeños cambios en la composición mineral de la superficie e insuficiencia vegetal asociada a la filtración de hidrocarburos que debe detectarse (figura 3).

El software de reconocimiento de patrones se utiliza a continuación para mapear las pequeñas variaciones en la reflectancia de vegetación y las alteraciones en la composición de minerales dentro del material vegetal, que puede ser causado por la ingestión de hidrocarburos asociados a una zona de filtración.

Mediciones del subsuelo

Los levantamientos electromagnéticos (EM) miden la resistividad de matrices de roca debajo de la superficie. En la exploración de petróleo y gas, la presencia de zonas de alteración por encima de acumulaciones de hidrocarburos se puede expresar como una anomalía de resistividad alta o baja, dependiendo de cuál puede ser detectada utilizando

sensores de alta frecuencia EM. El sistema EM utilizado en este proyecto mide las frecuencias que van desde 450 Hz-45.000 Hz (figura 4).

Las mediciones de las variaciones l campo magnético de la Tierra revelan puntos de vista estructural sobre el sub-suelo. Magnetómetros aerotransportados de alta resolución remolcados por helicópteros, resaltar las diferencias laterales en el contenido de hierro que puede ayudar a la interpretación estructural. En combinación, los datos magnéticos y de gravedad se convierten en conjuntos de datos esenciales para el análisis de cuenca y fractura de detección.

Los datos sísmicos, en su caso, se pueden integrar en la interpretación. Conjuntos de datos sísmicos existentes pueden volver a procesarse utilizando una secuencia de procesamiento específica que conserva amplitudes y frecuencias a la vez que mejora la resolución espacial. Las velocidades sísmicas se obtienen a lo largo de interfaces geológicamente significativas, y las velocidades de intervalo con gran nivel de detalle que resultan ayudan en la interpretación geológica y geofísica de la la sub-superficie (figura 5). Además, estas velocidades se pueden convertirse en densidades, lo que a su vez sirven de apoyo a los esfuerzos de modelado de gravedad.

Por último, todos los datos de registro de pozo están disponibles y se integran en la interpretación. Los registros digitales se interpretan por elementos estructurales, propiedades de roca y el contenido líquido.

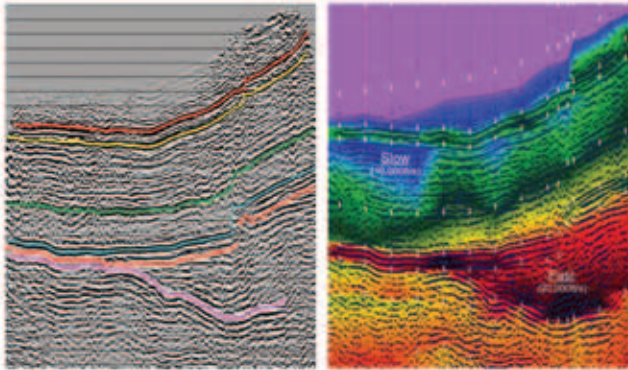


Figura 5 Datos sísmicos reprocesados e interpretados a la izquierda y velocidades de intervalos geológicamente significativos a la derecha. Los datos sísmicos no muestran las variaciones de la velocidad que se observa en los datos de velocidad de intervalo.

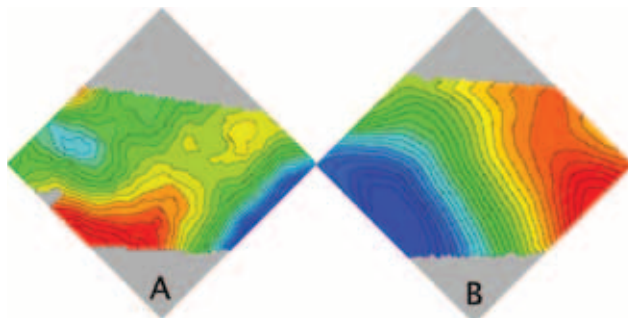


Figura 6 Gravedad corregida de Bouguer (A) e intensidad magnética total (B) adquiridas con la plataforma Twin Otter de ala fija .

Adquisición de datos

Grandes áreas de la Formación Bossier están relativamente poco exploradas y se dispone de muy poca información sísmica para un análisis geológico y geofísico tradicional. Aproximadamente 80 km de datos sísmicos en 2D cubrían el área de investigación, mientras que sólo tres pozos fueron perforados con suficiente profundidad para penetrar en el intervalo de destino en el Bossier.

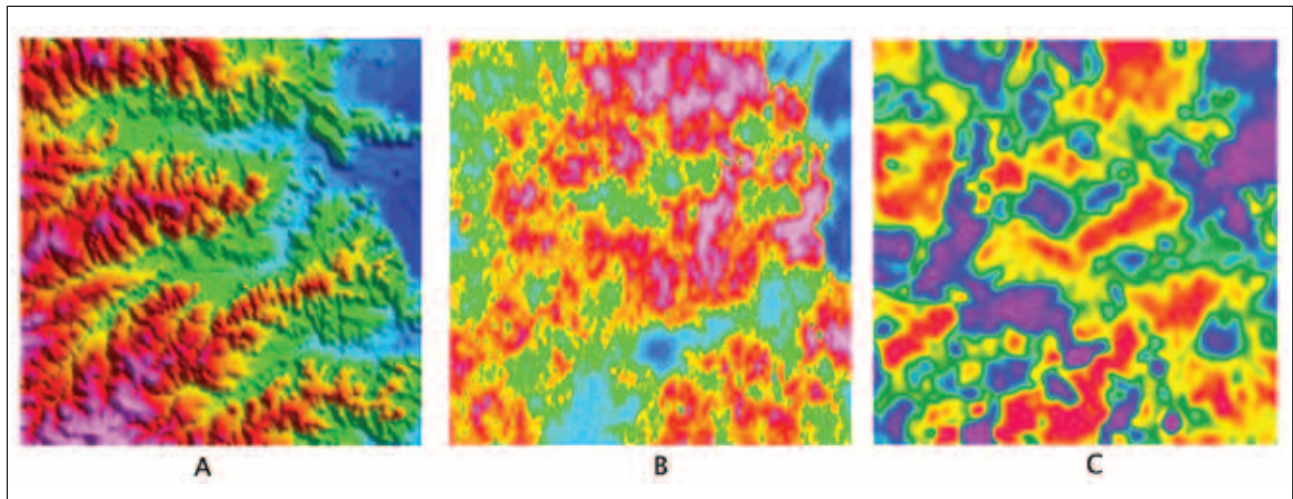


Figura 7 Modelo de elevación digital derivado de datos hiperspectrales (A), radiométricos (B) y resistividad a una profundidad de 100 m (C) adquiridos con la plataforma rotativa (helicóptero).

EM/Métodos potenciales

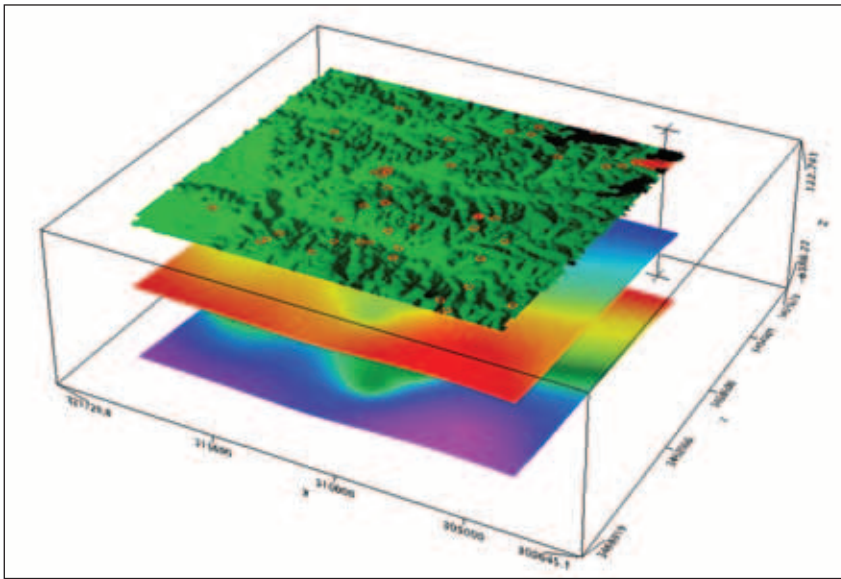


Figura 8 El apilamiento de datos geológicos en 3D incluye de arriba a abajo: la ubicación de pozos en superficie, el modelo de elevación digital, el mapa de isopacas Buda-Austin y el mapa de isopacas Bossier.

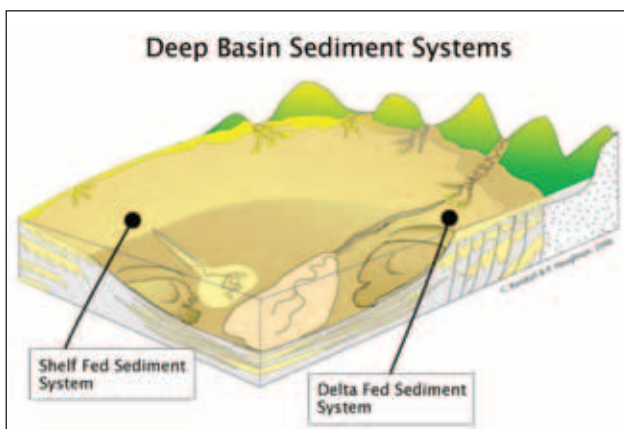


Figura 9 Modelo del piso de la cuenca.

Para enriquecer la base de datos geofísicos fueron adquiridos nuevos datos magnéticos, de gravedad e hiperspectrales con el uso de una aeronave Twin Otter de ala fija que voló líneas paralelas de 1.000 m sobre un área de 2.600 km². Un conjunto de datos con mayor resolución fue adquirido utilizando una plataforma de helicóptero que voló líneas paralelas de 100 m en un área de interés (AOI) de 235 km².

Los datos magnéticos, de gravedad e hiperspectrales adquiridas con la plataforma de ala fija (figura 6) se integraron con los datos hiperspectrales, radiométricos y de resistividad adquiridos con el helicóptero (figura 7) y con datos geológicos (figura 8) para obtener y confirmar una serie de conceptos de depósito de toda la cuenca.

Regímenes geológicos

El modelo de depósito se muestra en la Figura 9 representa los tres tipos principales de deposición de arena proyectados para nuestro modelo de cuenca. El primer tipo es el sistema delta-alimentado en donde los sedimentos se depositan

primero en la plataforma y luego, a medida que progresa la deposición y / o progradación, los sedimentos son entregados al borde de la plataforma donde se pueden depositar a la plataforma, a los entornos de pendiente o directamente al piso de la cuenca.

Los sistemas delta, alimentados en las condiciones de sedimento clástico moderadamente húmedas, no desérticas, de relieve moderado, que, según se cree, han existido en el este de Texas durante el Jurásico superior, cuando fue depositado el Bossier, debe haber experimentado un suministro de sedimentos relativamente constante, mientras que entornos acuáticos más profundos buzamiento abajo, y alimentados por una fuente así, también podrían experimentar un suministro de sedimentos mayor. Cualquier acumulación derivada de este tipo de fuente puede alcanzar dimensiones significativas de exploración.

El segundo régimen es el sistema plataforma-alimentados, que por su naturaleza, suele ser más restringido en cuanto a sedimentos que los sistemas delta-alimentado. Los sistemas plataforma-alimentados pueden desarrollar canales con entorno de pendiente de alto ángulo, que canalizan los sedimentos a través de entornos de pendiente a sitios de disposición final en el suelo de la cuenca. Los depósitos de pendiente tienden a ser estrechos con respecto a su longitud, pero pueden ser espesos. Pueden resultar a ser yacimientos de importancia explorativa, pero para localizar requieren una investigación más exigente, disciplinada.

El tercer tipo de mecanismo efectivo que mueve masas de sedimentos es el derrumbe del borde de plataforma, que de repente puede depositar nuevamente grandes cantidades de sedimentos como consecuencia de la inestabilidad instigada por terremoto o derrumbe gravitacional simple. Una vez en movimiento, estas masas sedimentarias pueden absorber más sedimentos por erosión de profundidad y depositar sus

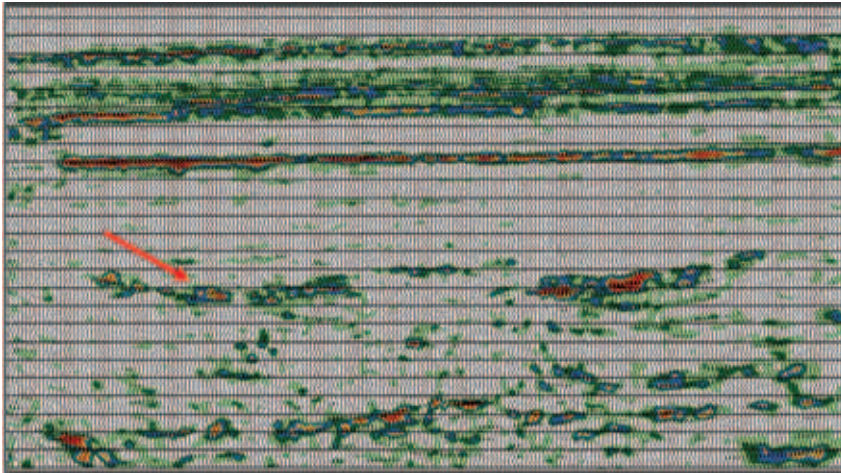


Figura 10 Atributo de frecuencia. La flecha roja indica el intervalo de destino. Este atributo se calcula después de la descomposición de datos sísmicos a componentes de frecuencia individuales y luego se combinan ciertas bandas de frecuencia.

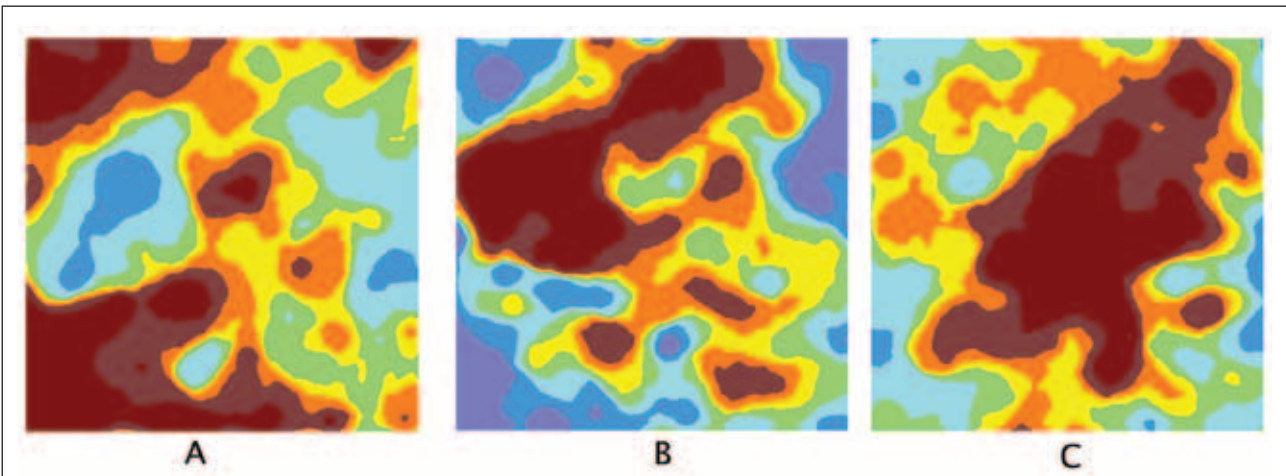


Figura 11 Mapas de probabilidad de gas en el intervalo Terciario (A), intervalo de piedra caliza James (B), y Formación Bossier (C). Los colores marrón/rojo indican altas probabilidades de saturación de gas. Los altos valores evidentes en los niveles Terciario y James son consistentes con los yacimientos de gas que producen. El valor más alto de probabilidad en la Formación Bossier coincide con las muestras de gas en un registro de pozo de un pozo que penetró este intervalo (pero no produce de él).

cargas sedimentarias en el suelo de la cuenca. Una vez depositados, todos estos sedimentos siguen expuestos a posible redeposición y / o aventado. La calidad de los resultantes cuerpos de arena es directamente afectada por su exposición al volumen inicial de suministro de sedimentos y el grado de aventado que soportan.

Reprocesamiento sísmico

Cantidades limitadas de datos sísmicos en 2D se encontraban disponibles en el ADI. Estos datos se re-procesaron con un énfasis en la amplitud y la preservación de la frecuencia. Se calcularon atributos directos Indicadores de hidrocarburos tales como la AVO y la descomposición espectral, y los resultados se incluyeron en la generación del mapa de probabilidad de hidrocarburos (Rauch-Davies, M., 2006). La figura 10 muestra los resultados de la descomposición espectral, que indica una arena saturada de gas en la Formación Bossier.

Resultados integrados de la interpretación

Todos los datos válidos adquiridos con plataformas de ala fija y rotativos se integraron con los resultados de los análisis sísmicos y de registro de pozo, y con la interpretación de estructura geológica, y la entrada en un algoritmo de probabilidad que permitió una inversión conjunta simultánea que iba a realizarse. El resultado incluye mapas de probabilidad de hidrocarburos en tres niveles de depósito individual.

La figura 11 muestra la probabilidad de saturación de gas en los intervalos Terciario (A), de caliza de James (B) y Bossier (C). Los colores marrón / rojos representan altas probabilidades para la saturación de gas en ese nivel de depósito. A nivel terciario, la esquina suroeste del mapa (A) muestra una alta probabilidad, que concuerda con un campo de gas conocido que está produciendo desde este intervalo. Del mismo modo, el gas se produce actualmente a partir de la piedra caliza de James en el área que muestra una alta probabilidad de saturación de gas en el mapa de probabilidad (B).

EM/Métodos potenciales

A pesar de que la Formación Bossier esta explorada en esta área con insuficiencia relativa , un pozo que está penetrando (pero sin producir) este intervalo indica el gas eludido en el registro de pozo, y está exactamente en el lugar donde el mapa de probabilidad muestra las mayores oportunidades para la existencia del gas (C).

Resumen

La formación Bossier en Texas y Louisiana contiene prolíficas areniscas saturadas de gas dentro ventiladores del suelo de cuenca. Grandes zonas geográficas de esta formación no están exploradas suficientemente y contienen cantidades limitadas de datos registro y sísmicos.

Mediante la integración de mediciones geofísicas desde el aire, tales como las hiperespectrales, radiométricas, EM, magnéticas y de alta resolución gravedad con datos geológicos y geofísicos más convencionales, se puede generar un mapa que describe la probabilidad de arenas de

gas comercialmente viables dentro de la formación Bossier. Esta metodología de exploración con mediciones múltiples integra un gran número de mediciones geofísicas y geológicas con todos los datos convencionales disponibles, creando un producto de exploración regional válido, incluso en un área que tiene una cobertura limitada de registro de sísmica de pozos.

Referencias

- Klein, G. et al. [2003] Sequence and Seismic Stratigraphy of the Bossier Play (Tithonian), Western East Texas Basin. *Adapted from East Texas Geological Society, TECH 2003.*
- Prelat, A. [2000] Hyperspectral Remote Sensing Project of Riau Province, Sumatra, Indonesia. *AAPG International Conference & Exhibition, Bali, Indonesia.*
- Rauch-Davies, M. et al. [2006] Using Spectral Decomposition for Reservoir Delineation and Fluid Prediction in an Extensively Explored Region. *76th SEG Annual Meeting. Expanded Extracts, 491-3.*