

# TOMOGRAFÍA REMOTA TÉRMICA (TRT) APLICADA A LA EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS



#### Esencia del método

La capacidad de radiación, *emisividad*, de un cuerpo es función de su temperatura y de la longitud de onda, para un cuerpo absolutamente negro es 1 e infinitesimal para cuerpo absolutamente blanco.

Cuando  $\varepsilon=1$ , la temperatura de las moléculas y la temperatura de radiación son iguales. Los valores de  $\varepsilon$  para las rocas varían entre 0,95-0,65.

Por lo tanto el mapa de temperaturas de radiación siempre será diferente del mapa de temperaturas moleculares (temperatura termodinámica) debido a la capacidad de radiación no uniforme de la materia, incluso en el caso de que la temperatura molecular de una capa superficial sea homogénea.

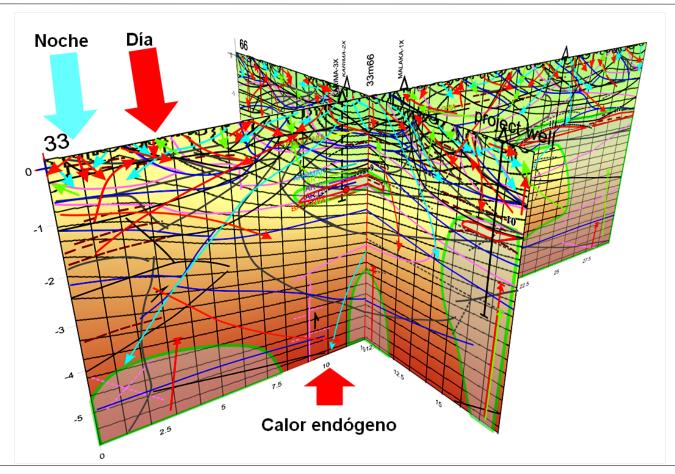
$$T_{PB} = \sqrt[4]{\varepsilon} \cdot T_{TB}$$

#### donde:

 $\varepsilon$  ,emisividad del objeto de investigación,  $T_{PB}$  , temperatura radiométrica,  $T_{TB}$  ,temperatura termodinámica,



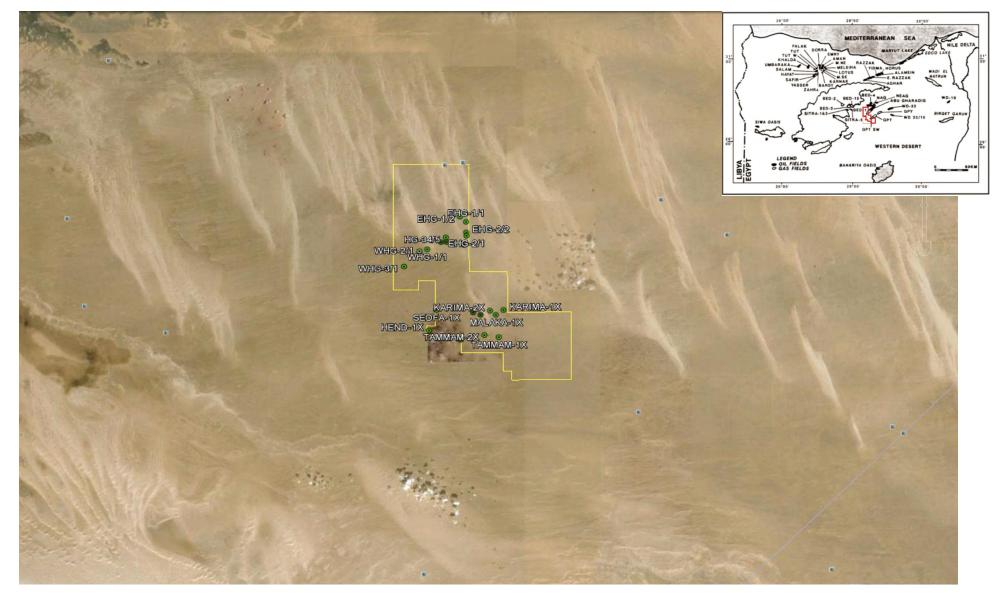
#### El modelo TRT



El modelo volumétrico del campo de radiación endogeotérmica calculado mediante tomografía remota térmica genera un modelo de capas en tres dimensiones equivalente a la imagen multiespectal de la superficie de la tierra. Existe una buena coordinación con los modelos generados mediante otros métodos geofísicos y geológicos.

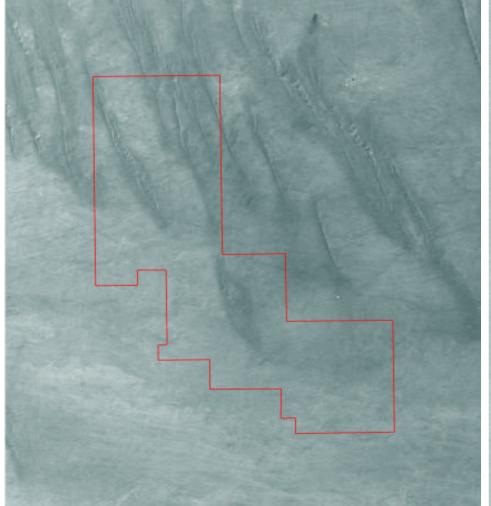


### Proyecto de investigación. Occidente del desierto del Sahara en Egipto. Imágenes espaciales iniciales

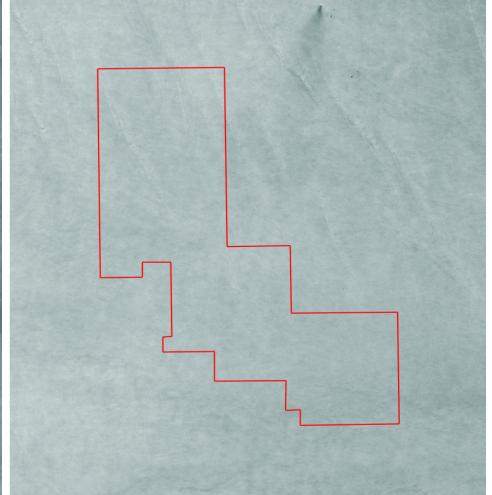




# Proyecto de investigación. Occidente del desierto del Sahara en Egipto. Imágenes espaciales iniciales



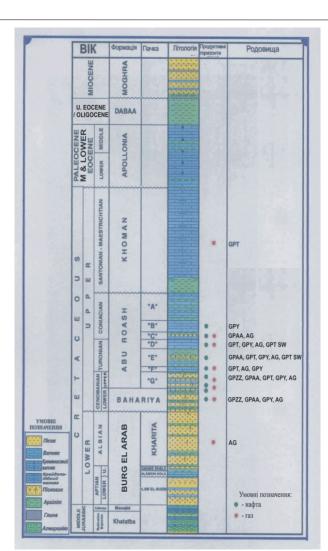
La imagen representa la media geométrica de los valores de verano y de invierno de las imágenes de infrarrojos por satélite del Landsat 7. Se aprecian bien las fallas tectónicas. Resolución espacial de 60 m

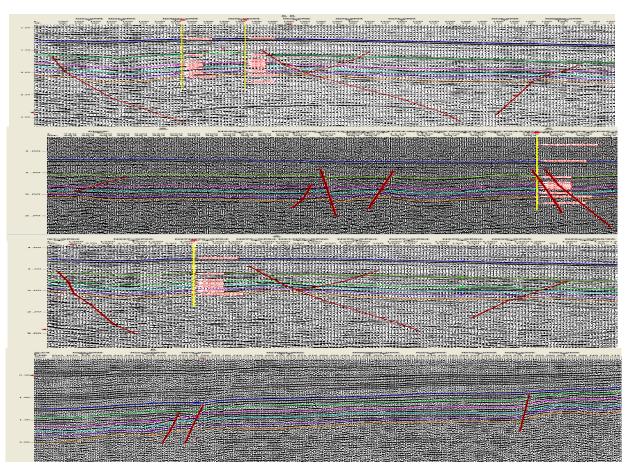


En la imagen de la derecha se observa la relación de los valores de verano a invierno. La intensidad de los colores refleja la saturación de agua relativa en la capa superficial. Resolución espacial de 60 m por pixel.



# Proyecto de investigación. Occidente del desierto del Sahara. Egipto. Datos iniciales





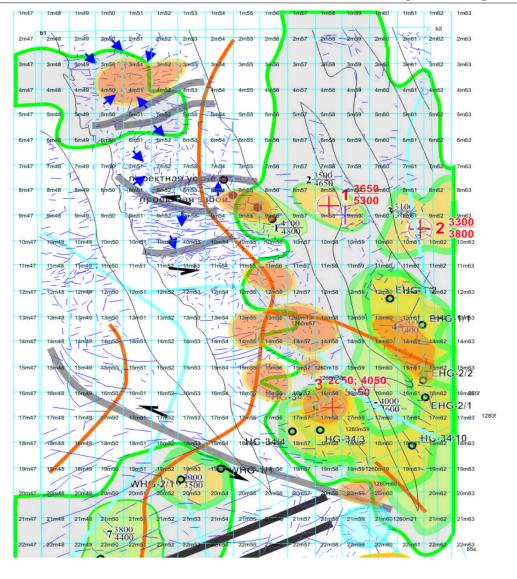
Sección estratigráfica

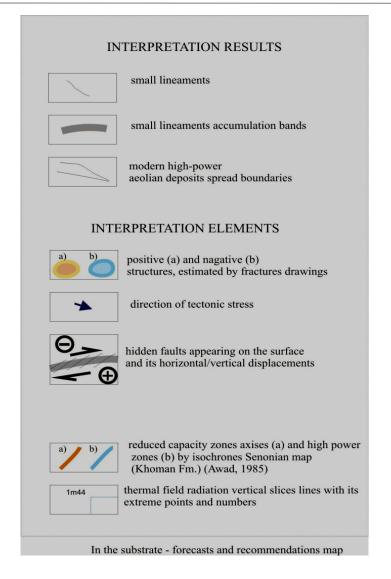
Secciones sísmicas

Resumen de las publicaciones geológicas de la zona (24 fuentes) e Internet (8 fuentes)



# Proyecto de investigación. Occidente del desierto del Sahara en Egipto. Cartografía geodinámica



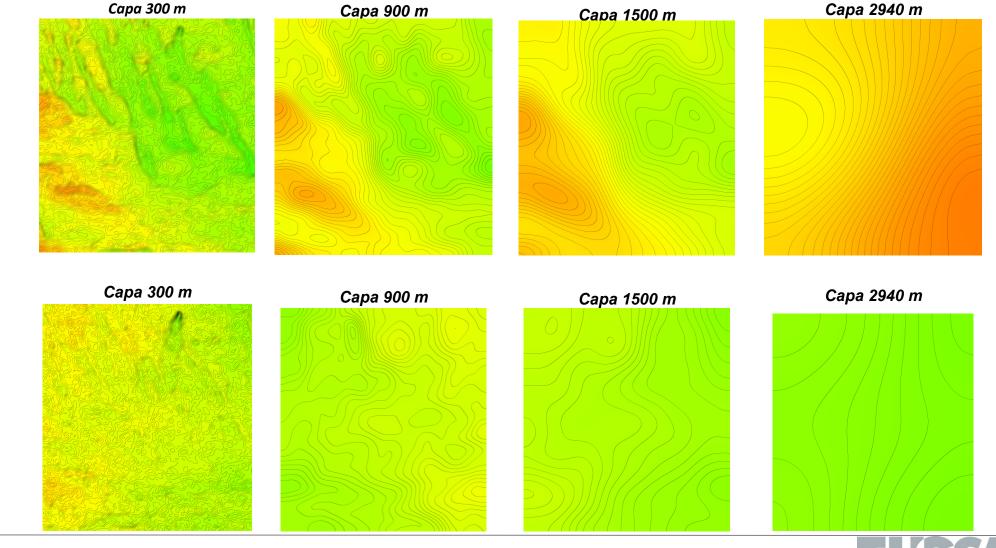


Interpretación geodinámica como resultado de la integración de datos estratigráficos, tectónicos, gravimétricos, magnéticos,.... Para conectar la tectónica superficial y la profunda se utilizan imágenes de satélite en el rango visible, y para identificar la morfoestructura se desarrollan planos geodinámicos



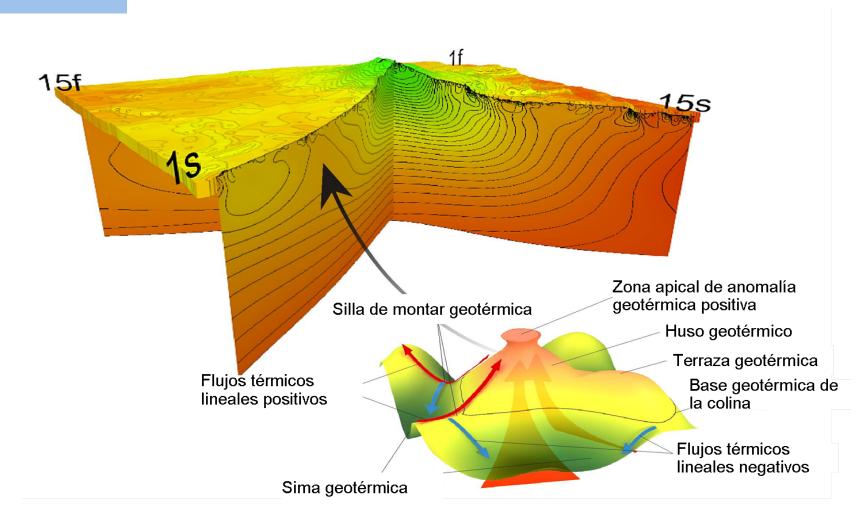
Cálculo de la densidad de flujo de radiación térmica (arriba) y parámetro de saturación de agua relativa (abajo)

#### 1 OPERACIÓN



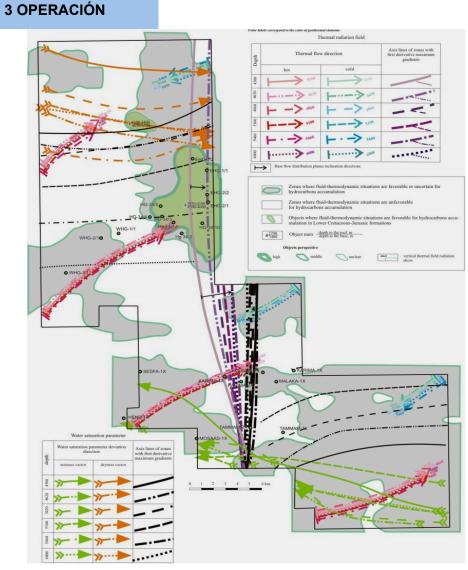
Clasificación formal del campo de radiación térmica para el modelo 3D

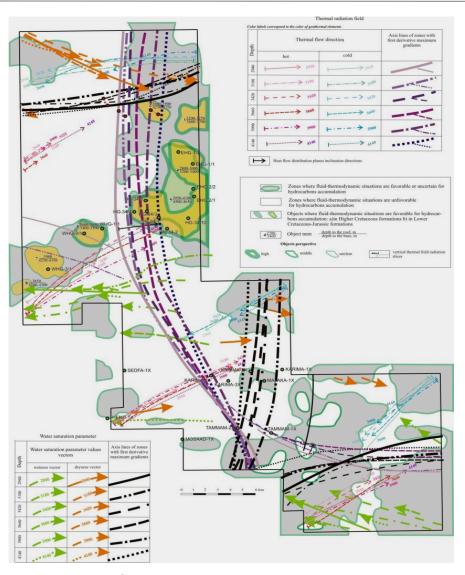
#### 2 OPERACIÓN





Elaboración de esquemas de interpretación multicapa



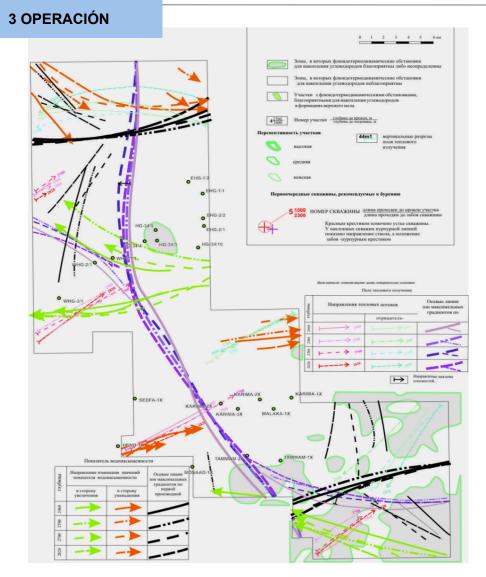


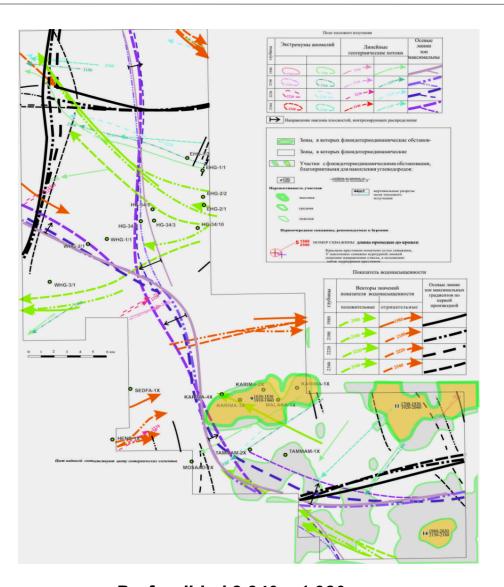
Profundidad 6.000 - 4.380 m

Profundidad 4.140 - 2.940 m



Elaboración de esquemas de interpretación multicapas



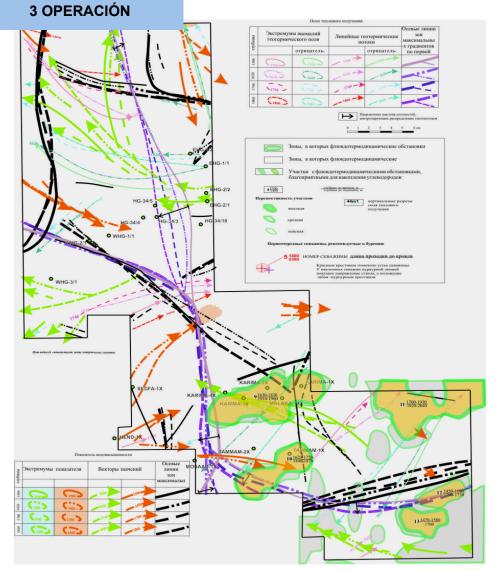


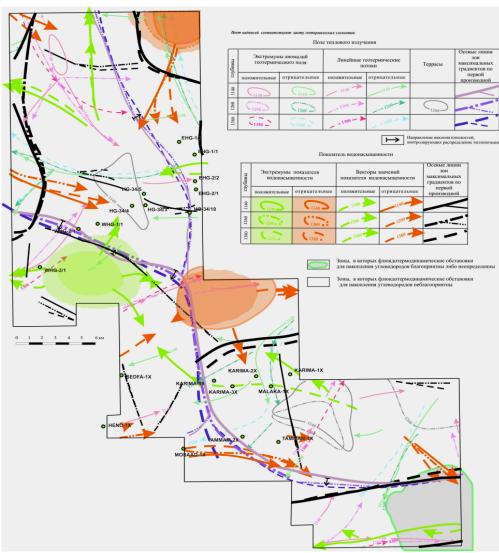
Profundidad 2.820 - 2.460m

Profundidad 2.340 - 1.980 m



Elaboración de esquemas de interpretación multicapas





Profundidad 1.860 - 1.500 m

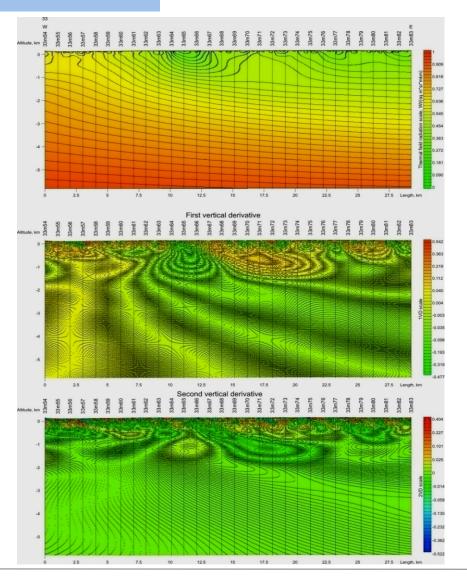
Profundidad 1.380 - 1.140 m

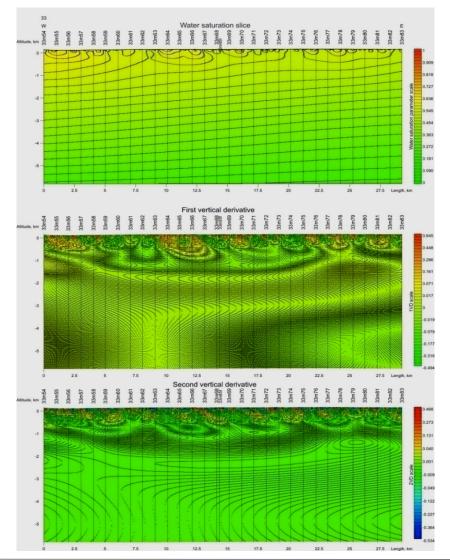


# Proyecto de investigación. Occidente del desierto del Sahara en Egipto. Sección vertical del campo de radiación térmica, primera, segunda derivada y parámetro de

saturación de agua

#### **4 OPERACIÓN**







Exploración de hidrocarburos mediante Tomografía Remota Térmica

### Campo de radiación geotérmica. Morfoestructura geológica



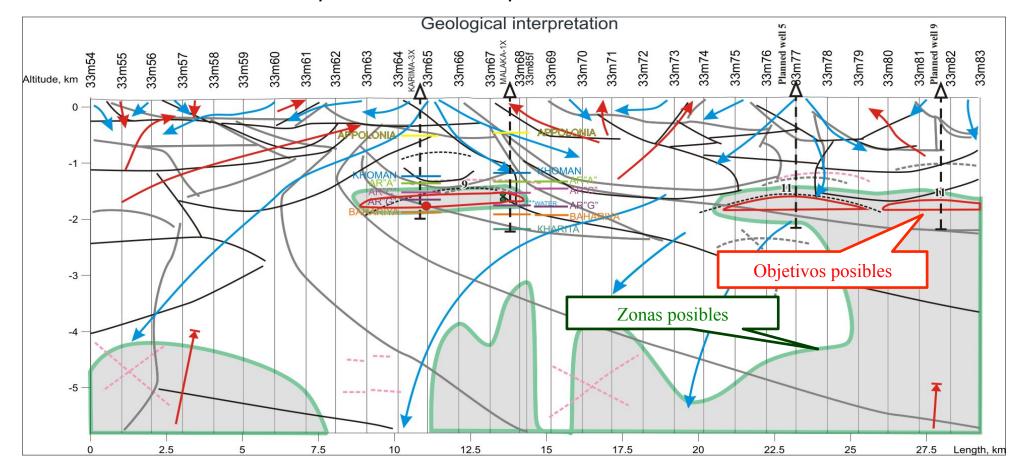
#### Definición de la morfoestructura geológica en profundidad

- Las zonas de concentración de esfuerzos y tensión se muestran como zonas de máximos térmicos, ya que es en donde se desarrollan los mayores esfuerzos compresivos y distensivos relacionados con estructuras de deformación y plegamiento.
- Las zonas de cizalla y fractura aparecen como zonas de mínimos térmicos ya que es en éstas en donde los esfuerzos son menores. En estas zonas, al estar altamente fisuradas, se favorece la circulación de fluidos lo que reduce su temperatura.
- Se Como interpretación general se asocia a las imágenes más próximas a la superficie con un gran número de máximos y mínimos térmicos que denotan la gran complejidad estructural en superficie. A medida que las imágenes corresponden a mayores profundidades desaparecen gran parte de estas estructuras menores permaneciendo únicamente las de mayor importancia.



**5 OPERACIÓN** 

#### Interpretación del campo de radiación térmica

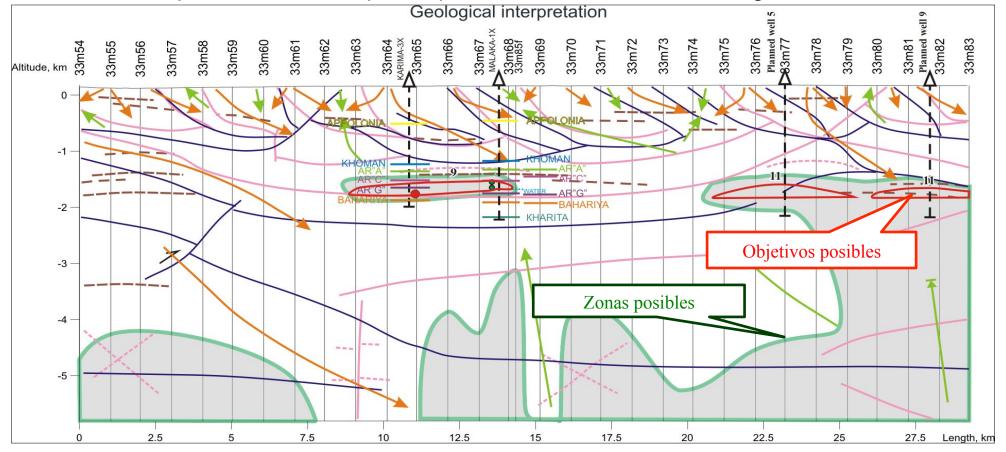


A través de la estructura del campo de radiación térmica se caracteriza las mayores estructuras volumétricas de bloque-falla del entorno geológico



#### **5 OPERACIÓN**

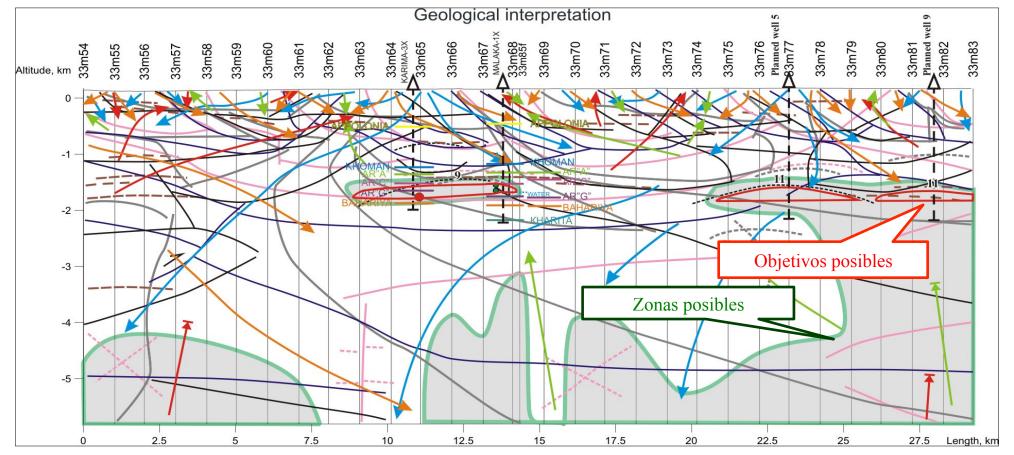
#### Interpretación del campo del parámetro de saturación de agua relativa





#### **5 OPERACIÓN**

### Diagrama de estructuras de bloque y sección resumen de interpretación

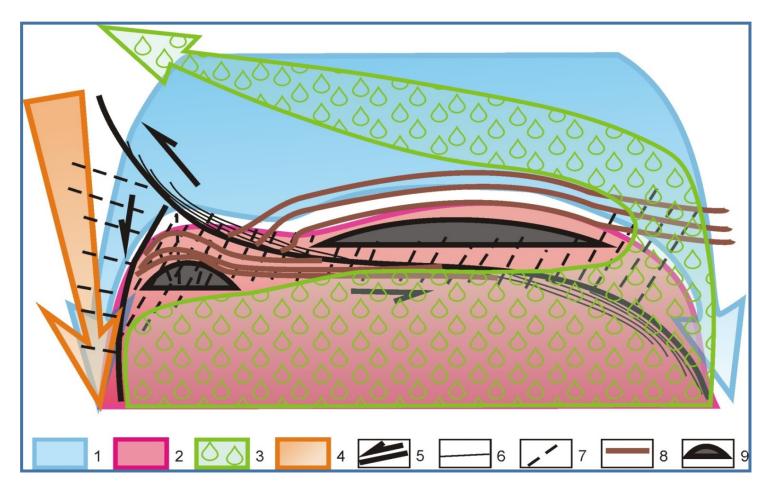




Modelo de las condiciones geodinámicas y flujo térmico

#### 6 OPERACIÓN

Modelo de las condiciones geodinámica del flujo térmico favorable a la acumulación de hidrocarburos.



1 - Flujo de calor conductivo frio, 2 - Flujo de calor convectivo templado, 3 - Alto grado de saturación de agua, incremento de desecación, 4, 5 - Fallas, dirección del movimiento de los bloques, 6 – Fractura cerrada, 7 - Fractura abierta, 8 - Lecho/cubierta, 9 - Trampas



### Criterios geotérmicos en el pronóstico de hidrocarburos

#### 6 OPERACIÓN

- Disposición de puntos (objetos) debajo de los planos de discordancia geotérmica, de forma general, debajo de los planos de las grandes reorganizaciones del campo de radiación térmica;
- Disposición de objetos próximos a corrientes térmicas ascendentes (pero fuera de las columnas geotérmicas y pseudo almacenamientos);
- Presencia de "viseras" asimétricos en secciones verticales del campo de radiación térmica en profundidades donde potencialmente el petróleo y gas se generan;
- Situaciones de sentido contrario de los vectores positivos y negativos;
- En profundidades de 1-3 km próximas a sillas geotérmicas, almacenamiento, terrazas;
- Cambios acusados y desviaciones de la dirección vertical de las corrientes térmicas que se explican únicamente mediante obstáculos geológicos;
- Disposición de objetos fuera de pozos geotérmicos y corrientes térmicas negativas (aunque la disposición de estas estructuras sean de pronóstico favorable);
- Disposición hipsométrica relativamente algo más alta del objeto previsto en relación con el medio geológico circundante dentro de los límites de ciertas restricciones geológicas, tectónicas, lito-estratigráfico, facies.



# Criterios adicionales en el pronóstico de hidrocarburos mediante el parámetro de saturación relativa del agua

- Presencia de chorros ascendentes sub-verticales de alta saturación de agua en el rango de varios cientos de metros por encima del objeto previsto, o presencia de un conjunto de condiciones favorables para la acumulación y preservación de hidrocarburos (el objeto);
- Presencia de vectores de penetración profundos de desecación en los limites laterales de los objetos.
- Vectores ligeramente ascendentes que se manifiestan en puntos secos y por encima de ellas (en las grandes profundidades no son distinguibles)

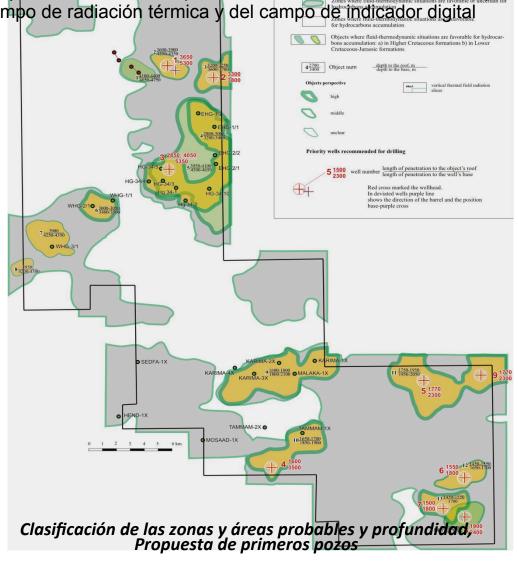


**7 OPERACIÓN** 

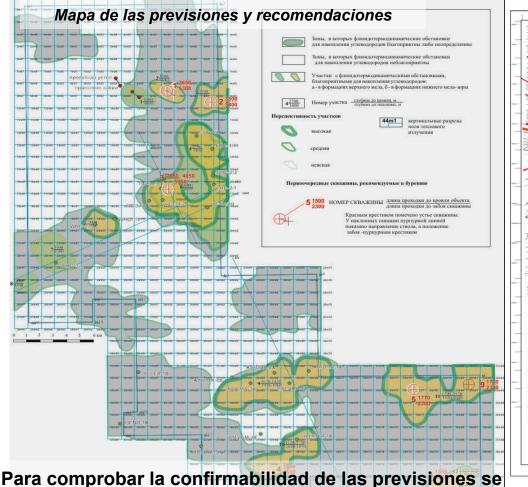
Cartografía de previsiones y recomendaciones

Mapa de previsión resultante de la construcción de 7 mapas termodinámicos (mediante 29 secciones horizontales), y 83 secciones verticales en una red de1x1 km del campo de radiación térmica y del campo de indicador digital del grado de saturación relativa del agua.

- Se rechazó el 40% de la superficie y se definió el área con condiciones favorables para la acumulación de hidrocarburos
- Se identificaron 14 sitios específicos de los cuales 8 tienen potencial alto, 3 potencial medio y 3 ambiguo.
- La productividad de los 5 emplazamientos con alta perspectivas quedó demostrada mediante la realización de pruebas en los pozos. El resto fueron identificados por primera vez
- El objeto mayor se encontró en el emplazamiento nº 5 a una profundidad de 4 a 4,6 km debajo de un depósito conocido (pozos HG y EHG) y el nº 11 que no había sido estudiado situado en la parte sur del área.
- Los elementos en la parte sur del área se proyectan a una profundidad de 2 km. Se ha asumido dos niveles estratigráficos de petróleo y gas, el primero ya conocido en el cretácico superior y el segundo en el cretácico inferiorjurasico que no ha sido testificado
- Se dan las coordenadas para las perforaciones recomendadas



Comparación entre las previsiones realizadas y los resultados de la exploración



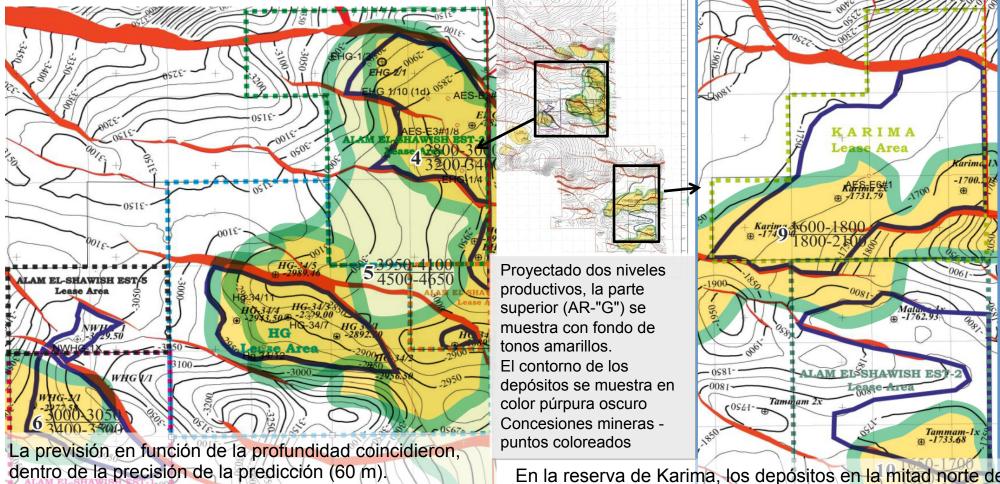
Para comprobar la confirmabilidad de las previsiones se han utilizado 28 pozos.

Se produjo sólo un desajuste registrado para un depósito de área menor a 1 km² y con reservas de 0,07 millones toneladas, a una profundidad entre 3.266,3 y 3.279,5 m que se puede considerar el umbral de sensibilidad para esta

Mapa de depósitos de petróleo y gas, Alam El-Shawish. Este

La confirmación de las previsiones realizadas alcanzó el 96% en comparación con los resultados de los trabajos de exploración

Comparación entre los contornos de los objetos previstos y los depósitos descubiertos



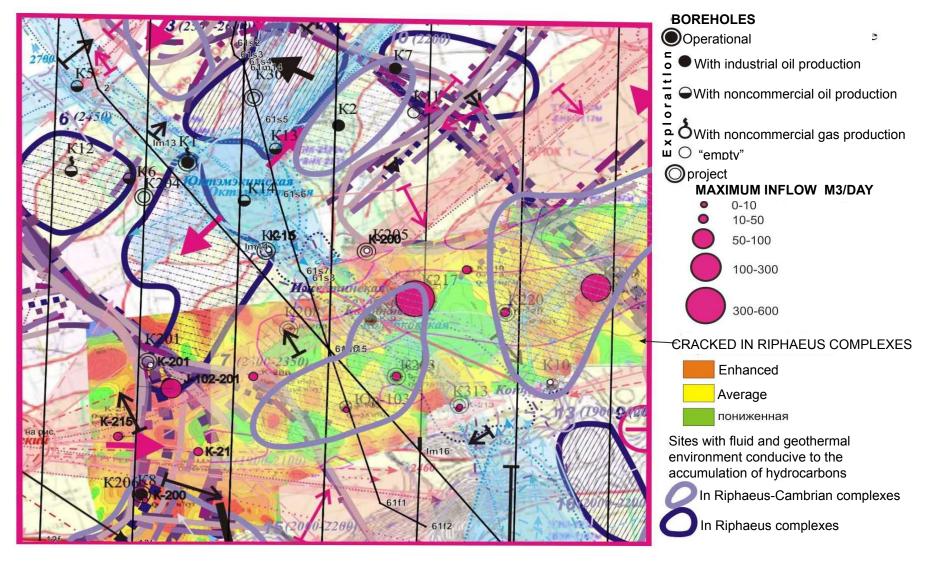
Diferencia en los circuitos areales relacionados fundamentalmente con la obtención de nueva información, y que esta puede ser verificada mediante la evaluación de las reservas de hidrocarburos.

Objetos de nivel inferior requieren confirmación de la perforación.

En la reserva de Karima, los depósitos en la mitad norte de la frontera son incompatibles con los datos de las imágenes térmicas y con con los resultados de la perforación.

En Malaka hay sólo un pozo perforado, que dio un leve flujo de agua y gas. El ambiente térmico geodinámico para la acumulación de hidrocarburos es desfavorable.

# Proyecto investigación. Área de Kuyumbinskaya, Krasnoyarsky Krai, Slavneft. Comparación de las proyecciones con la productividad de pozos



Información del caudal de los pozos recibida después de la fecha del informe.

Área de Kuyumbinskaya, Krasnoyarsky Krai, Slavneft



# Proyecto investigación. Área de Kuyumbinskaya, Krasnoyarsky Krai, Slavneft. Confirmación de las proyecciones con la productividad de los pozos

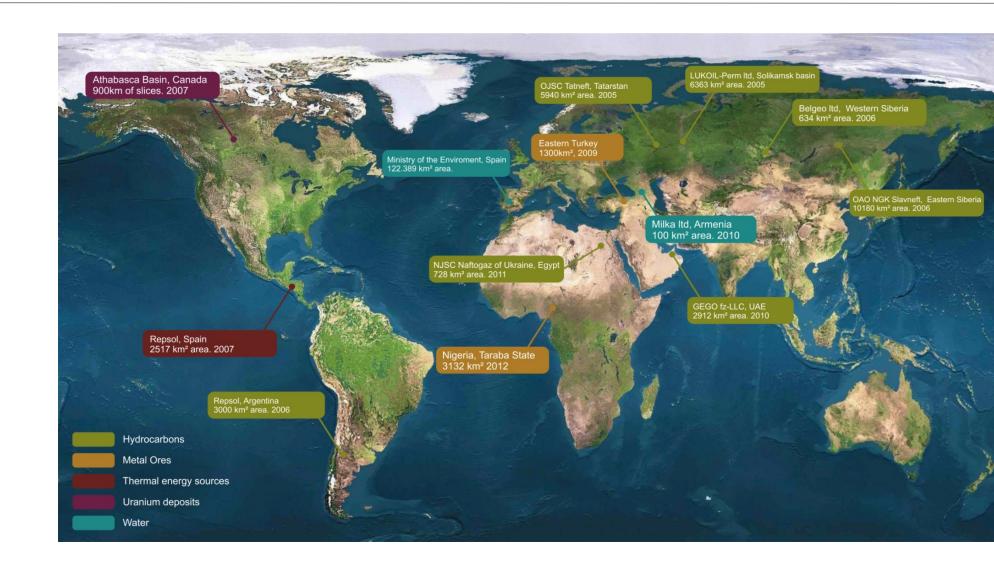
En el área cubierta mediante sísmica 3D se perforaron 21 pozos. El número identificativo y caudal se muestran en la tabla.

Se observa que fuera de la zona de pronóstico positivo, en las áreas de una productividad superior a 50 m³/día la confirmabilidad es del 67 -100%, esta área es la mismas que la utilizada en los métodos sísmicos, debe tenerse en cuenta que los contornos proyectados mediante los datos vídeo-térmicos y los sísmicos no coinciden.

Producción m³/día	Dentro del contorno de predicción (mediante TRT)	Fuera del contorno de predicción	% confirmación
no	-	201	100
0-10	200, 206, 10, J-103	214, 205, 213	57
10-50	9, 203, 220	215, 208, 218, 229	43
50-100	J-102, 225	-	100
100-300	219, 217	212	67
300-600	217	-	100



# Proyectos e investigaciones realizadas







#